

### 3 Ergebnisse und Diskussion

#### 3.1 Standortvariabilität

##### 3.1.1 Messungen an Teilproben am Standort

Zur Ermittlung der Standortvariabilität der Element-Gehalte in Moosen an einem Standort - zur Bestimmung der Belastbarkeit eines Elementgehaltes an einem Standort - wurden für jeden der 49 Standorte aus den Einzelmessungen (vier bis acht Einzelproben, insgesamt etwa 250 Analysen je Element) die Element-Mittelwerte und Standardabweichungen und daraus die prozentualen Variationskoeffizienten (Variationsbreiten) der untersuchten Elemente am selben Standort berechnet. In Abb. 3 sind die mittleren Variationskoeffizienten aller 49 Standorte mit deren Standardabweichungen dargestellt. Die Elemente Arsen, Chrom, Titan, Cer und Lanthan zeigen die höchsten mittleren Variationskoeffizienten mit den höchsten Standardabweichungen. Die Werte für Cadmium, Kupfer und Zink liegen deutlich niedriger, diese Gehalte der Moose sind somit deutlich homogener je Standort. In Tab. 3 sind die Variationskoeffizienten der Element-Gehalte in den analysierten Einzelproben ( $n = 4-8$ ) pro Standort dargestellt. Im allgemeinen ist erkennbar, dass z. B. die Gehalte typischer "anthropogener Elemente" wie Cd, Cu, Pb, und Zn an

vielen Standorten nur unerheblich streuen (z. B. BY 24 oder BB 75). Im Gegensatz dazu konnten viele Standorte identifiziert werden, an denen insbesondere die Gehalte an "häufigen Erdkrusten-Elementen" wie Cr, Fe, V, Ti, Ce und La stark schwanken und auch am selben Standort meistens gemeinsam vergleichbar hohe Streubreiten aufweisen (z. B. NI 84, BY 150). Aber auch letztgenannte Elemente entstammen aus Verbrennungsprozessen aller Art. Auffällig sind hier die parallel vorkommenden hohen Streuungen der Arsen-Gehalte in den Einzelproben eines Standortes. Demgegenüber stehen andere Standorte, an denen ein oder zwei Elemente bei geringen Streubreiten der anderen Elemente durch hohe Variationskoeffizienten auffallen (z.B. As und Cd am Standort BY 58).

Anhand dieser Ergebnisse ist abzuleiten, dass die am selben Standort entnommenen Einzelproben vermutlich durch kleinräumig differierende Einflussfaktoren bedeutend beeinflusst werden können und zu unterschiedlichen Element-Gehalten in den Einzelproben eines Standortes führen.

Zur Abhilfe und zur Verbesserung der Ergebnisse wird zukünftig eine größere Einwaage als 250 mg empfohlen. Eine Obergrenze wird gerätebedingt für Aufschlussapparaturen bei 1000 mg liegen.

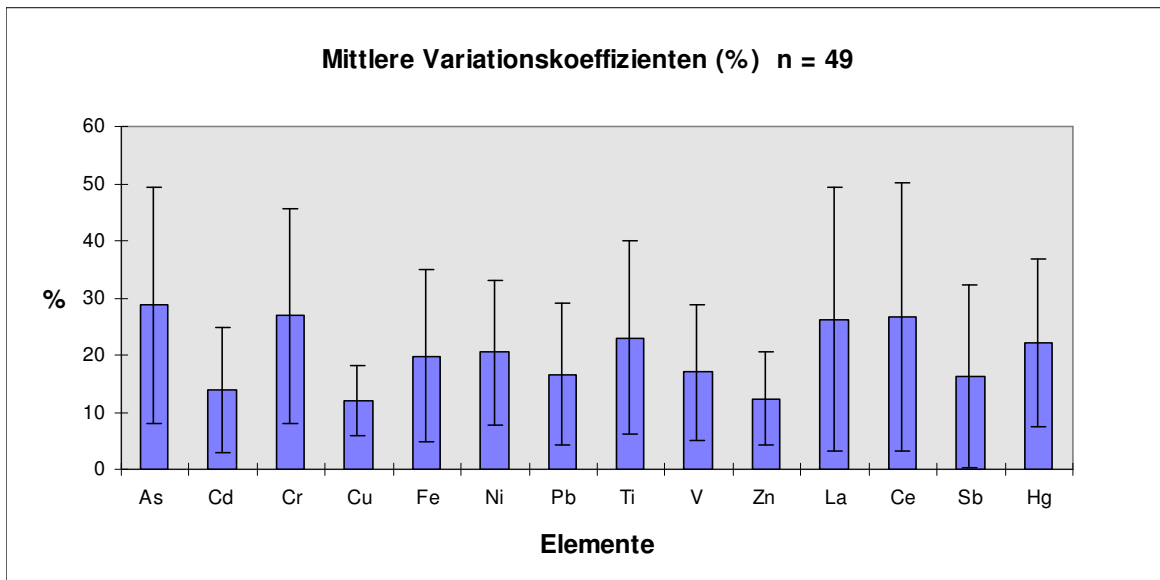


Abb. 3: Mittlere Variationskoeffizienten (%) und deren Standardabweichungen für 4 bis 8 Einzelproben an 49 Standorten

Tab. 3: Variationskoeffizienten (%) der separat vermessenen Einzelproben (n = 4 bis 8) an 49 Standorten

Standorte	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Ti	V	Zn	La	Ce	Sb	Hg
BY 17	17.8	7.1	69.0	13.3	20.9	29.3	5.2	22.9	6.2	7.5	43.7	45.2	4.8	9.3
BY 24	10.5	3.3	9.3	4.8	6.3	7.5	4.4	7.4	6.4	5.4	11.7	10.9	4.8	7.9
BY 58	85.8	47.3	10.0	10.4	13.7	9.5	14.3	17.7	11.0	8.1	17.5	18.0	9.5	25.5
BY 88	50.2	11.8	34.6	6.8	21.3	31.2	18.7	26.7	19.9	2.5	24.0	24.4	14.6	10.6
BY 123	8.5	7.8	10.4	7.3	7.1	14.9	13.3	12.5	7.3	6.4	14.2	11.6	3.3	11.3
BY 150	49.3	4.6	48.4	9.5	49.6	33.6	33.0	34.0	48.5	7.7	63.5	64.3	9.0	45.9
BY 162	77.0	4.6	42.9	11.1	70.8	38.2	33.7	68.7	65.4	9.7	98.7	97.8	8.2	15.6
BB 31	21.3	14.9	23.1	17.1	13.2	28.0	6.8	18.6	9.5	44.8	14.0	15.0	12.6	3.7
BB 13	16.6	3.8	16.0	9.9	9.1	9.6	13.3	16.4	5.1	19.3	13.6	13.0	3.5	12.4
BB 53	14.9	16.0	21.4	13.4	13.4	10.2	8.9	14.1	14.0	10.6	12.8	13.7	8.9	11.6
BB 70	11.7	6.2	31.4	5.5	11.3	9.4	16.3	16.9	8.8	11.0	12.6	13.1	13.1	11.3
BB 75	8.2	5.9	12.9	4.6	7.2	3.7	17.4	13.9	4.3	1.7	12.0	11.2	4.3	9.5
BB 103	14.1	11.4	22.5	17.1	14.8	14.6	7.7	16.4	13.2	8.7	13.8	13.6	9.6	8.4
BE 1	14.0	12.1	8.1	7.7	15.7	9.8	17.0	24.9	13.0	6.5	20.7	21.3	11.3	22.6
BE 3	12.3	12.5	8.2	16.2	3.7	6.0	6.3	6.7	7.5	12.1	9.3	10.3	6.6	11.6
BE 4	12.8	18.2	13.8	9.2	12.7	19.6	7.0	16.5	10.4	6.8	14.1	14.7	9.4	10.5
BW 131	20.0	25.0	17.7	16.8	23.1	30.4	18.3	19.7	16.9	19.0	26.6	23.6	7.4	5.7
BW 400	12.3	13.7	28.8	12.1	6.8	20.7	9.9	13.7	2.4	2.5	8.8	9.3	13.2	17.2
BW 402	18.1	16.9	20.3	17.5	16.4	32.2	26.6	12.4	26.8	10.8	17.0	16.1	71.8	33.8
BW 920	38.6	11.4	31.3	13.4	40.5	12.1	14.7	43.3	31.4	13.0	55.8	59.8	10.5	14.1
BW 930	56.9	12.7	63.8	14.9	50.7	36.0	7.3	50.9	32.1	21.1	80.1	80.0	13.3	76.2
BW 960	51.7	5.8	22.5	18.1	11.3	8.5	49.7	21.3	11.7	10.4	15.1	15.5	79.6	34.3
HE 7	28.2	6.4	20.4	8.7	19.2	16.5	22.4	21.5	18.8	13.2	19.0	18.7	19.1	18.6
HE 34	38.9	18.5	26.4	12.4	25.3	23.4	29.9	25.0	28.9	2.4	32.0	30.9	23.4	47.0
HE 34	33.7	6.9	51.6	34.9	21.4	16.7	7.1	21.1	21.9	18.6	21.4	22.0	14.7	18.3
NI 9	31.5	5.5	36.5	5.7	26.9	65.5	23.6	31.3	22.7	5.2	45.4	44.8	21.9	17.4
NI 17	49.5	10.3	30.7	9.1	8.5	23.6	6.8	22.6	13.0	11.2	25.3	25.2	9.3	20.7
NI 38	31.2	12.7	58.5	10.2	15.3	20.6	4.1	14.9	5.9	15.9	17.8	19.7	7.2	27.9
NI 39	11.7	23.1	9.5	7.1	5.3	10.3	4.0	9.2	2.6	33.9	8.6	9.2	6.8	46.8
NI 41	11.5	7.7	8.6	8.6	4.4	8.6	12.8	10.7	10.1	20.0	11.9	11.0	16.5	29.7
NI 43	27.5	13.7	17.7	14.2	20.5	28.6	26.7	17.2	31.0	9.2	21.4	20.4	25.9	54.1
NI 44	15.4	10.5	24.4	8.2	29.1	15.6	17.5	59.4	21.3	25.1	21.3	22.3	15.3	35.4
NI 57	66.6	15.9	11.4	3.8	26.5	1.9	18.1	48.7	11.1	6.9	61.1	61.3	21.5	7.5
NI 63	14.9	5.6	10.2	11.8	11.9	17.3	9.1	17.9	14.1	5.7	13.5	13.8	9.8	30.5
NI 66	23.2	17.3	7.1	2.2	8.4	16.8	12.0	4.1	11.6	7.7	10.6	11.3	9.8	10.7

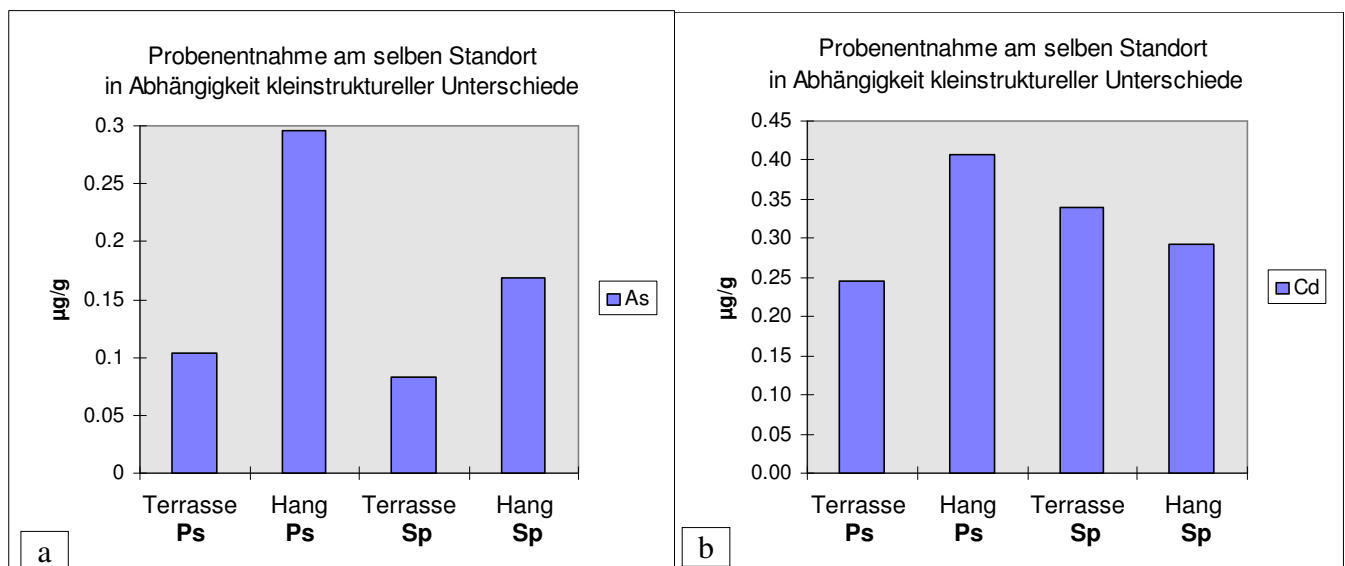
<b>NI 66</b>	18.3	17.3	13.3	9.0	11.6	19.7	5.4	10.7	10.8	13.0	8.0	7.7	10.7	18.0
<b>NI 84</b>	100.9	56.8	67.9	9.5	76.9	19.0	43.3	96.9	34.0	17.5	119.2	121.2	35.7	18.1
<b>NW 14</b>	34.9	11.4	23.6	12.6	18.7	12.6	12.4	15.7	18.1	5.9	21.1	21.6	9.4	19.9
<b>NW 25</b>	22.0	8.2	43.5	8.4	18.3	22.9	13.8	19.7	18.3	9.2	20.1	20.7	9.9	12.4
<b>NW 32</b>	21.7	9.5	20.3	12.1	11.8	21.6	22.2	15.0	22.0	9.1	22.7	22.5	11.1	19.3
<b>NW 60</b>	33.9	4.3	16.8	11.3	19.2	18.3	7.1	15.2	7.0	8.1	17.0	19.7	4.8	11.3
<b>NW 65</b>	19.4	18.6	9.6	16.7	13.3	31.9	11.4	9.7	12.8	17.0	16.0	12.6	10.6	15.1
<b>RP 10</b>	28.6	33.7	16.1	13.6	22.4	11.4	14.5	32.2	15.7	14.2	31.0	33.7	9.9	27.1
<b>RP 12</b>	29.2	7.9	17.5	19.7	25.3	8.1	20.7	25.5	23.3	10.2	29.3	38.3	12.1	37.5
<b>ST 16</b>	14.6	6.5	26.5	9.6	12.4	13.5	5.0	13.4	10.0	6.6	10.9	11.9	62.4	32.0
<b>ST 90</b>	19.2	7.6	24.0	10.7	17.9	19.2	17.8	15.0	18.9	19.0	20.2	20.9	14.1	39.9
<b>SL 5</b>	15.7	41.5	27.2	33.7	21.4	34.4	22.9	16.0	23.8	22.6	16.0	19.8	24.1	33.2
<b>SN 74</b>	30.8	12.9	93.6	10.5	23.9	58.9	8.1	26.0	24.2	13.0	26.9	26.9	16.0	10.6
<b>TH 6</b>	12.5	11.9	35.8	13.3	14.2	30.8	67.6	17.6	7.7	17.5	16.1	18.5	35.7	19.6
<b>Mittelw. (%)</b>	<b>28.7</b>	<b>13.8</b>	<b>26.8</b>	<b>11.9</b>	<b>19.8</b>	<b>20.5</b>	<b>16.7</b>	<b>23.0</b>	<b>17.0</b>	<b>12.3</b>	<b>26.7</b>	<b>26.2</b>	<b>16.3</b>	<b>22.2</b>
<b>Stdabw. (%)</b>	<b>20.7</b>	<b>10.9</b>	<b>18.8</b>	<b>6.1</b>	<b>15.1</b>	<b>12.7</b>	<b>12.5</b>	<b>17.0</b>	<b>11.8</b>	<b>8.1</b>	<b>23.4</b>	<b>23.1</b>	<b>16.0</b>	<b>14.6</b>

### 3.1.2 Einfluss kleinräumiger Strukturen am selben Standort (NW 27)

Eine bedeutende Einflusskomponente auf die Variabilität der Element-Gehalte in separat vermessenen Einzelproben am selben Standort kann durch kleinstrukturelle Unterschiede gegeben sein.

Deutliche Unterschiede in den Element-Gehalten zeigen Moosproben, die am selben Standort auf kleiner Fläche durch unterschiedliche Expositions- und Vegetationsverhältnisse beeinflusst wurden (Kap. 2.2). Für die Elemente Arsen, Chrom, Molybdän, Blei, Antimon und Vanadium wurden in den an einem west-exponierten Hang gewachsenen Moosen gegenüber denen auf einer freiliegenden ebenen

Fläche (Terrasse) am selben Standort in beiden untersuchten Moosarten höhere Gehalte nachgewiesen. Darüber hinaus zeigt die Moosart *Pleurozium schreberi* am Hang für die Elemente Cadmium, Kupfer, Eisen, Titan und Zink höhere Werte. Insbesondere bei Arsen, Chrom und Nickel liegen die Werte von *Pleurozium schreberi* um mehr als das Doppelte höher als auf der Vergleichsfläche Terrasse. *Scleropodium purum* zeigt nur für Quecksilber höhere Gehalte am Hang. Für Cadmium, Kupfer, Eisen, Titan und Zink finden sich hier teilweise geringfügig niedrigere Werte. In den Abbildungen 4-6 werden die Unterschiede für jedes Element und für jede Moosart zusammengefasst dargestellt.



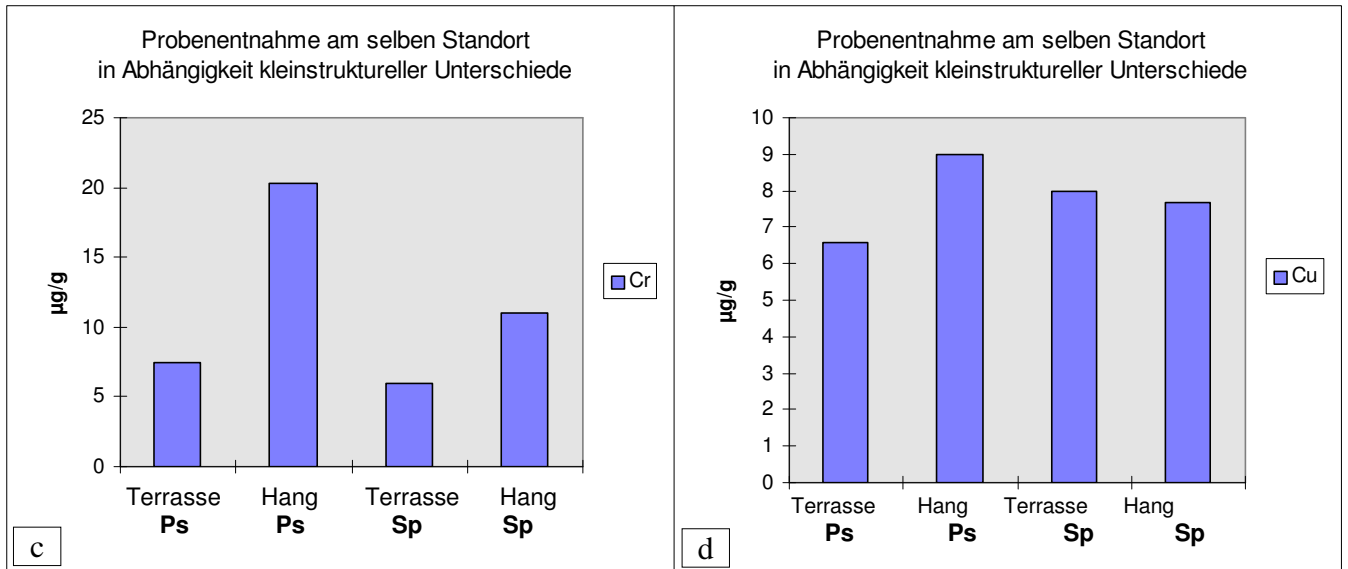
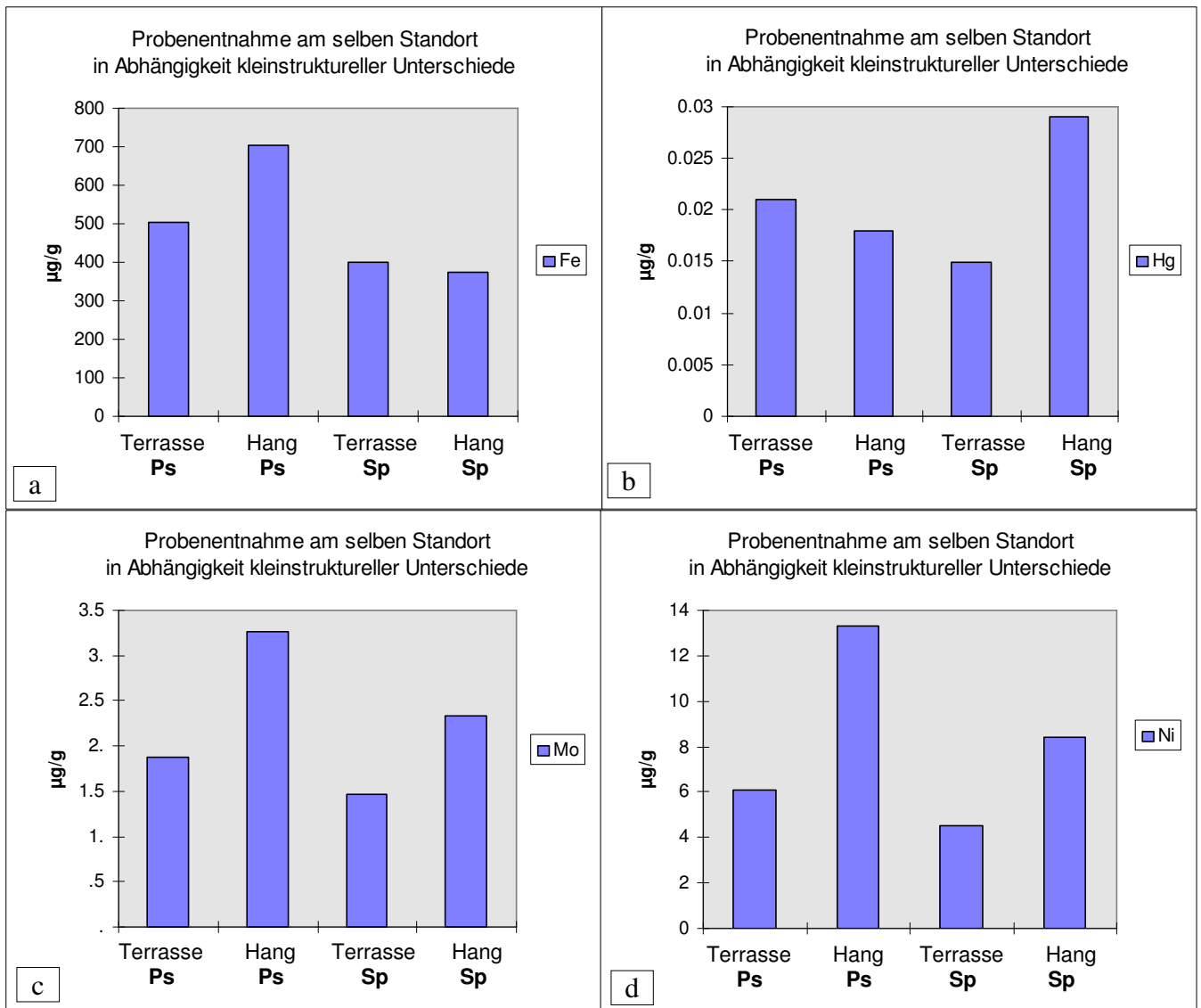


Abb. 4 a-d: Arsen-(a), Cadmium-(b), Chrom-(c) und Kupfer-Gehalte (d) in µg/g in den Moosarten *Pleurozium schreberi* (Ps) und *Scleropodium purum* (Sp) an unterschiedlichen Entnahmestellen (Terrasse, Hang) am selben Standort.



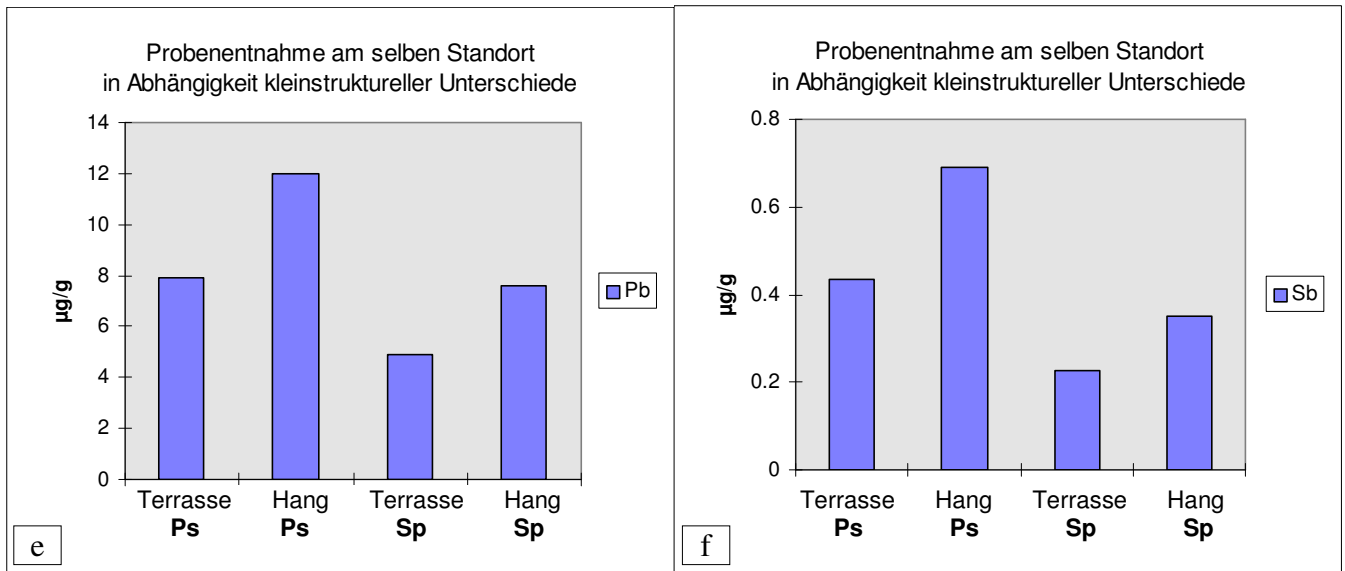


Abb. 5 a-f: Eisen-(a), Quecksilber-(b), Molybdän-(c), Nickel-(d), Blei-(e) und Antimon-Gehalte (f) in µg/g in den Moosarten *Pleurozium schreberi* (Ps) und *Scleropodium purum* (Sp) an unterschiedlichen Entnahmestellen (Terrasse, Hang) am selben Standort.

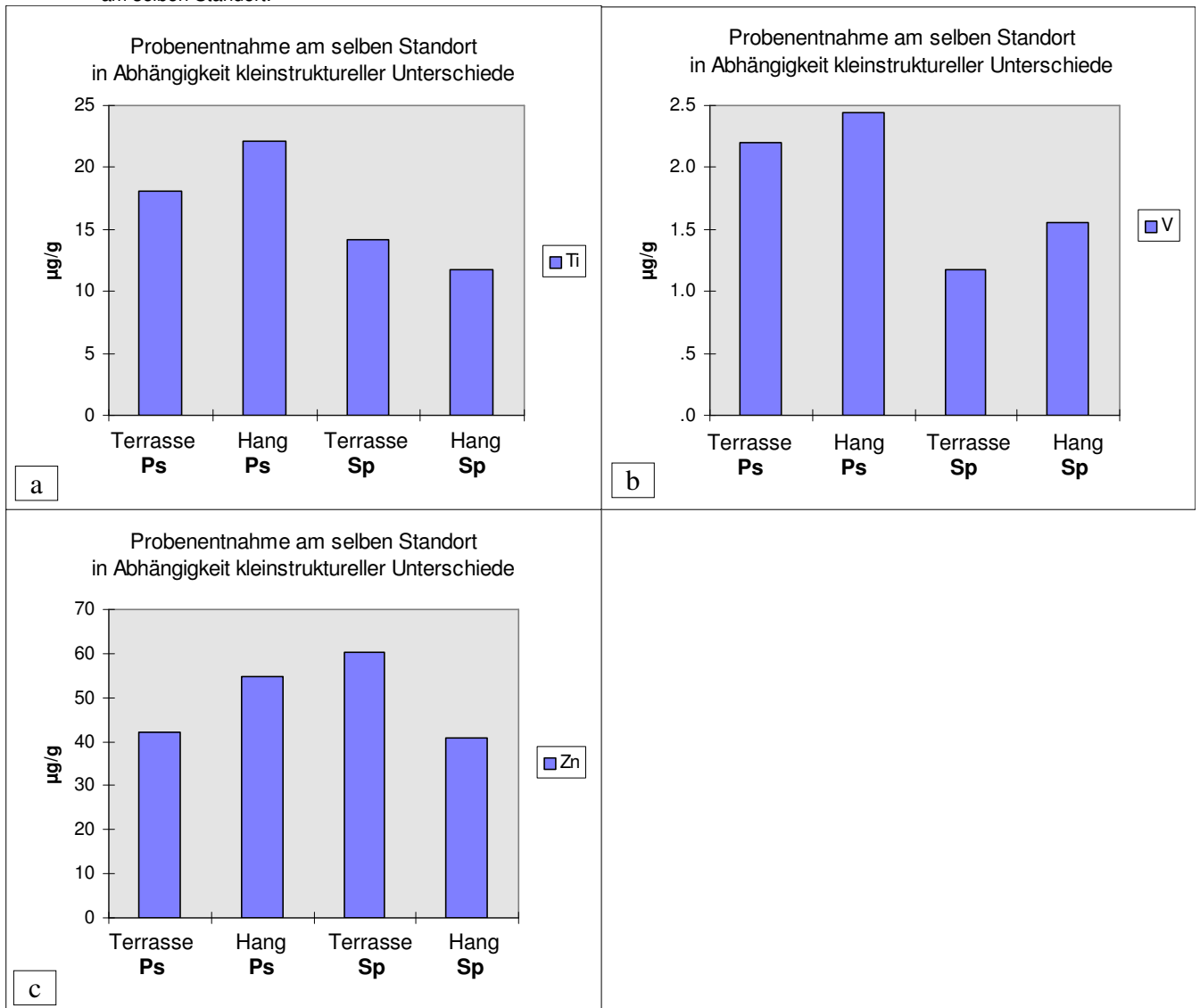


Abb. 6 a-c: Titan-(a), Vanadium-(b) und Zink-Gehalte (c) in µg/g in den Moosarten *Pleurozium schreberi* (Ps) und *Scleropodium purum* (Sp) an unterschiedlichen Entnahmestellen (Terrasse, Hang) am selben Standort.

### 3.1.3 Einfluss einer Waschprozedur

Durch kleinräumige Unterschiede am selben Standort können einzelne Moosproben z. B. auch unterschiedlich mit Humus-, Boden- oder Staubbpartikeln kontaminiert werden. Um die prinzipielle Wirkung dieser Einflusskomponente aufzuzeigen, wurden Moosproben nach der in Abb. 1 schematisierten Vorgehensweise behandelt.

In Tabelle 4 werden die arithmetischen Mittelwerte aus je zehn Präparationen und Messungen sowie die Standardabweichungen (Stdabw.) der Gehalte ausgewählter Elemente in den zu vergleichenden Proben (**LS 1**, Moosprobe unbehandelt, **LS 2**, Moosprobe mit Druckluft ausgeblasen und gewaschen) in der Moosart *Pleurozium schreberi* von einem Standort dargestellt. Es wurden für die meisten Elemente unterschiedliche Element-Gehalte in den Messlösungen **LS 1** und **LS 2** ermittelt. Die grau markierten Felder repräsentieren signifikante Unterschiede zwischen den Vergleichslösungen. Generell zeigen essentielle Makroelemente wie K, Ca, Mg signifikant höhere Gehalte in der gewaschenen Probe (**LS 2**). Darüber hinaus sind

weitere essentielle Spurenelemente wie Mn, Zn, Ba und Sr in **LS 2** signifikant erhöht. Dagegen sind beispielsweise Elemente mit hohem geogenen Anteil in **LS 1** signifikant erhöht. Hierzu zählen insbesondere die Elemente Al, Fe, Ti, Cr, V, Ni, Ce und La. Andere Elemente wie Na, Rb, Cu, B, Cd und Ag zeigen keine Unterschiede durch die Waschprozedur.

Anhand dieser Ergebnisse ist abzuleiten, dass am selben Standort für dieselbe Moosart die Elemente in unterschiedlicher Ab- oder Adsorptionsstärke an das Moos gebunden sind. Partikuläre Eisen- und Aluminiumhydroxide und Titandioxid können leichter abgespült werden (34% bzw. 37% Abnahme) als elementar eingetragene Elemente wie vermutlich Blei mit 12% Abnahme.

Die Einflüsse von lokalen Bodeneinträgen, von lokalen oder regionalen Bodenverwehungen (z. B. beim Pflügen der Äcker) oder aus Einträgen von Verbrennungsprozessen aller Art- Keramik-, Ziegelei-, Zementindustrie, aus Kohlekraftwerken - können ohne spezielle Techniken nicht voneinander getrennt werden.

Tab. 4: Element-Gehalte und Standardabweichungen (Stdabw.) in *Pleurozium schreberi* in µg/g. Das Probenmaterial wurde im unbehandelten Zustand belassen (LS1) sowie ausgeblasen und gewaschen (LS2). Die Proben wurden jeweils zehnmal aufgeschlossen. Die Elemente sind nach Gehaltsgrößen sortiert. Grau hinterlegte Felder dokumentieren signifikant höhere Gehalte als die Vergleichsprobe.

	LS 1	LS 2	Stdabw.	Stdabw.
<b>K</b>	4995	5484	101,8	81,7
<b>Ca</b>	2441	2715	44,7	77,6
<b>Mg</b>	892	1126	28,9	19,2
<b>Fe</b>	575	381	6,2	11,4
<b>Al</b>	543	357	9,3	13,4
<b>Mn</b>	264	307	2,1	2,6
<b>Na</b>	235	239	16,7	12,8
<b>Zn</b>	53,5	63,5	0,974	4,3
<b>Ti</b>	28,3	17,7	1,2	1,7
<b>Rb</b>	16,1	16,3	0,427	0,880
<b>Ba</b>	9,8	12,7	0,176	0,428
<b>Cu</b>	10,2	11,1	2,5	0,615
<b>Pb</b>	9,8	8,6	0,300	0,330

	LS 1	LS 2	Stdabw.	Stdabw.
<b>La</b>	0,463	0,337	0,017	0,019
<b>Sc</b>	0,335	0,282	0,011	0,013
<b>Sn</b>	0,515	0,278	0,044	0,106
<b>Sb</b>	0,369	0,266	0,011	0,021
<b>Li</b>	0,427	0,264	0,011	0,029
<b>Mo</b>	0,286	0,249	0,012	0,015
<b>Co</b>	0,347	0,245	0,011	0,018
<b>As</b>	0,418	0,243	0,054	0,044
<b>Cs</b>	0,267	0,230	0,006	0,010
<b>W</b>	0,118	0,227	0,108	0,007
<b>Y</b>	0,286	0,191	0,011	0,0015
<b>Ga</b>	0,225	0,167	0,010	0,005
<b>Nb</b>	0,124	0,078	0,003	0,006

<b>Sr</b>	5,6	7,3	0,140	0,241
<b>B</b>	3,6	3,8	0,283	0,253
<b>V</b>	4,4	3,1	0,040	0,189
<b>Ni</b>	2,4	1,9	0,077	0,158
<b>Cr</b>	1,7	1,1	0,128	0,380
<b>Ce</b>	0,932	0,627	0,030	0,039
<b>Zr</b>	0,700	0,443	0,030	0,058
<b>Se</b>	0,485	0,423	0,050	0,052
<b>Cd</b>	0,345	0,370	0,009	0,017

<b>Tl</b>	0,128	0,077	0,002	0,006
<b>Th</b>	0,103	0,064	0,004	0,010
<b>Ag</b>	0,061	0,058	0,008	0,006
<b>Ge</b>	0,041	0,034	0,004	0,004
<b>Bi</b>	0,040	0,032	0,002	0,002
<b>Be</b>	0,046	0,032	0,006	0,009
<b>U</b>	0,039	0,026	0,001	0,002
<b>Hg</b>	0,032	0,015	0,006	0,008
<b>Hf</b>	0,019	0,011	0,001	0,002

## 3.2 Nachuntersuchungen an besonderen Standorten

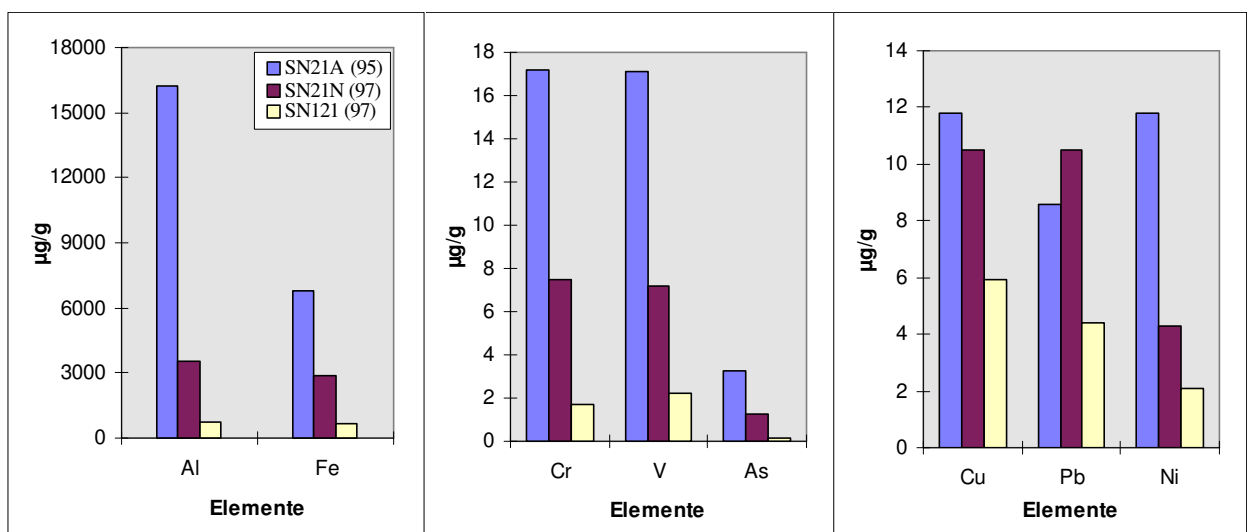
### 3.2.1 Nachbeprobung im Bereich potentieller Emittenten

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

Die Ergebnisse zeigen überwiegend deutlich höhere Element-Gehalte in der Moosprobe vom Oktober 1995 (SN 21A) gegenüber der am selben Standort (Rand eines Braunkohletagebaus) entnommenen Moosprobe im November 1997 (SN 21N). Besonders offenkundige Unterschiede wurden für die Elemente Aluminium, Eisen, Chrom, Vanadium, Arsen, Nickel und Thallium mit mehr als doppelt so hohen Werten

festgestellt. Für die Elemente Blei, Antimon und Molybdän wurden dagegen 1997 höhere Werte an diesem Standort ermittelt. Die Moosprobe vom November 1997 am ca. fünf Kilometer entfernten ebenfalls neuen Entnahmestandort (SN 121) zeigt wesentlich geringere Element-Gehalte. Auffällig ist hier der Antimonwert, der den Gehalt der Moosprobe aus 1995 deutlich übersteigt.

Die Unterschiede in den Element-Gehalten sind vermutlich auf differierende geogene Beeinflussungen aus dem Tagebau (z. B. Windverwehungen von Abbauprodukten) sowie auf die zwei Jahre spätere Beprobung zurückzuführen.



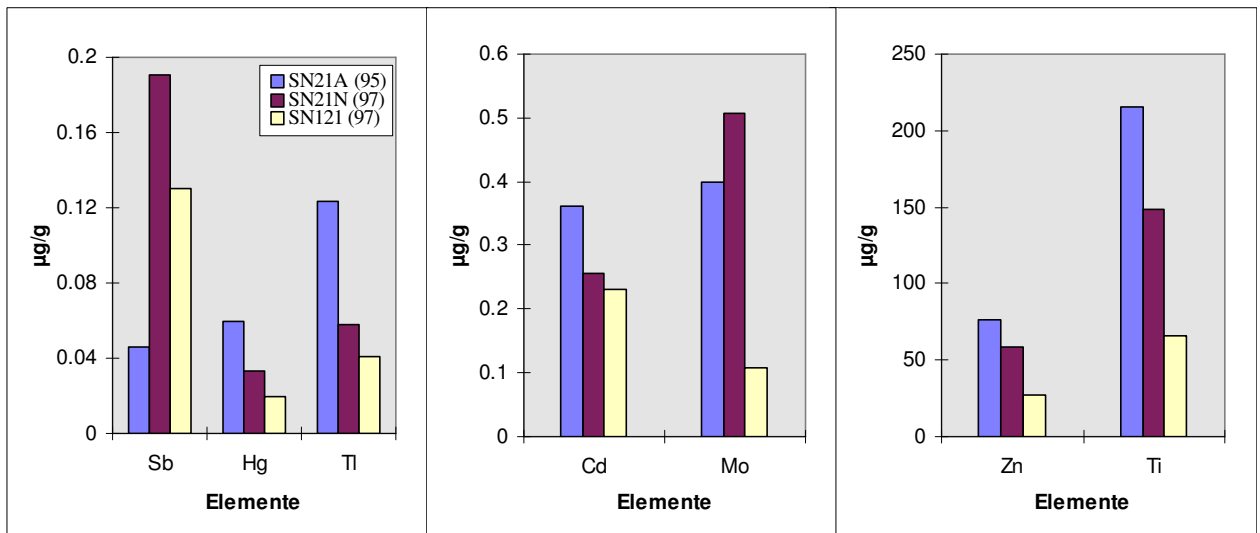
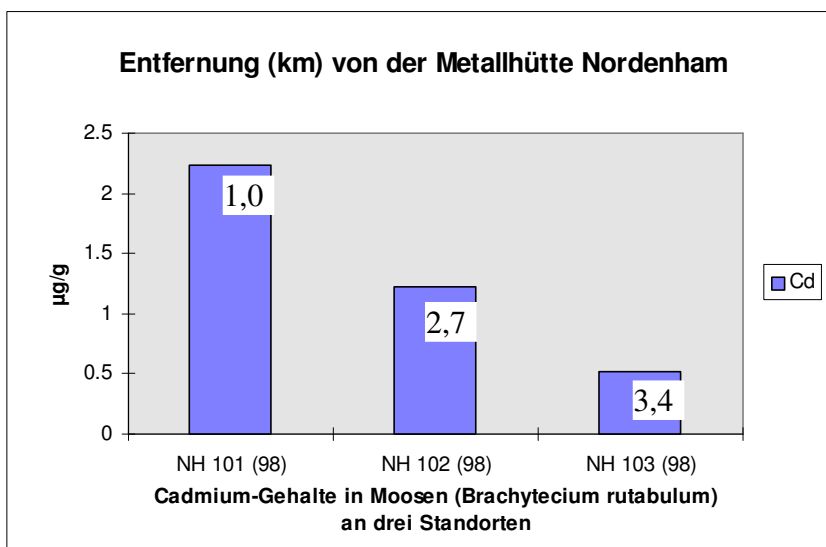


Abb. 7: Element-Gehalte (µg/g) in Moosproben an einem Standort in Sachsen. Die Moosproben wurden im Randbereich eines Braunkohle-Tagebaus 1995 (SN 21A (95)) und 1997 (SN 21N (97)) sowie 1997 (SN 121 (97)) in fünf Kilometern Abstand entnommen.

### 3.2.1.2 Metallhütte (Nordenham)

In einer weiteren emittentenbezogenen Untersuchung - Probenentnahme August 1998 - im Bereich der Metallhütte Nordenham wurden die höchsten Cadmium-, Blei-, Antimon-, Zink-, Kupfer- und Quecksilber-Gehalte in den Moosen am nächstgelegenen Standort zur Metallhütte (1,0 km, nordwestlich) ermittelt. Teilweise liegen die Werte um mehr als das Doppelte höher als am nächst weiteren Vergleichsstandort. Mit zunehmender Entfernung von der Hütte nehmen die Gehalte für Cadmium, Blei,

Antimon, Zink, Kupfer und Quecksilber besonders stark und kontinuierlich ab. Für die Elemente Arsen, Chrom, Eisen, Nickel, Titan und Vanadium wurden die höchsten Gehalte in der Moosprobe des Standortes NH 102 (98) in einer Entfernung von 2,7 km zur Metallhütte nachgewiesen. Generell weisen die zuletzt genannten Elemente an allen drei Standorten überwiegend vergleichbare Werte auf. Es zeigen sich dennoch deutlich die Auswirkungen von unterschiedlich entfernten Entnahmestandorten auf die Element-Gehalte in den Moosen.





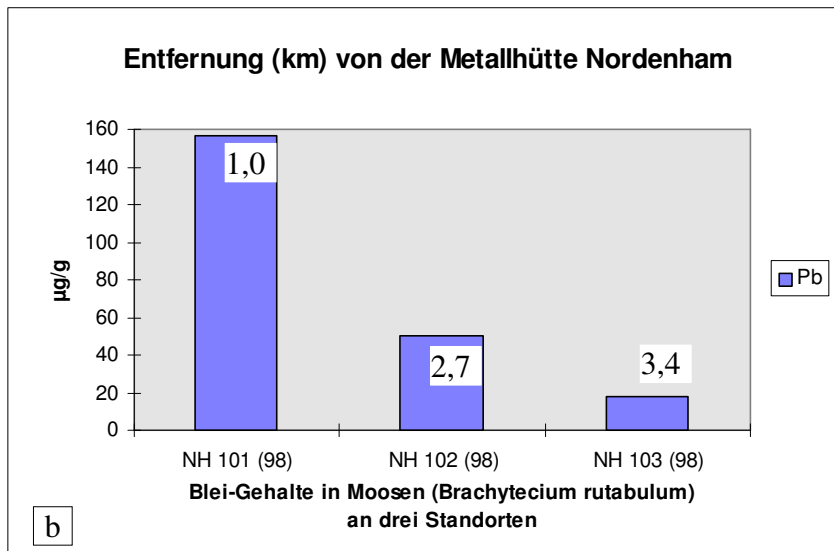
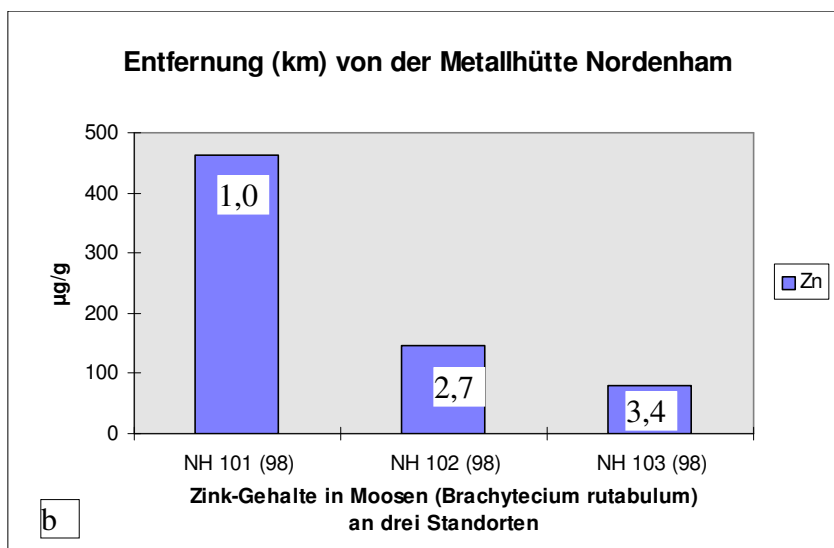
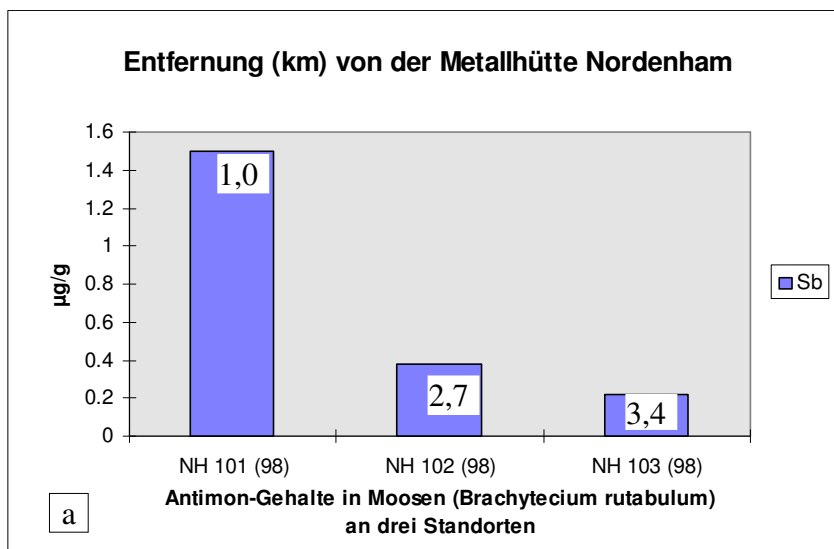


Abb. 8 a-b : Cadmium- (a) und Blei-Gehalte (b) (µg/g) in Moosproben (*Brachythecium rutabulum*) in unterschiedlichen Entfernungen (1,0; 2,7; 3,4 km) und Windrichtungen zur Metallhütte Nordenham. Die Probenentnahme erfolgte im August 1998.



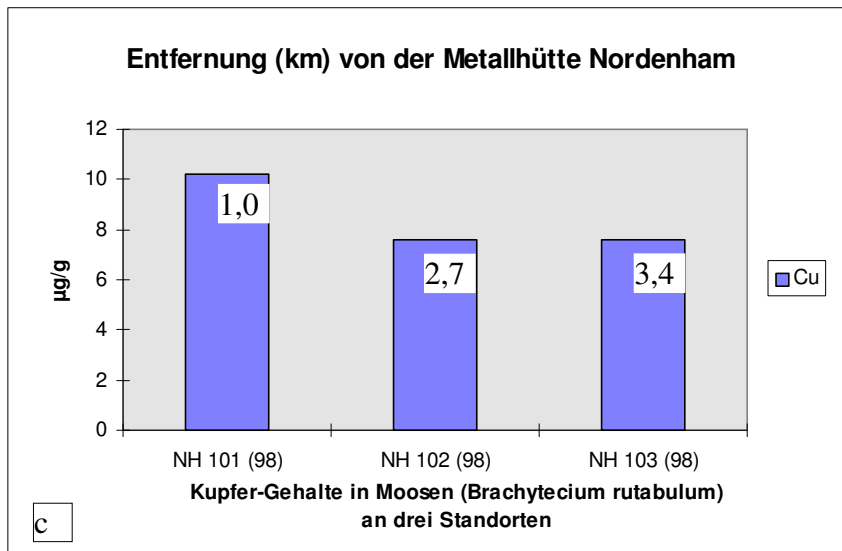
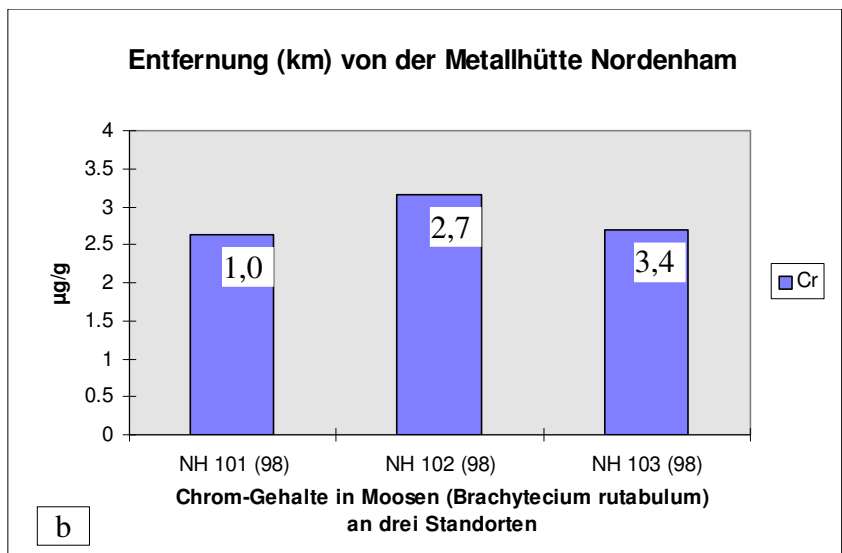
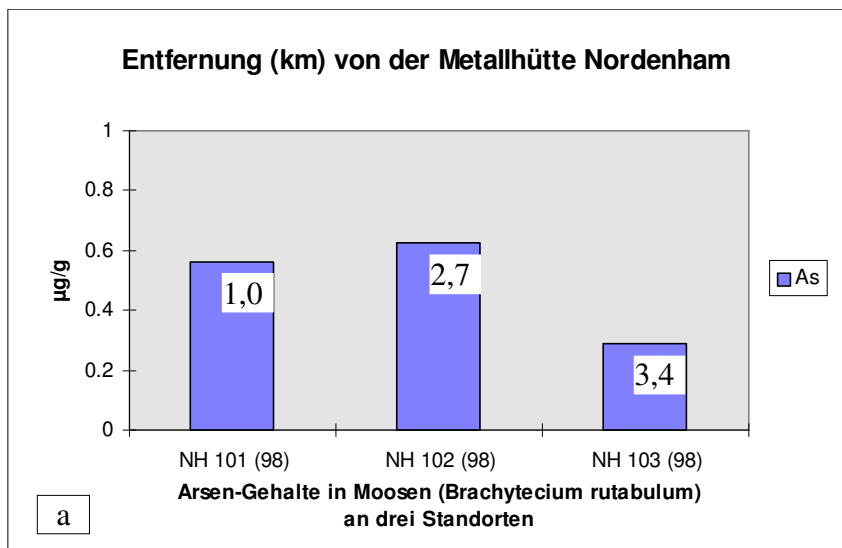


Abb. 9 a-c: Antimon- (a), Zink- (b) und Kupfer-Gehalte (c) (µg/g) in Moosproben (*Brachythecium rutabulum*) in unterschiedlichen Entfernungen (1,0; 2,7; 3,4 km) und Windrichtungen zur Metallhütte Nordenham. Die Probenentnahme erfolgte im August 1998.



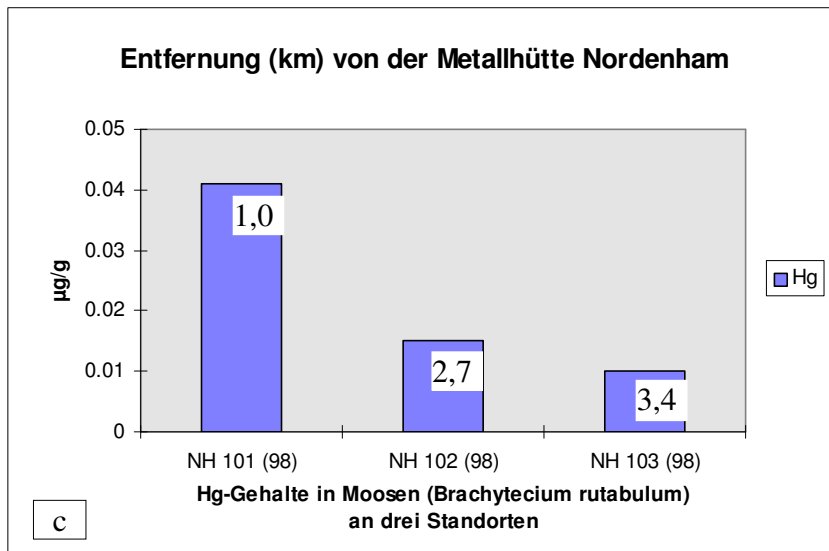
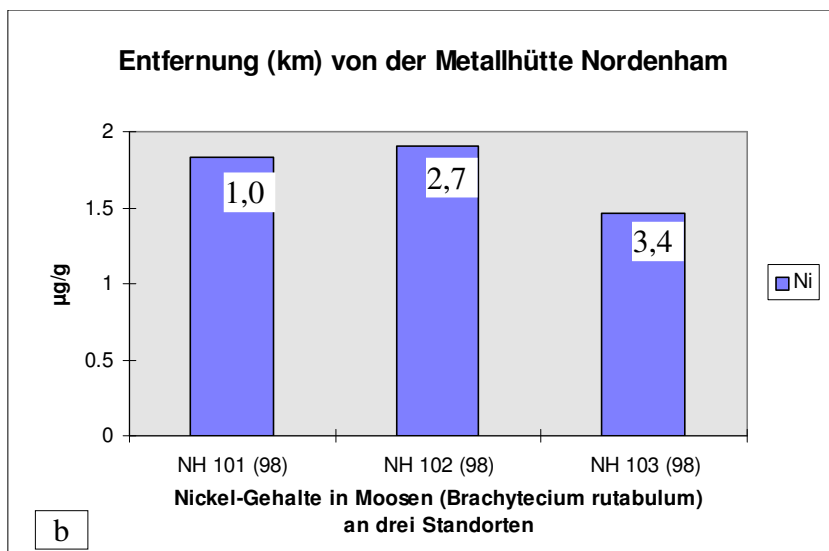
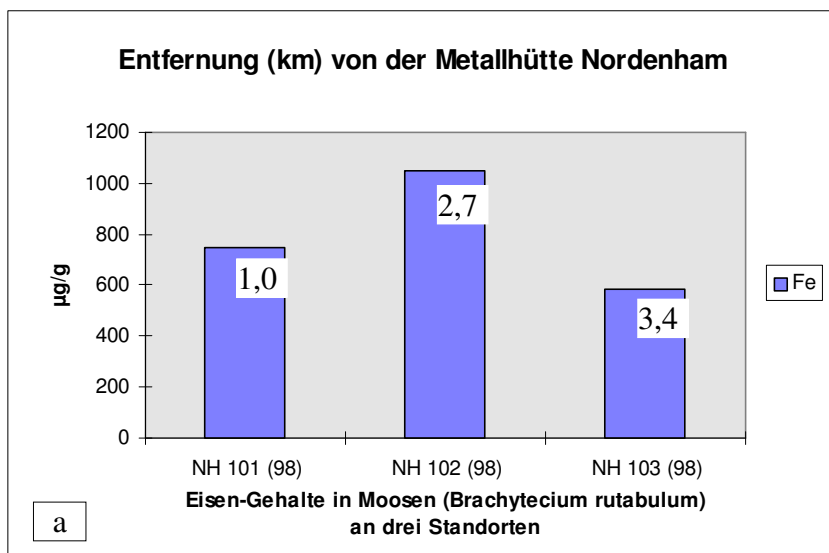


Abb. 10 a-c: Arsen- (a), Chrom- (b) und Quecksilber-Gehalte (c) (µg/g) in Moosproben (*Brachytecium rutabulum*) in unterschiedlichen Entfernungen (1,0; 2,7; 3,4 km) und Windrichtungen zur Metallhütte Nordenham. Die Probenentnahme erfolgte im August 1998.



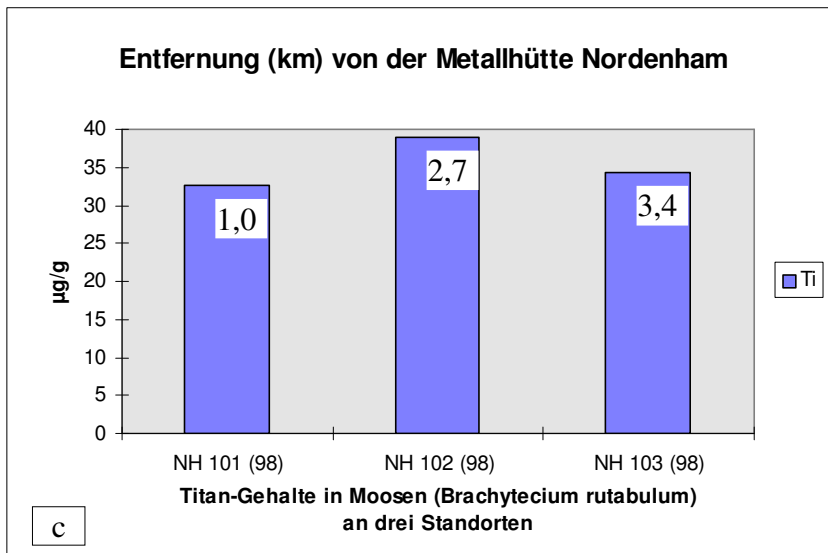


Abb. 11 a-c : Eisen- (a), Nickel- (b) und Titan-Gehalte (c) ( $\mu\text{g/g}$ ) in Moosproben (*Brachythecium rutabulum*) in unterschiedlichen Entfernungen (1,0; 2,7; 3,4 km) und Windrichtungen zur Metallhütte Nordenham. Die Probenentnahme erfolgte im August 1998.

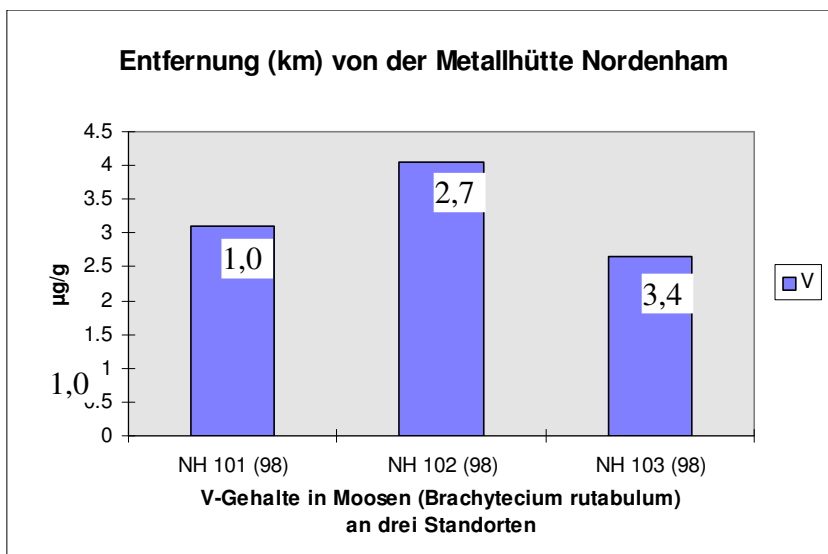


Abb. 12: Vanadium-Gehalte ( $\mu\text{g/g}$ ) in Moosproben (*Brachythecium rutabulum*) in unterschiedlichen Entfernungen (1,0; 2,7; 3,4 km) und Windrichtungen zur Metallhütte Nordenham. Die Probenentnahme erfolgte im August 1998.

### 3.2.2 Wiederholungsmessungen von vier Moosproben aus Hamburg

Für die meisten Elemente sind die im Jahr 1996 (HH alt) und 1998 (HH neu) gemessenen Gehalte von identischem Probenmaterial (gleiche Moosproben, je zwei Aufschlüsse) vergleichbar. Die Ausnahmen bilden die Elemente Arsen und Chrom, bei denen die Nachmessungen in 1998 deutlich höhere Werte

ergaben. Für Quecksilber wurden in 1998 niedrigere Gehalte ermittelt als bei den Messungen in 1996. Dies deutet auf bekannte Lagerungsverluste durch die hohe Mobilität von Quecksilber hin.

In Tab. 5 sind die Mediane der Element-Gehalte von 1996 und 1998 aufgezeigt. Zusätzlich erscheinen die Mediane aus 1991 (HERPIN et al. 1994). Der alte westliche Standort 1990/91 wurde im September 1995 um 7 km weiter östlich ans Stadtzentrum

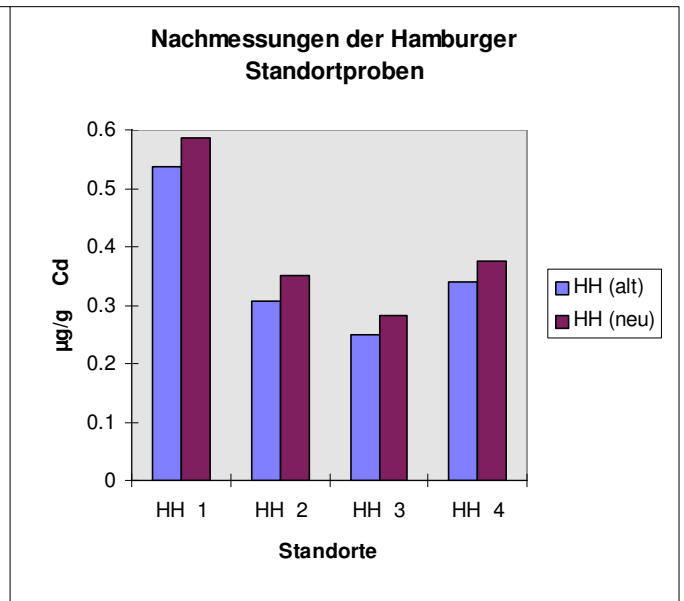
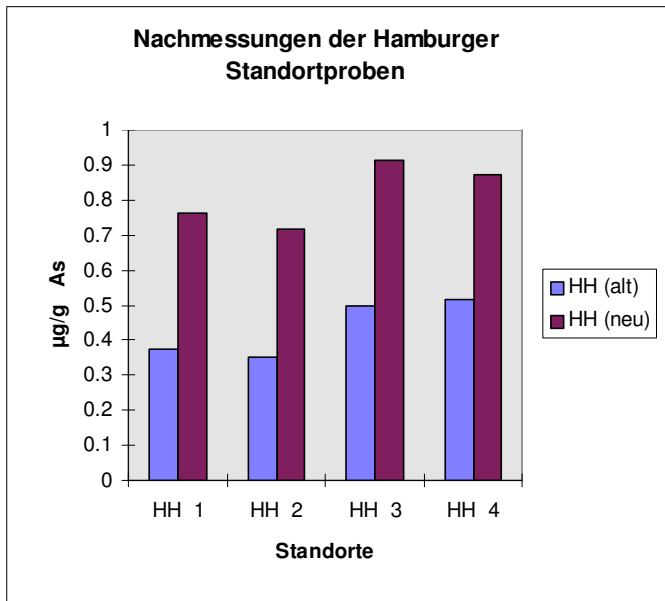
verlegt. Bis auf die oben genannten Elemente (schattiert) konnten die Werte der Mediane aus 1996 bei den Wiederholungsmessungen in 1998 weitestgehend bestätigt werden und belegen in Hamburg die durchschnittlichen Zunahmen der Elemente gegenüber 1991. In den Abbildungen 13-14 werden die Ergebnisse der Messungen in 1996 und 1998 für jeden Standort zusammengefasst dargestellt.

Tab. 5: Mediane der Element-Gehalte (µg/g) in denselben Moosproben der Hamburger Entnahmestandorte (n = 4) gemessen in 1996 und 1998 sowie die Elementmediane der Hamburger Proben aus dem Moos-Monitoring 1990/91.

in µg/g	Median 91	Median 96	Median 98
As	0.444	0.437	0.82
Cd	0.24	0.32	0.36
Cr	1.6	1.9	2.9
Cu	8.5	13.8	14.2
Fe	572	726	725
Hg	k. A.	0.051	0,025
Ni	2.9	2.45	2.44
Pb	12.7	14.2	14.5
Sb	k. A.	0.33	0.36
Ti	28.7	32.0	35.8
V	3.0	3.2	3.4
Zn	36.4	57.6	56.2

k. A. = keine Analyse

identisches  
Probenmaterial



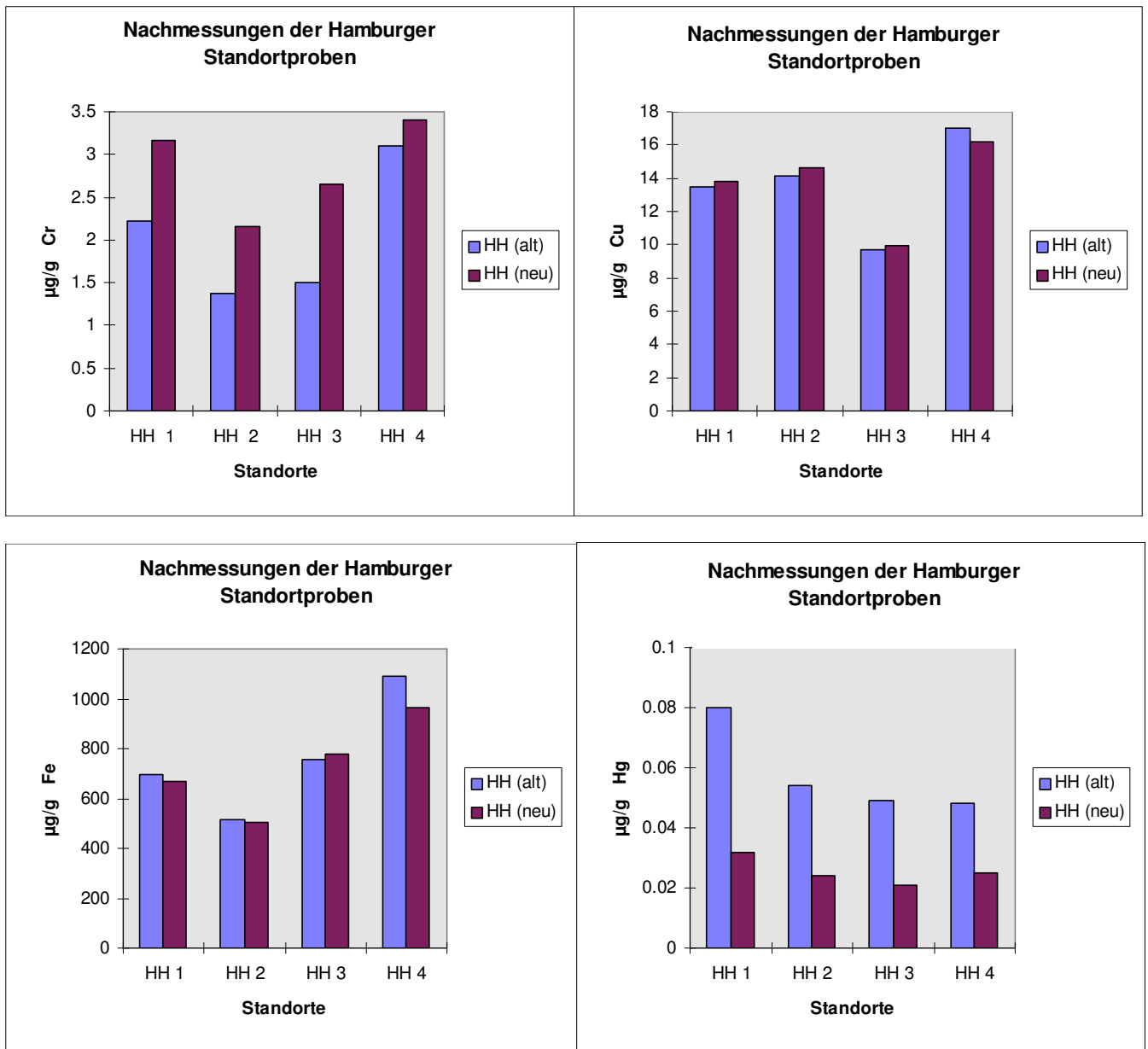
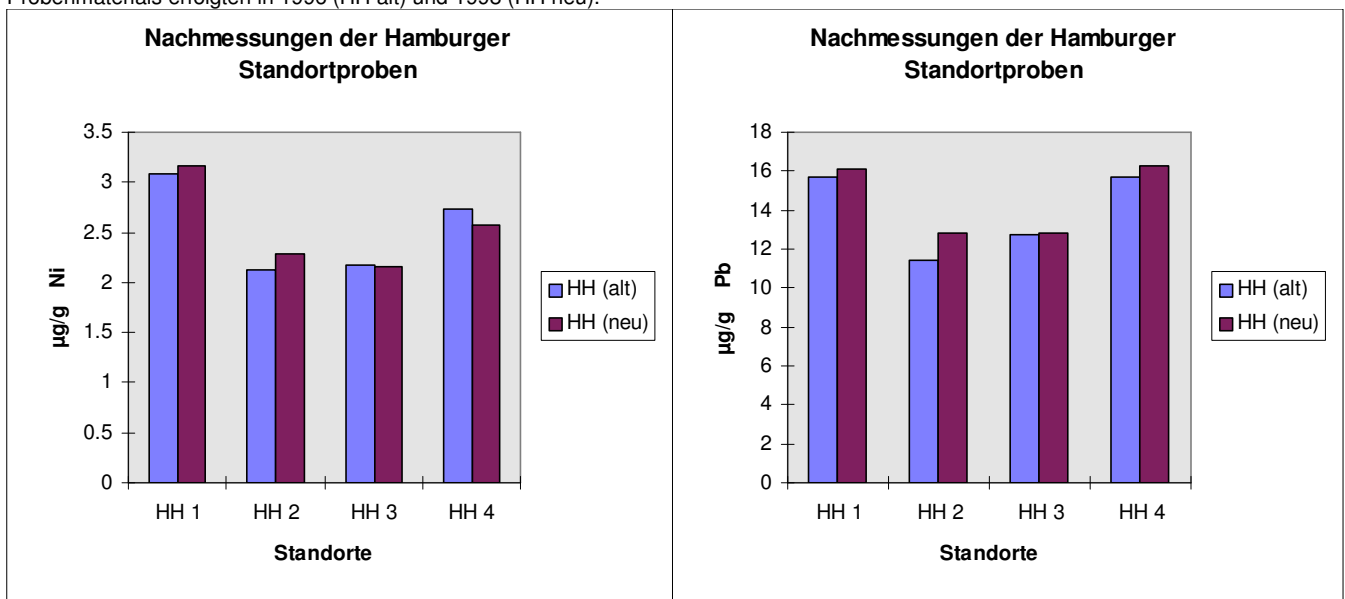


Abb. 13: Vergleichsmessungen an den Hamburger Standortproben für die Elemente Arsen (As), Cadmium (Cd), Chrom (Cr), Kupfer (Cu), Eisen (Fe) und Quecksilber (Hg) (µg/g). Die Aufschlüsse und Messungen desselben Probenmaterials erfolgten in 1996 (HH alt) und 1998 (HH neu).



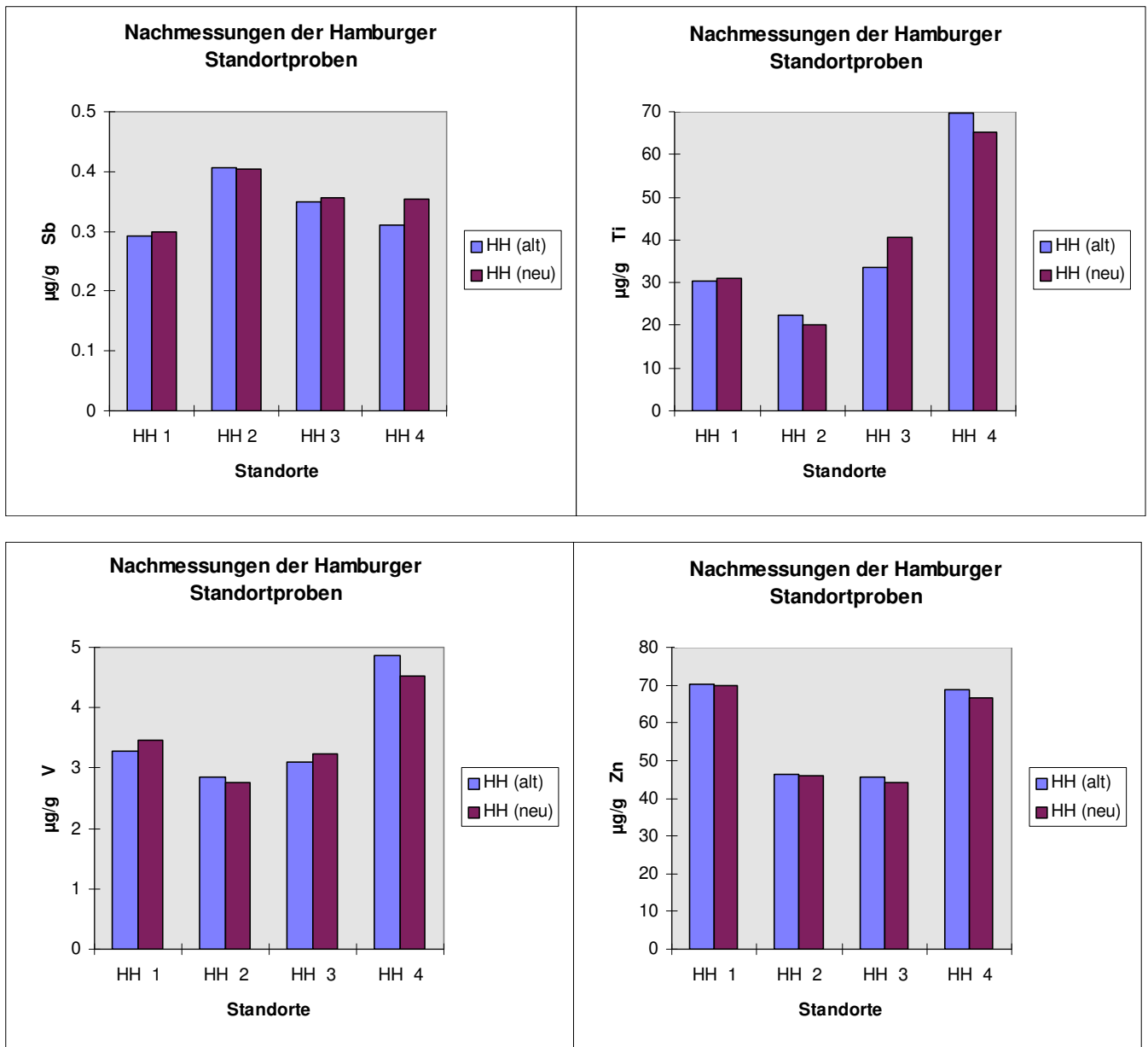


Abb. 14: Vergleichsmessungen an den Hamburger Standortproben für die Elemente Nickel (Ni), Blei (Pb), Antimon (Sb), Titan (Ti), Vanadium (V) und Zink (Zn) (µg/g). Die Aufschlüsse und Messungen desselben Probenmaterials erfolgten in 1996 (HH alt) und 1998 (HH neu).

### 3.2.3 Nachbeprobungen in Nordrhein - Westfalen

Diese Untersuchung zeigt in Abhängigkeit vom jeweiligen Standort und vom Probenentnahmejahr unterschiedliche Trends in den Element-Gehalten der Moosproben. Einerseits wurden 1995 an vielen Standorten höhere Gehalte ermittelt, andererseits konnten auch in den Proben vom November 1997 höhere Werte gemessen werden. Wie aus Tab. 6 ersichtlich ist, zeigen in 1997 neben den Standorten NW 31, NW 54 und NW 83 insbesondere der Standort NW 27 deutlich diesen Trend bei den meisten untersuchten Elementen.

Für die Elemente Quecksilber, Kupfer, Blei und Cadmium wurden weitestgehend an allen Standorten Abnahmen im Zeitraum von 1995 nach 1997 ermittelt. Das Element Antimon zeigt in diesem Zeitraum an den meisten Standorten Zunahmen.

Hinsichtlich der geforderten Plausibilitäts-Überprüfung besonders hoher Element-Gehalte in den Moosen im Jahr 1995 konnten diese grundsätzlich in 1997 wieder als Standorte mit den vergleichsweise höchsten Gehalten bestätigt werden (z. B. NW 5 für Arsen und Cadmium, NW 27 für Chrom und Nickel oder NW 31 für Arsen, Eisen, Blei und Titan). Zudem zeigt der Standort NW 27 mit den höchsten Chrom- und Nickel-

Gehalten in 1995 sogar 1997 noch deutliche Zunahmen in den Chrom- und Nickel-Gehalten.

In Tab. 7 sind die Mediane der Element-Gehalte der neun Standorte aus 1995 und 1997 dargestellt. Im Durchschnitt (Median) konnten bis auf Arsen für alle anderen Elemente Abnahmen in den Medianen festgestellt werden. Die deutlichste Abnahme zeigt das Element Quecksilber.

Generell kann anhand dieser standortspezifischen Überprüfung davon ausgegangen werden, dass es auch auf Landesebene im Durchschnitt (Mediane) zu einer weiteren Abnahme der Element-Gehalte von 1995 nach 1997 gekommen ist.

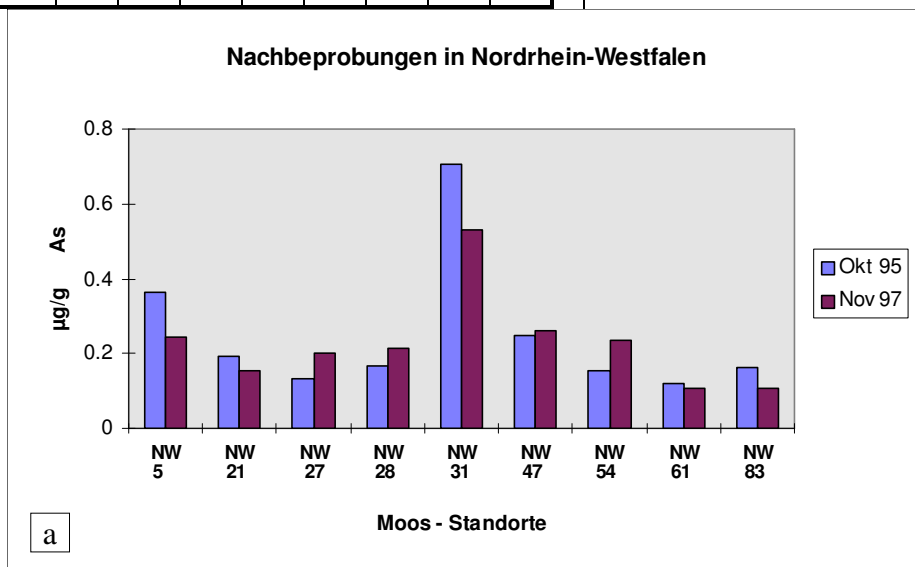
Tab. 6: Zunahmen (+), Abnahmen (-) oder Konstanz (o) der Element-Gehalte in Moosen von 1995 nach 1997 an neun ausgewählten Standorten in Nordrhein - Westfalen.

95/97	N 5	N 21	N 27	N 28	N 31	N 47	N 54	N 61	N 83
As	-	-	+	+	-	o	+	-	-
Cd	-	+	-	o	-	-	-	-	-
Cr	-	-	+	-	o	+	o	-	+
Cu	-	o	-	-	+	-	-	-	-
Fe	-	-	+	-	-	-	+	-	-
Hg	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ni	o	-	+	+	+	-	o	-	+
Pb	-	-	o	-	-	-	-	-	o

Sb	-	-	+	-	+	+	+	-	+
Ti	-	-	+	-	-	o	+	-	+
V	-	o	+	-	-	o	+	-	o
Zn	-	o	-	+	+	-	-	-	-

Tab. 7: Mediane der Element-Gehalte in Moosproben von neun Standorten in Nordrhein - Westfalen vom Oktober 1995 und November 1997 und die Zu- oder Abnahmen in %.

	Median (n=9) Okt. 1995	Median (n=9) Nov 1997	%
As	0.17	0.21	+ 24
Cd	0.62	0.54	- 13
Cr	3.8	2.6	- 32
Cu	13.6	10.3	- 24
Fe	573	506	- 12
Hg	0.07	0.03	- 57
Ni	3.0	2.7	- 10
Pb	14.1	11.2	- 21
Sb	0.35	0.33	-5.8
Ti	20.1	18.5	- 8.0
V	2.2	2.1	- 4.6
Zn	93.8	80.0	- 15





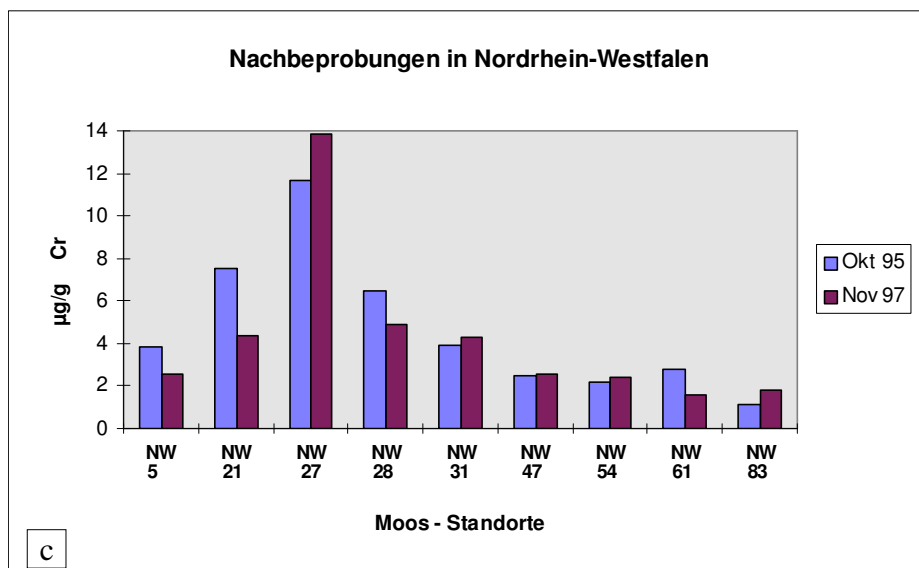
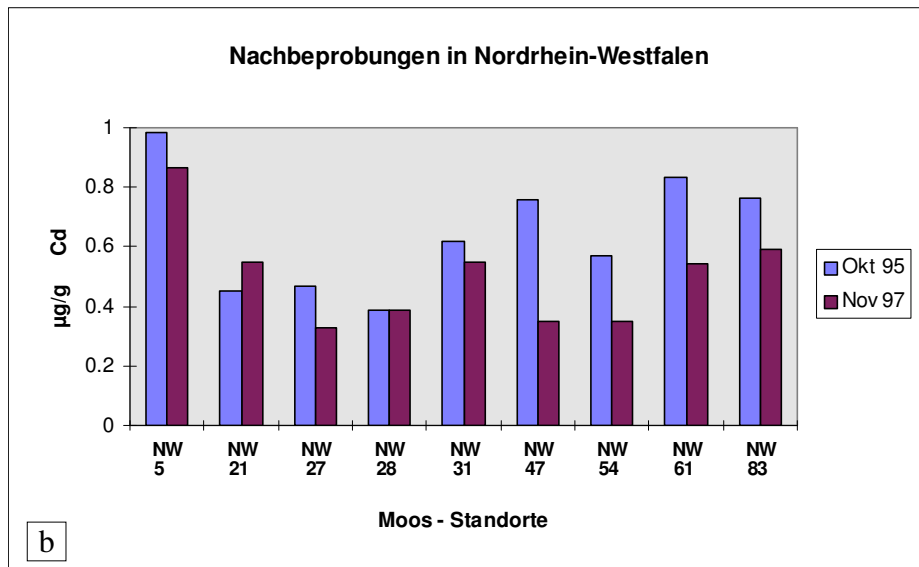
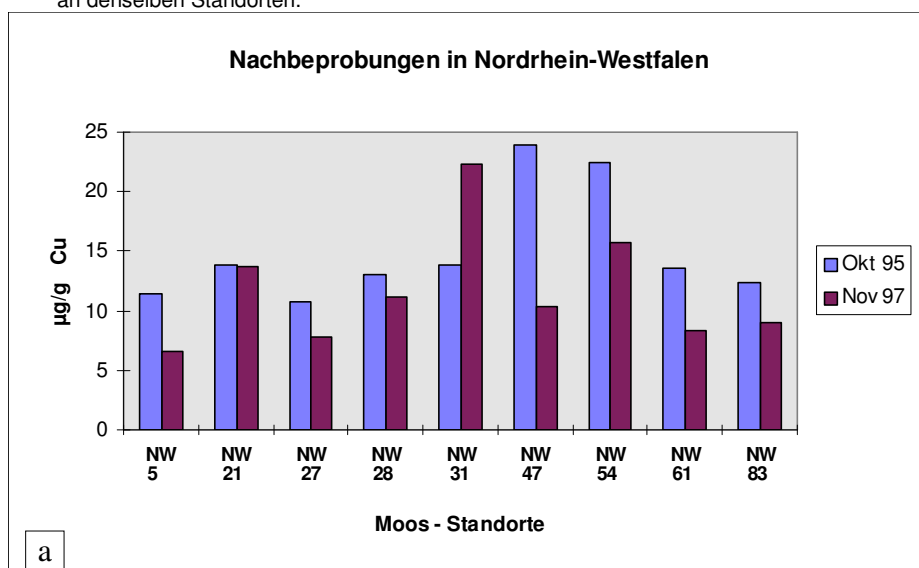


Abb. 15 a-c: Arsen- (a), Cadmium- (b) und Chrom-Gehalte (c) (µg/g) in Moosproben an ausgewählten Standorten in Nordrhein-Westfalen. Die Probenentnahme erfolgte im Oktober 1995 und im November 1997 an denselben Standorten.



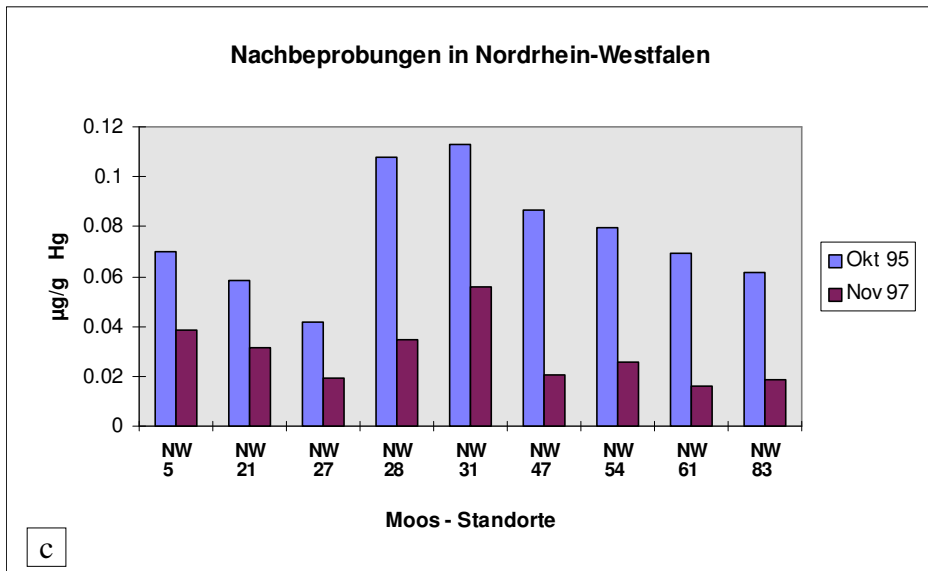
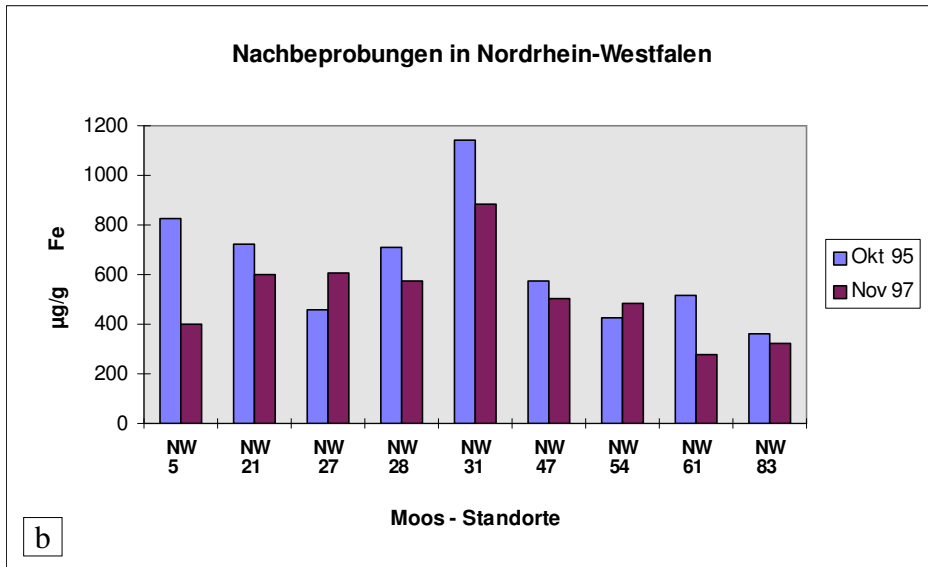
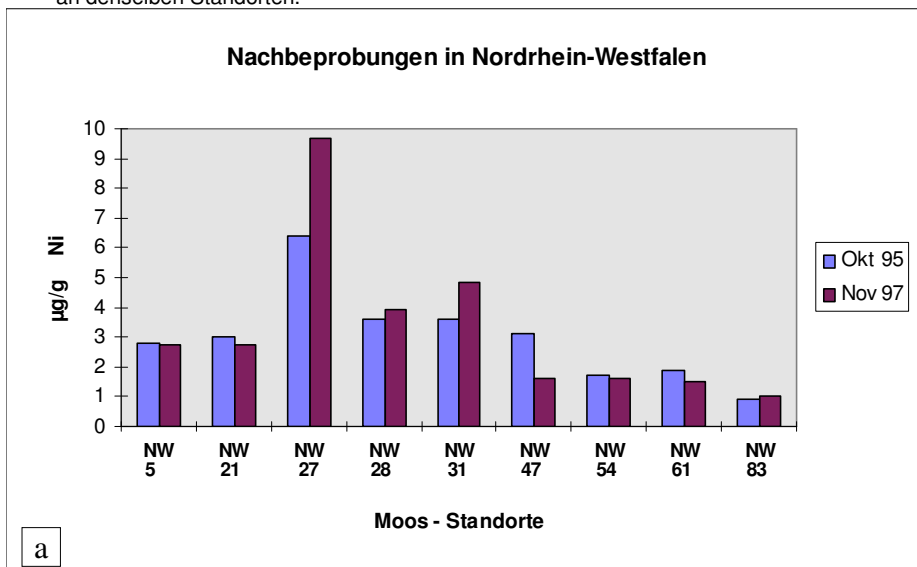


Abb.16 a-c: Kupfer- (a), Eisen- (b) und Quecksilber-Gehalte (c) (µg/g) in Moosproben an ausgewählten Standorten in Nordrhein-Westfalen. Die Probenentnahme erfolgte im Oktober 1995 und im November 1997 an denselben Standorten.



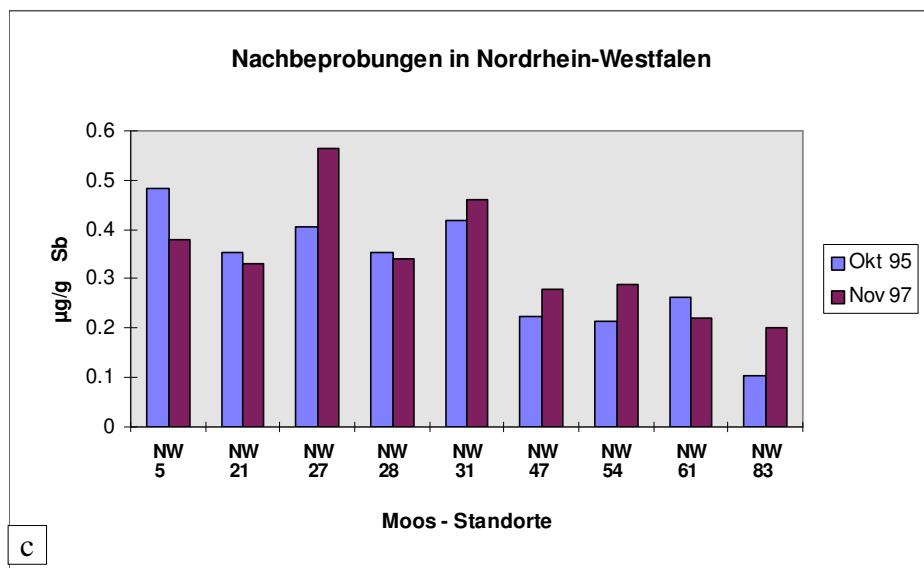
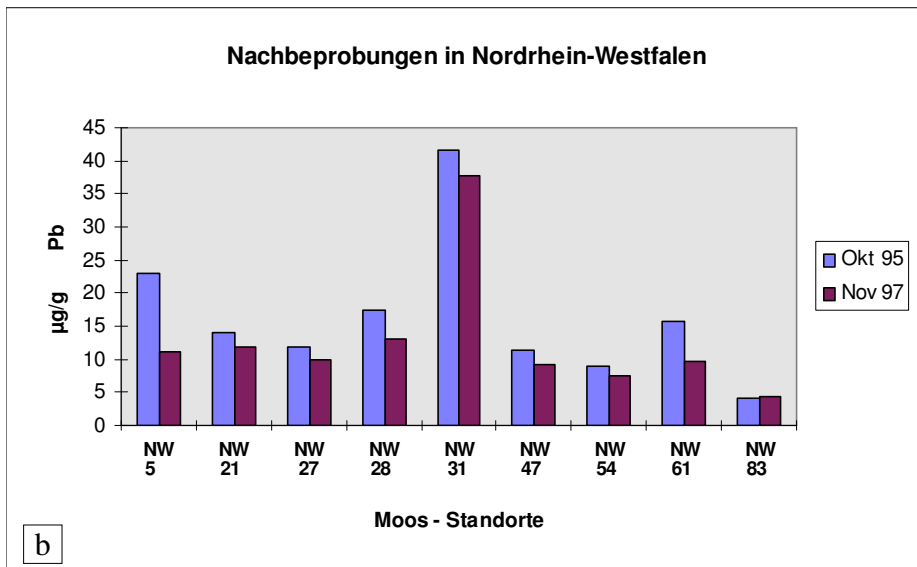
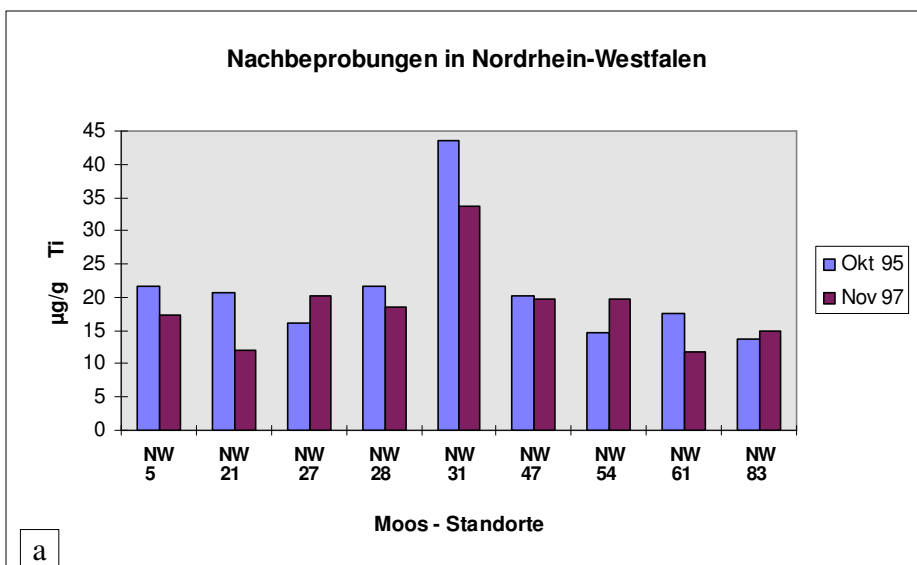


Abb. 17 a-c: Nickel- (a), Blei- (b) und Antimon-Gehalte (c) (µg/g) in Moosproben an ausgewählten Standorten in Nordrhein-Westfalen. Die Probenentnahme erfolgte im Oktober 1995 und im November 1997 an denselben Standorten.



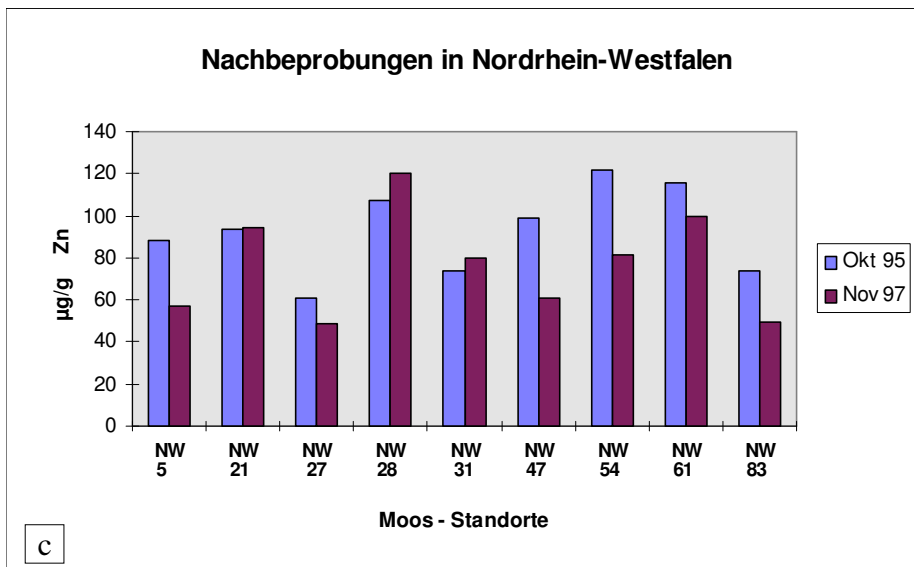
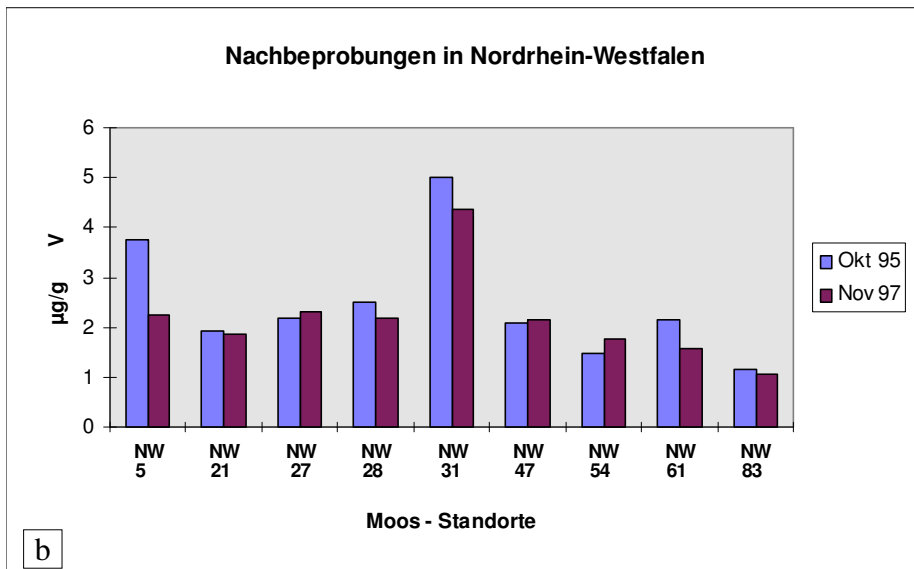


Abb. 18 a-c: Titan- (a), Vanadium- (a) und Zink-Gehalte (b) ( $\mu\text{g/g}$ ) in Moosproben an ausgewählten Standorten in Nordrhein-Westfalen. Die Probenentnahme erfolgte im Oktober 1995 und im November 1997 an denselben Standorten.

### 3.3 Vergleichende Untersuchungen zur Immission in Deutschland

#### 3.3.1 Gegenüberstellung von Schwermetall-Gehalten im nassen Niederschlag (wet-only) und in Moosen

Zur Darstellung zeitlicher Trends von Elementeninträgen wurden die Cadmium-, Kupfer-, Blei- und Zink-Gehalte im nassen Niederschlag aus den Jahren 1994 und 1995 (mittlere Jahresdepositionen in  $\text{g/ha} \cdot \text{a}$  von allen vorliegenden Messstationen des UBA - Luftmessnetzes) und die Element-Gehalte in Moosen aus den Jahren 1990 und 1995 (Mediane in  $\mu\text{g/g}$  von allen

Entnahmestandorten) verglichen. Weil keine Schwermetall - Gehalte im nassen Niederschlag früherer Jahre zur Verfügung stehen, konnten für diesen Vergleich nur die Ergebnisse aus den Jahren 1994 und 1995 berücksichtigt werden.

Für die Elemente Kupfer, Blei und Zink wurden in beiden Medien gleich verlaufende Trends zwischen den jeweiligen Untersuchungsjahren festgestellt. So zeigen Kupfer und Zink im Mittel Zunahmen sowie Blei eine Abnahme zwischen den gegenübergestellten Jahren. Gegenüber einer leichten Abnahme der mittleren Jahresdeposition für Cadmium im nassen Niederschlag von 1994 auf 1995

wurde in den Moosen in beiden Messjahren 1990 und 1995 derselbe Medianwert für Cadmium ermittelt.

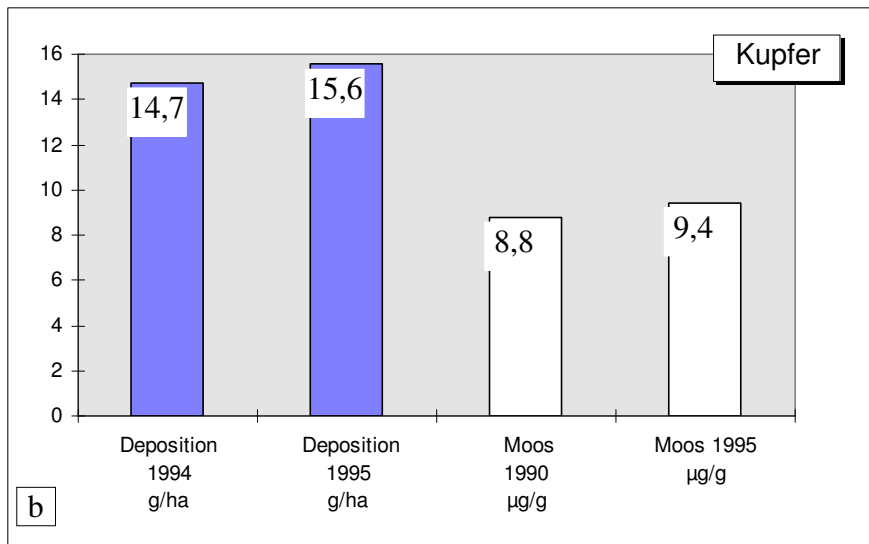
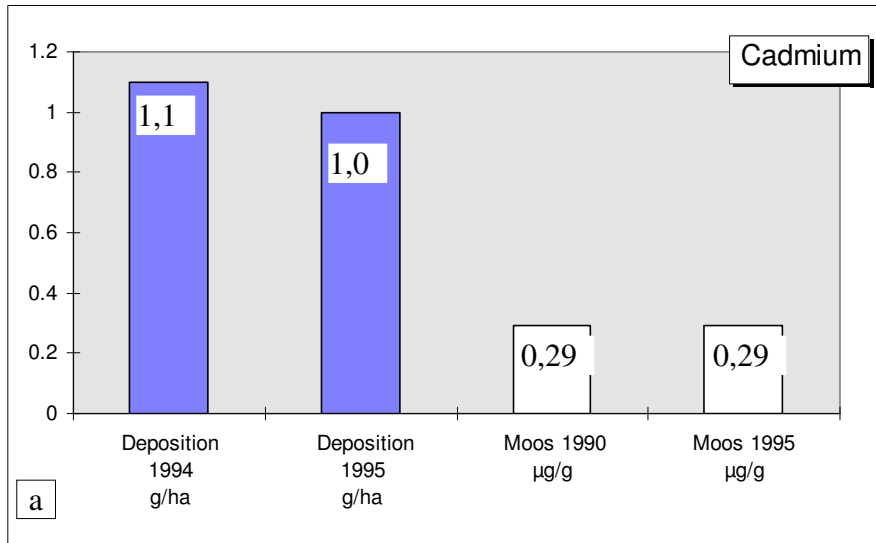
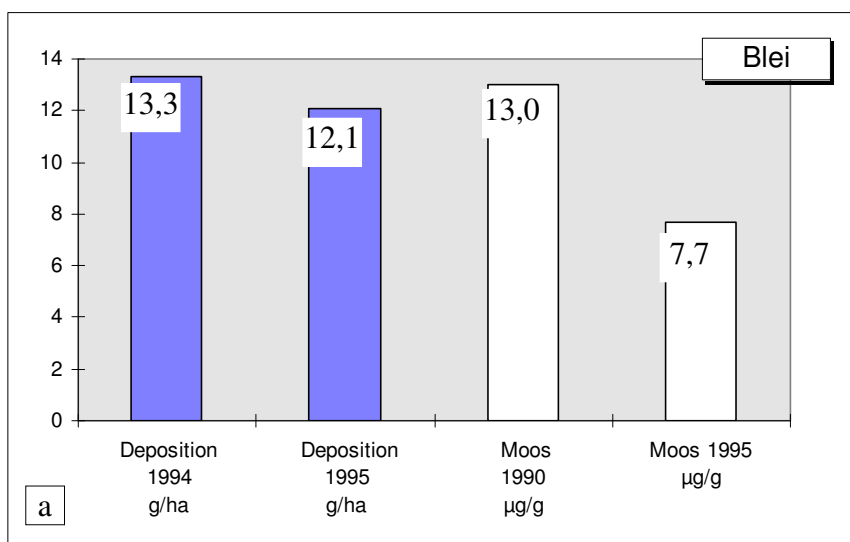


Abb.19 a,b: Cadmium- (a) und Kupfer-Gehalte (b) im nassen Niederschlag (mittlere Jahresdepositionen in g/ha\*a) aus den Jahren 1994 (25 Standorte) und 1995 (31 Standorte) und in Moosen (Mediane in µg/g) aus den Jahren 1990 (Cd= 470 und Cu =582 Standorte) und 1995 (1026 Standorte).

1990



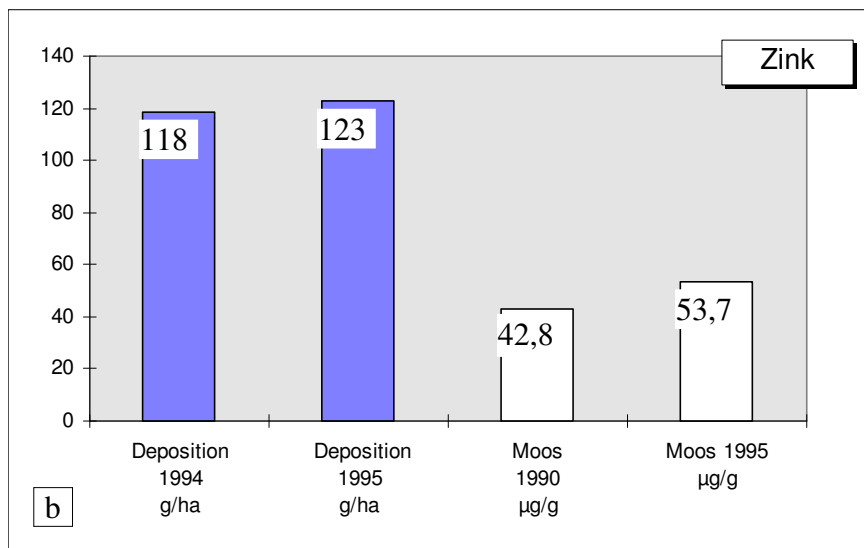


Abb.20 a,b: Blei- (a) und Zink-Gehalte (b) im nassen Niederschlag (mittlere Jahresdepositionen in g/ha\*a) aus den Jahren 1994 (25 Standorte) und 1995 (31 Standorte) und in Moosen (Mediane in µg/g) aus den Jahren 1990 (579 Standorte) und 1995 (1026 Standorte).

Es gibt zahlreiche Untersuchungen zu Schwermetall-Gehalten in Niederschlägen, aber meist für die nasse und trockene Deposition (z.B. Bergerhoff, Bulk), so bei SIEWERS & ROOSATI (1990), HEINRICHS et al. (1994).

Mit Verknüpfung von Deposition (Bergerhoff, Bulk) und dem Moos-Monitoring in der Schweiz beschäftigen sich Arbeiten von THÖNI (1998) und THÖNI et al. (1999).

### 3.3.2 Korrelationen (nach Spearman) zwischen Schwermetall-Gehalten im nassen Niederschlag (wet only) und in Moosen

Neben der in Kap. 3.3.1 durchgeführten allgemeinen Betrachtung von zeitlichen Trends werden zur speziellen Untersuchung möglicher Zusammenhänge die an den Stationen des Depositionsmessprogramms (wet-only) des Umweltbundesamtes ermittelten Cadmium-, Kupfer-, Blei- und Zink-Gehalte im nassen Niederschlag den Gehalten in Moosen gegenübergestellt. Die

Probenentnahmen der Moose erfolgten im Nahbereich dieser Stationen. Die Element-Gehalte im Niederschlag (g/ha\*a) wurden als Summe der Jahresdepositionen aus 1994 und 1995 sowie als Jahresdeposition nur aus 1995 an den jeweiligen Messstationen den entsprechenden Moos-Gehalten (µg/g) aus 1995/96 gegenübergestellt. Die unterschiedlichen Stichprobenanzahlen in den Korrelationsanalysen sind auf fehlende Ergebnisse an einigen Messstationen im Jahr 1994 zurückzuführen. Die Stationen wurden bei der Summenbildung der

Jahresdepositionen aus 1994 und 1995 nicht berücksichtigt. Der Vergleich erfolgte mit Hilfe der Rankkorrelationsmethode nach Spearman. Generell zeigen sich bei den Elementen Cadmium und Blei signifikante Zusammenhänge, obwohl die

Werte vor allem in den höheren Bereichen stark schwanken. Für Kupfer und Zink wurden keine signifikanten Zusammenhänge zwischen den Element-Gehalten im nassen Niederschlag und in den Moosen festgestellt.

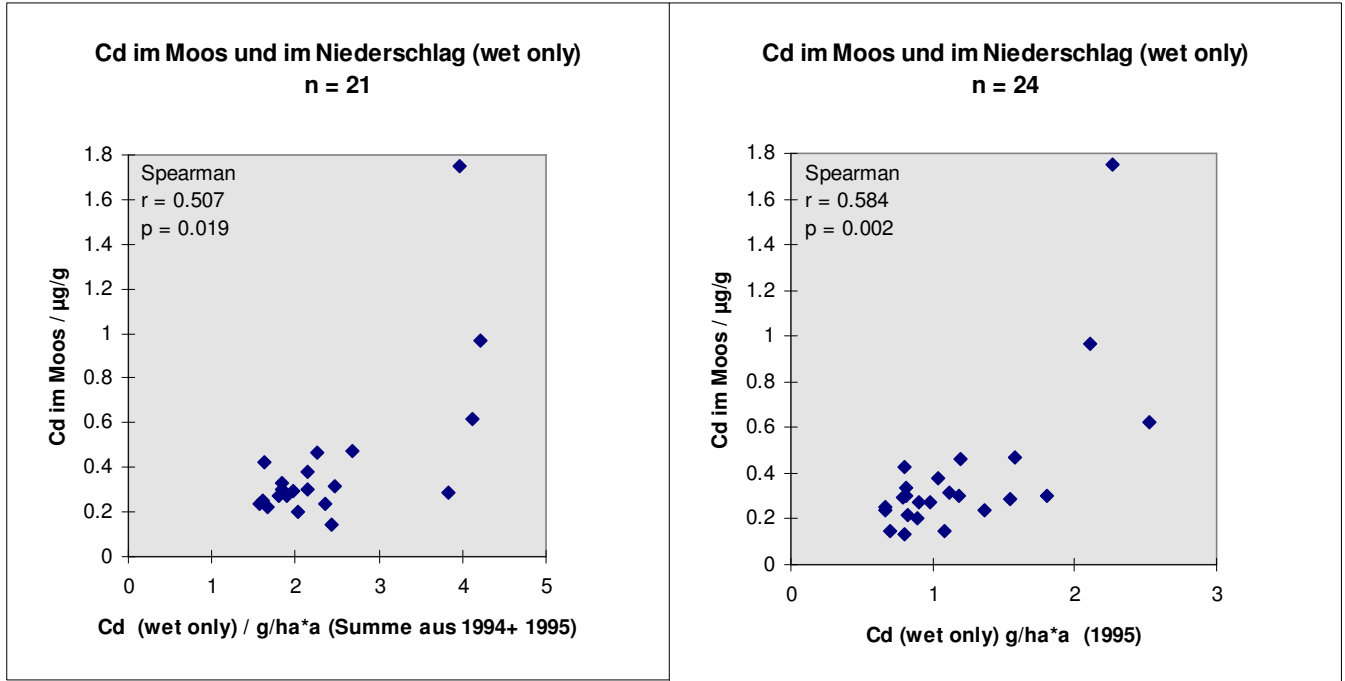


Abb. 21: Rangkorrelationen nach **Spearman** zwischen den Cadmium-Gehalten im nassen Niederschlag (wet only) (g/ha\*a) und in Moosproben (µg/g) an den Standorten des UBA-Luftmessnetzes. Die Gehalte im nassen Niederschlag sind als Summe der Jahresdepositionen aus 1994 und 1995 (a) und als Jahresdeposition aus 1995 (b) aufgetragen.

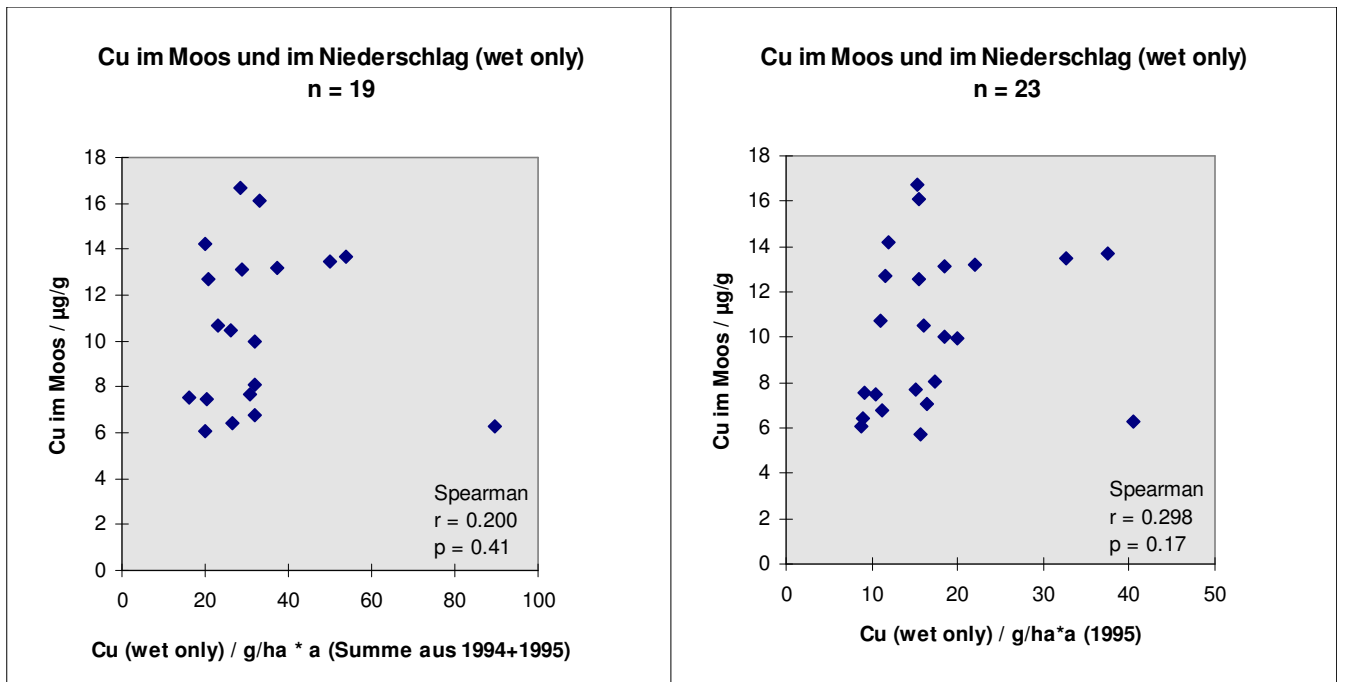


Abb. 22: Rangkorrelationen nach **Spearman** zwischen den Kupfer-Gehalten im nassen Niederschlag (wet only) (g/ha\*a) und in Moosproben (µg/g) an den Standorten des UBA-Luftmessnetzes. Die Gehalte im nassen Niederschlag sind als Summe der Jahresdepositionen aus 1994 und 1995 (a) und als Jahresdeposition aus 1995 (b) aufgetragen.

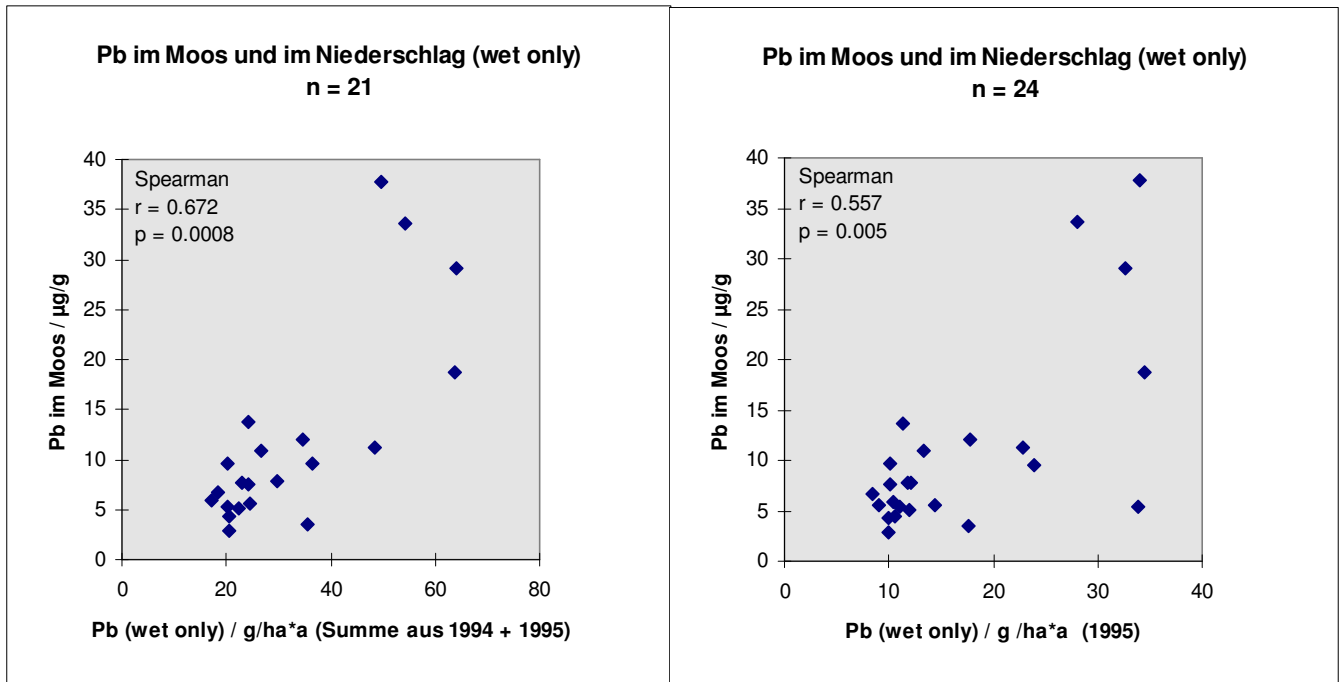


Abb. 23: Rangkorrelationen nach **Spearman** zwischen den Blei-Gehalten im nassen Niederschlag (wet only) (g/ha\*a) und in Moosproben (µg/g) an den Standorten des UBA-Luftmessnetzes. Die Gehalte im nassen Niederschlag sind als Jahresdepositionen aus 1994 und 1995 (a) und als Jahresdeposition aus 1995 (b) aufgetragen.

Summe der

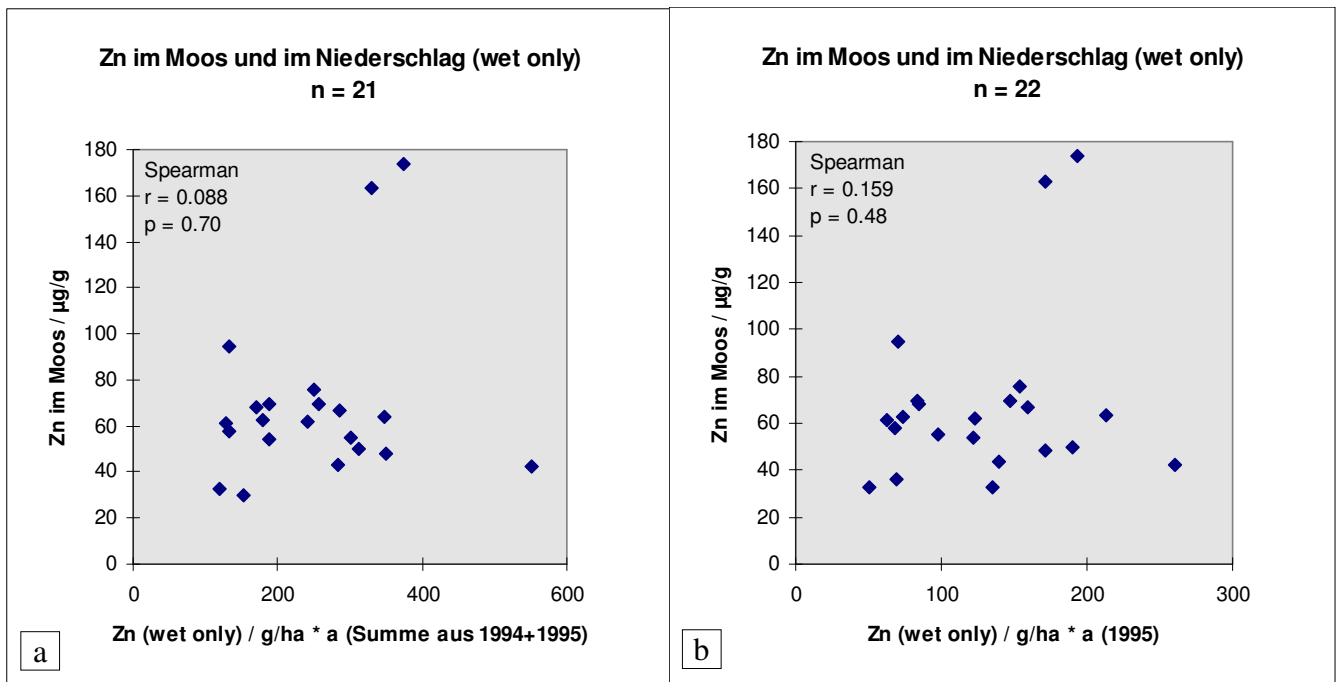


Abb. 24: Rangkorrelationen nach **Spearman** zwischen den Zink-Gehalten im nassen Niederschlag (wet only) (g/ha\*a) und in Moosproben von 1995 (µg/g) an den Standorten des UBA-Luftmessnetzes. Die Gehalte im nassen Niederschlag sind als Summe der Jahresdepositionen aus 1994 und 1995 (a) und als Jahresdeposition aus 1995 (b) aufgetragen.

### 3.3.3 Gegenüberstellung von Schwermetall-Gehalten im Schwebstaub und in Moosen

In der vorliegenden Untersuchung wurden die Schwermetall-Gehalte (Cadmium, Kupfer und Blei) im Schwebstaub (ng/m<sup>3</sup>) von UBA-Messstandorten den Schwermetall-Gehalten (µg/g) der hier entnommenen Moosproben gegenübergestellt. Die Gehalte im



Schwebstaub geben die Summe der monatlich gemessenen Schwermetall-Gehalte der vorausgegangenen 12 Monate vor der Moosprobenentnahme wieder. Grundsätzlich konnten für die

untersuchten Elemente keine eindeutigen Zusammenhänge zwischen den Gehalten im Moos und im Schwebstaub festgestellt werden. In vielen

Fällen zeigen sich an Standorten mit hohen Schwermetall-Gehalten im Schwebstaub vergleichsweise geringe Gehalte im Moos. Insbesondere an der Messstation in Neuglobsow (z. B. Cd, Pb) wird dies deutlich. Andererseits konnten Standorte mit hohen Gehalten im Moos mit verhältnismäßig geringen Gehalten im Schwebstaub ermittelt werden. Derartige Beziehungen zeigen sich an der Station Schauinsland für die Elemente Cadmium und Blei.

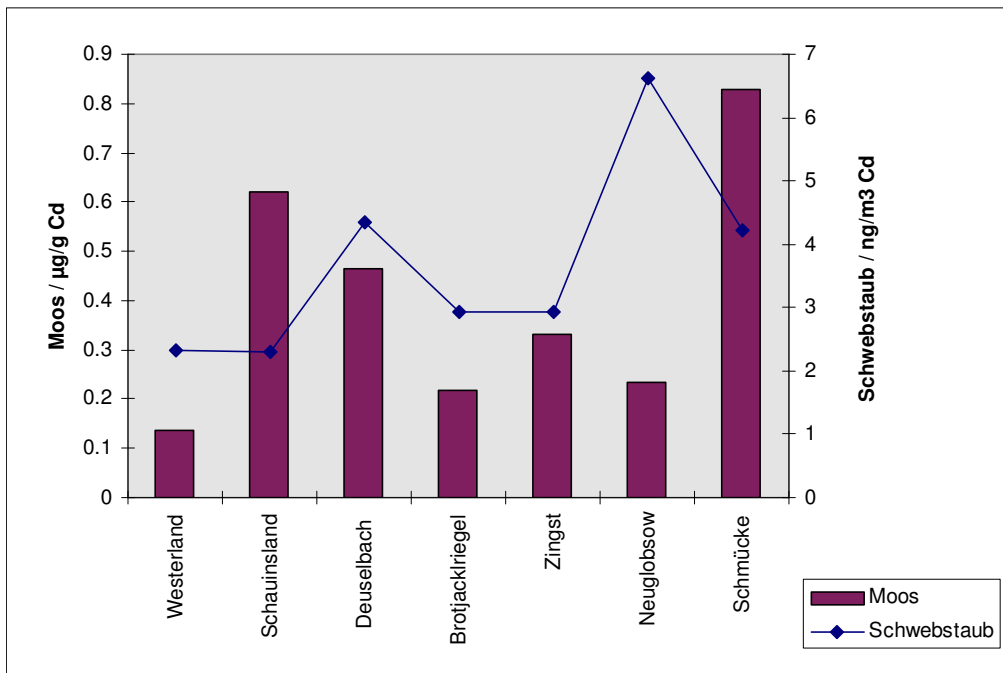


Abb. 25: Cadmium-Gehalte im Schwebstaub (ng/m<sup>3</sup>) und in Moosproben (µg/g) an ausgewählten Stationen des UBA-Luftmessnetzes. Die Moosprobenentnahmen erfolgten im Nahbereich der Stationen.

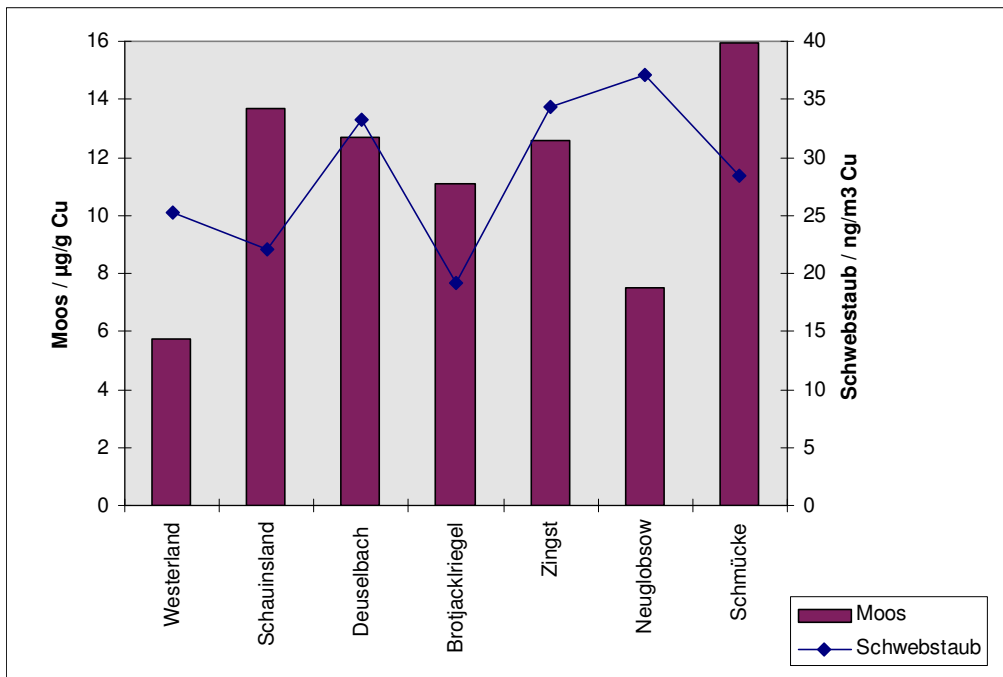


Abb. 26: Kupfer-Gehalte im Schwebstaub (ng/m<sup>3</sup>) und in Moosproben (µg/g) an ausgewählten Stationen des UBA-Luftmessnetzes. Die Moosprobenentnahmen erfolgten im Nahbereich der Stationen.

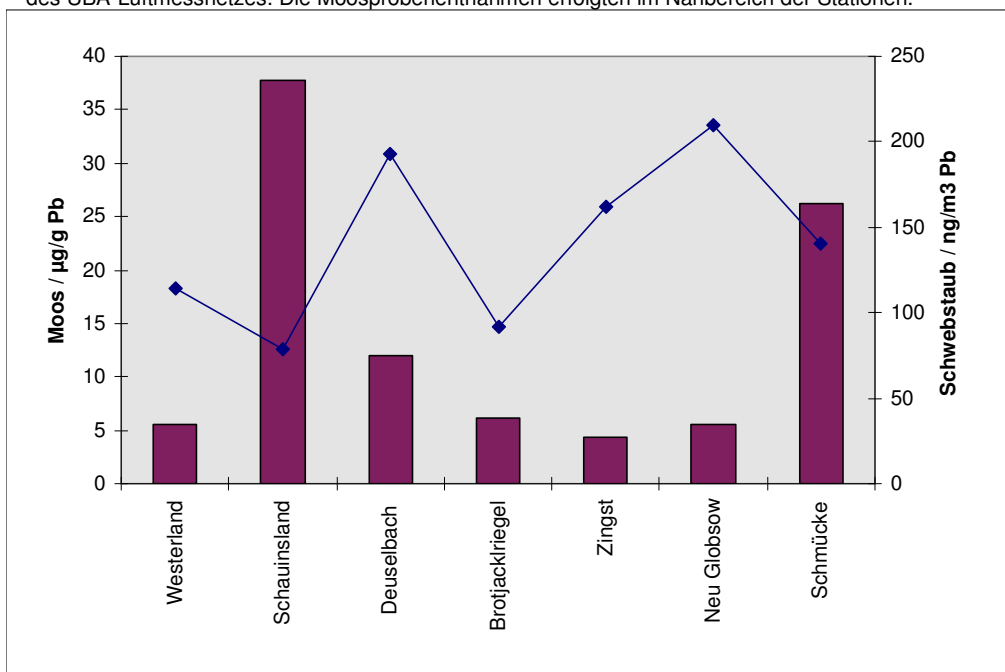


Abb. 27: Blei-Gehalte im Schwebstaub (ng/m<sup>3</sup>) und in Moosproben (µg/g) an ausgewählten Stationen des UBA-Luftmessnetzes. Die Moosprobenentnahmen erfolgten im Nahbereich der Stationen.

### 3.4 Gegenüberstellung von Schwermetall - Gehalten in Moosproben und in Humusproben

Parallel zu den Moosprobenentnahmen in Nordrhein-Westfalen wurden an denselben Standorten Humusproben entnommen. Die Humusproben (s. Kap. 2.5) wurden in die Auflagehorizonte OI - Of und Oh unterteilt und die darin ermittelten Element-Gehalte

den jeweils entsprechenden Element-Gehalten in den Moosproben gegenübergestellt.

Beim Vergleich der beiden Horizonte miteinander weist der Oh - Horizont bei den meisten Elementen die höchsten Gehalte auf. Nur die Elemente Cadmium, Zink und Antimon zeigen grundsätzlich höhere Gehalte im OI - Of Horizont. In Tab. 8 wird

dies durch die mittleren Verhältniszahlen aus den gegenübergestellten Schwermetall-Gehalten der beiden Horizonte von allen Standorten dargestellt. Hier sind die höheren Schwermetall-Gehalte im Ol - Of Horizont mit Verhältniszahlen  $> 1$  erkennbar.

Grundsätzlich zeigen sich für alle Elemente in den beiden Auflagehorizonten bedeutend höhere Element-Gehalte als in den Moosproben.

Weiterhin sind in dieser Tabelle die mittleren Verhältniszahlen aus den Schwermetall-Gehalten in Moosen und den beiden Bodenhorizonten (Moos / Ol-Of / und Moos / Oh) aufgeführt. Für das Element Cadmium weist beispielsweise der Ol - Of Horizont durchschnittlich etwa doppelt so hohe Werte wie das Moos auf. Demgegenüber zeigt der Oh - Horizont im Mittel nur noch etwa ein Drittel höhere Gehalte als im Moos. Bei anderen Elementen wie Eisen und Titan sind deutlich höhere Gehalte im Oh - Horizont im Vergleich zu den Moosen zu erkennen.

Bis auf einige wenige Standorte ist generell kein klarer Zusammenhang zwischen den beiden Bodenhorizonten und den Moosen zu erkennen, d. h. es lässt sich keine direkte Beeinflussung der Moose durch die beiden Auflagehorizonte ableiten.

Um Besonderheiten an den Einzelstandorten darzustellen, wurden in die Grafiken solche Standorte extra ausgezeichnet, an denen entweder die höchsten Element-Gehalte in den Auflagehorizonten

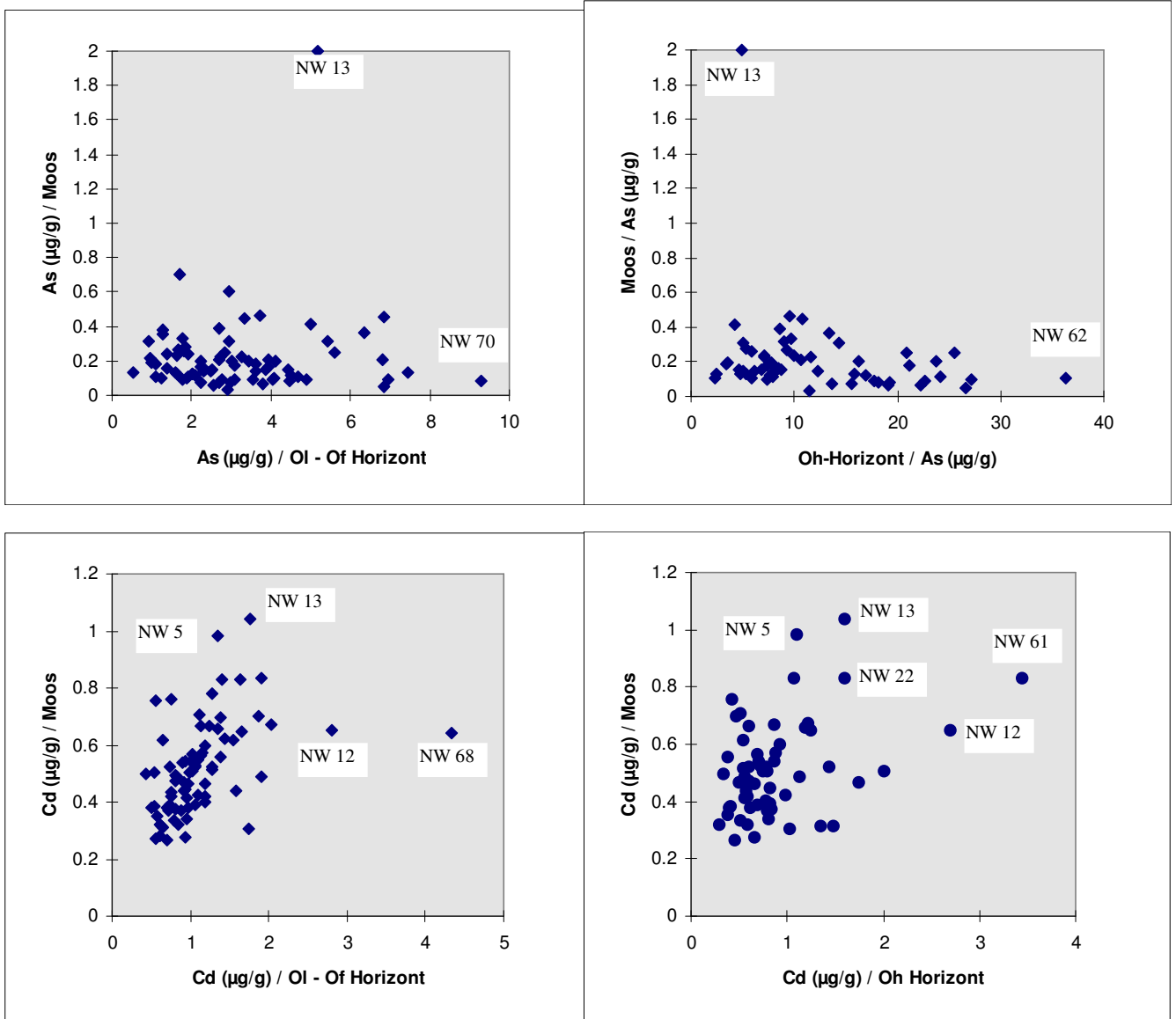
oder in den Moosen sowie in beiden Matrices gleichzeitig gemessen wurden. An diesen letztgenannten Standorten könnten möglicherweise Einflüsse durch eingetragene Bodenpartikel die Elementgehalte in den Moosen nachhaltig bestimmt haben.

An Standorten mit hohen Gehalten in jeweils einem der untersuchten Probenmedien ist eine Bodenbeeinflussung grundsätzlich zu negieren. Beispielsweise ist bei Arsen kein Einfluss von Bodenpartikeln an den Standorten NW 70 (Ol-Of) und NW 62 (Oh) zu erkennen, da hier die höchsten Arsen-Gehalte in den Auflagehorizonten (Abb. 28) gegenüber sehr geringen Arsen-Gehalte in den Moosen ermittelt wurden. Ähnliche Gegebenheiten zeigen der Standort NW 75 für die Elemente Chrom, Nickel oder Blei wie auch der Standort NW 82 für die Elemente Eisen und Vanadium.

Bei hohen Element-Gehalten in beiden Probenmedien kann eine Beeinflussung von diffusen Einträgen durch Verwehungen oder von Bodenpartikeln ebenso abzuleiten sein wie eine hohe Nass-/Trocken-Deposition aus der Atmosphäre auf beide Medien. Insbesondere die Standorte NW 68 (Cd, Cr, Cu, Ni, Zn), NW 69 (Hg) oder NW 27 (Cr, Ni) sind hervorzuhebende Beispiele.

Tab. 8: Mittlere Verhältniszahlen aus den gegenübergestellten Schwermetall-Gehalten im Ol-Of-Horizont/Oh-Horizont, Moos/Ol-Of-Horizont und Moos/Oh-Horizont an 59 Standorten in Nordrhein-Westfalen.

n = 59	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Ni	Pb	Sb	Ti	V	Zn
Ol-Of / Oh	0.30	1.45	0.63	0.74	0.43	0.47	0.75	0.44	1.41	0.44	0.52	1.33
Moos/ Ol-Of	0.09	0.51	0.21	0.74	0.18	0.46	0.24	0.14	0.21	0.22	0.18	0.73
Moos/ Oh	0.03	0.71	0.11	0.53	0.07	0.17	0.17	0.05	0.25	0.09	0.09	0.89



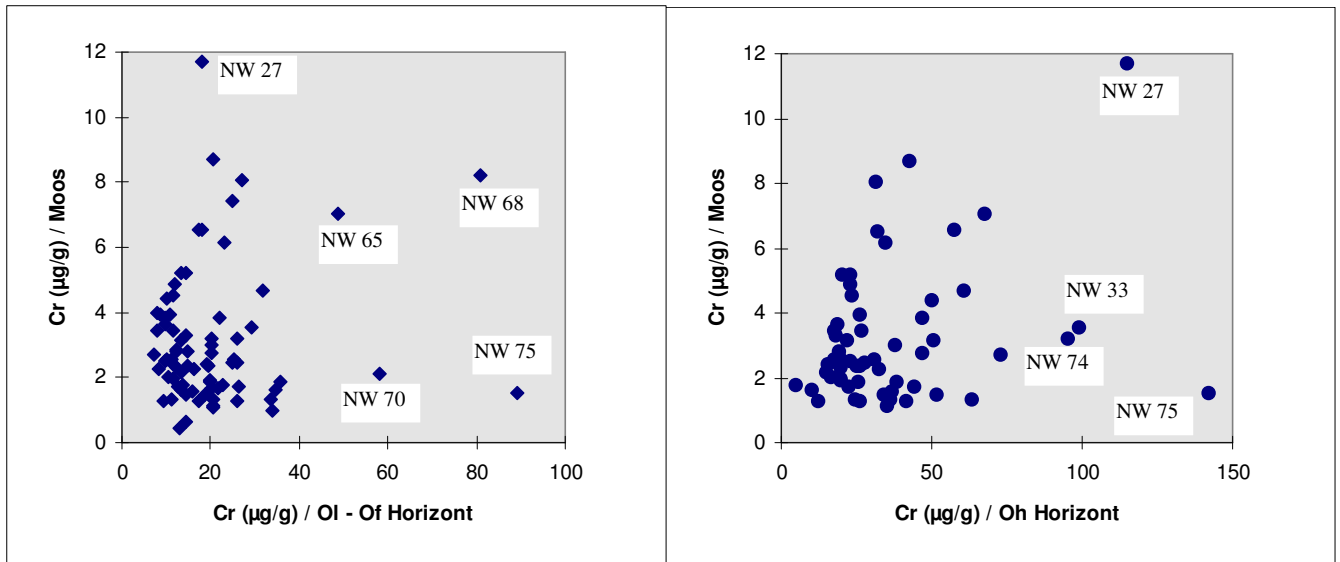
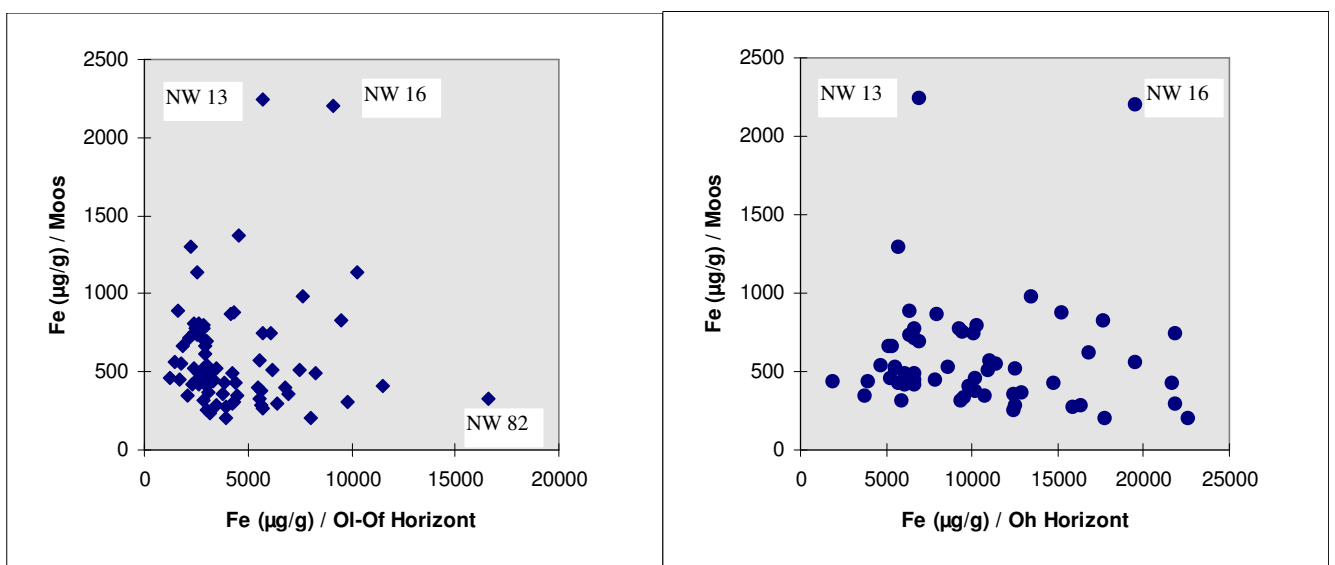
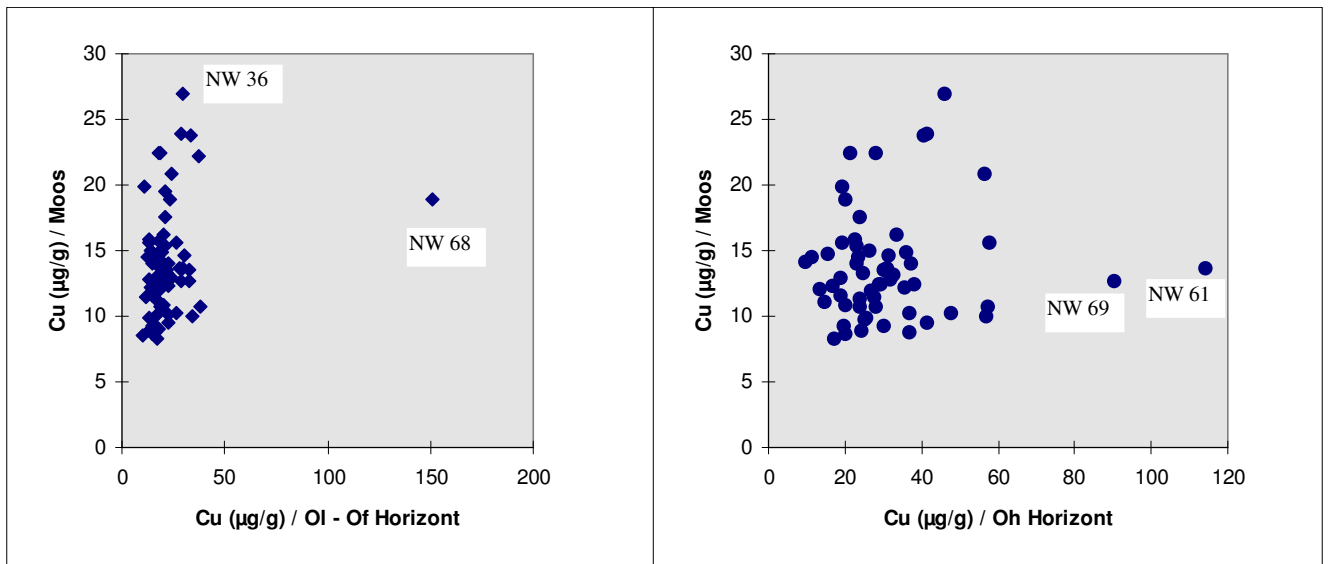


Abb. 28: Arsen-, Cadmium- und Chrom-Gehalte (µg/g) in Moosen und im Humus von denselben Standorten in Nordrhein-Westfalen. Die Humusaufgabe wurde in den OI-Of- und den Oh-Horizont aufgeteilt. In die Grafiken sind Standorte mit auffällig hohen Gehalten im Moos, im Humus oder in beiden Medien eingefügt.



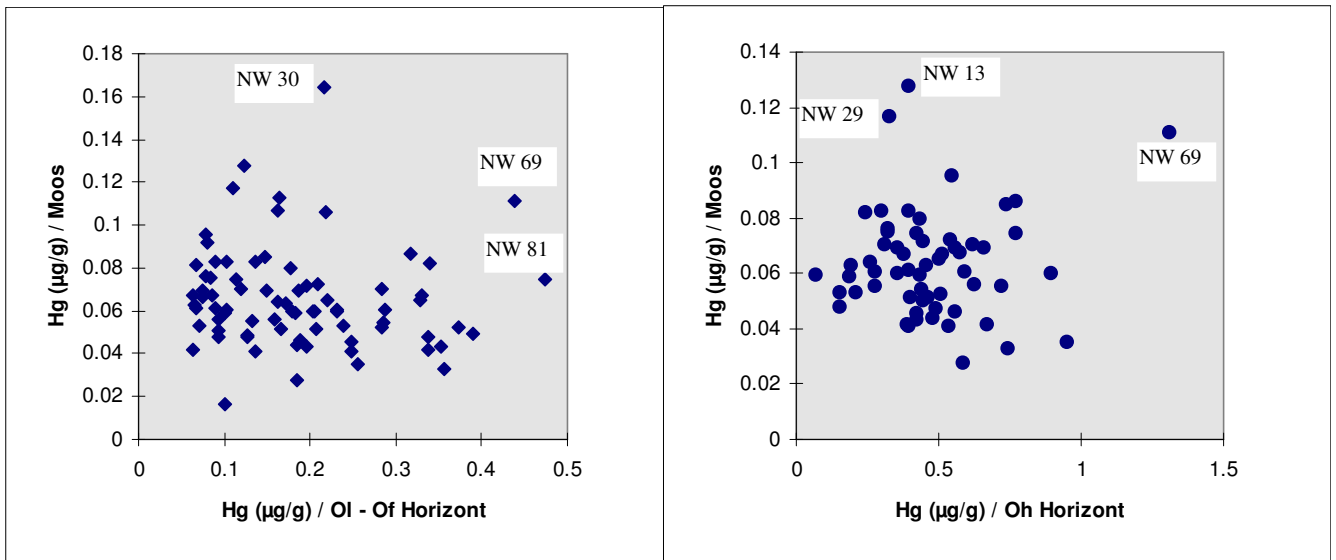
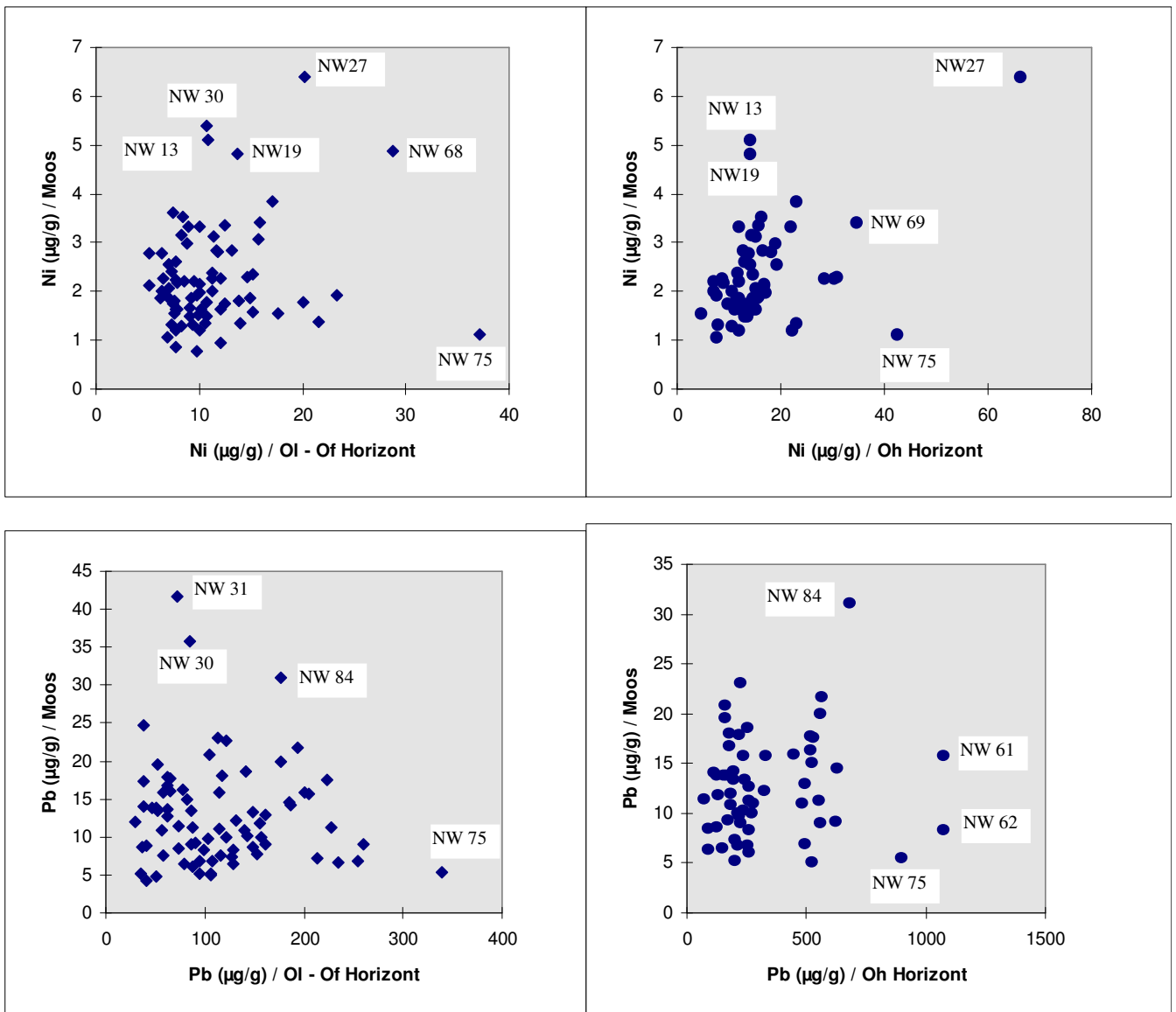


Abb. 29: Kupfer-, Eisen- und Quecksilber-Gehalte (µg/g) in Moosen und im Humus von denselben Standorten in Nordrhein-Westfalen. Die Humusaufgabe wurde in den Oi-Of- und den Oh-Horizont aufgeteilt. In die Grafiken sind Standorte mit auffällig hohen Gehalten im Moos, im Humus oder in beiden Medien eingefügt.



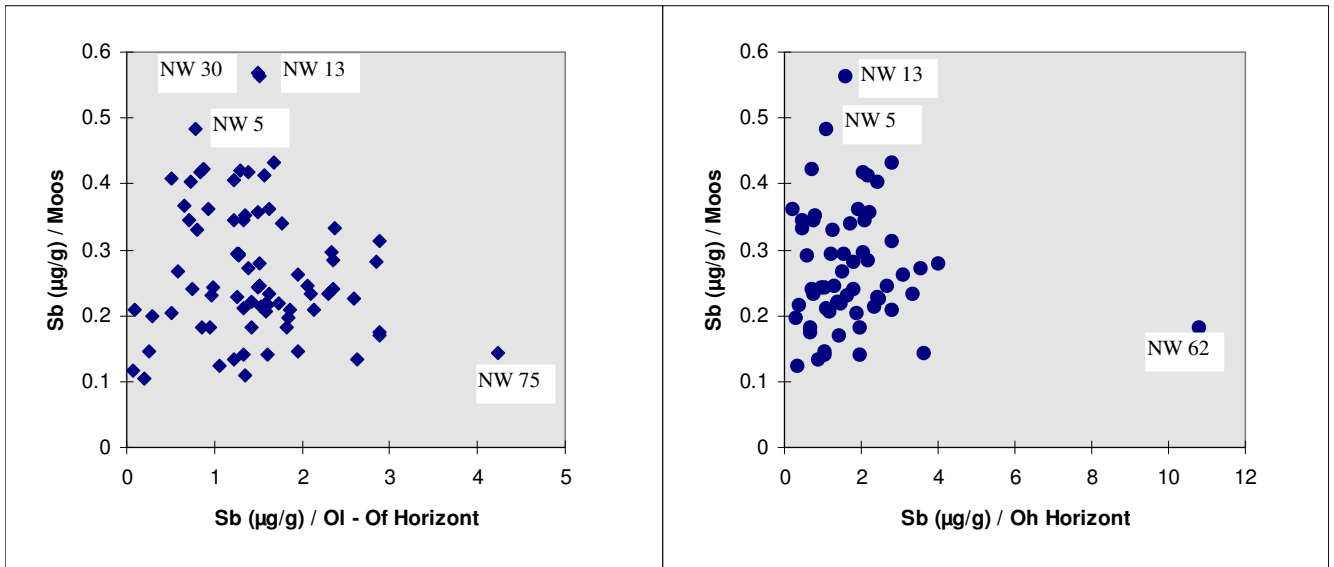
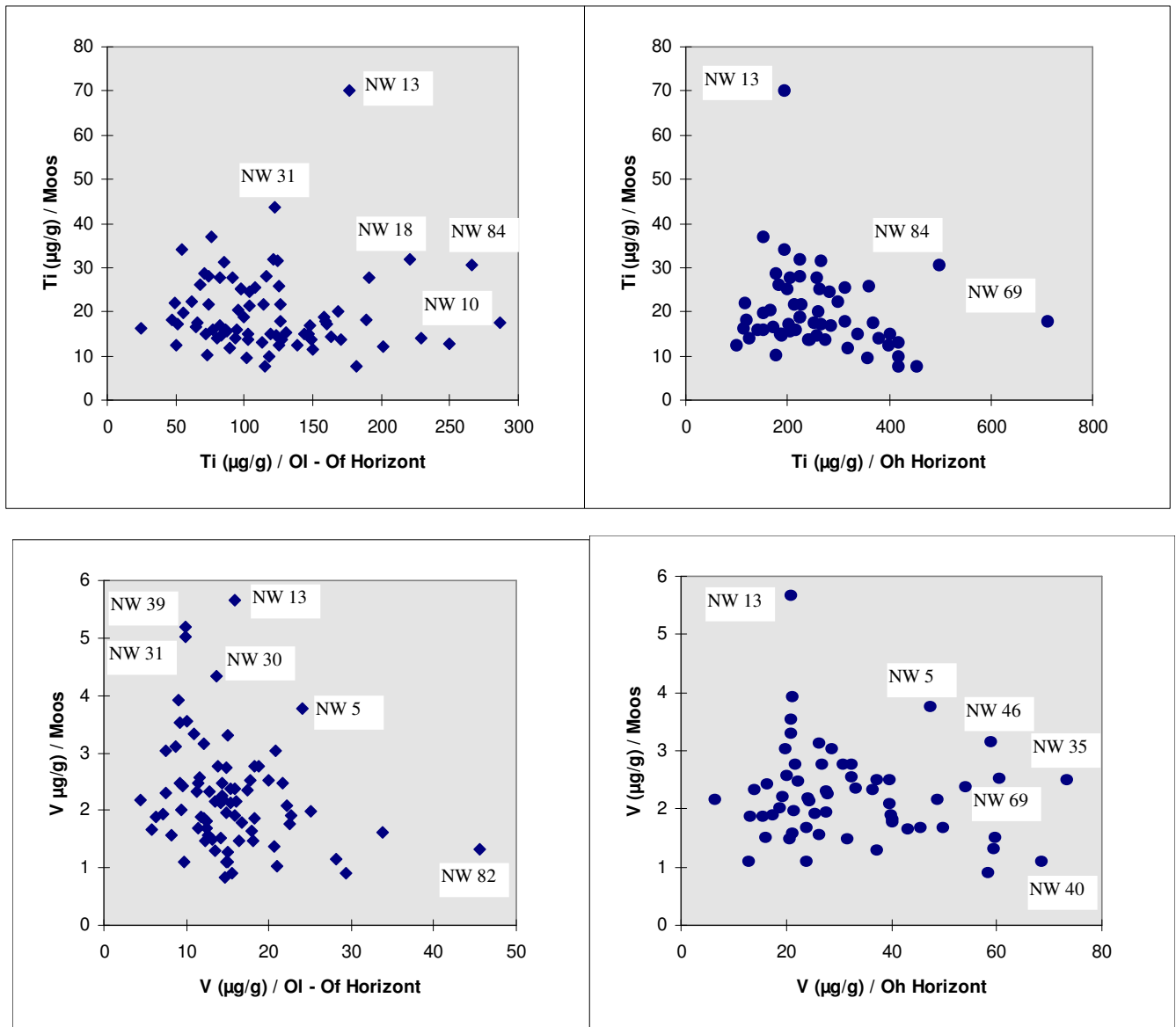


Abb. 30: Nickel-, Blei- und Antimon-Gehalte (µg/g) in Moosen und im Humus von denselben Standorten in Nordrhein-Westfalen. Die Humusaufgabe wurde in den OI-Of- und den Oh-Horizont aufgeteilt. In die Grafiken sind Standorte mit auffällig hohen Gehalten im Moos, im Humus oder in beiden Medien eingefügt.



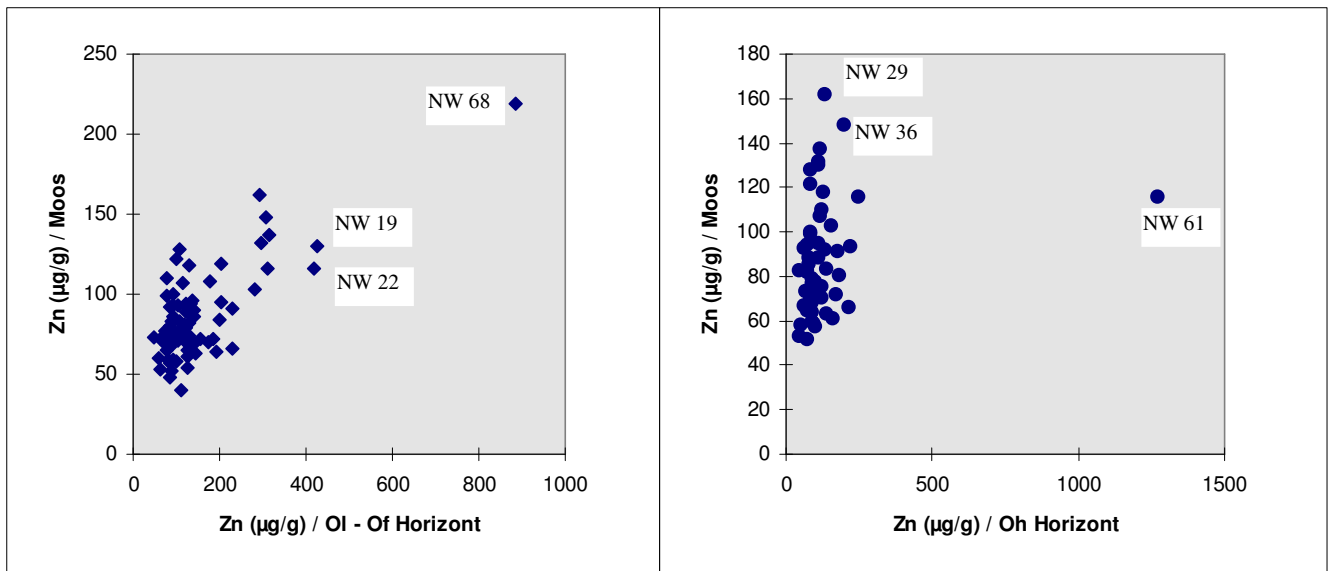


Abb. 31: Titan-, Vanadium- und Zink-Gehalte ( $\mu\text{g/g}$ ) in Moosen und im Humus von denselben Standorten in Nordrhein-Westfalen. Die Humusaufgabe wurde in den OI-Of- und den Oh-Horizont aufgeteilt. In die Grafiken sind Standorte mit auffällig hohen Gehalten im Moos, im Humus oder in beiden Medien eingefügt.



### 3.5 Elementgehalte in Moosen in Deutschland

Metalle (auch Schwermetalle) können als chemische Elemente weder abgebaut noch vernichtet werden. Sie besitzen zudem ein hohes Anreicherungspotential. Auf Grund der Toxizität vieler Verbindungen oder der Kanzerogenität bestimmter Verbindungen und der Eintragsmengen in die Umwelt über die Atmosphäre und die Gewässer sind viele Metalle besonders umweltrelevant. Einige Elemente oder Verbindungen erzeugen spontane oder künstliche Veränderungen im Erbgefüge, andere sind reproduktionstoxisch oder hemmen bodenbiologische Aktivitäten. Die Anreicherung vieler Metalle in Pflanzen spielt eine Schlüsselrolle bei der Elementaufnahme des Menschen über die Nahrungskette.

Industrielle Feuerungsanlagen aller Art, auch der Zement-, Glas-, Eisen-, Stahl- und Nichteisenmetall-Industrie sowie Müllverbrennungsanlagen gehören zu den wesentlichen Quellen für anthropogen verursachte Metallemissionen. Die in den Einsatzstoffen dieser Anlagen in Spuren vorhandenen toxischen Elemente werden auf Grund der hohen Temperaturen gasförmig oder als Feinstaub emittiert und kondensieren an Staub- oder Aerosolpartikeln. Viele Elemente werden auf diese Weise weiträumig von den Emissionsquellen bis zu entlegenen Gebieten über viele Hundert Kilometer transportiert. Die Gehalte an Blei, Cadmium und Quecksilber u.a. in verschiedenen Umweltkompartimenten (Systemen) haben daher auch in entlegenen, nicht industrialisierten Gebieten der Erde im Verlauf dieses Jahrhunderts erheblich zugenommen.

Staub mit radioaktiven Elementen oder DDT sind ausgezeichnete Anzeiger (Tracer) für dieses Phänomen. Für die Nord- und Ostsee wird abgeschätzt, dass 30 bis 50 Prozent der Schwermetalle, die diese Gewässer belasten, über den Luftpfad eingetragen werden. Modellrechnungen ergeben, dass in Deutschland über 40 Prozent bzw. 30 Prozent der atmosphärischen Depositionen an Blei bzw. an Cadmium aus anderen Ländern importiert werden (s. Umwelt 4/1997 : 146-147; Entwürfe für neue Luftreinhaltprotokolle vorgelegt).

#### Aluminium (Al)

# Al

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

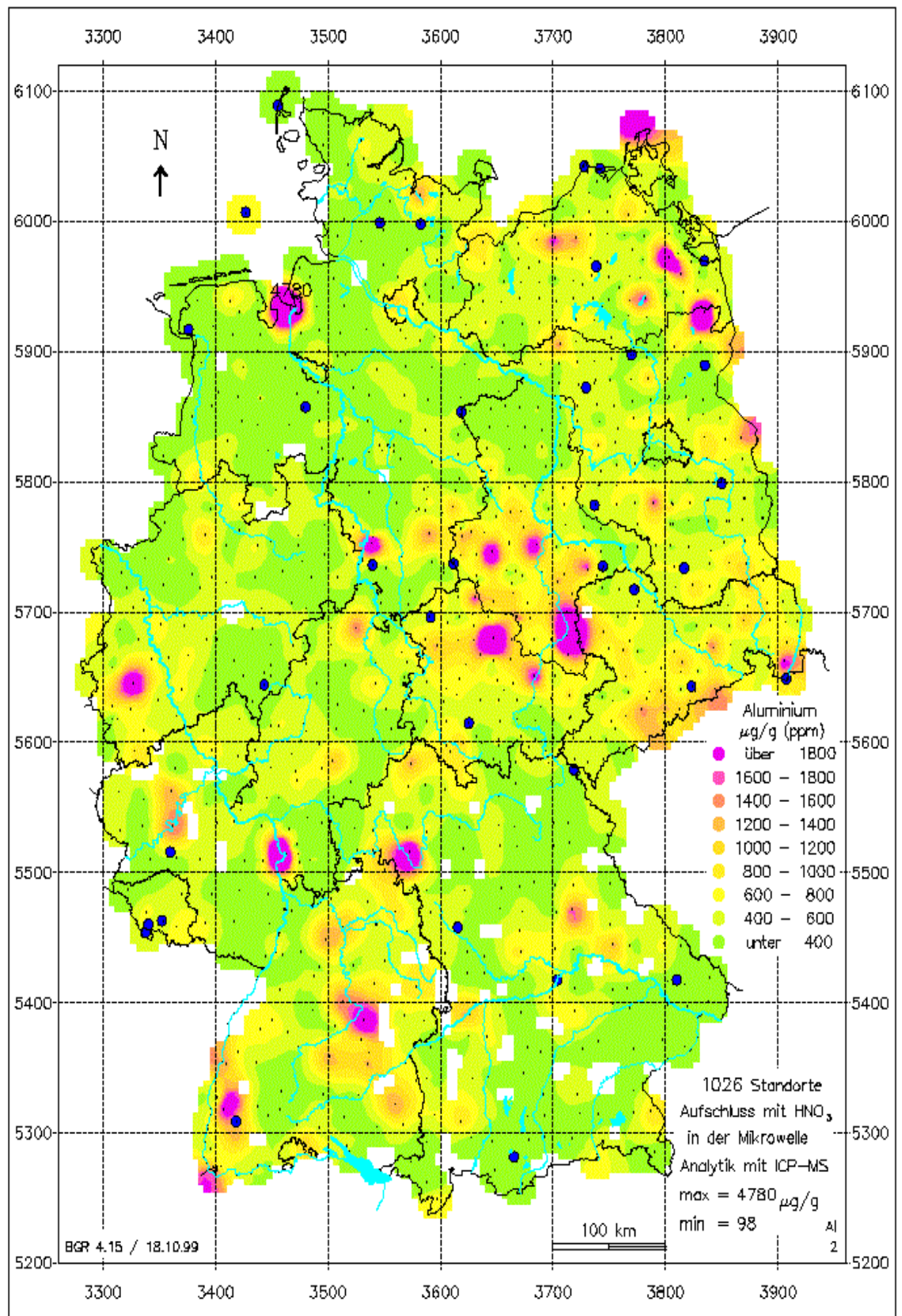
Über chronische Erkrankungen beim Menschen bei erhöhter Aluminiumaufnahme über die Nahrungskette ist wenig bekannt, jedoch sind Aluminium und seine Verbindungen bei intakter Nierenfunktion aus toxikologischer Sicht unbedenklich. Auch eine mutagene oder cancerogene Wirkung von Aluminium ist nicht bekannt [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].

Aluminium und Cer zeigen auffällige Ähnlichkeiten in der Verteilung der höchsten Gehalte in den Moosen. Weitere Erläuterungen finden sich beim Element Cer (Seite 52).

Tab. 9 : Aluminium-Gehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland.  
Gehalte in µg/g TS (ppm) als arithmetischer Mittelwert, Median, Maximum und Minimum.

Land	Anzahl der Proben	Mittelwert	Median	Maximum	Minimum
Schleswig-Holstein	46	424	385	1470	156
Hamburg	4	713	622	1180	429
Niedersachsen	126	441	338	4780	98
Nordrhein-Westfalen	84	450	390	2510	170
Hessen	52	533	403	4400	200
Rheinland-Pfalz	31	468	390	1510	215
Baden-Württemberg	74	688	507	2570	167
Bayern	119	451	362	2908	50
Saarland	7	483	540	740	119
Berlin	3	392	379	454	343
Brandenburg	126	580	506	4370	104
Mecklenburg-Vorpommern	113	591	471	4540	168
Sachsen	80	711	603	2190	222
Sachsen-Anhalt	86	728	506	3890	196
Thüringen	75	683	547	4710	178
Gesamt	1026	561	431	4780	98

Abb. 32 : Aluminium – Gehalte in Moosen Moos – Monitoring 1995/96



● UBA Standorte : Luft-Messnetz und Umweltprobenbank

UBA F+E 295 830 87/01

## Barium

# Ba

Barium ist mit etwa 0,65 % 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 [Katalog umweltrelevanter Standards 90/91]. 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].

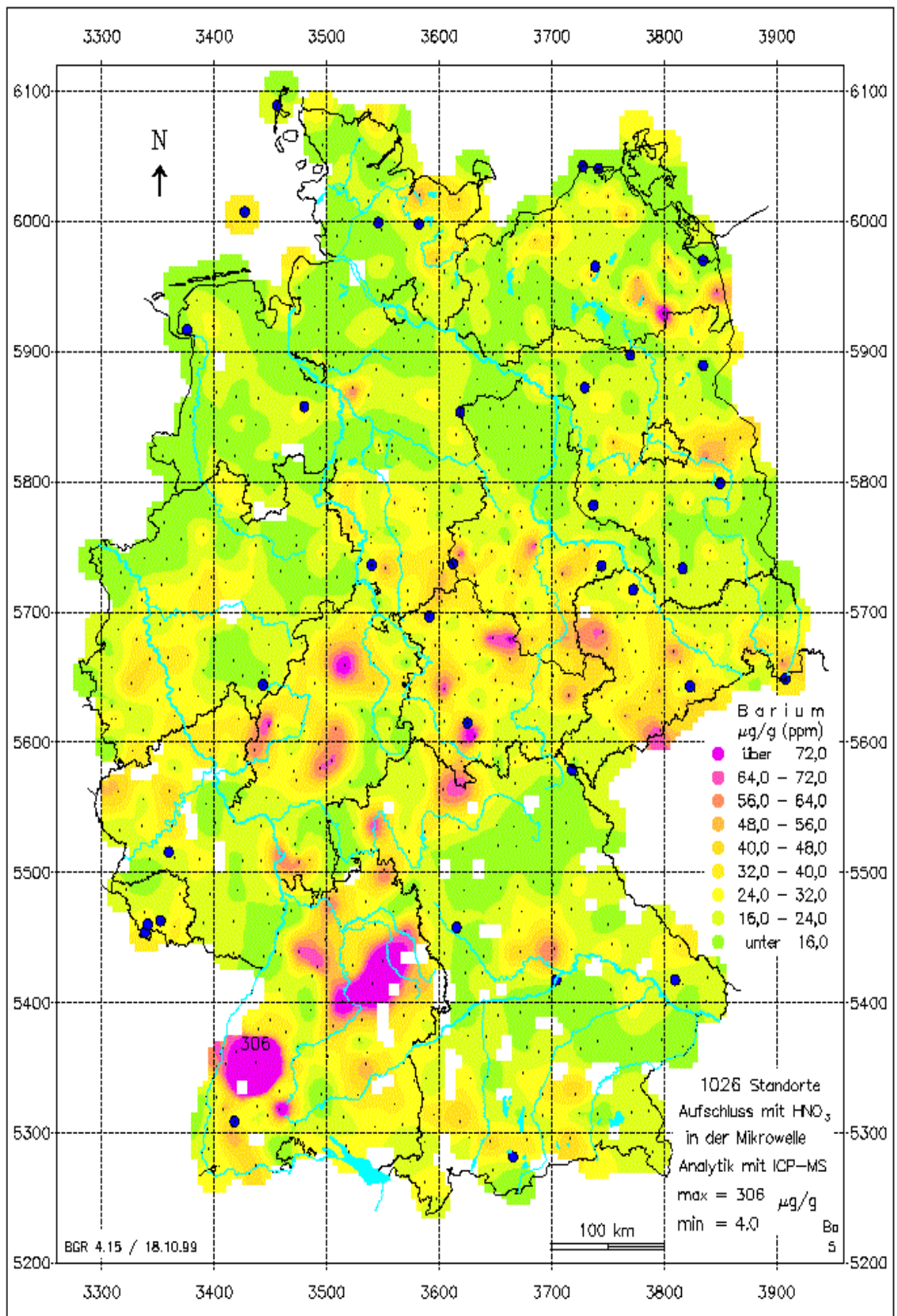
Als Rohstoffquelle wurde/wird Bariumsulfat in Deutschland abgebaut (1998: ca. 123.000 t), u. a. im Harz (Bad Lauterberg), im Rheinischen Schiefergebirge (Meggen, Dreislar) und im Schwarzwald (Oberwolfach). Am letztgenannten Standort wird auch der höchste Bariumgehalt im Moos gemessen: 306 µg/g. Weiter treten hohe Gehalte in den Moosen nordöstlich von Stuttgart auf, für die bisher keine Erklärung vorliegen. Lokale Bariumanreicherungen finden sich im mittleren Deutschland. In Bayern und in Norddeutschland liegen die Werte in weiten Gebieten unter 16 µg/g.

Tab. 10 : Barium-Gehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland.  
Gehalte in µg/g TS (ppm) als arithmetischer Mittelwert, Median, Maximum und Minimum.

Land	Anzahl der Proben	Mittelwert	Median	Maximum	Minimum
Schleswig-Holstein	46	21.2	15.6	56.8	7.4
Hamburg	4	15.4	14.8	19.1	12.8
Niedersachsen	126	18.7	15.9	77.8	5.7
Nordrhein-Westfalen	84	20.1	17.3	47.1	5.8
Hessen	52	30.7	23.7	80.6	6.5
Rheinland-Pfalz	31	22.8	20.6	47.3	9.2
Baden-Württemberg	74	40.4	30.2	306	6.1
Bayern	119	20.8	18.8	69.3	4.0
Saarland	7	23.8	24.9	35.3	10.9
Berlin	3	30.5	29.4	36.8	25.4
Brandenburg	126	20.4	17.9	60.4	4.3
Mecklenburg-Vorpommern	113	19.5	15.1	100	5.7
Sachsen	80	29.6	25.5	69.2	11.3
Sachsen-Anhalt	86	24.0	21.2	72.0	6.2
Thüringen	75	34.0	27.1	101	7.1
Gesamt	1026	24.1	19.4	306	4.0

Abb. 33 : Barium – Gehalte in Moosen

Moos – Monitoring 1995/96



● UBA Standorte : Luft-Messnetz und Umweltprobenbank

UBA F+E 295 830 87/01

# Be

## Beryllium

Beryllium, ein Leichtmetall, wird als Legierungsbestandteil u. a. bei der Aluminiumherstellung eingesetzt. Auf Grund seiner optischen Eigenschaften wird es auch in Röntgenröhren als Fenster verwendet.

Berylliumvergiftungen durch Nahrungsaufnahme sind bei Menschen und Tieren bisher unbekannt. Jedoch wird Beryllium in der MAK-Liste als krebserregend eingestuft. Wesentlich besser untersucht ist die Wirkung auf den menschlichen Körper, wenn das Beryllium als Dampf eingeatmet wird, wie beispielsweise früher in der industriellen Produktion. Es kommt dabei zu Schädigungen der Lunge.

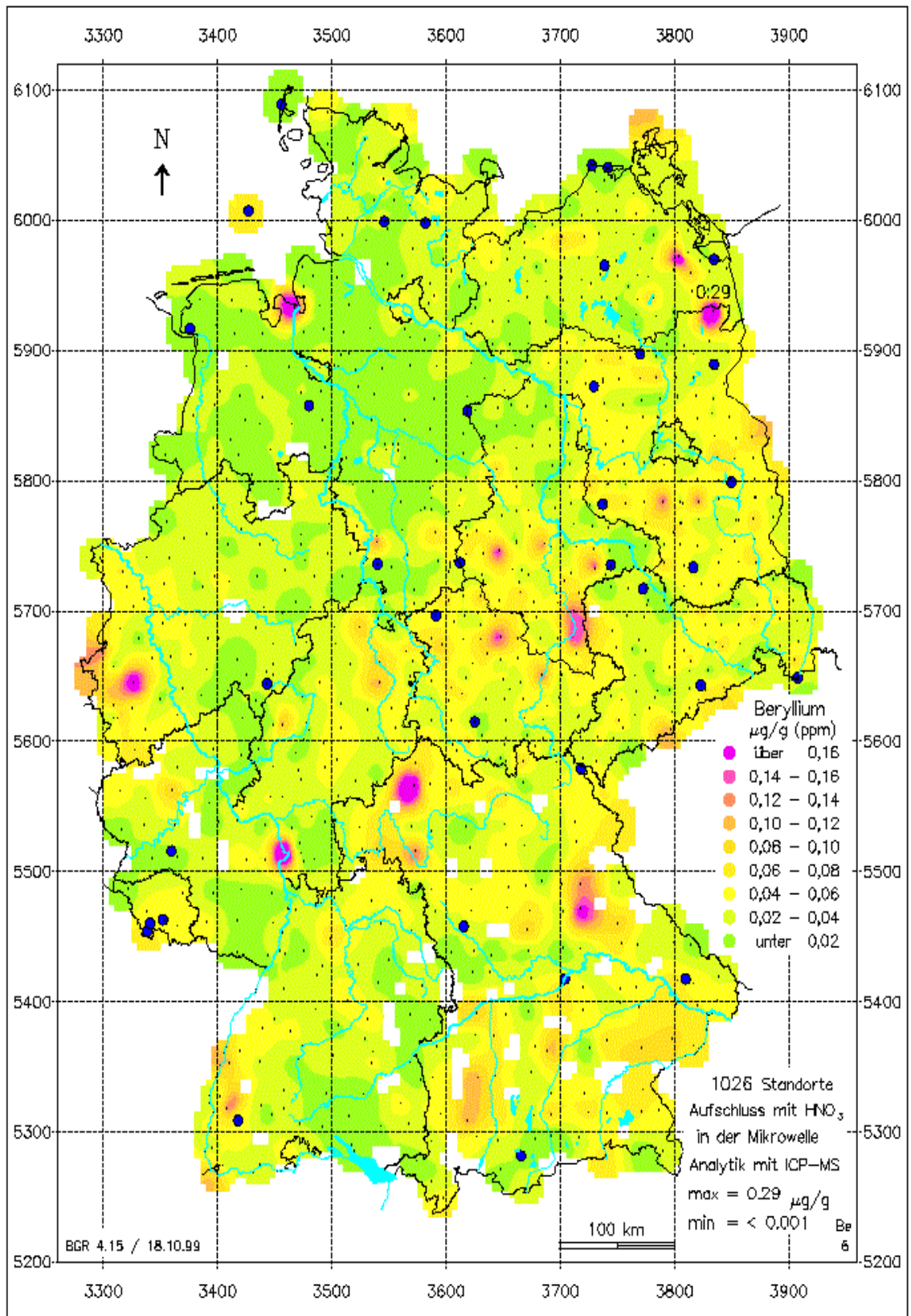
In der europäischen Gemeinschaft sind Beryllium und seine Verbindungen als Zusatz zu kosmetischen Produkten verboten [Merian 1991]. Als Zusatz in Dentallegierungen findet es allerdings immer noch Verwendung [Dauderer 1999].

Hohe Gehalte zeigen Moose bei Löcknitz in Brandenburg (höchster Wert mit 0,29 µg/g) und Anklam (Mecklenburg-Vorpommern), bei Nordenham an der Wesermündung, nördlich von Bad Kissingen (0,24 µg/g), bei Gernsheim am Rhein (0,27 µg/g), westlich von Jülich und bei Schwandorf. In Niedersachsen wurde mit 0,01 µg/g der niedrigste Median gemessen.

Tab. 11 : Beryllium-Gehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland.  
Gehalte in µg/g TS (ppm) als arithmetischer Mittelwert, Median, Maximum und Minimum.

Land	Anzahl der Proben	Mittelwert	Median	Maximum	Minimum
Schleswig-Holstein	46	0.03	0.03	0.06	0.001
Hamburg	4	0.04	0.04	0.06	0.030
Niedersachsen	126	0.02	0.01	0.22	< 0.001
Nordrhein-Westfalen	84	0.04	0.03	0.19	0.002
Hessen	52	0.04	0.03	0.27	< 0.001
Rheinland-Pfalz	31	0.03	0.02	0.09	0.007
Baden-Württemberg	74	0.03	0.03	0.14	< 0.001
Bayern	119	0.05	0.05	0.24	0.001
Saarland	7	0.04	0.05	0.06	0.005
Berlin	3	0.02	0.02	0.02	0.010
Brandenburg	126	0.05	0.05	0.29	0.002
Mecklenburg-Vorpommern	113	0.03	0.03	0.22	< 0.001
Sachsen	80	0.04	0.03	0.12	0.004
Sachsen-Anhalt	86	0.04	0.03	0.17	0.001
Thüringen	75	0.05	0.04	0.17	< 0.001
Gesamt	1026	0.04	0.03	0.29	< 0.001

Abb. 34 : B e r y l l i u m – Gehalte in Moosen Moos – Monitoring 1995/96



● UBA Standorte : Luft-Messnetz und Umweltprobenbank

UBA F+E 295 830 87/01

## Cs

## Cäsium

Cäsium hat keine große technische Bedeutung. Hauptsächlich wird es als Katalysator in der chemischen Industrie eingesetzt. Cäsium ist in der Natur mit Kalium vergesellschaftet. Es wird in Silikate und besonders in die Minerale Glimmer und Kaliumfeldspat eingebaut.

Durch Verwitterung und geogenen Staub gelangt es in die Umwelt. Geringe Mengen von Cäsium wurden weltweit durch Kernwaffentests und Reaktorunfälle über die Atmosphäre verbreitet. Vom Menschen wird es mit Fleisch, Milch und Gemüse aufgenommen und vollständig resorbiert, damit werden auch die Radionuklide  $^{134}\text{Cs}$  und  $^{137}\text{Cs}$  aufgenommen, welche im Körper Strahlenschäden verursachen können.

Cäsium wird quantitativ in Pflanzen gefunden, jedoch gibt es keine Hinweise darauf, daß es essentiell ist [Markert 1992].

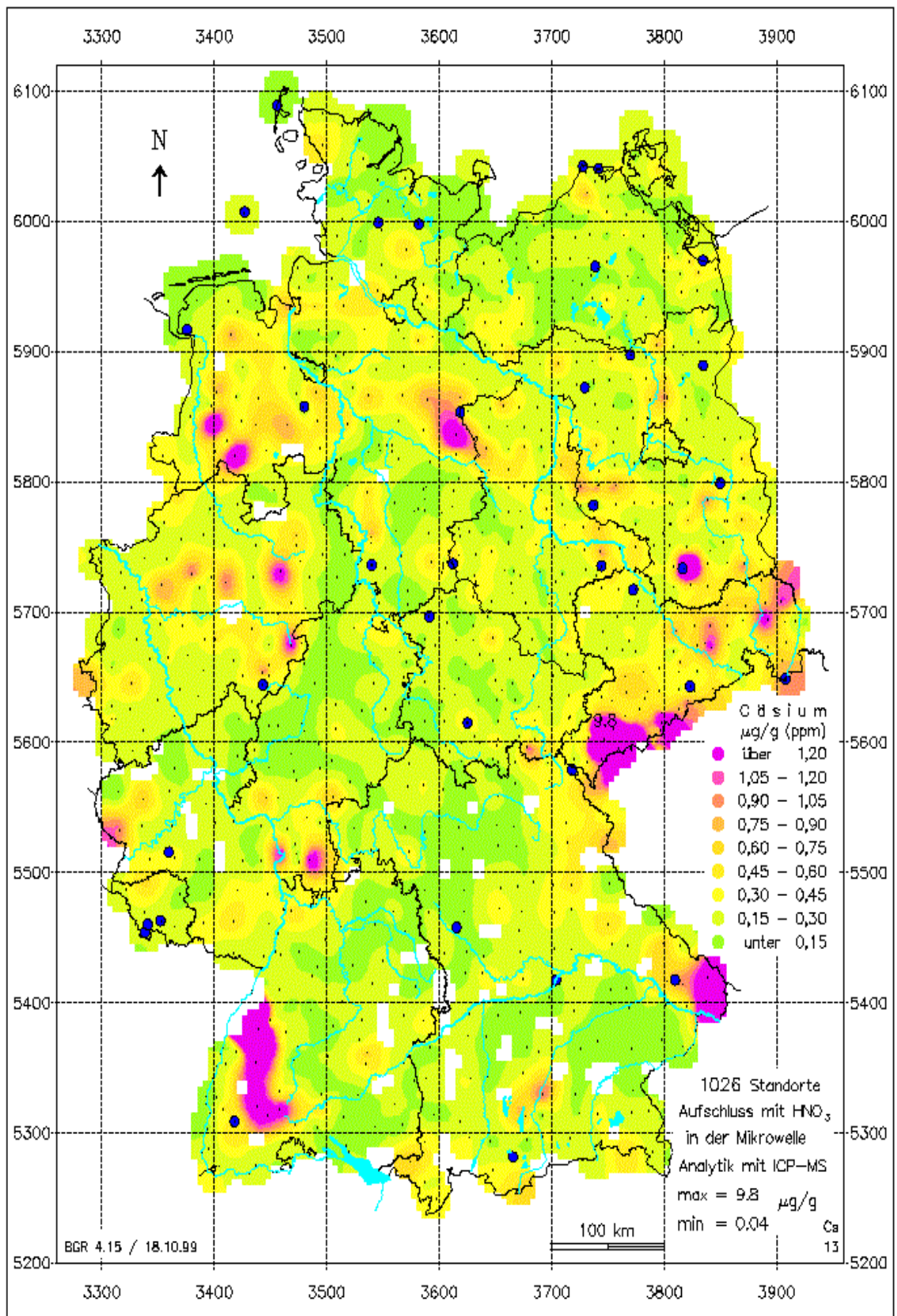
Die höchsten Gehalte (über  $1,2 \mu\text{g/g}$ ) in Moosen treten teilweise punktförmig (z. B. nördlich von Wolfsburg, bei Finsterwalde im südlichen Brandenburg und im Emsland nördlich von Haselünne und Bersenbrück) teilweise flächenförmig (Schwarzwald, südlicher Bayerischer Wald, Erzgebirge) auf. Im Erzgebirge liegt der höchste Gehalt mit  $9,8 \mu\text{g/g}$ . Die Moose in Hessen und Schleswig-Holstein zeigen für die Mediane die geringsten Cäsiumgehalte.

Tab. 12 : Cäsium-Gehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland.  
Gehalte in  $\mu\text{g/g}$  TS (ppm) als arithmetischer Mittelwert, Median, Maximum und Minimum.

Land	Anzahl der Proben	Mittelwert	Median	Maximum	Minimum
Schleswig-Holstein	46	0.19	0.15	0.60	0.061
Hamburg	4	0.26	0.22	0.42	0.17
Niedersachsen	126	0.33	0.21	2.08	0.06
Nordrhein-Westfalen	84	0.33	0.24	1.46	0.08
Hessen	52	0.25	0.15	1.54	0.08
Rheinland-Pfalz	31	0.25	0.19	1.06	0.09
Baden-Württemberg	74	0.40	0.19	6.08	0.07
Bayern	119	0.28	0.18	2.38	0.06
Saarland	7	0.26	0.21	0.63	0.12
Berlin	3	0.33	0.36	0.38	0.25
Brandenburg	126	0.35	0.26	3.52	0.04
Mecklenburg-Vorpommern	113	0.21	0.16	0.82	0.06
Sachsen	80	0.80	0.51	9.78	0.16
Sachsen-Anhalt	86	0.30	0.23	0.93	0.09
Thüringen	75	0.25	0.19	1.11	0.07
Gesamt	1026	0.33	0.21	9.78	0.04

Abb. 35 : C ä s i u m – Gehalte in Moosen

Moos – Monitoring 1995/96



● UBA Standorte : Luft-Messnetz und Umweltprobenbank

UBA F+E 295 830 87/01



## Calcium

# Ca

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.

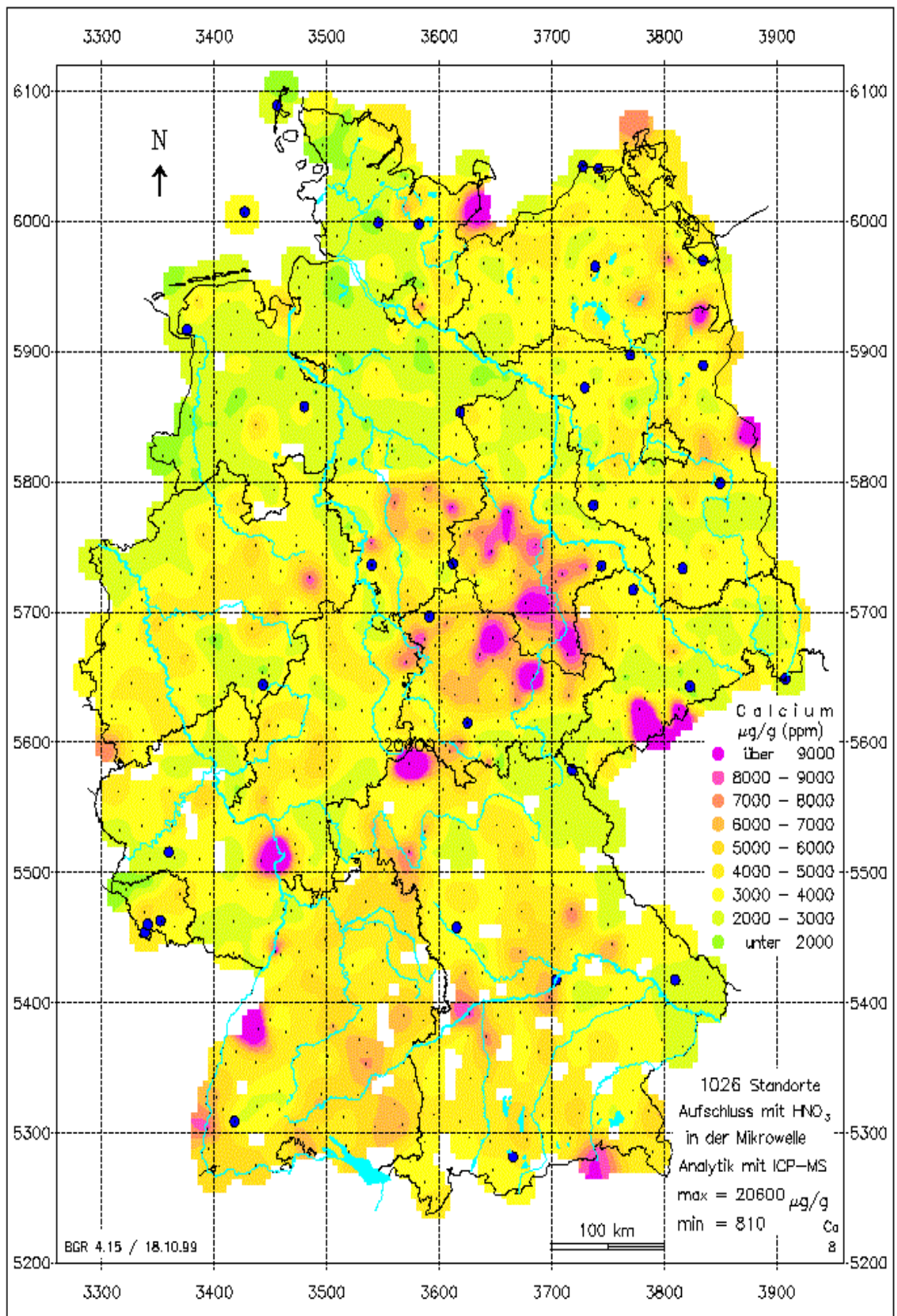
Calciumgehalte von über 7000 µg/g in Moosen sind im Zentrum Deutschlands regional verbreitet. Punktuelle hohe Gehalte finden sich besonders in der Nähe von Neustadt in Holstein, bei Frankfurt/Oder und Löcknitz (Brandenburg), im nördlichen Schwarzwald bei Oberkirch und bei Gernsheim am Rhein. In Niedersachsen ist der Median mit 2700 µg/g am niedrigsten. Im bayerischen Teil der Rhön liegt das Maximum von Calcium. Auch der Gehalt von Strontium ist hier besonders hoch.

Tab. 13 : Calcium-Gehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland.  
Gehalte in µg/g TS (ppm) als arithmetischer Mittelwert, Median, Maximum und Minimum.

Land	Anzahl der Proben	Mittelwert	Median	Maximum	Minimum
Schleswig-Holstein	46	3386	2850	12300	1180
Hamburg	4	2053	2055	2500	1600
Niedersachsen	126	3108	2700	9730	1300
Nordrhein-Westfalen	84	3601	3485	8700	1500
Hessen	52	4230	3860	17500	1870
Rheinland-Pfalz	31	3430	3210	8650	1870
Baden-Württemberg	74	5078	4910	13600	2540
Bayern	119	4271	3750	20600	1950
Saarland	7	3801	3750	5730	1790
Berlin	3	3499	3564	3760	3174
Brandenburg	126	3606	3400	12000	810
Mecklenburg-Vorpommern	113	3709	3710	8370	1980
Sachsen	80	3761	3100	18500	1160
Sachsen-Anhalt	86	5023	4300	11600	2030
Thüringen	75	4905	4240	17400	988
Gesamt	1026	3965	3540	20600	810

Abb. 36 : Calcium – Gehalte in Moosen

Moos – Monitoring 1995/96



● UBA Standorte : Luft-Messnetz und Umweltprobenbank

UBA F+E 295 830 87/01

## Cer

## Ce

Cer hat technisch nur eine geringe Bedeutung; es wird hauptsächlich in Legierungen eingesetzt.

Für den Menschen besitzt Cer eine schwache Toxizität, deren Stärke von der jeweiligen Verbindung abhängt. Cer und Lanthan sind chemisch verwandt und gehören zu der Gruppe der Lanthaniden. Deren Wirkung bzw. Toxizität beruht auf dem Austausch von Calciumionen im Körper durch Cer- und Lanthanionen.

Typische Minerale sind Monazit oder Bastnäsit. Der Eintrag in die Atmosphäre aus geogenen Quellen wird größer als aus anthropogenen Quellen eingeschätzt [Reimann & Caritat 1998].

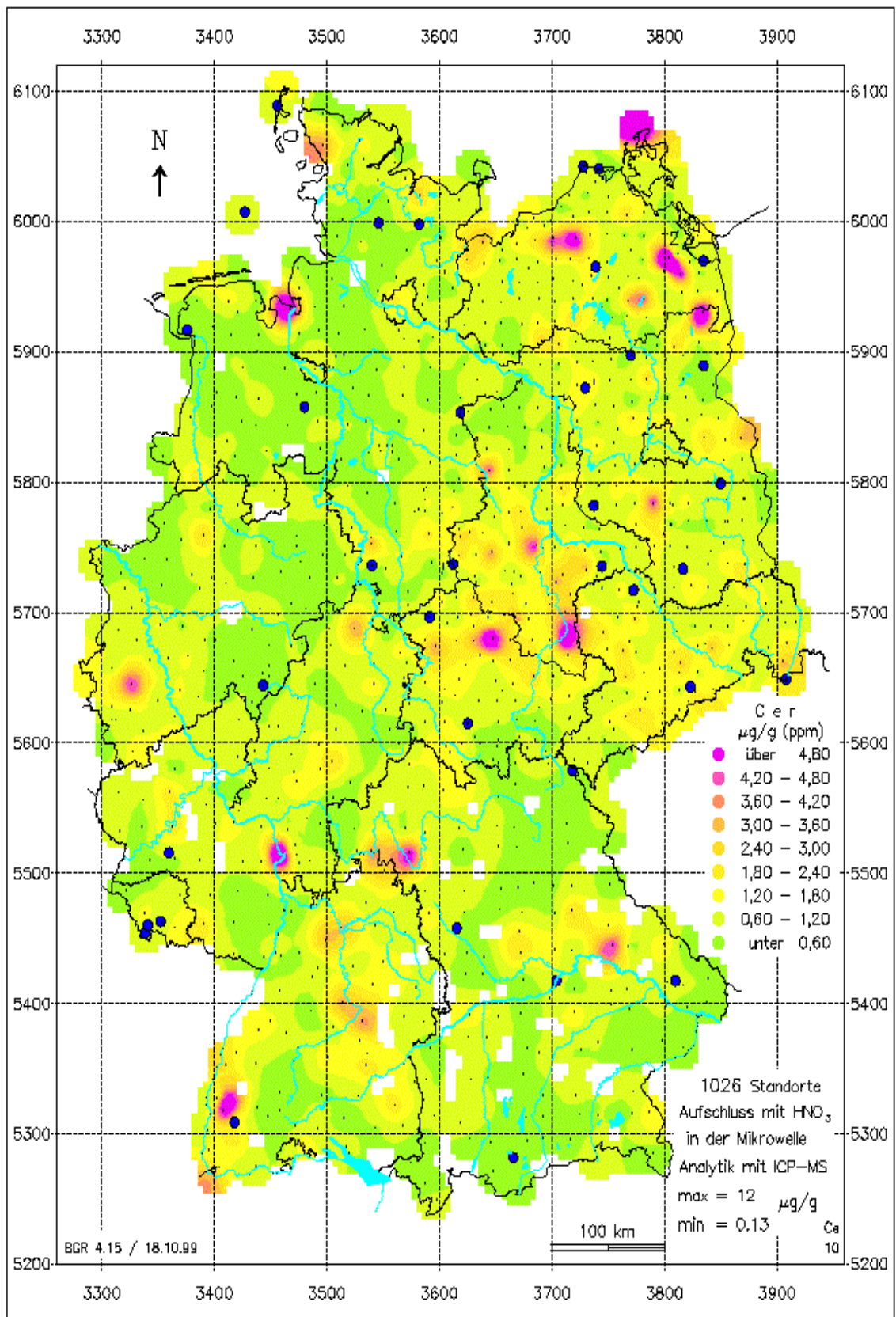
Cer, Lanthan und Aluminium und auch Gallium (S. 54) haben auffällige Ähnlichkeiten in der Verteilung der Gehalte in Moosen. Alle Standorte mit hohen Cergehalten in den Moosen zeigen ebenfalls hohe Lanthan- und Aluminiumgehalte. Die Aluminiumgehalte liegen zwischen 98 µg/g und 4780 µg/g (bei Nordenham), die Cergehalte zwischen 0,13 µg/g und 12,4 µg/g (bei Anklam). Hohe Cergehalte und damit hohe Aluminiumgehalte treten auch westlich von Jülich, bei Gernsheim am Rhein, bei Würzburg, im Schwarzwald bei Freiburg, bei Merseburg in Sachsen-Anhalt, bei Sondershausen in Thüringen und an verschiedenen Stellen im Nordosten von Deutschland auf. Für Cer wird in Niedersachsen der niedrigste Median ermittelt.

Tab. 14 : Cer-Gehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland.  
Gehalte in µg/g TS (ppm) als arithmetischer Mittelwert, Median, Maximum und Minimum.

Land	Anzahl der Proben	Mittelwert	Median	Maximum	Minimum
Schleswig-Holstein	46	0.88	0.70	3.8	0.25
Hamburg	4	1.23	1.04	2.2	0.67
Niedersachsen	126	0.75	0.55	7.5	0.15
Nordrhein-Westfalen	84	0.72	0.59	4.9	0.21
Hessen	52	1.00	0.74	7.8	0.32
Rheinland-Pfalz	31	0.86	0.78	2.0	0.31
Baden-Württemberg	74	1.23	0.92	7.2	0.20
Bayern	119	0.80	0.60	5.3	0.18
Saarland	7	0.89	0.93	1.6	0.31
Berlin	3	0.76	0.68	0.9	0.65
Brandenburg	126	1.11	0.87	8.0	0.13
Mecklenburg-Vorpommern	113	1.32	0.88	12.4	0.34
Sachsen	80	1.27	1.02	3.4	0.34
Sachsen-Anhalt	86	1.41	0.95	6.8	0.31
Thüringen	75	1.25	1.00	7.6	0.23
Gesamt	1026	1.05	0.74	12.4	0.13

Abb. 37 : C e r – Gehalte in Moosen

Moos – Monitoring 1995/96



● UBA Standorte : Luft-Messnetz und Umweltprobenbank

UBA F+E 295 830 87/01

## Gallium

# Ga

Gallium wird hauptsächlich als Galliumarsenid in der Halbleiterherstellung eingesetzt. Weiter existieren Galliumverbindungen in Supraleitern und in magnetischen Werkstoffen. Auf Grund seines niedrigen Schmelzpunktes wird es auch für Thermometer benötigt.

Die Flugaschen aus der Kohlefeuerung sind je nach Art der Kohle z. T. erheblich mit Gallium angereichert [Römpp 1989].

Gallium ist nur wenig toxisch. In seiner dreiwertigen Stufe ähnelt es physiologisch dem Aluminium und wird wie dieses wenig resorbiert. Chronische Galliumvergiftungen durch Stäube äußern sich u. a. durch ein geringeres Körpergewicht und eine geringere Lebenserwartung. Chronische Vergiftungen durch hohe Galliumgehalte in der Nahrung sind bisher unbekannt. Gallium steht nicht im Verdacht, krebserregend zu sein.

Hohe Galliumgehalte in den Moosen treten in den meisten Fällen punktförmig auf. Sie fallen in fast allen Fällen zusammen mit hohen Aluminium- und Cergehalten. Alle bei Cer beschriebene Orte zeigen ebenfalls erhöhte Galliumgehalte. Im mittleren Erzgebirge treten auffällige Galliumgehalte von über 0,54 µg/g auf. In diesem Gebiet sind die Aluminium- und Cerhalte weniger markant.

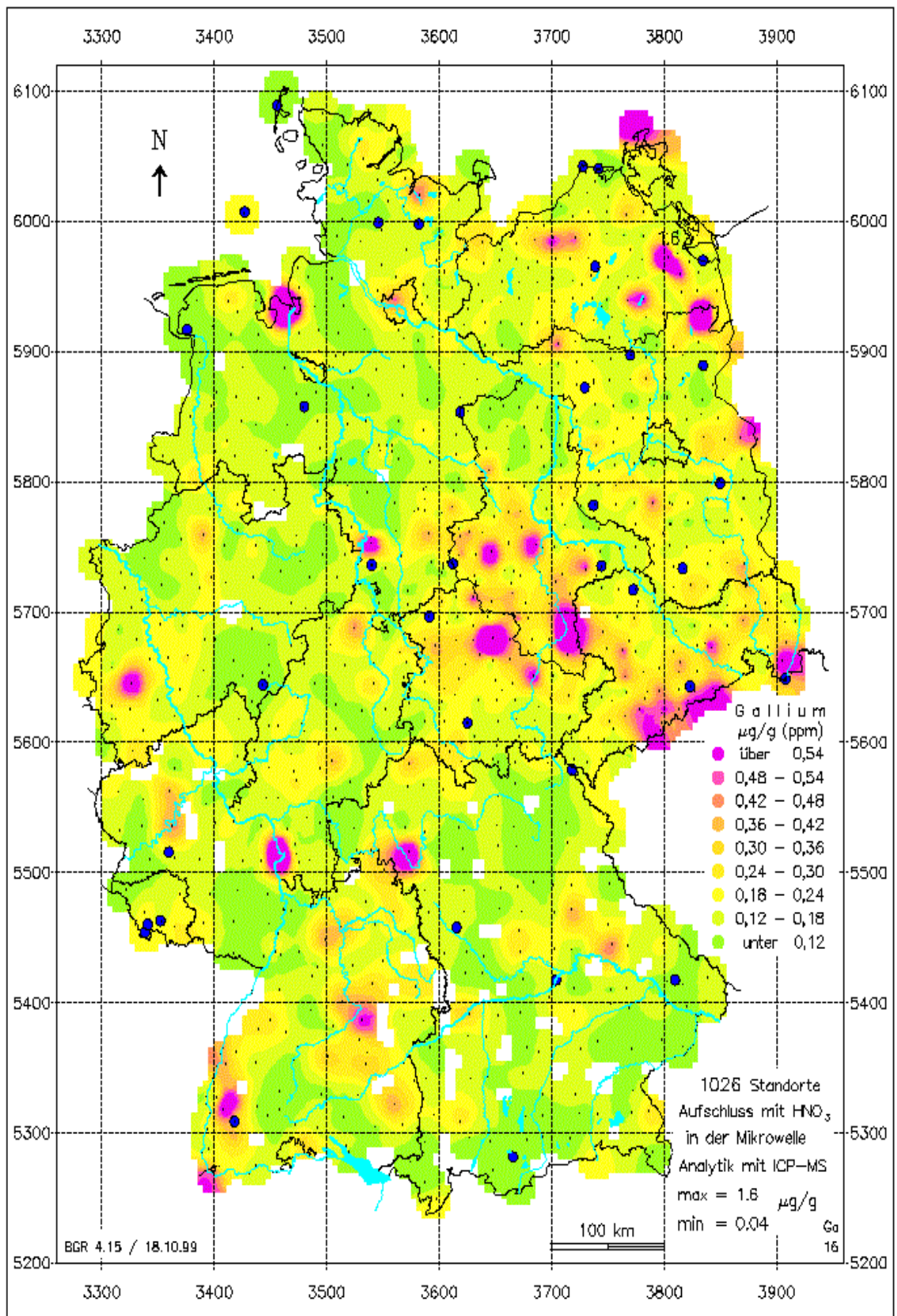
Das Auftreten von Aluminium und Cer und Lanthan zusammen mit Gallium ist durch geogene Einflüsse wie Staubeintrag alleine nicht zu erklären, zumal Gallium erheblich geringer in der Erdkruste vertreten ist als z. B. Vanadium, Nickel und Kupfer.

Tab. 15 : Gallium-Gehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland.  
Gehalte in µg/g TS (ppm) als arithmetischer Mittelwert, Median, Maximum und Minimum.

Land	Anzahl der Proben	Mittelwert	Median	Maximum	Minimum
Schleswig-Holstein	46	0.17	0.16	0.52	0.07
Hamburg	4	0.30	0.26	0.51	0.17
Niedersachsen	126	0.16	0.13	1.31	0.05
Nordrhein-Westfalen	84	0.15	0.14	0.70	0.07
Hessen	52	0.19	0.15	1.37	0.07
Rheinland-Pfalz	31	0.15	0.13	0.42	0.08
Baden-Württemberg	74	0.21	0.17	0.80	0.06
Bayern	119	0.15	0.13	0.82	0.04
Saarland	7	0.17	0.18	0.25	0.08
Berlin	3	0.15	0.14	0.17	0.14
Brandenburg	126	0.20	0.18	1.32	0.04
Mecklenburg-Vorpommern	113	0.21	0.17	1.55	0.07
Sachsen	80	0.28	0.22	0.91	0.08
Sachsen-Anhalt	86	0.24	0.18	1.01	0.08
Thüringen	75	0.23	0.19	1.39	0.07
Gesamt	1026	0.20	0.16	1.55	0.04

Abb. 38 : Gallium – Gehalte in Moosen

Moos – Monitoring 1995/96



● UBA Standorte : Luft-Messnetz und Umweltprobenbank

UBA F+E 295 830 87/01

## Germanium

# Ge

Germanium gehört zu den äußerst seltenen Elementen der Erdkruste. Es wird hauptsächlich in der Halbleiterindustrie eingesetzt. Flugasche aus der Kohlefeuerung ist oft mit Germanium angereichert.

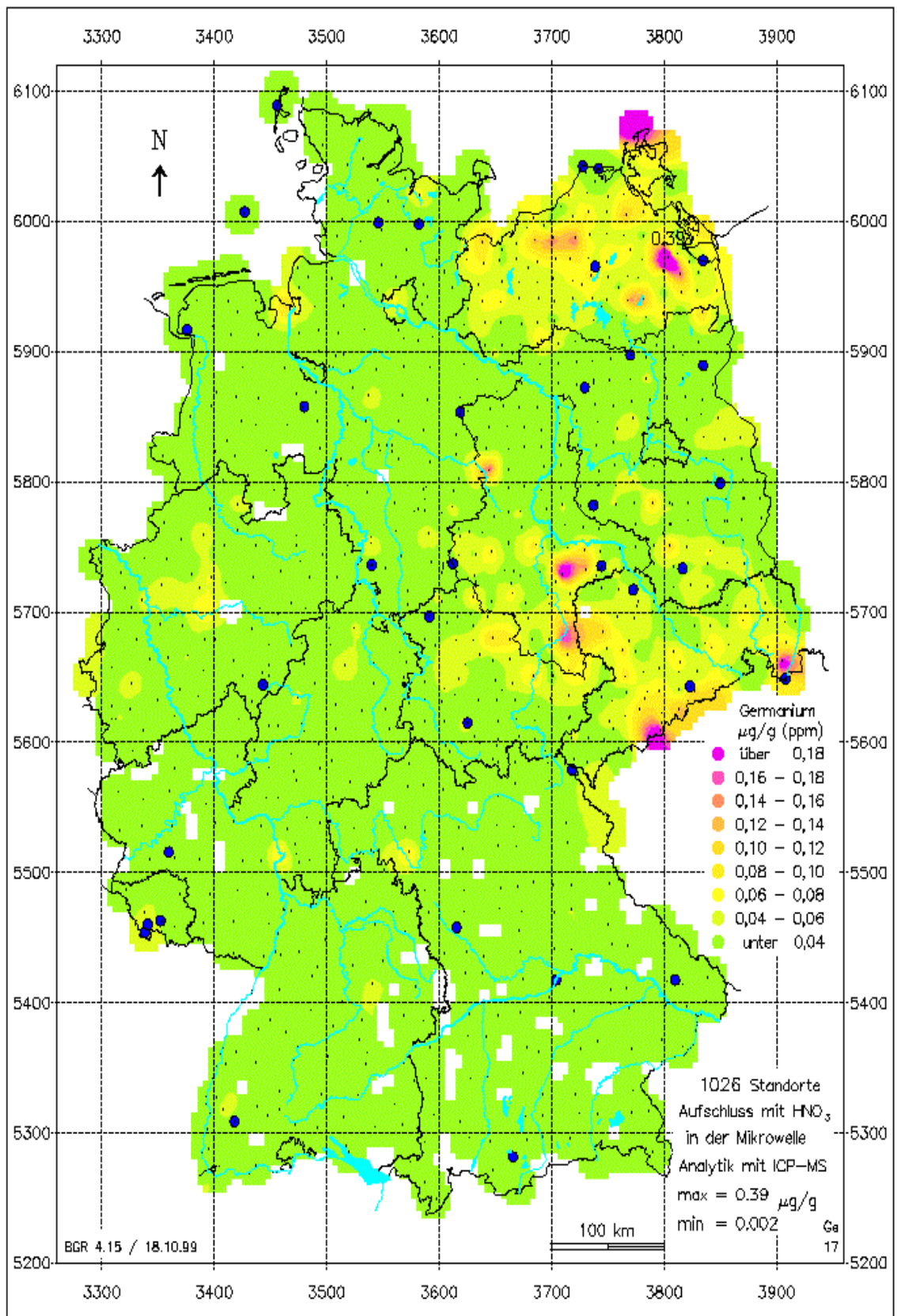
Im menschlichen Körper ist Germanium in fast allen Bereichen zu finden, auch in den Haaren und Nägeln. Der größte Teil wird über die Nieren ausgeschieden. Im allgemeinen konnten Schäden durch Germanium und seine Verbindungen für die Gehalte, die mit der täglichen Nahrung oder durch Atmung aufgenommen werden, noch nicht nachgewiesen werden.

In den alten Ländern liegen an fast allen Standorten die Germaniumgehalte in Moosen unter 0,04 µg/g. Bei Nordenham an der Wesermündung, im Ruhrgebiet, am Rhein bei Gernsheim und bei Würzburg sind höhere Gehalte festzustellen. Dagegen treten noch höhere Gehalte in den neuen Ländern auf. So zeigen sich in Mecklenburg-Vorpommern im gesamten Gebiet erhöhte Germaniumgehalte, besonders bei Anklam mit 0,39 µg/g als Maximum. Ferner gibt es punktuelle Erhöhungen im Südosten bei Zittau und im Erzgebirge sowie bei Bitterfeld.

Tab. 16 : Germanium-Gehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland.  
Gehalte in µg/g TS (ppm) als arithmetischer Mittelwert, Median, Maximum und Minimum.

Land	Anzahl der Proben	Mittelwert	Median	Maximum	Minimum
Schleswig-Holstein	46	0.022	0.022	0.068	0.005
Hamburg	4	0.041	0.036	0.066	0.026
Niedersachsen	126	0.028	0.026	0.104	0.012
Nordrhein-Westfalen	84	0.027	0.024	0.073	0.009
Hessen	52	0.025	0.021	0.089	0.010
Rheinland-Pfalz	31	0.022	0.021	0.036	0.011
Baden-Württemberg	74	0.021	0.019	0.057	0.004
Bayern	119	0.019	0.018	0.076	0.004
Saarland	7	0.033	0.032	0.056	0.016
Berlin	3	0.032	0.028	0.041	0.026
Brandenburg	126	0.031	0.029	0.109	0.002
Mecklenburg-Vorpommern	113	0.061	0.050	0.388	0.011
Sachsen	80	0.056	0.044	0.228	0.014
Sachsen-Anhalt	86	0.042	0.032	0.261	0.010
Thüringen	75	0.036	0.033	0.106	0.008
Gesamt	1026	0.034	0.027	0.388	0.002

Abb. 39 : Germanium – Gehalte in Moosen Moos – Monitoring 1995/96



● UBA Standorte : Luft-Messnetz und Umweltprobenbank

UBA F+E 295 830 87/01



## Indium

## In

Indium gehört zu den äußerst seltenen Elementen der Erdkruste. Es kommt sowohl gediegen als auch in seltenen Mineralen vor. Verwendung findet es als Legierungsbestandteil und für elektrische Kontakte. Ferner wird es in der Halbleiterindustrie eingesetzt (InSb, InP oder InSe) und ist in Kitt- und Klebmassen zu finden.

Indium zeigt in den in der Umwelt auftretenden Gehalten keine schädigenden Wirkungen auf Pflanzen, Tiere oder Menschen [Römpp 1989].

In die Umwelt gelangt es hauptsächlich als Rohstoffbestandteil bei der Verhüttung von Kupfer und Zink. So gibt es auffällige Ähnlichkeiten in der Verteilung der höchsten Gehalte in den Moosen bei Indium, Kupfer und Zink.

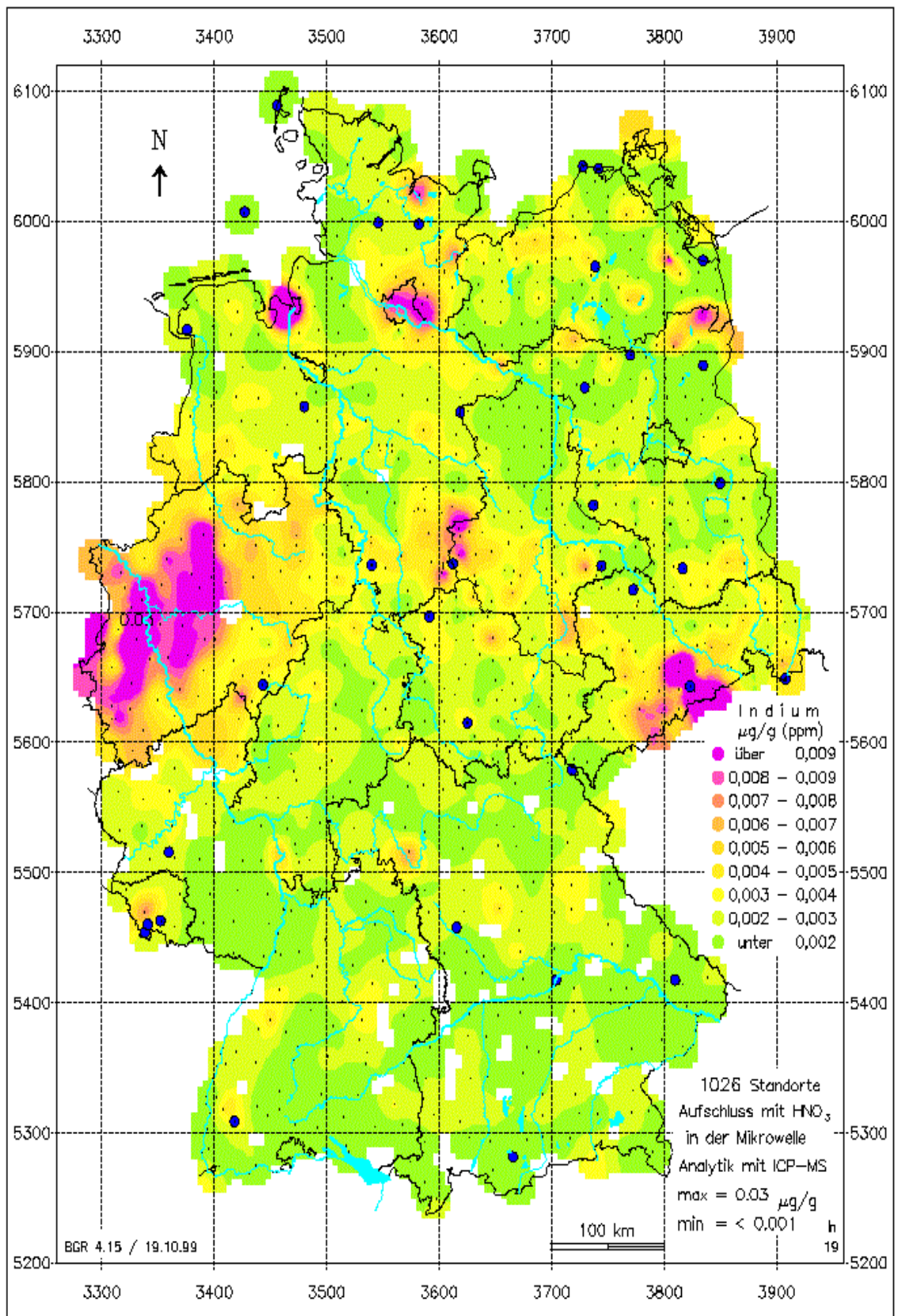
Auf großen Flächen wird im Ruhrgebiet ein Indiumgehalt von 0,009 µg/g (entspricht 9 ng/g) in Moosen überschritten. Dort sind auch hohe Kupfer- und Zinkgehalte anzutreffen. Weitere regional erhöhte Gehalte finden sich bei den Metallhütten im Harz und im Erzgebirge. Punktuelle Erhöhungen gibt es bei Kiel und bei den Metallhütten von Nordenham und Hamburg, aber auch bei Löcknitz (Brandenburg). In den Ländern Mecklenburg-Vorpommern, Bayern und Baden-Württemberg ist der Median in Moosen mit 1,9 bzw. 1,8 ng/g am niedrigsten.

Tab. 17 : Indium-Gehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland.  
Gehalte in **ng/g TS (ppb)** als arithmetischer Mittelwert, Median, Maximum und Minimum.

Land	Anzahl der Proben	Mittelwert	Median	Maximum	Minimum
Schleswig-Holstein	46	3.3	2.7	10.6	0.9
Hamburg	4	8.6	8.7	10.9	6.1
Niedersachsen	126	3.2	2.8	23.1	0.8
Nordrhein-Westfalen	84	6.4	5.4	28.4	1.7
Hessen	52	2.3	2.1	6.2	1.1
Rheinland-Pfalz	31	2.5	2.4	9.0	0.1
Baden-Württemberg	74	1.9	1.8	4.7	< 0.1
Bayern	119	2.0	1.9	7.1	0.5
Saarland	7	3.2	3.0	7.5	2.1
Berlin	3	2.2	2.5	2.5	1.8
Brandenburg	126	2.4	2.2	10.8	< 0.1
Mecklenburg-Vorpommern	113	2.2	1.9	9.8	< 0.1
Sachsen	80	4.4	2.9	26.4	1.2
Sachsen-Anhalt	86	3.0	2.3	11.7	0.8
Thüringen	75	2.5	2.4	7.4	0.7
Gesamt	1026	3.0	2.4	28.4	< 0.1

Abb. 40 : Indium – Gehalte in Moosen

Moos – Monitoring 1995/96



● UBA Standorte : Luft-Messnetz und Umweltprobenbank

UBA F+E 295 830 87/01

## Kalium

# K

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].

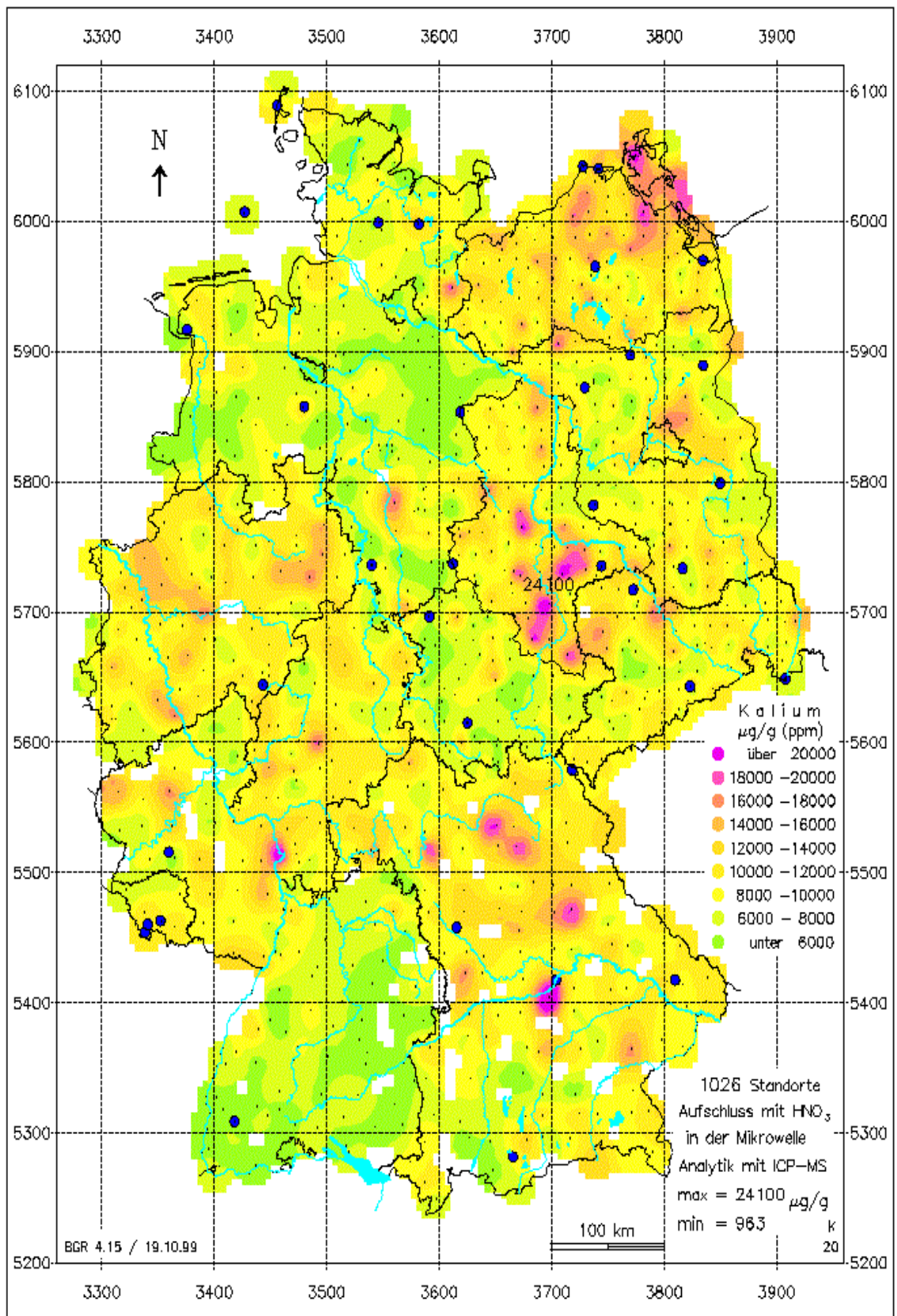
Weite Bereiche in Niedersachsen, Baden-Württemberg sowie Thüringen zeigen Kaliumgehalte unter 8 mg/g (entspricht 8000 µg/g) in Moosen. In der Nähe von Merseburg (Sachsen-Anhalt) ist der Gehalt mit 24,1 mg/g am größten. Die höchsten Mediane finden sich in Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen-Anhalt, Hessen und Nordrhein-Westfalen.

Tab. 18 : Kalium-Gehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland.  
Gehalte in µg/g TS (ppm) als arithmetischer Mittelwert, Median, Maximum und Minimum.

Land	Anzahl der Proben	Mittelwert	Median	Maximum	Minimum
Schleswig-Holstein	46	8080	7770	19400	3840
Hamburg	4	5495	5455	6690	4380
Niedersachsen	126	7021	6740	18300	963
Nordrhein-Westfalen	84	10646	10400	17900	5890
Hessen	52	10349	10100	22700	4980
Rheinland-Pfalz	31	9637	8694	16300	5280
Baden-Württemberg	74	6438	5920	12900	4016
Bayern	119	10455	9875	23800	4690
Saarland	7	9260	9750	11500	6380
Berlin	3	10338	9814	11860	9340
Brandenburg	126	9363	8710	19500	1940
Mecklenburg-Vorpommern	113	12016	11900	21400	5800
Sachsen	80	9508	9175	18300	4370
Sachsen-Anhalt	86	11967	10900	24100	6410
Thüringen	75	7323	7050	15900	1380
Gesamt	1026	9465	8790	24100	963

Abb. 41 : Kalium – Gehalte in Moosen

Moos – Monitoring 1995/96



● UBA Standorte : Luft-Messnetz und Umweltprobenbank

UBA F+E 295 830 87/01

**Kobalt****Co**

Kobaltmetall wird als Legierungsbestandteil verwendet. Verschiedene farbige Verbindungen dienen als Pigmente für die Farbenherstellung und in der Porzellan- und Keramikindustrie. Kobaltacetat wird als Bleich- und Trockenmittel eingesetzt. Kobalt(II)chlorid findet Anwendung in Galvanisierflüssigkeiten, in der Photographie und der Glasmalerei.

Kobalt ist essentiell für Menschen, Tiere und Pflanzen und Bestandteil des Vitamins B<sub>12</sub>. In größeren Mengen ist es jedoch toxisch. Symptome konnten bei der medizinischen Anwendung von Kobalt und seinen Verbindungen beobachtet werden. Kobalt wird laut MAK-Liste als krebserregend eingestuft. Zu geringe Kobaltgehalte im Boden führen bei manchen Tieren zu verminderter Milchleistung oder geringerem Gewicht.

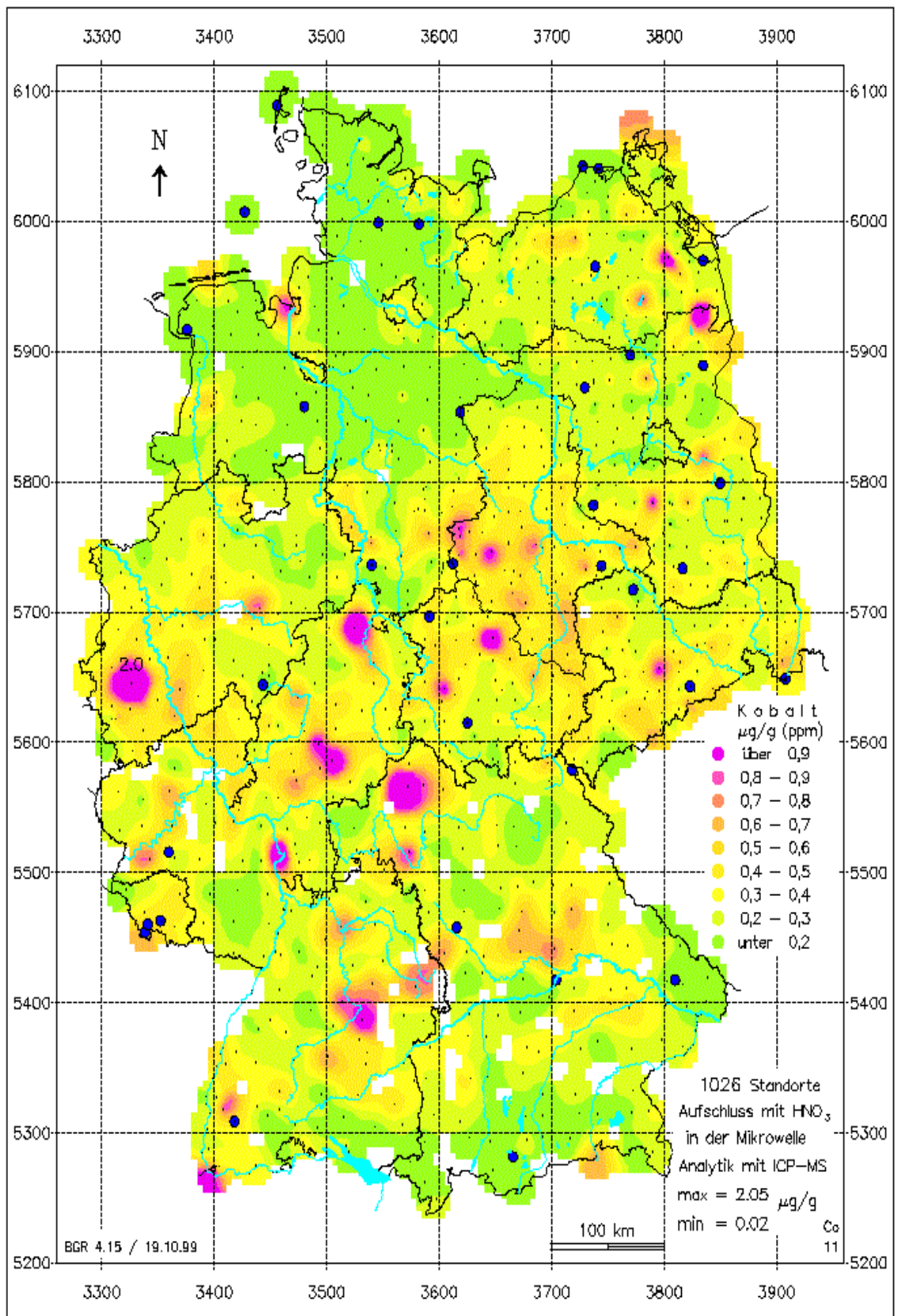
Das Norddeutsche Tiefland zeigt zusammen mit dem Alpenvorland die niedrigsten Kobaltgehalte in Moosen. Hohe Kobaltgehalte treten z. B. bei Nordenham, bei Anklam und bei Löcknitz in Brandenburg, bei Kassel, im Harz, nördlich von Bad Kissingen, bei Gießen, bei Gernsheim am Rhein und bei Stuttgart auf. Außerdem zeigen sich punktuelle Erhöhungen im südlichen Sachsen-Anhalt und nördlichen Thüringen. Westlich von Jülich ist der Gehalt in Moosen mit 2,0 µg/g am höchsten. Sachsen-Anhalt und das Saarland zeigen die höchsten Mediane mit 0,40 bzw. 0,41 µg/g.

Tab. 19 : Kobalt-Gehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland.  
Gehalte in µg/g TS (ppm) als arithmetischer Mittelwert, Median, Maximum und Minimum.

Land	Anzahl der Proben	Mittelwert	Median	Maximum	Minimum
Schleswig-Holstein	46	0.16	0.15	0.43	0.02
Hamburg	4	0.25	0.24	0.35	0.19
Niedersachsen	126	0.22	0.18	0.97	0.05
Nordrhein-Westfalen	84	0.35	0.31	2.05	0.10
Hessen	52	0.43	0.35	1.53	0.16
Rheinland-Pfalz	31	0.34	0.29	0.82	0.13
Baden-Württemberg	74	0.35	0.30	1.01	0.04
Bayern	119	0.30	0.25	1.80	0.05
Saarland	7	0.40	0.41	0.65	0.17
Berlin	3	0.23	0.24	0.28	0.18
Brandenburg	126	0.30	0.26	1.60	0.07
Mecklenburg-Vorpommern	113	0.28	0.24	1.46	0.06
Sachsen	80	0.34	0.30	1.01	0.11
Sachsen-Anhalt	86	0.45	0.40	1.08	0.14
Thüringen	75	0.37	0.33	1.53	0.07
Gesamt	1026	0.32	0.29	2.05	0.02

Abb. 4.2 : K o b a l t – Gehalte in Moosen

Moos – Monitoring 1995/96



● UBA Standorte : Luft-Messnetz und Umweltprobenbank

UBA F+E 295 830 87/01

## Lanthan

# La

Lanthan dient als Legierungshilfsmittel, ist in einigen Katalysatoren zu finden und wird als  $\text{La}_2\text{O}_3$  in der optischen Glasherstellung eingesetzt.

Die Lanthanide (siehe bei Cer) besitzen für den Menschen eine geringe Toxizität, deren Stärke von der jeweiligen Verbindung abhängt. Die in der Umwelt und den Nahrungsmitteln auftretenden Gehalte sind nicht gesundheitsschädlich. Lanthan und Cer werden quantitativ in Pflanzen gefunden, jedoch werden sie nicht als essentiell eingestuft [Markert 1992].

Der Eintrag von Lanthan in die Umwelt aus geogenen Quellen wird größer eingeschätzt als der durch anthropogene Quellen [Reimann & Caritat 1998].

Erhöhte Lanthangehalte in Moosen wurden im nördlichen Thüringen und im südlichen Sachsen-Anhalt gemessen. Lokal hohe Gehalte treten vorwiegend bei Nordenham, bei Büsum in Schleswig-Holstein, bei Würzburg, bei Gernsheim am Rhein, nördlich und östlich von Regensburg, sowie an mehreren Orten in Mecklenburg-Vorpommern und im Schwarzwald auf. Der höchste Wert in Moosen mit  $7,8 \mu\text{g/g}$  Lanthan wird in der Nähe von Karlsruhe beobachtet. Hohe Mittelwerte treten in Sachsen, Thüringen, Sachsen-Anhalt, Mecklenburg-Vorpommern und Baden-Württemberg auf.

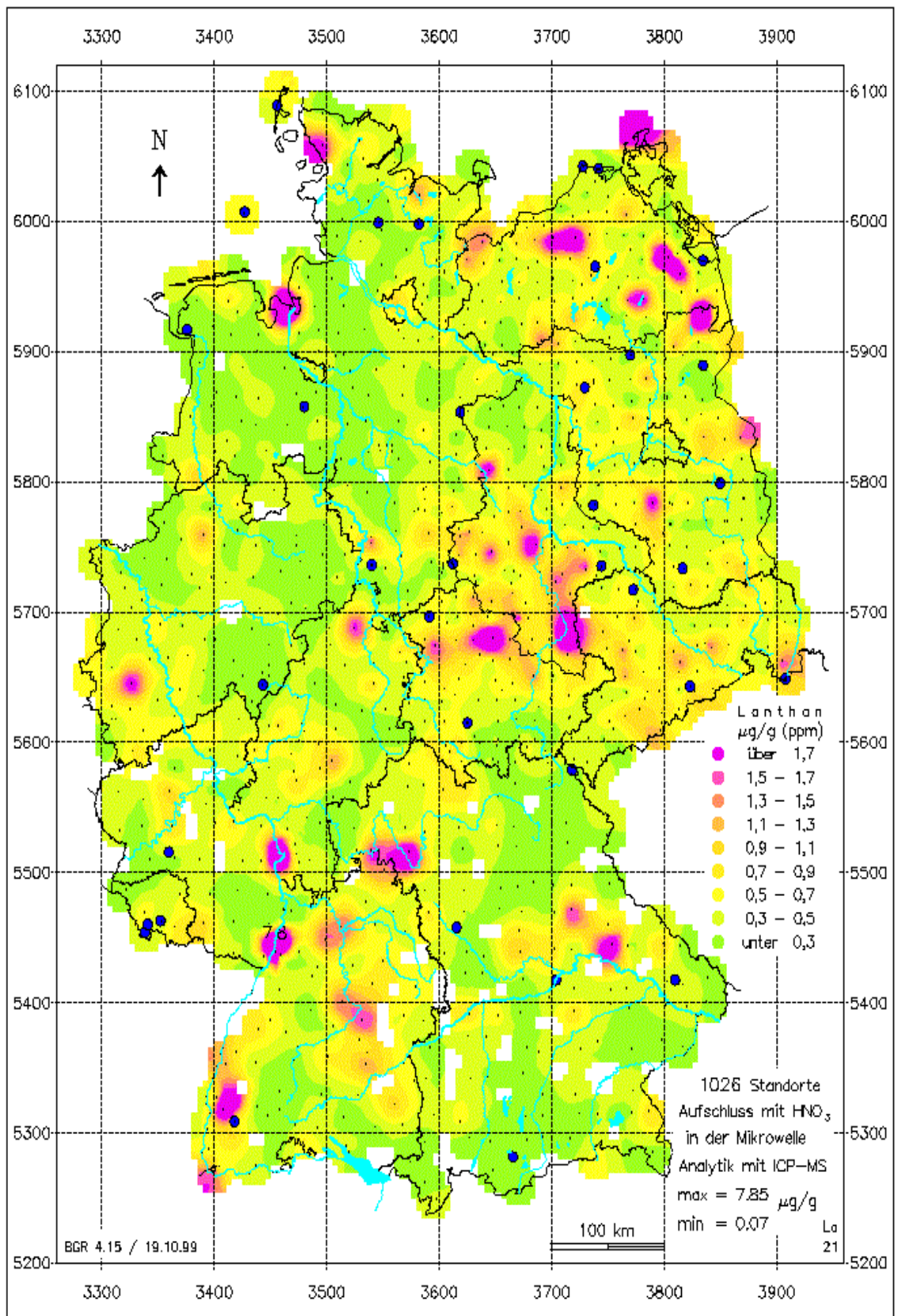
Die auffälligen Ähnlichkeiten in den Verteilungen in Moosen von Lanthan mit denen von Aluminium und Cer sind bei Cer beschrieben.

Tab. 20 : Lanthan-Gehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland.  
Gehalte in  $\mu\text{g/g}$  TS (ppm) als arithmetischer Mittelwert, Median, Maximum und Minimum.

Land	Anzahl der Proben	Mittelwert	Median	Maximum	Minimum
Schleswig-Holstein	46	0.45	0.37	1.88	0.14
Hamburg	4	0.63	0.55	1.06	0.36
Niedersachsen	126	0.38	0.29	3.67	0.08
Nordrhein-Westfalen	84	0.36	0.30	1.97	0.115
Hessen	52	0.51	0.37	3.84	0.16
Rheinland-Pfalz	31	0.42	0.38	0.96	0.17
Baden-Württemberg	74	0.72	0.48	7.85	0.10
Bayern	119	0.41	0.31	2.58	0.10
Saarland	7	0.42	0.44	0.75	0.15
Berlin	3	0.38	0.34	0.48	0.32
Brandenburg	126	0.56	0.44	3.90	0.07
Mecklenburg-Vorpommern	113	0.66	0.45	5.86	0.17
Sachsen	80	0.63	0.49	1.70	0.18
Sachsen-Anhalt	86	0.71	0.49	3.22	0.16
Thüringen	75	0.62	0.51	3.64	0.12
Gesamt	1026	0.53	0.38	7.85	0.07

Abb. 43 : Lanthan - Gehalte in Moosen

Moos - Monitoring 1995/96



● UBA Standorte : Luft-Messnetz und Umweltprobenbank

UBA F+E 295 830 87/01



## Magnesium

# Mg

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.

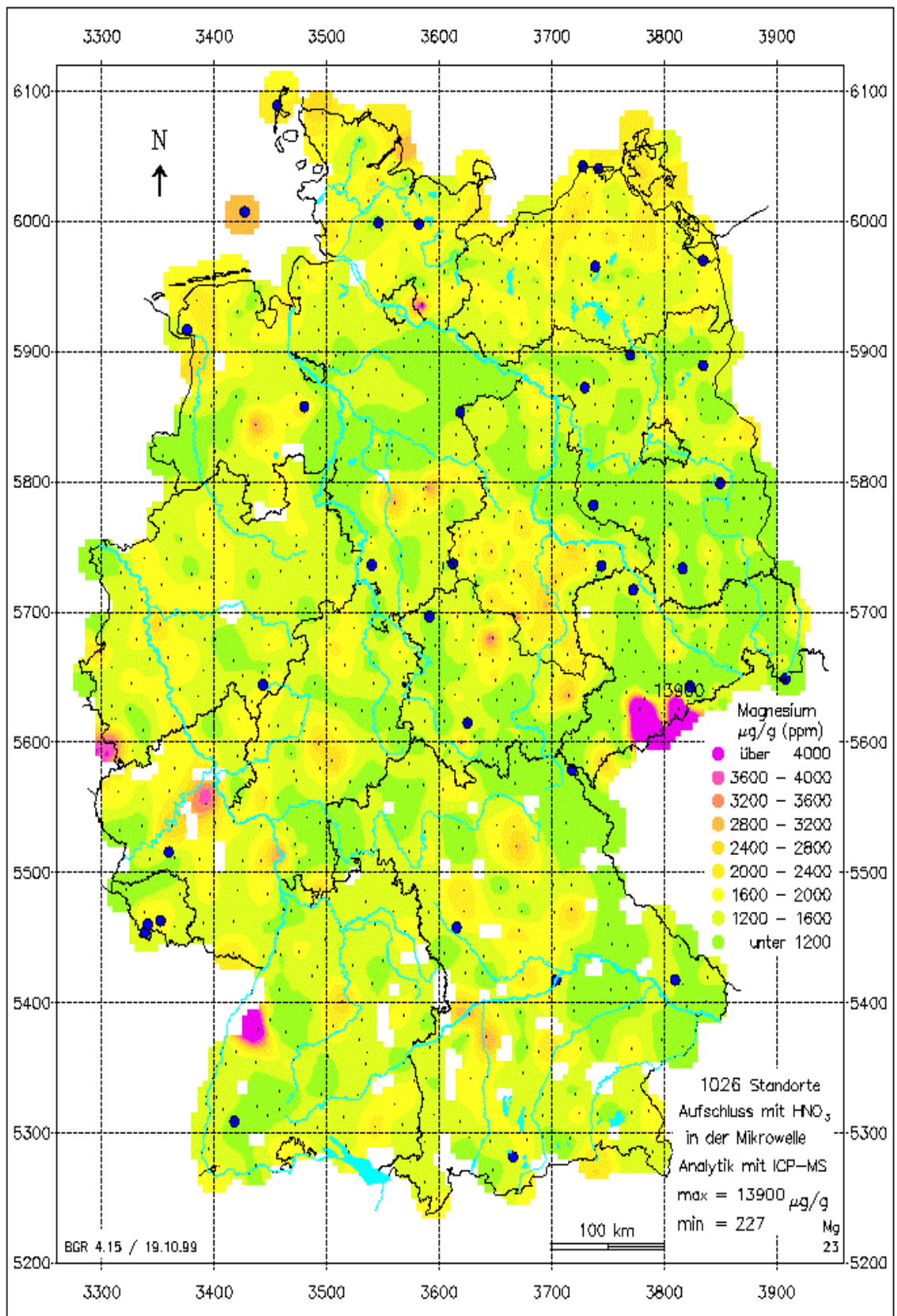
Magnesium ist essentiell für Menschen, Tiere und Pflanzen. Alle Enzymreaktionen, die durch ATP katalysiert werden, benötigen in bestimmten Formen Magnesium. Toxisch wirkt Magnesium auf Pflanzen, Tiere und Menschen deswegen nur in sehr hohen Gehalten. Viel eher ist ein Magnesiummangel zu beobachten. Pflanzen 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.

Es zeigen sich nur an wenigen Stellen in Deutschland erhöhte Magnesiumgehalte in Moosen. Dies ist im nördlichen Schwarzwald und im Erzgebirge am deutlichsten zu beobachten, wo die Moose Gehalte bis zu 13,9 mg/g (entspricht 13900 µg/g) Magnesium aufwiesen. Neben Berlin und Hamburg sind in Sachsen und Brandenburg die Mediane am geringsten; sie liegen bei 1120 bzw. 1150 µg/g.

Tab. 21 : Magnesium-Gehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland.  
Gehalte in µg/g TS (ppm) als arithmetischer Mittelwert, Median, Maximum und Minimum.

Land	Anzahl der Proben	Mittelwert	Median	Maximum	Minimum
Schleswig-Holstein	46	1772	1740	4400	865
Hamburg	4	1150	1120	1340	1020
Niedersachsen	126	1360	1270	3470	567
Nordrhein-Westfalen	84	1504	1450	3900	898
Hessen	52	1481	1270	3440	891
Rheinland-Pfalz	31	1659	1585	3700	831
Baden-Württemberg	74	1454	1360	6080	776
Bayern	119	1387	1240	3210	737
Saarland	7	1378	1365	2060	747
Berlin	3	1220	1075	1576	1009
Brandenburg	126	1189	1150	2390	227
Mecklenburg-Vorpommern	113	1677	1625	2750	956
Sachsen	80	1558	1120	13900	570
Sachsen-Anhalt	86	1635	1520	3520	774
Thüringen	75	1320	1200	3790	248
Gesamt	1026	1464	1340	13900	227

Abb. 44 : M a g n e s i u m – Gehalte in Moosen Moos – Monitoring 1995/96



● UBA Standorte : Luft-Messnetz und Umweltprobenbank

UBA F+E 295 830 87/01

## Mangan

# Mn

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 ( $\text{MnCO}_3$ ) 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 enthält vergleichsweise wenig Mangan.

Vergiftungen mit Mangan durch Umweltverschmutzung sind bis auf einen Fall nicht bekannt [Merian 1991]. Eher kommt es zu Mangelercheinungen.

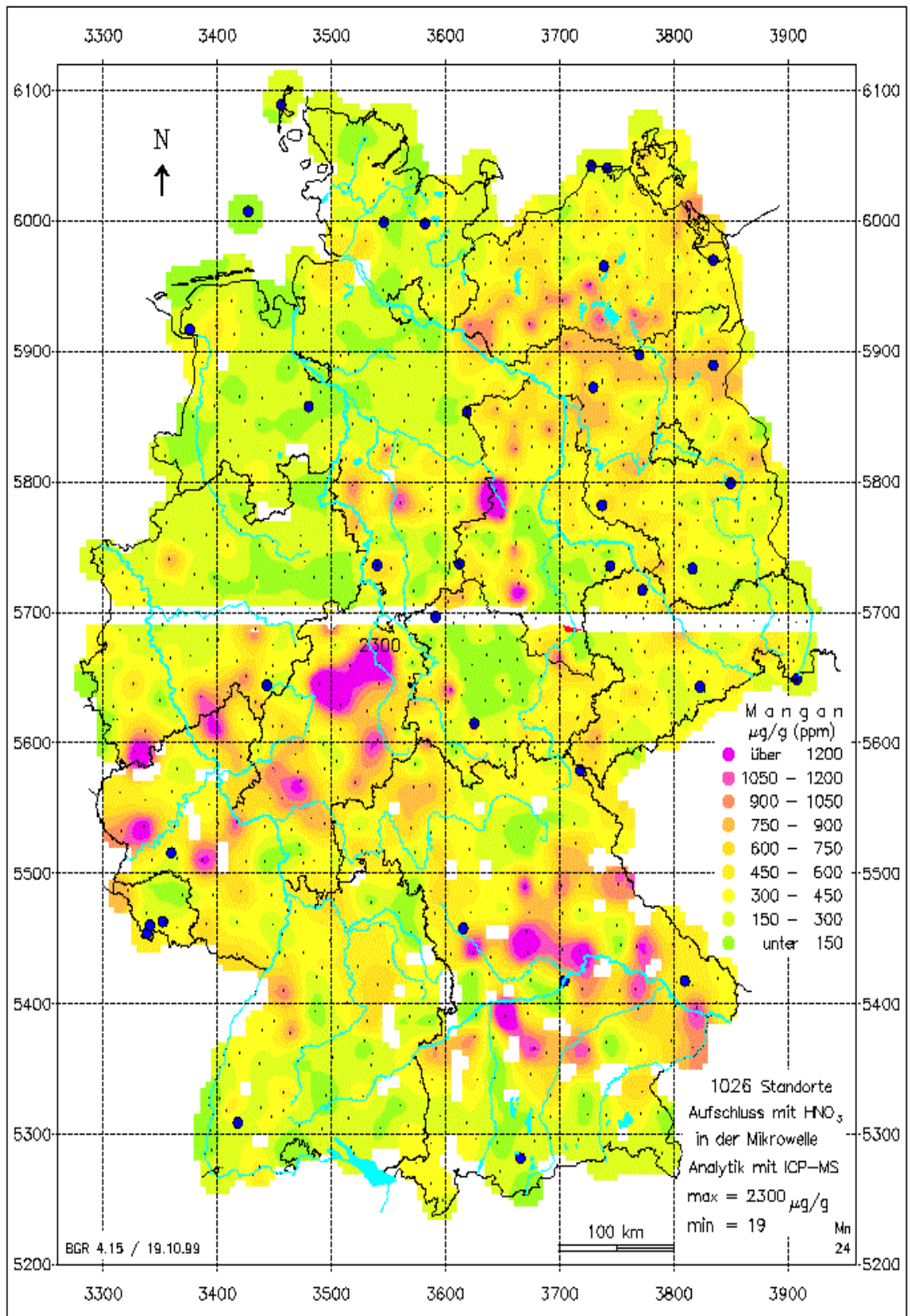
Die höchsten Mangangehalte in Moosen treten südlich von Kassel auf (2300  $\mu\text{g/g}$ ). Neben punktförmigen Anreicherungen (bei Helmstedt, Trier und Blankenheim/Eifel) gibt es auch flächenhaft auftretende Anomalien, so nördlich der Donau oder südwestlich von Kassel. Weniger Mangan findet man dagegen in Niedersachsen und Schleswig-Holstein.

Tab. 22 : Mangan-Gehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland.  
Gehalte in  $\mu\text{g/g}$  TS (ppm) als arithmetischer Mittelwert, Median, Maximum und Minimum.

Land	Anzahl der Proben	Mittelwert	Median	Maximum	Minimum
Schleswig-Holstein	46	229	172	653	37
Hamburg	4	209	171	427	69
Niedersachsen	126	274	220	1170	19
Nordrhein-Westfalen	84	312	238	1450	21.4
Hessen	52	631	540	2300	39.6
Rheinland-Pfalz	31	602	504	1410	59
Baden-Württemberg	74	324	265	990	48
Bayern	119	506	429	1890	23.4
Saarland	7	342	293	814	61
Berlin	3	303	149	617	143
Brandenburg	126	477	392	1040	57.6
Mecklenburg-Vorpommern	113	513	473	1280	95
Sachsen	80	373	334	971	62.2
Sachsen-Anhalt	86	447	358	2090	28.5
Thüringen	75	335	290	1280	25.1
Gesamt	1026	412	331	2300	19

Abb. 45 : M a n g a n – Gehalte in Moosen

Moos – Monitoring 1995/96



● UBA Standorte : Luft-Messnetz und Umweltprobenbank

UBA F+E 295 830 87/01

## Molybdän

# Mo

Molybdän wird in Legierungen, in Katalysatoren und in der Halbleiterindustrie eingesetzt. Verbindungen dienen als Pigmente. Es gehört zu den äußerst seltenen Elementen der Erdkruste.

Molybdän ist ein essentielles Spurenelement im biologischen Kreislauf. Das Element und seine Verbindungen besitzen keine starken toxischen Wirkungen, die Toxizität ist geringer als bei Wolfram und seinen Verbindungen. Die Eigenschaft des Molybdäns, mehrere verschiedene Oxidationsstufen anzunehmen, lässt es an vielen enzymatischen Vorgängen teilnehmen. Es gibt Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen erhöhten Molybdängehalten in Böden und dem Auftreten von Gicht beim Menschen [Ullmanns 1974].

Die verschiedenen Molybdängehalte in Böden spiegeln sich in den unterschiedlichen Gehalten in Pflanzen und Tieren wider. Gebiete mit einem zu geringen Molybdängehalt im Boden sind in der Regel unfruchtbarer als Böden mit höheren Gehalten.

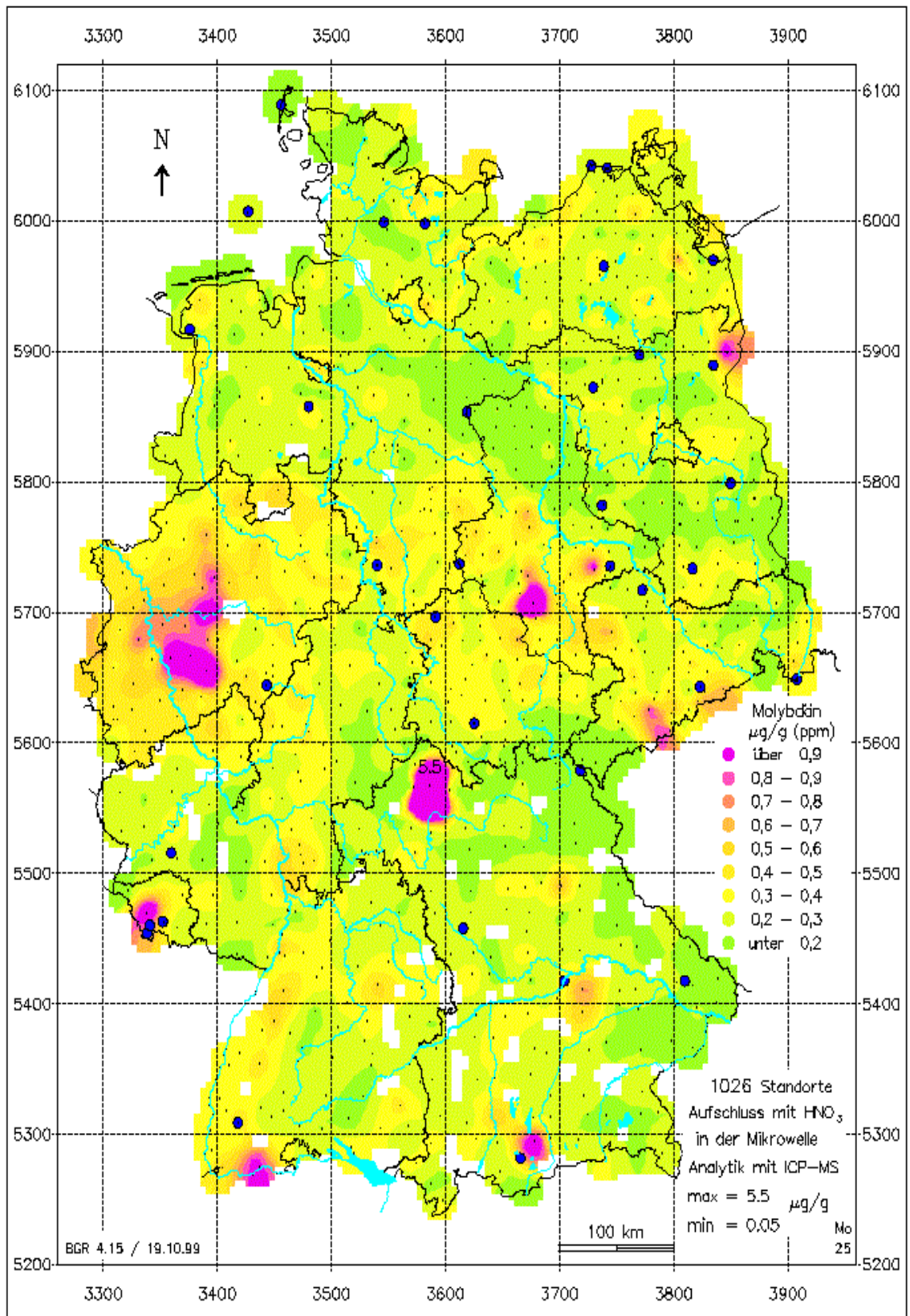
Moose mit Molybdängehalten über 0,9 µg/g werden bei Schwedt (Erdölraffinerie auf beiden Seiten der Oder), bei Leverkusen, im Saarland, bei Penzburg (Bayern), bei Waldshut-Tiengen am Rhein (Baden-Württemberg) und bei Sangerhausen (Sachsen-Anhalt) gefunden. Der höchste Molybdänwert tritt mit 5,5 µg/g in Moosen bei Hammelburg auf. Das Land Nordrhein-Westfalen hat mit 0,43 µg/g den höchsten Median. Hier treten die erhöhten Molybdängehalte flächenhaft auf. Geringe Gehalte werden in Niedersachsen, Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern, Bayern und Rheinland-Pfalz gefunden.

Tab. 23 : Molybdän-Gehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland.  
Gehalte in µg/g TS (ppm) als arithmetischer Mittelwert, Median, Maximum und Minimum.

Land	Anzahl der Proben	Mittelwert	Median	Maximum	Minimum
Schleswig-Holstein	46	0.26	0.24	0.58	0.82
Hamburg	4	0.31	0.32	0.34	0.25
Niedersachsen	126	0.27	0.24	0.62	0.10
Nordrhein-Westfalen	84	0.49	0.43	1.63	0.17
Hessen	52	0.30	0.29	0.59	0.14
Rheinland-Pfalz	31	0.27	0.25	0.57	0.14
Baden-Württemberg	74	0.32	0.30	0.95	0.15
Bayern	119	0.29	0.22	5.50	0.09
Saarland	7	0.46	0.32	1.20	0.18
Berlin	3	0.36	0.39	0.41	0.29
Brandenburg	126	0.25	0.22	1.10	0.05
Mecklenburg-Vorpommern	113	0.28	0.27	0.74	0.11
Sachsen	80	0.30	0.26	0.89	0.11
Sachsen-Anhalt	86	0.33	0.26	2.84	0.12
Thüringen	75	0.29	0.27	0.67	0.08
Gesamt	1026	0.30	0.26	5.50	0.05

Abb. 46 : M o l y b d ä n – Gehalte in Moosen

Moos – Monitoring 1995/96



● UBA Standorte : Luft-Messnetz und Umweltprobenbank

UBA F+E 295 830 87/01

## Natrium

# Na

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.

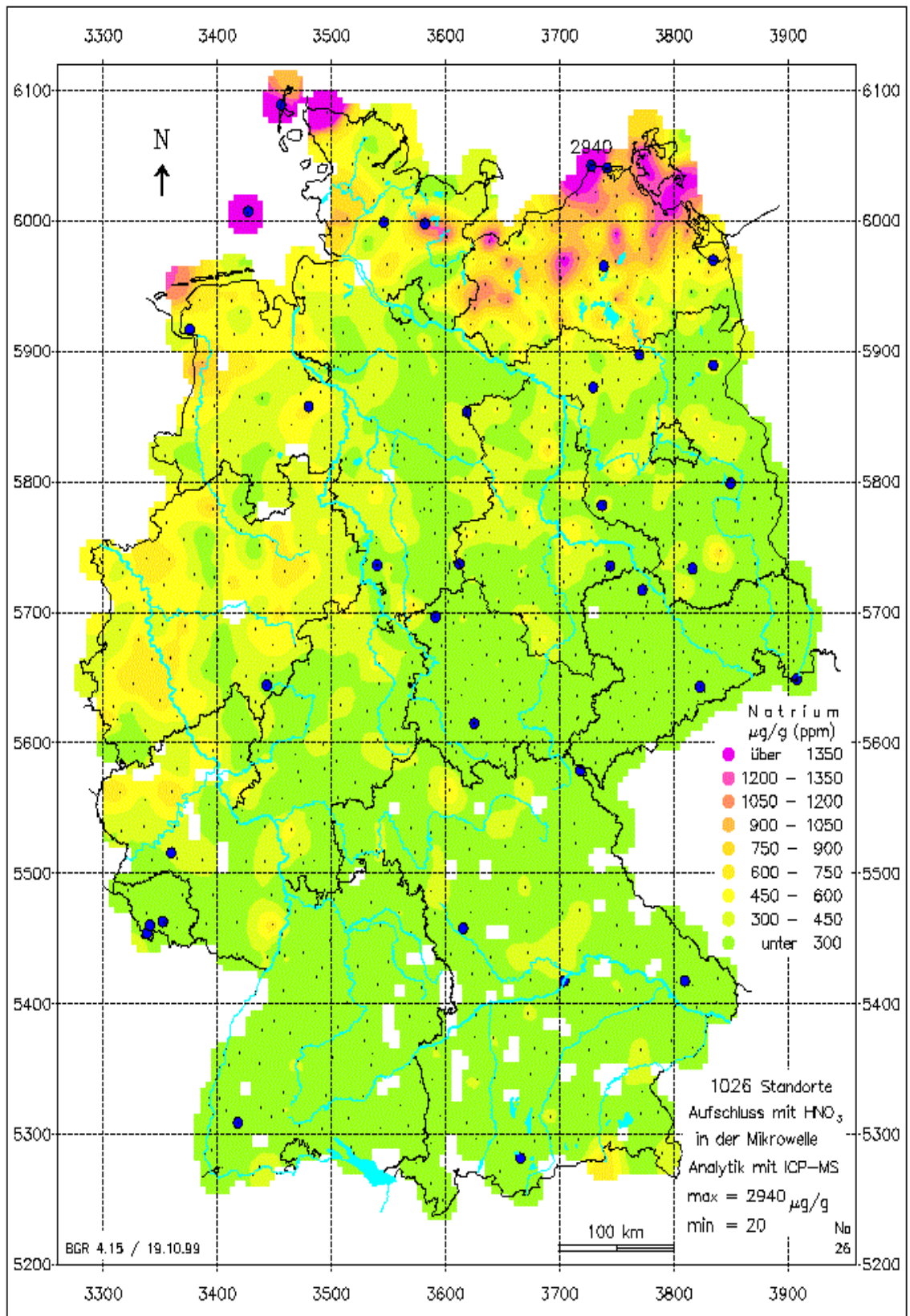
Bei den Natriumgehalten in Moosen ist deutlich zu erkennen, dass die Gehalte in den Küstenregionen auf Grund des Seewasser-Einflusses („sea spray“) höher als im Binnenland sind. So finden sich die höchsten Werte auf Helgoland, Sylt und Darß/Zingst. In Mecklenburg-Vorpommern zeigt sich der mit Abstand höchste Median mit 786 µg/g. Während in Nordrhein-Westfalen die Gehalte teilweise noch um die 400 bis 800 µg/g variieren, liegen sie in Baden-Württemberg, Bayern, Thüringen und Sachsen in weiten Bereichen unter 300 µg/g.

Tab. 24 : Natrium-Gehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland.  
Gehalte in µg/g TS (ppm) als arithmetischer Mittelwert, Median, Maximum und Minimum.

Land	Anzahl der Proben	Mittelwert	Median	Maximum	Minimum
Schleswig-Holstein	46	576	418	2350	100
Hamburg	4	215	203	330	122
Niedersachsen	126	357	317	1160	85
Nordrhein-Westfalen	84	441	424	791	138
Hessen	52	267	243	521	82
Rheinland-Pfalz	31	346	308	731	165
Baden-Württemberg	74	122	115	326	50
Bayern	119	210	188	662	20
Saarland	7	180	160	297	100
Berlin	3	206	208	232	177
Brandenburg	126	277	242	799	66
Mecklenburg-Vorpommern	113	784	786	2940	196
Sachsen	80	156	144	315	62
Sachsen-Anhalt	86	304	281	772	60
Thüringen	75	178	164	499	60
Gesamt	1026	338	254	2940	20

Abb. 47 : Natrium – Gehalte in Moosen

Moos – Monitoring 1995/96



● UBA Standorte : Luft-Messnetz und Umweltprobenbank

UBA F+E 295 830 87/01



## Rubidium

# Rb

Das Metall wird sowohl in der Halbleitertechnik als auch als Kathodenmaterial eingesetzt. Rubidiumverbindungen bilden Glaszusätze, werden in Arzneimitteln und in Festkörperlasern verwendet.

Über die physiologische Funktion von Rubidium ist wenig bekannt. Es wird quantitativ in Pflanzen gefunden, gilt jedoch als nicht essentiell [Markert 1992].

Rubidium ersetzt in vielen Mineralen Kalium oder Barium. In Kaliumfeldspäten ist Rubidium besonders häufig. Das Kalium/Rubidium-Verhältnis in kontinentalen Gesteinen liegt im Bereich von 160 bis 300 zu 1.

In der Umwelt wird Rubidium hauptsächlich durch Staub verbreitet, der bei der Verwitterung von Mineralen entsteht. Die anthropogenen Quellen, evtl. aus Düngemitteln, werden als wenig bedeutend eingeschätzt [Reimann & Caritat 1989].

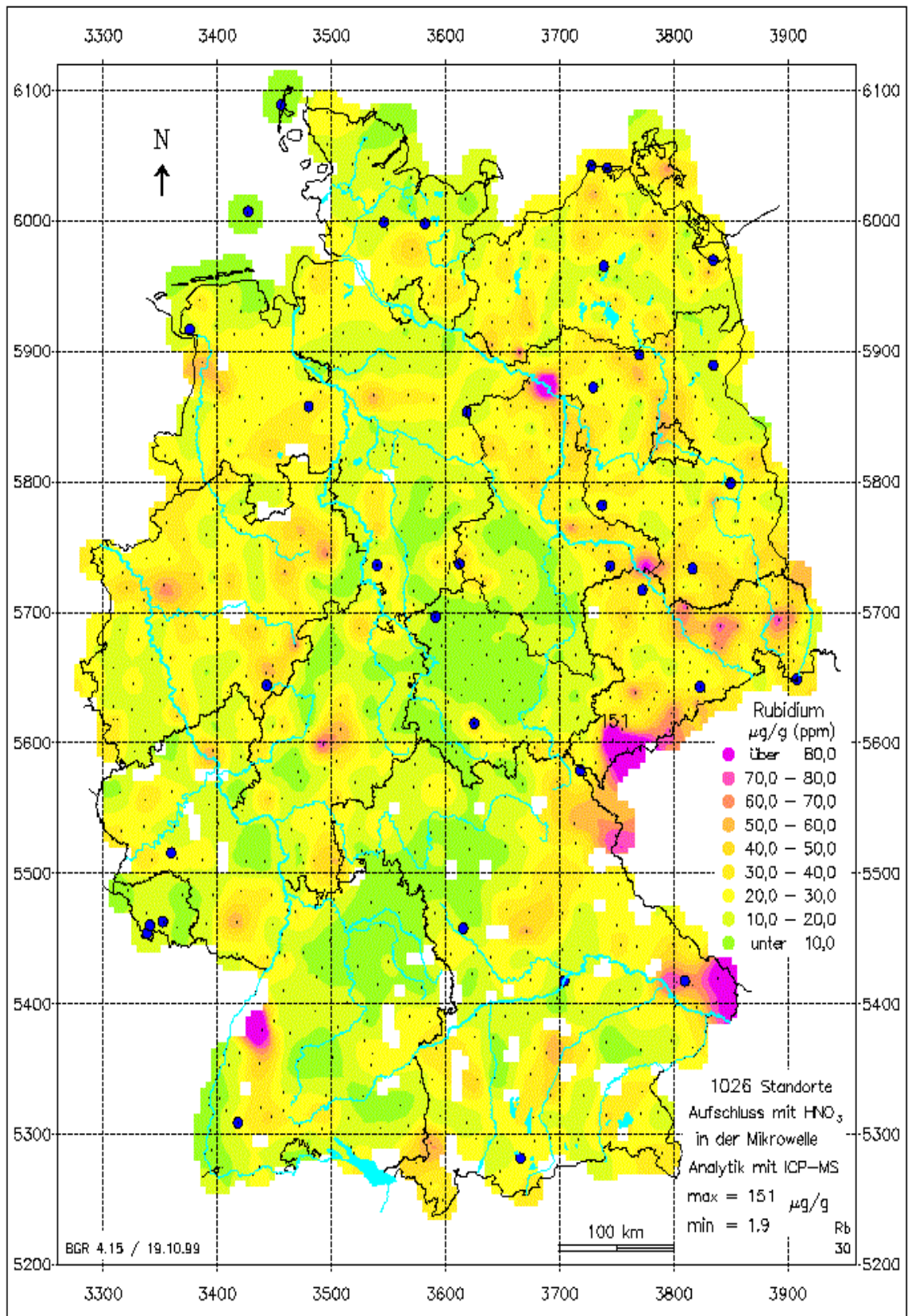
Moose mit Rubidiumgehalten weit über dem Durchschnitt wurden bei Wittenberge an der Elbe, im nördlichen Schwarzwald bei Oberkirch, im Erzgebirge und im südlichen Bayerischen Wald ermittelt. Die im Median geringsten Gehalte zeigen sich im Saarland und in Thüringen. Sachsen, Brandenburg, Berlin und Nordrhein-Westfalen sind die Ländern mit den höchsten Medianen von über 25 µg/g.

Tab. 25 : Rubidium-Gehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland.  
Gehalte in µg/g TS (ppm) als arithmetischer Mittelwert, Median, Maximum und Minimum.

Land	Anzahl der Proben	Mittelwert	Median	Maximum	Minimum
Schleswig-Holstein	46	17.9	17.0	50.1	3.9
Hamburg	4	18.8	17.1	29.5	11.4
Niedersachsen	126	20.0	18.1	57.2	1.9
Nordrhein-Westfalen	84	27.3	25.6	67.4	3.9
Hessen	52	19.9	14.7	79.3	3.1
Rheinland-Pfalz	31	20.5	17.1	54.9	3.7
Baden-Württemberg	74	17.6	11.3	121	3.1
Bayern	119	25.2	21.9	88.5	1.9
Saarland	7	11.9	14.7	17.2	4.4
Berlin	3	34.6	26.3	54.4	23.0
Brandenburg	126	29.7	25.7	142	4.6
Mecklenburg-Vorpommern	113	25.8	22.7	81.8	5.3
Sachsen	80	41.2	35.4	151	12.2
Sachsen-Anhalt	86	25.7	22.1	93.2	4.1
Thüringen	75	13.9	8.5	52.4	2.5
Gesamt	1026	24.5	21.2	151	1.9

Abb. 48 : R u b i d i u m – Gehalte in Moosen

Moos – Monitoring 1995/96



● UBA Standorte : Luft-Messnetz und Umweltprobenbank

UBA F+E 295 830 87/01

## Scandium

# Sc

Scandium besitzt nur eine geringe technische Bedeutung; teilweise wird es als Legierungsbestandteil oder als Kathode in Röntgenröhren verwendet.

Über die Toxizität und die Umweltverträglichkeit von Scandium ist wenig bekannt. Es gilt nicht als essentiell, wird jedoch quantitativ in Pflanzen gefunden.

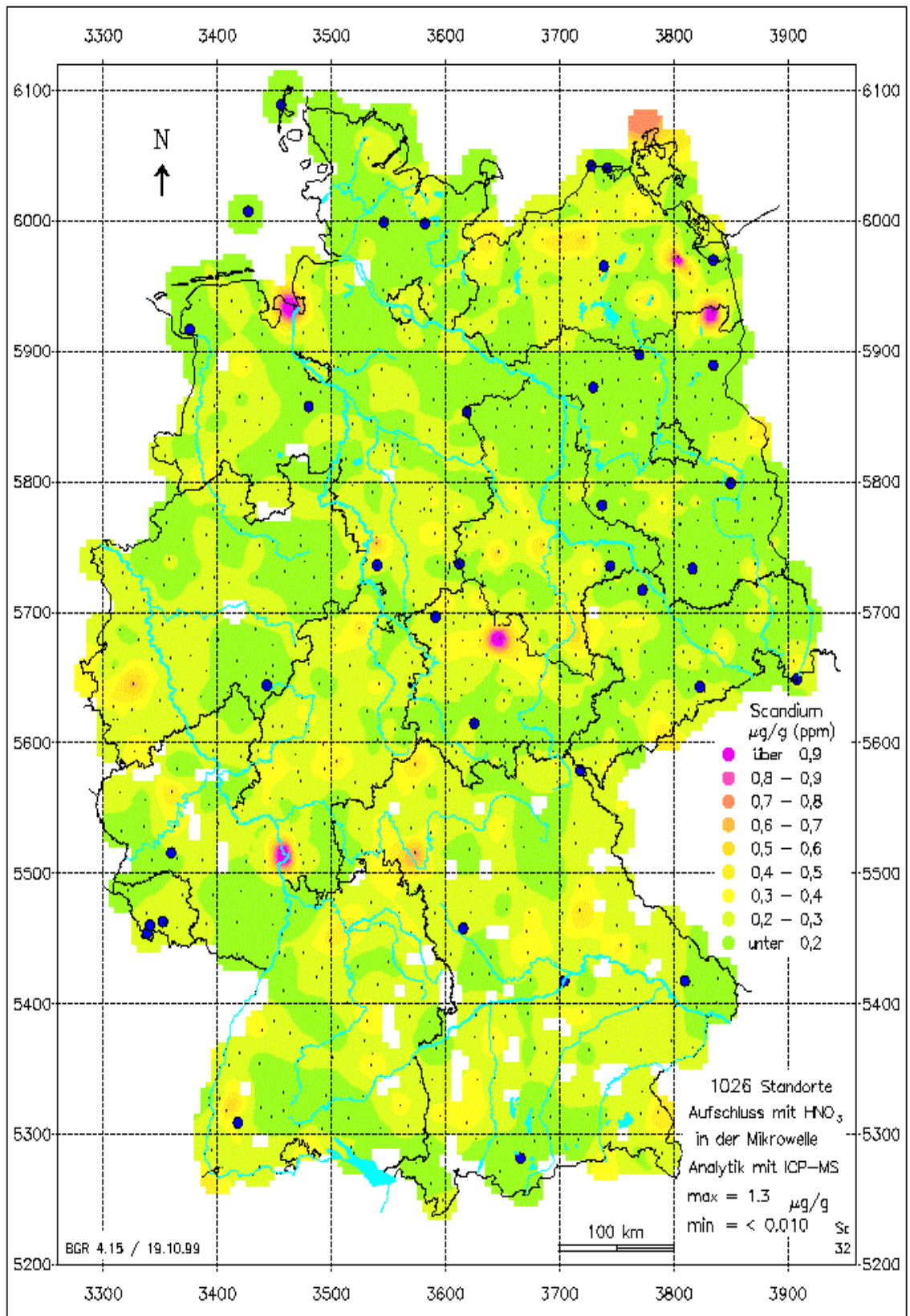
Hauptsächlich kommt es im Mineral Thortveitit vor, von dem nur wenige Lagerstätten bekannt sind. Scandium ist in der Erdkruste ähnlich häufig wie Blei oder Kobalt, aber auf Grund seiner weiten Verbreitung (ubiquitär) ist es nur schwer zu gewinnen.

Für die meisten Gebiete in Deutschland liegen die Scandiumgehalte in Moosen unter 0,4 µg/g. An einigen Standorten finden sich jedoch Gehalte über 0,9 µg/g, so bei Nordenham an der Wesermündung, bei Löcknitz im Nordosten und bei Gernsheim am Rhein. Bei Sondershausen in Thüringen liegt das Maximum in Moosen mit 1,3 µg/g. Die niedrigsten Mediane treten in Brandenburg und Berlin auf.

Tab. 26 : Scandium-Gehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland.  
Gehalte in µg/g TS (ppm) als arithmetischer Mittelwert, Median, Maximum und Minimum.

Land	Anzahl der Proben	Mittelwert	Median	Maximum	Minimum
Schleswig-Holstein	46	0.184	0.178	0.364	0.064
Hamburg	4	0.198	0.169	0.335	0.120
Niedersachsen	126	0.218	0.196	1.120	0.103
Nordrhein-Westfalen	84	0.214	0.197	0.629	0.102
Hessen	52	0.265	0.230	1.250	0.131
Rheinland-Pfalz	31	0.194	0.178	0.450	0.088
Baden-Württemberg	74	0.234	0.228	0.591	0.064
Bayern	119	0.239	0.223	0.720	0.093
Saarland	7	0.216	0.240	0.285	0.111
Berlin	3	0.121	0.132	0.137	0.094
Brandenburg	126	0.161	0.141	1.250	< 0.010
Mecklenburg-Vorpommern	113	0.247	0.220	1.150	0.096
Sachsen	80	0.198	0.185	0.489	0.019
Sachsen-Anhalt	86	0.196	0.173	0.558	0.058
Thüringen	75	0.233	0.206	1.270	0.058
Gesamt	1026	0.215	0.197	1.270	< 0.010

Abb. 49 : Scandium – Gehalte in Moosen Moos – Monitoring 1995/96



● UBA Standorte : Luft-Messnetz und Umweltprobenbank

UBA F+E 295 830 87/01

## Selen

## Se

Selen wird in der Elektronik und in der Laserherstellung eingesetzt. Verbindungen dienen als Farbpigmente, als Legierungszusätze und als Vulkanisationsbeschleuniger und werden in der Keramik- und Glasindustrie eingesetzt. In Antischuppenmitteln dürfen bis zu 1 % Selensulfid ( $\text{SeS}_2$ ) enthalten sein.

Selen hat eine große biologische Bedeutung; es ist ein lebensnotwendiges Element für Menschen und Tiere. Es gehört zu den äußerst seltenen Elementen der Erdkruste. Defizite rufen Mangelerscheinungen, Knochendeformation und Herzmuskelschwäche hervor, Überschüsse wirken toxisch (Unterschreitung von  $3 \mu\text{g/g}$  bzw. Überschreitung von  $5 - 15 \mu\text{g/g}$  in der Nahrung [Ullmanns 1974]). Der Bereich zwischen notwendiger Konzentration und toxischer Konzentration ist sehr klein. Menschen sind in vielen Fällen toleranter gegenüber einer zu hohen Konzentration als Tiere. Die meisten Lebewesen nehmen Selen durch die Nahrung auf, wobei der Resorptionsgrad von der Art der chemischen Verbindung abhängt. Bei Menschen, die ihre Nahrungsmittel von selenarmen Böden beziehen, kommt es oft zu Mangelerscheinungen. Hier helfen selenhaltige Düngemittel.

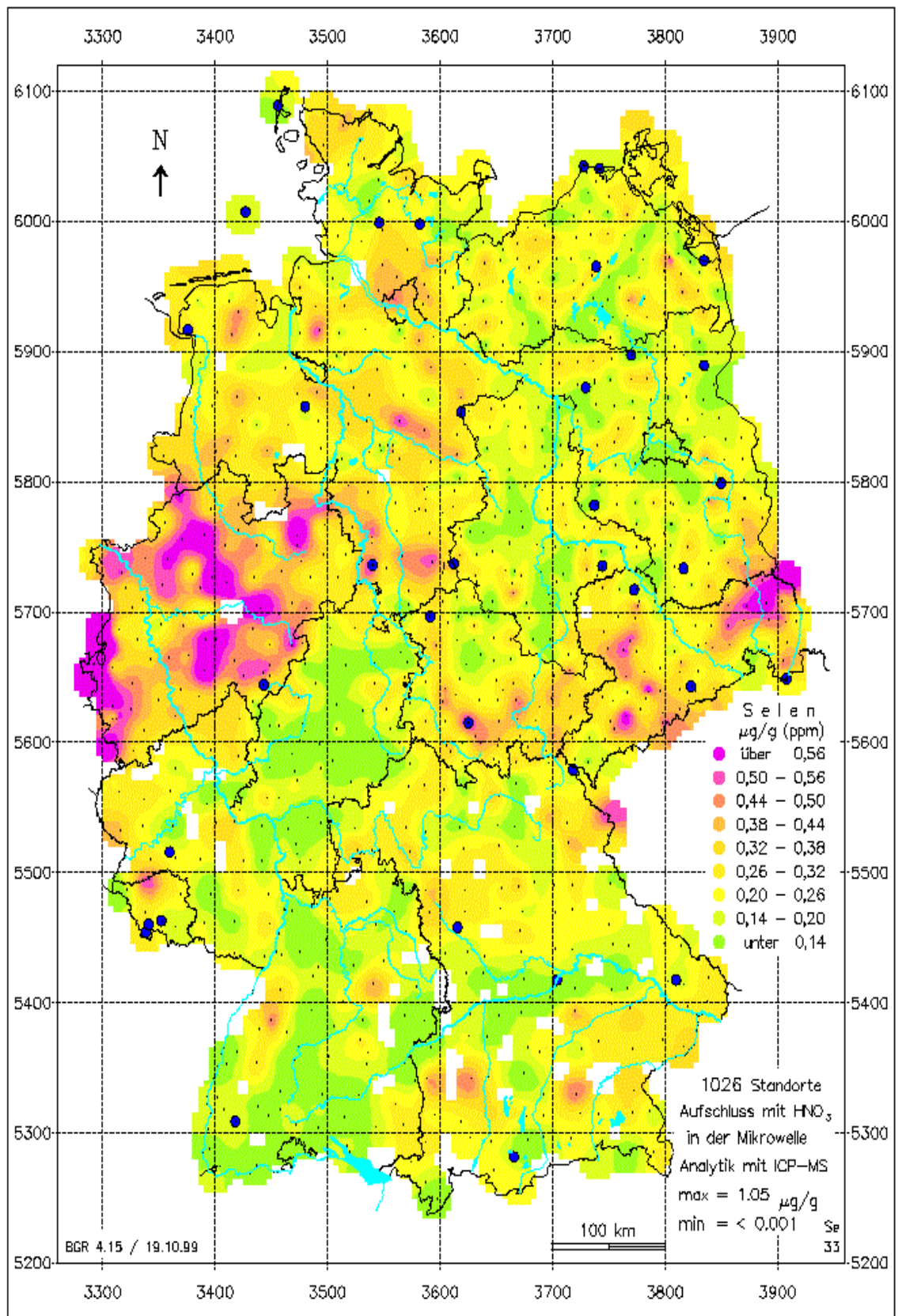
Flächenhafte hohe Selengehalte in Moosen ( $> 0,56 \mu\text{g/g}$ ) findet man in Nordrhein-Westfalen und in Sachsen. Geringe Gehalte ( $< 0,14 \mu\text{g/g}$ ) treten in weiten Teilen Hessens und Baden-Württembergs auf. In Niedersachsen liegen die Gehalte in weiten Bereichen zwischen  $0,2$  und  $0,4 \mu\text{g/g}$ .

Tab. 27 : Selen-Gehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland.  
Gehalte in  $\mu\text{g/g}$  TS (ppm) als arithmetischer Mittelwert, Median, Maximum und Minimum.

Land	Anzahl der Proben	Mittelwert	Median	Maximum	Minimum
Schleswig-Holstein	46	0.26	0.25	0.43	0.07
Hamburg	4	0.39	0.37	0.51	0.29
Niedersachsen	126	0.30	0.30	0.74	0.05
Nordrhein-Westfalen	84	0.46	0.42	1.05	0.12
Hessen	52	0.16	0.14	0.44	0.01
Rheinland-Pfalz	31	0.24	0.25	0.40	0.03
Baden-Württemberg	74	0.16	0.16	0.50	$< 0.001$
Bayern	119	0.23	0.23	0.55	0.04
Saarland	7	0.27	0.26	0.53	0.12
Berlin	3	0.14	0.14	0.15	0.13
Brandenburg	126	0.22	0.21	0.52	0.03
Mecklenburg-Vorpommern	113	0.22	0.21	0.54	0.004
Sachsen	80	0.34	0.33	0.76	0.11
Sachsen-Anhalt	86	0.20	0.19	0.48	0.02
Thüringen	75	0.30	0.30	0.72	0.03
Gesamt	1026	0.26	0.24	1.05	$< 0.001$

Abb. 50 : S e l e n – Gehalte in Moosen

Moos – Monitoring 1995/96



● UBA Standorte : Luft-Messnetz und Umweltprobenbank

UBA F+E 295 830 87/01

**Silber****Ag**

Silber ist das meistgebrauchte Edelmetall. Es wird in metallischer Form für Münzen, für Anoden galvanischer Bäder, für den chemischen Apparatebau etc. verwendet. Silberverbindungen finden Einsatz in der Photographie. In der Umwelt ist es weit verbreitet. Es gehört jedoch zu den äußerst seltenen Elementen der Erdkruste. Es gibt keinen Hinweis auf dadurch ausgelöste Gesundheitsschäden bei Menschen oder höheren Organismen. Silberverbindungen sind für den menschlichen Organismus weit weniger toxisch als z. B. Quecksilber, Thallium oder Cadmium und ihre Verbindungen. Das beruht auf der Umwandlung in schwerlösliche Verbindungen, wie Silberchlorid oder Silberalbuminat. Allerdings ist es für bestimmte Wasserorganismen und Mikroorganismen auch in geringeren Konzentrationen schädlich.

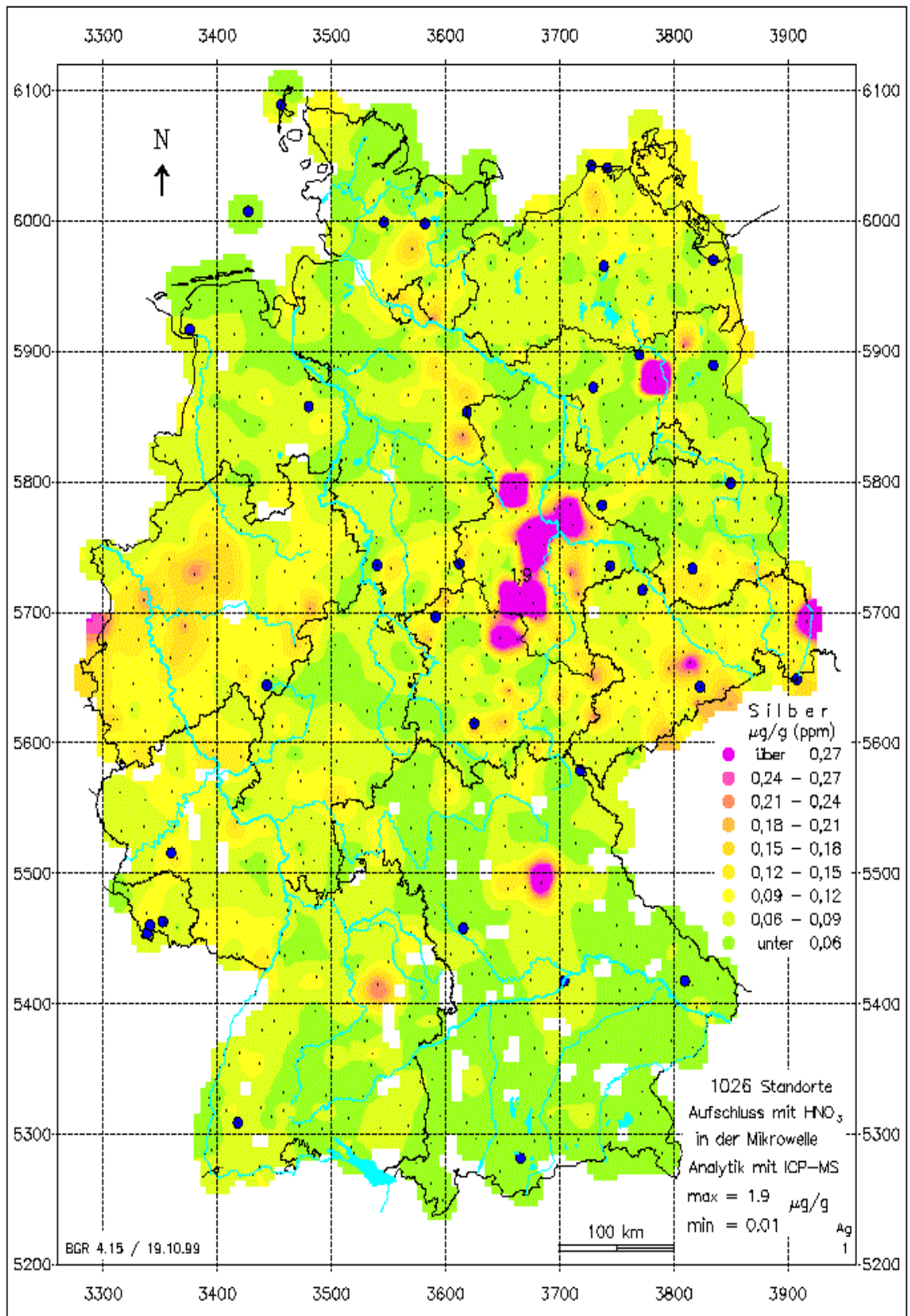
Silbergehalte in Moosen von über 0,27 µg/g treten auf großen Flächen im mittleren Sachsen-Anhalt auf. Hier zeigt sich auch der höchste Median mit 0,16 µg/g Silber. Dies sind Hinweise auf die dort angesiedelte Fotoindustrie. Bei Pegnitz in Bayern, bei Rheinsberg (nördlich von Berlin) und bei Görlitz sind die Erhöhungen punktförmig. In den alten Ländern zeigt sich ein Gehalt von über 0,27 µg/g nur in Bayern bei Hersbruck. Bayern hat ansonsten den niedrigsten Median.

Tab. 28 : Silber-Gehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland.  
Gehalte in µg/g TS (ppm) als arithmetischer Mittelwert, Median, Maximum und Minimum.

Land	Anzahl der Proben	Mittelwert	Median	Maximum	Minimum
Schleswig-Holstein	46	0.07	0.06	0.19	0.02
Hamburg	4	0.14	0.14	0.23	0.07
Niedersachsen	126	0.07	0.06	0.23	0.02
Nordrhein-Westfalen	84	0.11	0.10	0.25	0.05
Hessen	52	0.07	0.07	0.15	0.03
Rheinland-Pfalz	31	0.09	0.08	0.17	0.05
Baden-Württemberg	74	0.07	0.06	0.24	0.03
Bayern	119	0.06	0.05	0.48	0.02
Saarland	7	0.08	0.08	0.12	0.05
Berlin	3	0.08	0.08	0.09	0.06
Brandenburg	126	0.09	0.07	1.74	0.01
Mecklenburg-Vorpommern	113	0.08	0.09	0.19	0.03
Sachsen	80	0.11	0.09	0.46	0.05
Sachsen-Anhalt	86	0.16	0.07	1.87	0.04
Thüringen	75	0.10	0.07	0.43	0.02
Gesamt	1026	0.09	0.07	1.87	0.01

Abb. 51: Silber – Gehalte in Moosen

Moos – Monitoring 1995/96



● UBA Standorte : Luft-Messnetz und Umweltprobenbank

UBA F+E 295 830 87/01



## Strontium

# Sr

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.

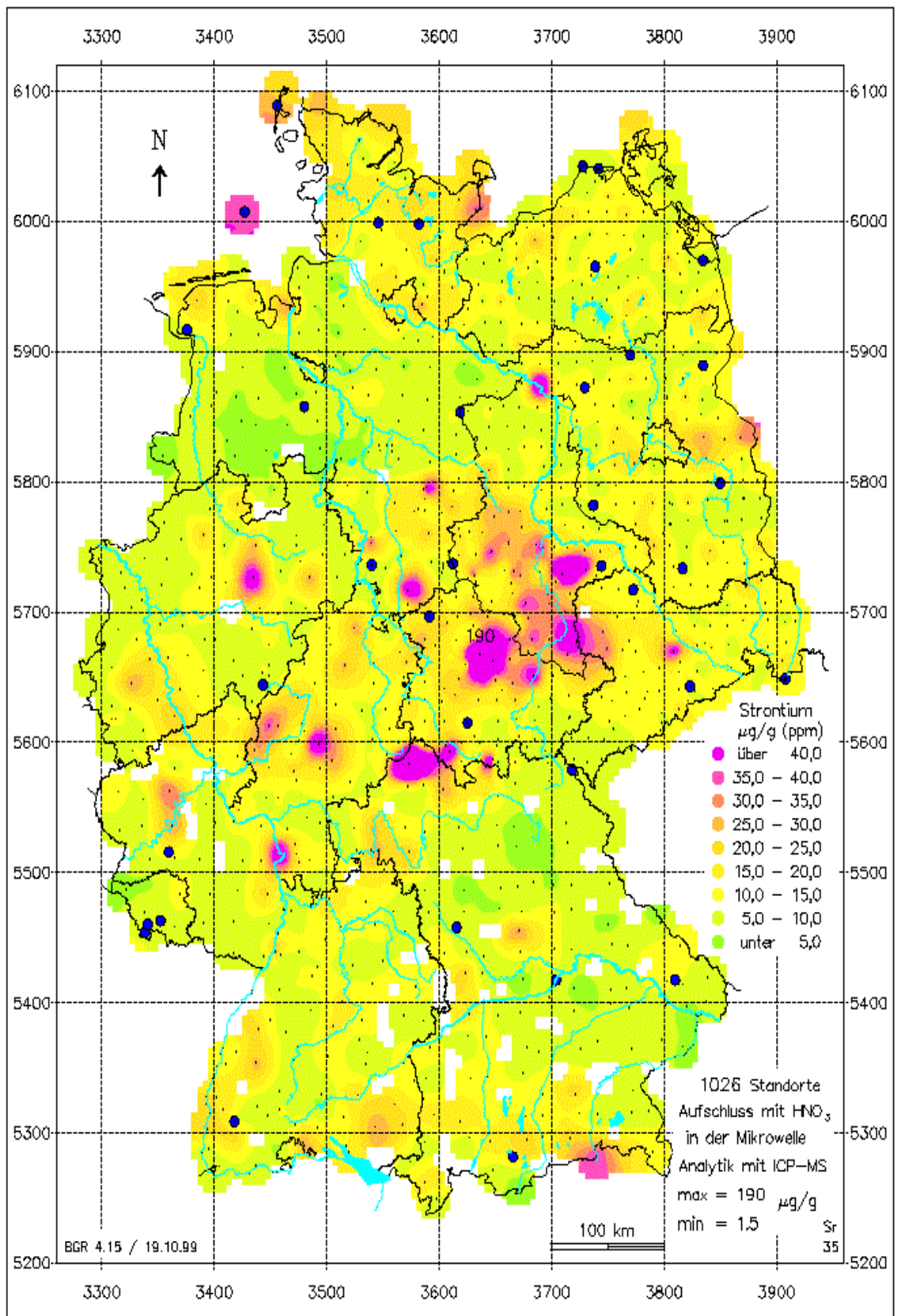
Strontium gilt als ungiftig, wobei die toxische Wirkung stark von der Art der jeweiligen Verbindung abhängig ist. Im Organismus verhält es sich ähnlich wie Calcium, es lagert sich in Knochen und Zähnen ab. Die Verweildauer im Körper ist dementsprechend groß. Dies macht den bei Reaktorunfällen oder Kernwaffenexplosionen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

Hohe Strontiumgehalte ( $> 40,0 \mu\text{g/g}$ ) in Moosen finden sich auf großen Flächen in Mitteldeutschland (Thüringen, Sachsen-Anhalt). Punktuelle hohe Gehalte treten bei Wittenberge an der Elbe, bei Gernsheim am Rhein, bei Hamm, bei Gießen und nordwestlich von Bad Kissingen auf. Auch die Moose auf Helgoland zeigen erhöhte Strontiumgehalte, während die Moose in den Küstengebieten im allgemeinen keine höheren Gehalte zeigen, wie das z. B. bei Natrium der Fall ist.

Tab. 29 : Strontium-Gehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland.  
Gehalte in  $\mu\text{g/g}$  TS (ppm) als arithmetischer Mittelwert, Median, Maximum und Minimum.

Land	Anzahl der Proben	Mittelwert	Median	Maximum	Minimum
Schleswig-Holstein	46	17.2	16.8	38.2	5.4
Hamburg	4	15.3	15.6	16.6	13.3
Niedersachsen	126	9.6	7.0	51.4	2.9
Nordrhein-Westfalen	84	10.7	8.8	47.4	5.0
Hessen	52	16.7	12.0	57.7	4.7
Rheinland-Pfalz	31	11.3	9.0	34.7	5.6
Baden-Württemberg	74	12.4	10.2	28.3	4.6
Bayern	119	11.1	7.8	136	2.8
Saarland	7	7.9	8.3	12.3	4.4
Berlin	3	14.4	14.5	16.4	12.4
Brandenburg	126	12.3	10.7	72.9	2.1
Mecklenburg-Vorpommern	113	11.2	10.2	44.4	4.4
Sachsen	80	13.0	12.5	47.1	4.3
Sachsen-Anhalt	86	19.6	15.1	97.1	5.8
Thüringen	75	21.2	14.3	190	1.5
Gesamt	1026	13.3	10.3	190	1.5

Abb. 52 : Strontium – Gehalte in Moosen Moos – Monitoring 1995/96



● UBA Standorte : Luft-Messnetz und Umweltprobenbank

UBA F+E 295 830 87/01

## Thallium

# TI

Thallium gehört zu den äußerst seltenen Elementen der Erdkruste und besitzt nur eine begrenzte technische Bedeutung. Es wird bei der Herstellung IR-durchlässiger Gläser und in Anodenlegierungen für die Kupferelektrolyse verwendet. Früher wurde Thalliumsulfat als Schädlingsbekämpfungsmittel (u. a. Ratten) eingesetzt, weil Thallium und seine Verbindungen erheblich giftig sind. Thallium liegt meist in der einwertigen Form vor. Dieses wird bei der Aufnahme durch die Nahrung praktisch vollständig resorbiert. Die aufgenommenen Thallium-Ionen werden rasch in die Zellen transportiert und übernehmen hier auf Grund des ähnlichen Ionenradius teilweise die Positionen der Kaliumionen.

Thalliumvergiftungen sind anhand der Symptome schwer zu diagnostizieren. Nicht alle durch eine Thalliumvergiftung auftretenden Schäden sind reversibel.

Chronische Vergiftung durch die Nahrung werden kaum beobachtet, da die Thalliumbelastung der Nahrung normalerweise gering ist (0,005 – 0,08 mg/kg in Gemüse und Früchten [Marquardt, Schäfer 1994]). Auch in der Nähe von Zementwerken oder anderen industriellen Prozessen, wie Verhüttung sulfidischer Erze oder Raffination von Erdöl, bei denen zum Teil eine erhöhte Thallium-Immission beobachtet wurde, sind (bis auf eine Ausnahme) keine chronischen Vergiftungen bekannt [Ullmanns 1974].

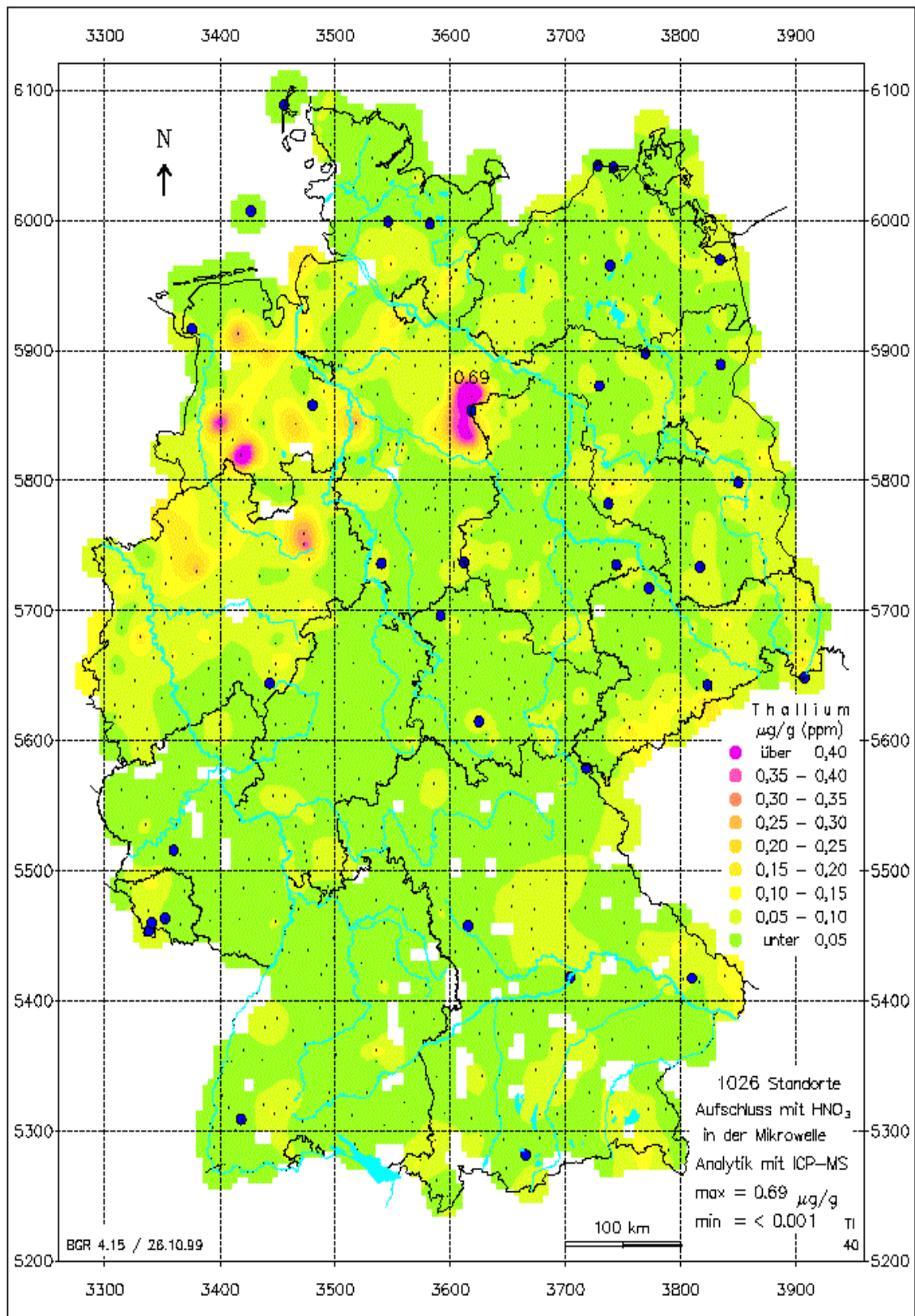
In weiten Teilen Deutschlands liegen die Thalliumgehalte in Moosen unter 0,05 µg/g. Erhöhte Werte treten nur im Emsland und in der östlichen Lüneburger Heide auf. Hier zeigen die Moose mit 0,69 µg/g auch die höchsten Thalliumgehalte, für die den Autoren bisher keine Erklärungen vorliegen. In Baden-Württemberg ist der Median am niedrigsten, auch in Hessen und Rheinland-Pfalz sind die Gehalte sehr gering. In Teilen von Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen sind die Gehalte flächenhaft höher mit 0,05 bis 0,15 µg/g.

Tab. 30 : Thallium-Gehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland.  
Gehalte in µg/g TS (ppm) als arithmetischer Mittelwert, Median, Maximum und Minimum.

Land	Anzahl der Proben	Mittelwert	Median	Maximum	Minimum
Schleswig-Holstein	46	0.04	0.03	0.20	0.008
Hamburg	4	0.08	0.06	0.19	0.031
Niedersachsen	126	0.08	0.05	0.69	0.009
Nordrhein-Westfalen	84	0.08	0.06	0.38	0.018
Hessen	52	0.04	0.03	0.08	0.015
Rheinland-Pfalz	31	0.03	0.03	0.07	0.011
Baden-Württemberg	74	0.03	0.02	0.15	< 0.001
Bayern	119	0.05	0.04	0.12	0.010
Saarland	7	0.06	0.04	0.11	0.024
Berlin	3	0.07	0.03	0.15	0.022
Brandenburg	126	0.05	0.05	0.20	0.012
Mecklenburg-Vorpommern	113	0.05	0.04	0.11	0.013
Sachsen	80	0.06	0.05	0.24	0.013
Sachsen-Anhalt	86	0.04	0.04	0.15	0.018
Thüringen	75	0.04	0.03	0.10	0.012
Gesamt	1026	0.05	0.04	0.69	< 0.001

Abb. 53 : Thallium – Gehalte in Moosen

Moos – Monitoring 1995/96



● UBA Standorte : Luft-Messnetz und Umweltprobenbank

UBA F+E 295 830 87/01

## Thorium

# Th

Thoriumoxid ist Brutstoff in Hochtemperaturreaktoren. Als Metall wird es im Elektronenröhrenbau und in Gaslampen eingesetzt.

Die chemisch toxische Wirkung von Thorium ist gering. Dagegen treten bei Inkorporation Schäden durch ionisierende Strahlung auf, da  $^{232}\text{Th}$  und seine Zerfallsprodukte  $\alpha$ - und  $\gamma$ -Strahler sind. Alle Substanzen, die ionisierende Strahlung aussenden, sind mutagen und cancerogen.

Typische Minerale des Thoriums sind Thorit, Monazit und Thorianit. In die Umwelt gelangt es als Bestandteil im Phosphatdünger, beim Uranabbau und bei der Kohleverbrennung und durch geogenen Staub.

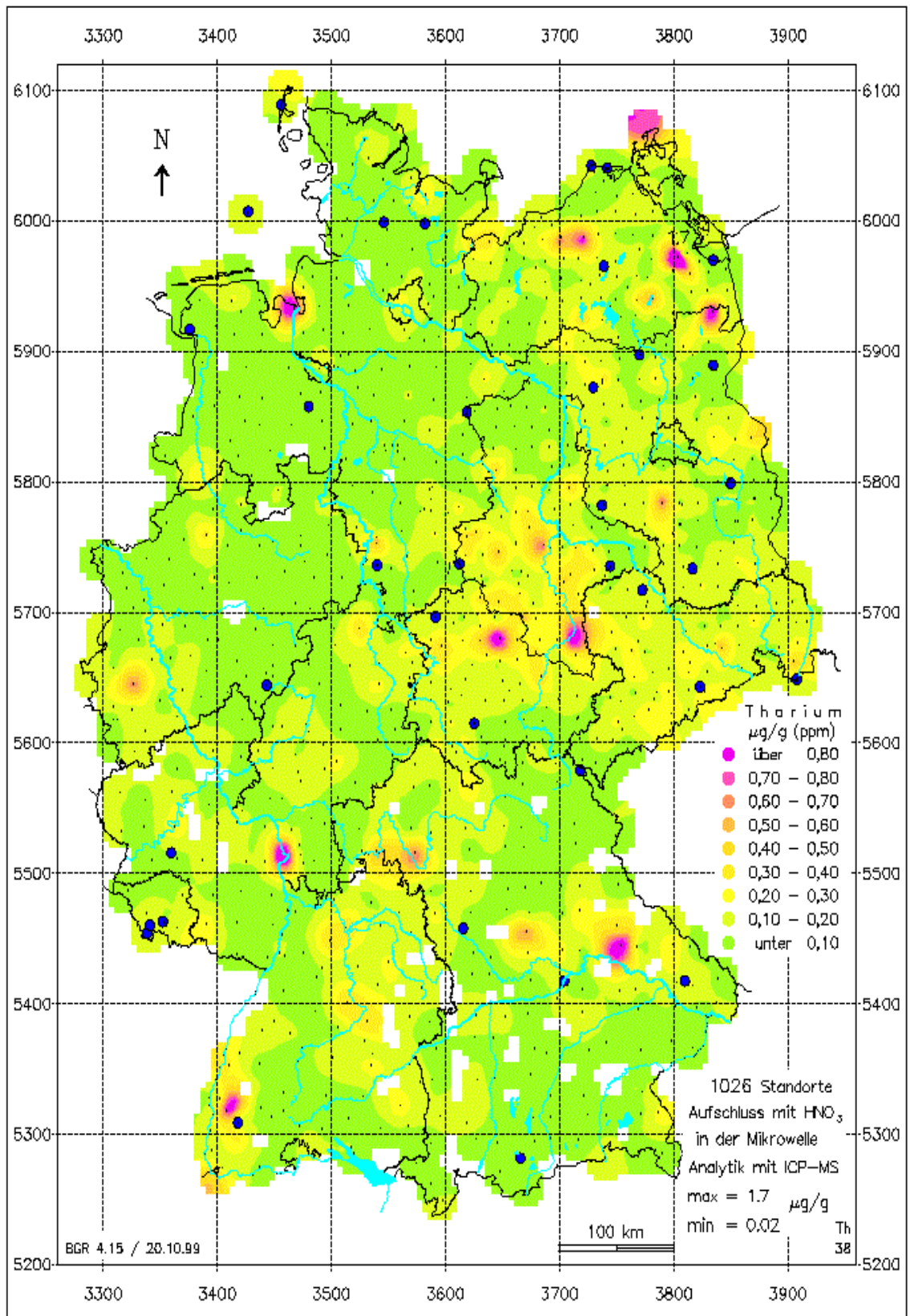
Die Thoriumgehalte in Moosen liegen in weiten Teilen Deutschlands unter  $0,1 \mu\text{g/g}$ . Nur punktuell sind die Gehalte erhöht und zwar an Standorten, die zum Teil auch bei vielen anderen Elementen als besonders belastet erkannt werden, wie bei Nordenham an der Wesermündung, bei Löcknitz im Nordosten, bei Gernsheim am Rhein, im Schwarzwald, bei Merseburg, bei Sondershausen (Thüringen) und im Bayerischen Wald. An diesen Standorten sind die Thoriumgehalte in Moosen höher als  $0,8 \mu\text{g/g}$ . Im Norden Deutschlands sind die Mediane bezogen auf die Länder in der Regel kleiner als im Süden Deutschlands.

Tab. 31 : Thorium-Gehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland.  
Gehalte in  $\mu\text{g/g}$  TS (ppm) als arithmetischer Mittelwert, Median, Maximum und Minimum.

Land	Anzahl der Proben	Mittelwert	Median	Maximum	Minimum
Schleswig-Holstein	46	0.09	0.07	0.33	0.02
Hamburg	4	0.15	0.15	0.26	0.08
Niedersachsen	126	0.10	0.07	0.99	0.02
Nordrhein-Westfalen	84	0.08	0.07	0.63	0.02
Hessen	52	0.13	0.10	1.21	0.04
Rheinland-Pfalz	31	0.10	0.09	0.25	0.04
Baden-Württemberg	74	0.15	0.11	0.97	0.03
Bayern	119	0.12	0.08	0.98	0.03
Saarland	7	0.11	0.11	0.19	0.04
Berlin	3	0.08	0.08	0.09	0.08
Brandenburg	126	0.14	0.11	1.07	0.02
Mecklenburg-Vorpommern	113	0.15	0.10	1.71	0.04
Sachsen	80	0.17	0.14	0.53	0.04
Sachsen-Anhalt	86	0.19	0.12	1.00	0.04
Thüringen	75	0.16	0.12	1.11	0.03
Gesamt	1026	0.13	0.09	1.71	0.02

Abb. 54 : Thorium – Gehalte in Moosen

Moos – Monitoring 1995/96



● UBA Standorte : Luft-Messnetz und Umweltprobenbank

UBA F+E 295 830 87/01

## Uran

# U

Uran wird hauptsächlich als Kernbrennstoff verwendet. Abgereichertes Uran ist ein Werkstoff mit hoher Dichte, der auch als Strahlenschutzmaterial eingesetzt wird.

Auf Grund der ionisierenden Strahlung, die die Uranisotope beim Zerfall aussenden, ist Uran sowohl mutagen als auch cancerogen. Da sich manche Elemente aus der Uranzerfallsreihe (z. B. Radium) in den Knochen einlagern, steigt die Verweildauer im Körper und damit die Wahrscheinlichkeit, dass ionisierende Strahlung im Körper frei wird.

Uran kann sowohl durch seine chemischen Eigenschaften als auch durch seine Eigenschaft als  $\alpha$ -Strahler Schädigungen am Organismus hervorrufen. Uran und seine Verbindungen sind toxisch und können u. a. die Nieren schädigen.

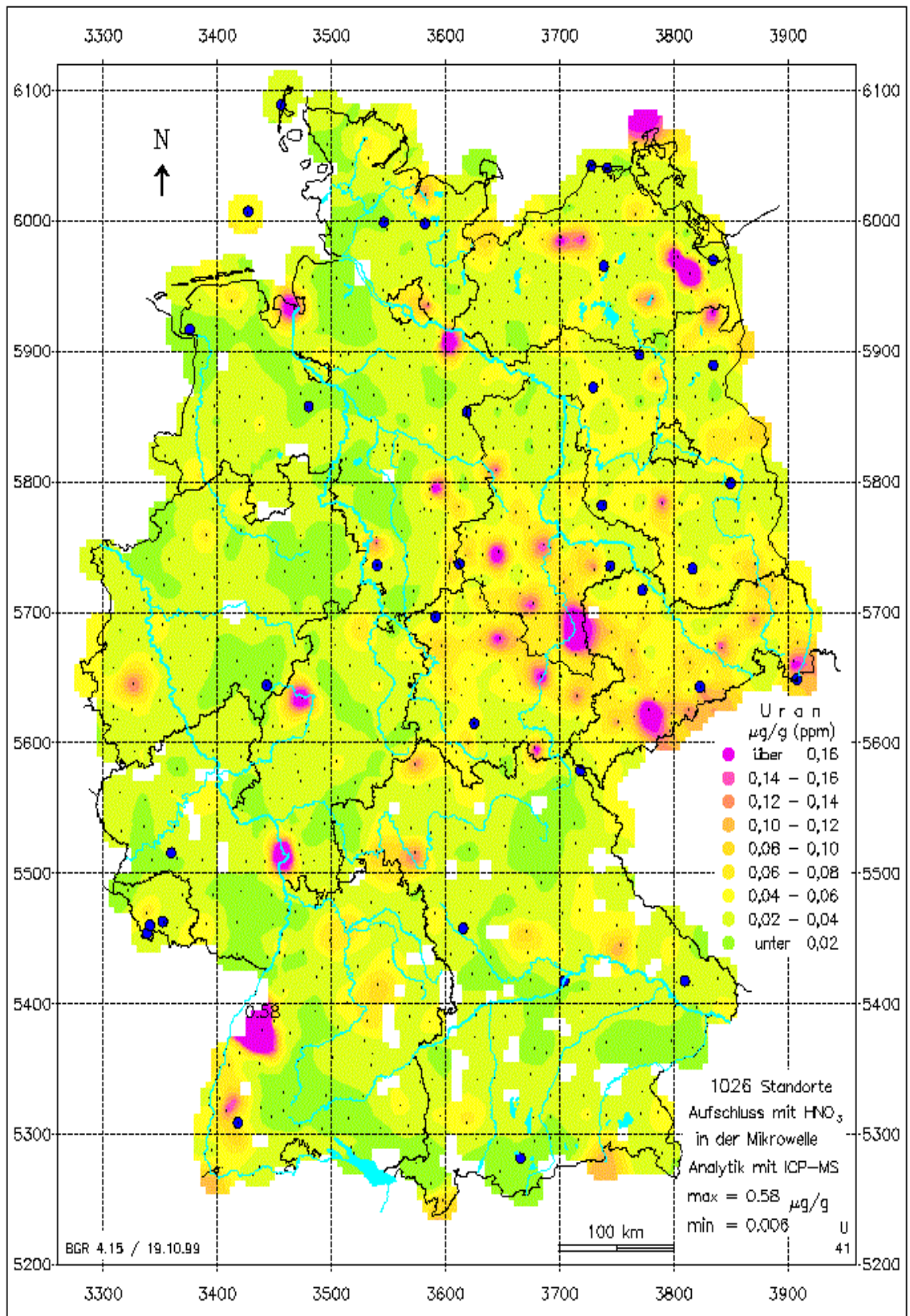
Urangehalte von über 0,16  $\mu\text{g/g}$  treten im nördlichen Schwarzwald bei Oberkirch, bei Gernsheim am Rhein, im Lahntal westlich von Marburg, bei Nordenham (Wesermündung), bei Lüneburg, im Erzgebirge, bei Kap Arcona/Rügen und im Nordosten in der Uckerländer Heide auf. Außerdem finden sich hohe Werte an mehreren Stellen in Sachsen-Anhalt und Thüringen. In den neuen Ländern sind die Gehalte regional höher als in den alten Ländern, besonders zu erkennen im mittleren Deutschland. Hier fand auch Uranbergbau statt, z. B. bei Ronneburg.

Tab. 32 : Uran-Gehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland.  
Gehalte in  $\mu\text{g/g}$  TS (ppm) als arithmetischer Mittelwert, Median, Maximum und Minimum.

Land	Anzahl der Proben	Mittelwert	Median	Maximum	Minimum
Schleswig-Holstein	46	0.04	0.03	0.15	0.010
Hamburg	4	0.05	0.04	0.08	0.033
Niedersachsen	126	0.04	0.02	0.28	0.006
Nordrhein-Westfalen	84	0.03	0.02	0.14	0.008
Hessen	52	0.04	0.02	0.32	0.012
Rheinland-Pfalz	31	0.03	0.02	0.05	0.012
Baden-Württemberg	74	0.04	0.03	0.58	0.008
Bayern	119	0.03	0.02	0.14	0.009
Saarland	7	0.03	0.03	0.07	0.012
Berlin	3	0.03	0.03	0.04	0.026
Brandenburg	126	0.04	0.04	0.19	0.007
Mecklenburg-Vorpommern	113	0.05	0.03	0.48	0.013
Sachsen	80	0.07	0.05	0.29	0.017
Sachsen-Anhalt	86	0.06	0.04	0.28	0.014
Thüringen	75	0.05	0.04	0.20	0.013
Gesamt	1026	0.04	0.03	0.58	0.006

Abb. 55 : U r a n – Gehalte in Moosen

Moos – Monitoring 1995/96



● UBA Standorte : Luft-Messnetz und Umweltprobenbank

UBA F+E 295 830 87/01



## Wismut (Bismut)

# Bi

Neben dem Einsatz in Legierungen (Woodsches Metall für Schmelzsicherungen) werden Bismutverbindungen hauptsächlich für kosmetische Präparate verwendet. Lösliche Salze wurden parenteral (unter Umgehung des Verdauungsweges) gegen Infektionskrankheiten (besonders Syphilis) und gegen Warzen gegeben. Einige Salze werden noch bei Magendarmkrankungen verabreicht.

Wasserunlösliche Bismutverbindungen werden schlecht, wasserlösliche Verbindungen gut resorbiert.

Kennzeichen einer beginnenden chronischen Vergiftung sind Speichelfluss und ein grauschwarzer Saum von Bismutsulfid am Zahnfleisch. Ein Hinweis darauf, dass Bismutvergiftungen und Blei- bzw. Quecksilbervergiftungen Parallelen aufweisen. Vergiftungserscheinungen konnten nur bei einem Gehalt von mehr als 0,48 µmol/L im Blut festgestellt werden. Diese Konzentrationen werden aber lediglich bei der medizinischen Behandlung mit Bismutpräparaten erreicht, nicht durch Nahrungsaufnahme oder Inhalation.

Bismut gehört zu den äußerst seltenen Elementen der Erdkruste. In die Umwelt gelangt es hauptsächlich bei der Verhüttung von Blei, Kupfer, Silber oder Gold.

In weiten Teilen Deutschlands liegen die Bismutgehalte in Moosen unter 0,03 µg/g. Der höchste Gehalt (0,48 µg/g) tritt nördlich von Bad Kissingen auf. Außerdem sind die Gehalte bei Löcknitz im Nordosten, bei Görlitz im Südosten, bei Spremberg und bei Schwarzheide (südliches Brandenburg) erhöht. Im Ruhrgebiet und im Erzgebirge zeigen sich in den Moosen leicht erhöhte Gehalte, die zwischen 0,06 und 0,12 µg/g liegen.

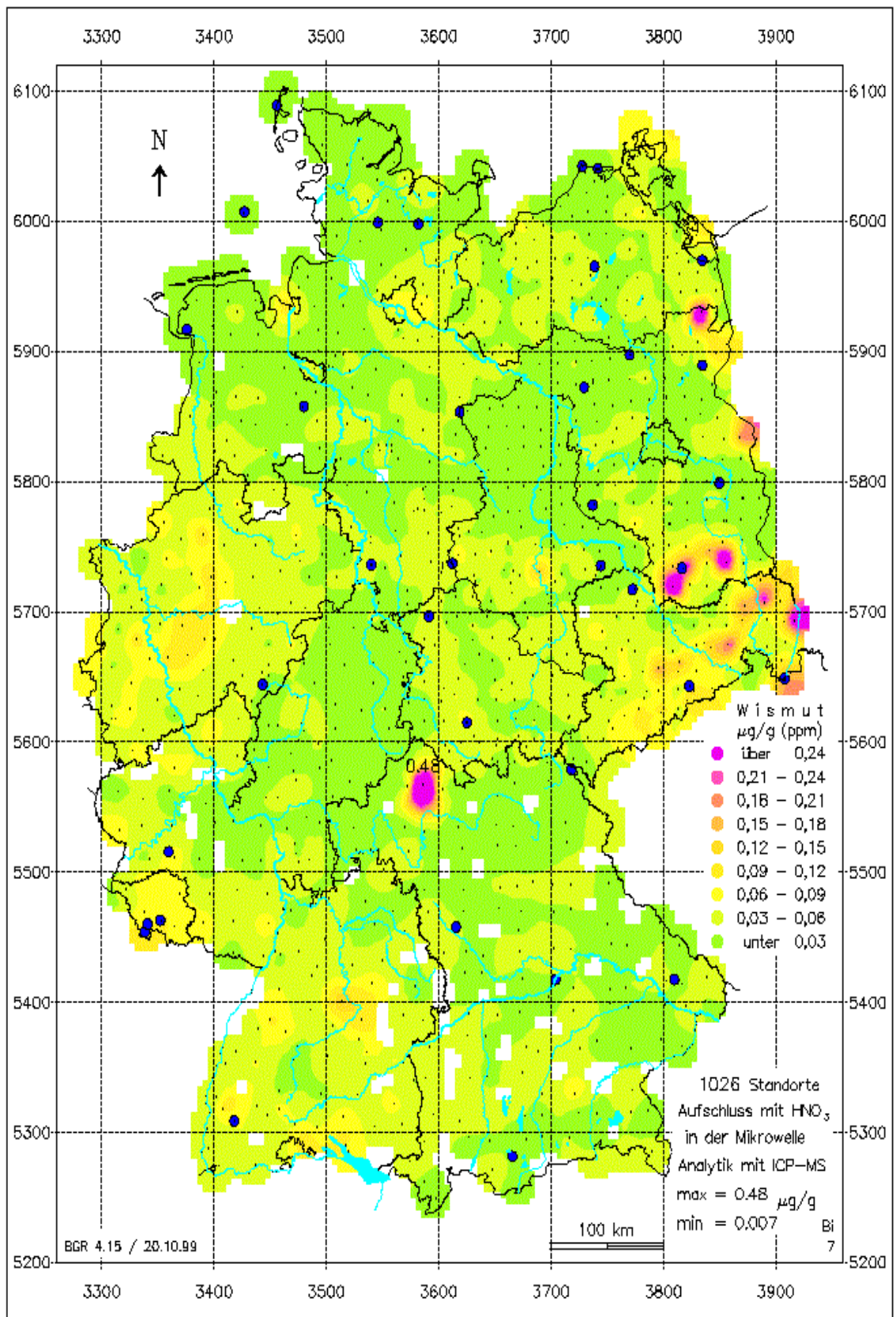
Tab. 33 : Wismut-Gehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland.

Gehalte in µg/g TS (ppm) als arithmetischer Mittelwert, Median, Maximum und Minimum.

Land	Anzahl der Proben	Mittelwert	Median	Maximum	Minimum
Schleswig-Holstein	46	0.03	0.02	0.09	0.01
Hamburg	4	0.06	0.06	0.07	0.05
Niedersachsen	126	0.03	0.03	0.10	0.008
Nordrhein-Westfalen	84	0.05	0.04	0.13	0.02
Hessen	52	0.03	0.02	0.07	0.01
Rheinland-Pfalz	31	0.04	0.04	0.08	0.02
Baden-Württemberg	74	0.05	0.04	0.13	0.01
Bayern	119	0.03	0.03	0.48	0.009
Saarland	7	0.08	0.08	0.10	0.03
Berlin	3	0.02	0.02	0.03	0.02
Brandenburg	126	0.04	0.03	0.40	0.007
Mecklenburg-Vorpommern	113	0.03	0.03	0.09	0.009
Sachsen	80	0.07	0.05	0.27	0.01
Sachsen-Anhalt	86	0.03	0.02	0.15	0.01
Thüringen	75	0.04	0.03	0.09	0.02
Gesamt	1026	0.04	0.03	0.48	0.007

Abb. 56 : W i s m u t – Gehalte in Moosen

Moos – Monitoring 1995/96



● UBA Standorte : Luft-Messnetz und Umweltprobenbank

UBA F+E 295 830 87/01

## Wolfram

# W

Wolfram wird auf Grund seines hohen Schmelzpunktes in Glühlampendrähten eingesetzt. Weiter wird es zu Elektroden beim WIG-Schweißen, zu Thermoelementen und zu Hitzeschilden in der Raumfahrt verarbeitet.

Wolfram und seine Verbindungen sind verglichen mit anderen Metallen untoxisch. Es wird hauptsächlich in Knochen, Milz, Niere und Leber abgelagert.

Wolfram gehört zu den äußerst seltenen Elementen der Erdkruste. In der Umwelt werden nur geringe Gehalte gefunden, die hauptsächlich auf industrielle Immission und Nukleartechnik zurückzuführen sind [Merian 1991]. Soweit geogene Quellen vorhanden sind, überlagern diese die anthropogenen Quellen.

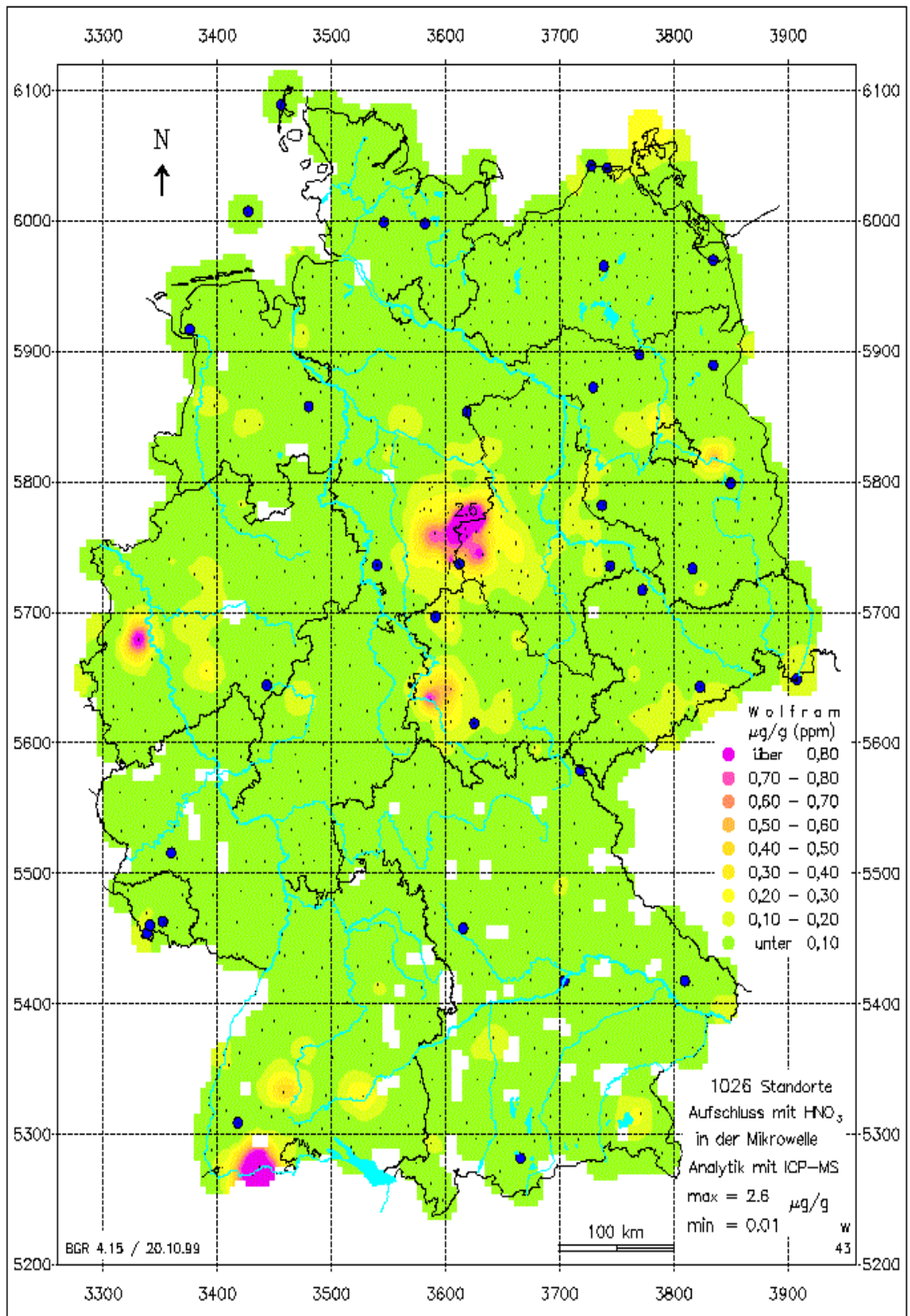
Fast im gesamten Deutschland sind die Gehalte in Moosen kleiner als 0,1 µg/g. Nur bei Waldshut-Tiengen am Rhein, bei Neuss, bei Suhl im Thüringer Wald und im gesamten Harz liegen die Gehalte über 0,8 µg/g. Im Harz treten auch mit 2,6 µg/g als Maximum die höchsten Wolframgehalte auf (Metallhütte).

Tab. 34 : Wolfram-Gehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland.  
Gehalte in µg/g TS (ppm) als arithmetischer Mittelwert, Median, Maximum und Minimum.

Land	Anzahl der Proben	Mittelwert	Median	Maximum	Minimum
Schleswig-Holstein	46	0.08	0.04	0.76	0.01
Hamburg	4	0.06	0.05	0.08	0.04
Niedersachsen	126	0.10	0.06	0.88	0.01
Nordrhein-Westfalen	84	0.08	0.07	1.01	0.03
Hessen	52	0.06	0.05	0.29	0.02
Rheinland-Pfalz	31	0.04	0.04	0.09	0.02
Baden-Württemberg	74	0.09	0.06	1.20	0.03
Bayern	119	0.06	0.05	0.24	0.02
Saarland	7	0.06	0.04	0.11	0.03
Berlin	3	0.08	0.08	0.10	0.06
Brandenburg	126	0.07	0.06	0.58	0.03
Mecklenburg-Vorpommern	113	0.06	0.05	0.29	0.02
Sachsen	80	0.08	0.07	0.18	0.03
Sachsen-Anhalt	86	0.17	0.08	2.64	0.04
Thüringen	75	0.11	0.07	0.89	0.06
Gesamt	1026	0.08	0.06	2.64	0.01

Abb. 57 : W o l f r a m – Gehalte in Moosen

Moos – Monitoring 1995/96



## Yttrium

# Y

Yttrium wird in Farbfernsehern und in Leuchtstoffröhren eingesetzt. Ferner ist es im YAG-Laser und in Hochtemperatursupraleitern enthalten.

Yttrium gilt als giftig und ist nicht essentiell für Pflanzen, Tiere und Menschen. Es wird nur in geringen Mengen resorbiert, die Resorptionsrate hängt von der Verbindung und der Löslichkeit ab.

Es kommt hauptsächlich in den Mineralen Xenotim und Bastnaesit vor. Die Verbreitung aus geogenen Quellen ist bedeutender als durch Abbau von Seltenen Erden, mit denen es vergesellschaftet ist.

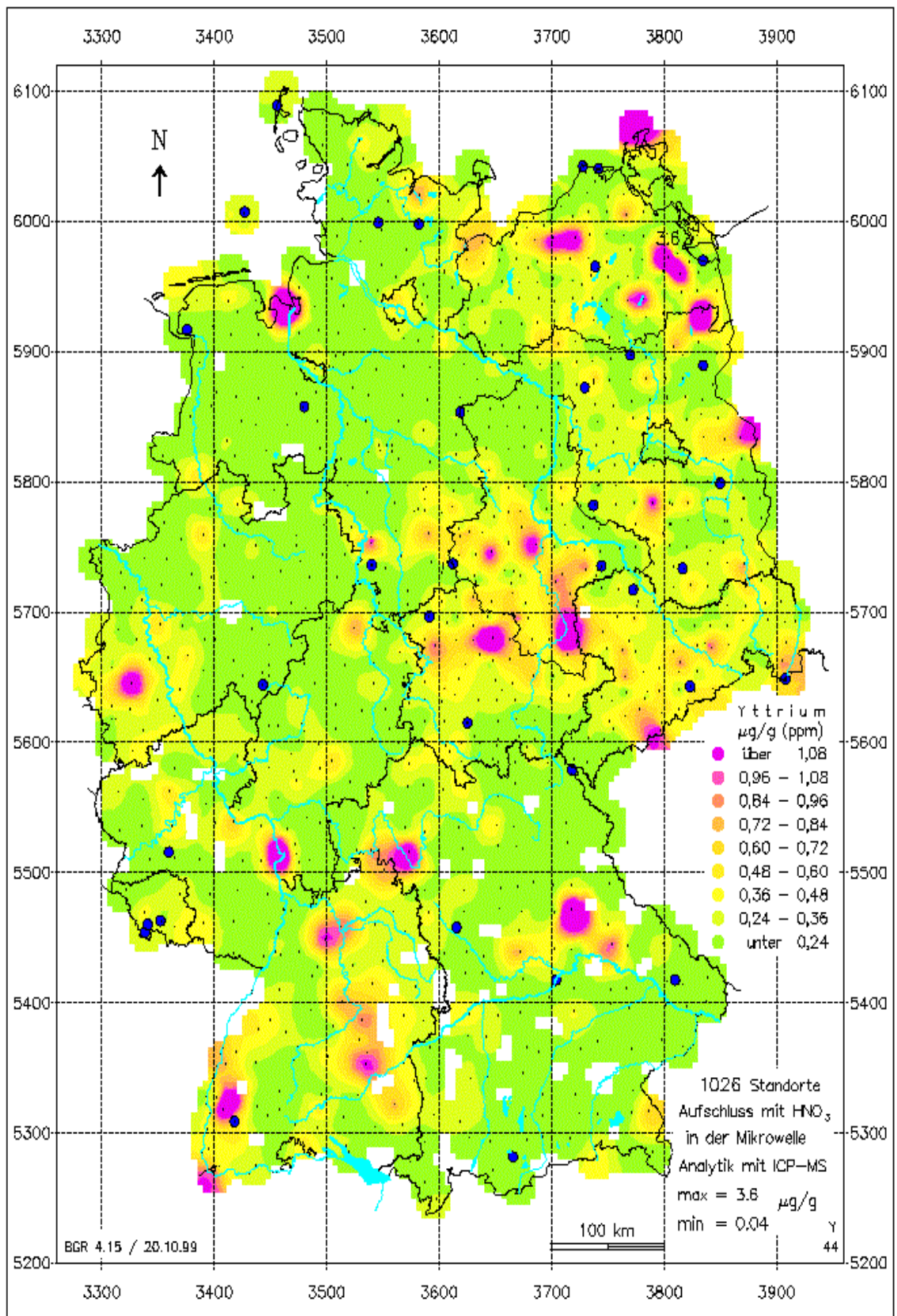
In weiten Teilen Deutschlands liegen die Gehalte in Moosen unter 0,24 µg/g. Punktuell steigen die Gehalte bis über 1 µg/g an, so bei Nordenham an der Wesermündung, bei Gernsheim am Rhein, im Schwarzwald, bei Jülich, bei Würzburg, bei Schandorf im Gebiet Halle, bei Sondershausen in Thüringen, bei Frankfurt/Oder, auf Rügen, bei Löcknitz im Nordosten und in der Uckerländer Heide. Viele dieser Standorte zeigen auch bei anderen Elementen erhöhte Gehalte, so für Aluminium, Cer, Gallium und Lanthan. In Niedersachsen und Hessen treten die niedrigsten Mediane auf.

Tab. 35 : Yttrium-Gehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland.  
Gehalte in µg/g TS (ppm) als arithmetischer Mittelwert, Median, Maximum und Minimum.

Land	Anzahl der Proben	Mittelwert	Median	Maximum	Minimum
Schleswig-Holstein	46	0.25	0.20	0.90	0.09
Hamburg	4	0.36	0.29	0.66	0.21
Niedersachsen	126	0.23	0.17	2.44	0.04
Nordrhein-Westfalen	84	0.23	0.20	1.49	0.07
Hessen	52	0.27	0.19	2.36	0.08
Rheinland-Pfalz	31	0.25	0.21	0.73	0.10
Baden-Württemberg	74	0.40	0.31	2.05	0.07
Bayern	119	0.25	0.18	2.21	0.06
Saarland	7	0.27	0.30	0.41	0.10
Berlin	3	0.21	0.20	0.25	0.19
Brandenburg	126	0.33	0.27	2.62	0.04
Mecklenburg-Vorpommern	113	0.38	0.26	3.59	0.09
Sachsen	80	0.39	0.31	1.19	0.10
Sachsen-Anhalt	86	0.40	0.29	1.88	0.09
Thüringen	75	0.37	0.29	2.33	0.08
Gesamt	1026	0.31	0.23	3.59	0.04

Abb. 58 : Yttrium – Gehalte in Moosen

Moos – Monitoring 1995/96



● UBA Standorte : Luft-Messnetz und Umweltprobenbank

UBA F+E 295 830 87/01

**Zinn****Sn**

Metallisches Zinn wird hauptsächlich für Weißblech in Konservendosen verwendet. Zinnverbindungen werden als Flammschutzmittel oder in der Glasbeschichtung eingesetzt. Zinnorganische Verbindungen dienen in der Landwirtschaft als Fungizide, in Krankenhäusern zu Desinfektion. Das Antifoulingmittel Tributylzinn wurde durch den Schiffsverkehr weltweit verbreitet, so dass inzwischen in der EU ein Nutzungsverbot in naher Zukunft beschlossen wurde.

Zinn ist für Menschen und Tiere essentiell [Markert 1992]. Im erwachsenen menschlichen Körper findet man etwa 17 – 30 mg Zinn. Täglich werden durchschnittlich 0,2 – 5 mg Zinn, vor allem aus der Nahrung, aufgenommen [Ullmanns 1974]. Die Resorption von Sn(II) bei Aufnahme durch die Nahrung ist gering. In besonders hohem Maße wird das Zinn ins Knochengewebe eingebaut und dementsprechend nur langsam wieder ausgeschieden. Erste toxische Symptome werden erst bei der Einnahme von stark belasteten Nahrungsmitteln (> 1400 µg/g) gesehen [Marquardt & Schäfer 1994].

Bei der Bewertung der Toxizität von Zinn muss man zwischen den anorganischen und den organischen Zinnverbindungen trennen. Ist die Toxizität der anorganischen Zinnverbindungen relativ niedrig, so sind organische Zinnverbindungen wie z. B. Trimethyl- oder Triethylzinn sehr viel toxischer. Die Aufnahme der organischen Verbindungen Trimethyl- bzw. Triethylzinn führt zu charakteristischen neurotoxischen Schäden. Hinweise auf kanzerogene Wirkungen sind weder für anorganische noch für organische Zinnverbindungen bekannt.

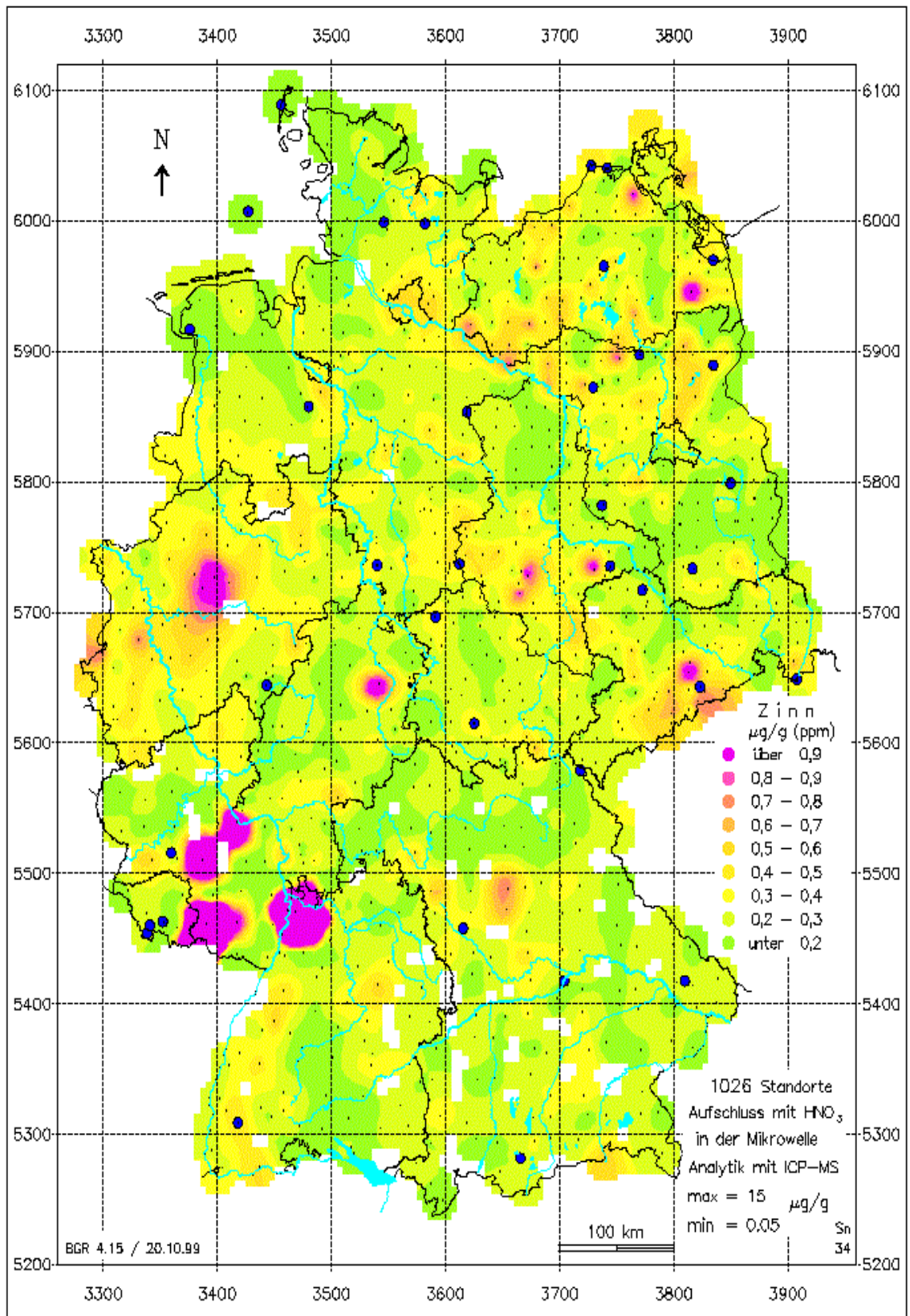
Sehr hohe Zinngehalte in Moosen treten in folgenden Gebieten auf: Im nördlichen Ruhrgebiet, im Erzgebirge, bei Kassel, um Heidelberg/Mannheim/Ludwigshafen, um Pirmasens und zwischen Mainz und Idar-Oberstein. In Hamburg, Nordrhein-Westfalen und Mecklenburg-Vorpommern zeigen sich die höchsten Mediane.

Tab. 36 : Zinn-Gehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland.  
Gehalte in µg/g TS (ppm) als arithmetischer Mittelwert, Median, Maximum und Minimum.

Land	Anzahl der Proben	Mittelwert	Median	Maximum	Minimum
Schleswig-Holstein	46	0.25	0.23	0.54	0.06
Hamburg	4	0.52	0.51	0.61	0.46
Niedersachsen	126	0.27	0.27	0.55	0.07
Nordrhein-Westfalen	84	0.39	0.35	1.54	0.13
Hessen	52	0.25	0.22	1.17	0.08
Rheinland-Pfalz	31	0.65	0.23	6.38	0.09
Baden-Württemberg	74	0.48	0.24	15.1	0.08
Bayern	119	0.24	0.22	0.76	0.10
Saarland	7	0.21	0.20	0.31	0.14
Berlin	3	0.23	0.24	0.29	0.16
Brandenburg	126	0.27	0.22	0.88	0.05
Mecklenburg-Vorpommern	113	0.35	0.30	1.50	0.06
Sachsen	80	0.33	0.24	1.35	0.06
Sachsen-Anhalt	86	0.31	0.26	1.12	0.12
Thüringen	75	0.26	0.24	0.63	0.08
Gesamt	1026	0.32	0.25	15.1	0.05

Abb. 59 : Z i n n – Gehalte in Moosen

Moos – Monitoring 1995/96



● UBA Standorte : Luft-Messnetz und Umweltprobenbank

UBA F+E 295 830 87/01



### 3.6 Moos-Monitoring in Europa

In dieser Gegenüberstellung sind die zusammengefassten Ergebnisse von den nordischen und an Deutschland angrenzenden Staaten einbezogen. Für zehn Elemente liegen Vergleichswerte vor. Auffällig sind die höchsten Mediane von insgesamt acht Elementen in den Niederlanden. Weiterhin zeigt die Slowakei den höchsten Median für Eisen und Tschechien für Arsen. Die Elementmediane für Deutschland liegen zumeist im Bereich der durchschnittlichen Werte, die auch in den meisten anderen Staaten ermittelt wurden.

Generell muss erwähnt werden, dass es sich um mittlere Werte (Mediane) für diese Staaten handelt. Inwieweit die einzelnen Unterschiede in den Gehalten auf analytische Unterschiede zurückzuführen sind, kann an dieser Stelle nicht bewertet werden. Es ist allerdings bekannt, dass unterschiedliche Techniken wie ICP-MS, ICP-OES, AAS (jeweils mit chemischem Nassaufschluss) und INAA (mit Gesamtgehalten auch von den Silikaten im Staub wie in den Niederlanden) zu unterschiedlichen Ergebnissen in den einzelnen Staaten führen mussten.

Tab. 37 : Vergleich der Mediane der Element-Gehalte ( $\mu\text{g/g}$ ) in europäischen Staaten für das Moos-Monitoring 1995/96. Die grau hinterlegten Felder zeigen die höchsten Gehalte innerhalb dieses Vergleichs.

	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Ni	Pb	V	Zn
<b>Finnland</b> n = 970	0.19 (n=274)	0.17	1.43	4.5	275	0.047	1.65	5.7	2.2	37.5
<b>Norwegen</b> n = 458	0.13	0.13	1.05	5.2	331	0.067 (n=209)	1.62	5.8	2.3	37.7
<b>Schweden</b> n = 1171	0.14 (n=586)	0.19	0.57	4.5	182	0.064 (n=586)	1.11	6.0	2.3	39.9
<b>Dänemark</b> n = 86	0.27	0.31	0.64	4.7	373	0.113	1.37	7.5	2.5	41.7
<b>Niederlande</b> n = 110	0.40	3.74	4.22	23.9	645	0.17	15.0	14.0	4.51	68.5
<b>Deutschland</b> n = 1026	0.25	0.29	1.42	9.4	447	0.043	1.63	7.7	1.7	53.7
<b>Österreich</b> n = 218	0.13 (n=217)	0.22	0.70 (n=217)	5.4	340	0.050 (n=215)	1.20 (n=217)	8.8	1.3	30.0
<b>Schweiz</b> n = 202	0.12	0.26	0.76	4.3	263	*k.a.	1.20	6.5	1.4	30.7
<b>Frankreich</b> n = 257	0.30	0.30 (n=244)	3.30 (n=258)	5.9 (n=241)	551	0.04 (n=256)	2.20 (n=244)	11.0 (n=244)	2.5 (n=256)	37.0
<b>Polen</b> n = 295	*k.a.	0.45	1.50 (n=296)	7.6 (n=297)	362 (n=293)	*k.a.	1.44 (n=293)	13.6	4.0 (n=286)	43.0
<b>Tschechien</b> n = 196	0.50	0.31	1.39	7.2	400	0.064 (n=195)	1.94	11.0	2.0	41.9
<b>Slowakei</b> n = 68	0.34	0.26	2.83	17.1	1100	0.09	2.34 (n=28)	8.26	3.71	47.7

\* k.a. = keine Analyse

Quelle: nach RÜHLING & STEINNES (1998)