

3.1.3 Chrom (allgemeine Hinweise)

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

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

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

Chrom in Moosen:

Die Chromverteilung für 1995/96 in Abb. 12b zeigt großflächig erhöhte Werte im Ruhrge-

biet. Sie sind auf metallverarbeitende Industrie-zweige, insbesondere auf die Eisen- und Stahl-in-dustrie zurückzuführen. Weitere lokale Punktquellen finden sich über ganz Deutschland verteilt. Insbesondere im Saarland, bei Nordenham in Niedersachsen oder in Hessen sind punktuell hohe Chromgehalte zu erkennen und sind in vielen Fällen der Metallindustrie zuzuordnen.

Weiträumig geringere Chromgehalte wurden vor allem in Bayern und in Niedersachsen, Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern festge-stellt.

Allgemein reichen die Chromgehalte in Moosen in Deutschland von 0,105 $\mu\text{g/g}$ bis 12,1 $\mu\text{g/g}$ Cr (Abb. 12b) mit einem Median vom 1,4 $\mu\text{g/g}$ Cr. Das 98 Perzentil liegt bei 6,9 $\mu\text{g/g}$ Cr.

Tab. 8 enthält die Zusammenfassung der Chrom-gehalte in Moosproben in den Ländern.

Nach Abb. 13 zeigt insbesondere Nordrhein-Westfalen die höchsten Abweichungen vom Me-dian aller Chromwerte in Deutschland. Auch Ham-burg, Hessen, Baden-Württemberg und Saarland weisen höhere Mediane auf. Deutlich unter dem Median in Deutschland liegen die Mediane aus Schleswig-Holstein, Bayern und Mecklenburg-Vorpommern.

Im westlichen und südwestlichen Deutschland liegen die Chromgehalte vorwiegend in den Gebieten, in den auch 1990/91 hohe Werte fest-gestellt wurden. Auch lokale Punktquellen konnten teilweise wiedergefunden werden. Im Ruhrgebiet und im Saarland haben sich die Werte in 1995/96 deutlich erhöht. In Nordenham (Wesermündung) gab es 1990/91 keine Probe (Abb. 12a). Deutliche Rückgänge wurden im gesamten Bereich Ost-

Abb. 12 a : Chrom-Gehalte in Moosen

Moos - Monitoring 1990/91 (korrigiert)

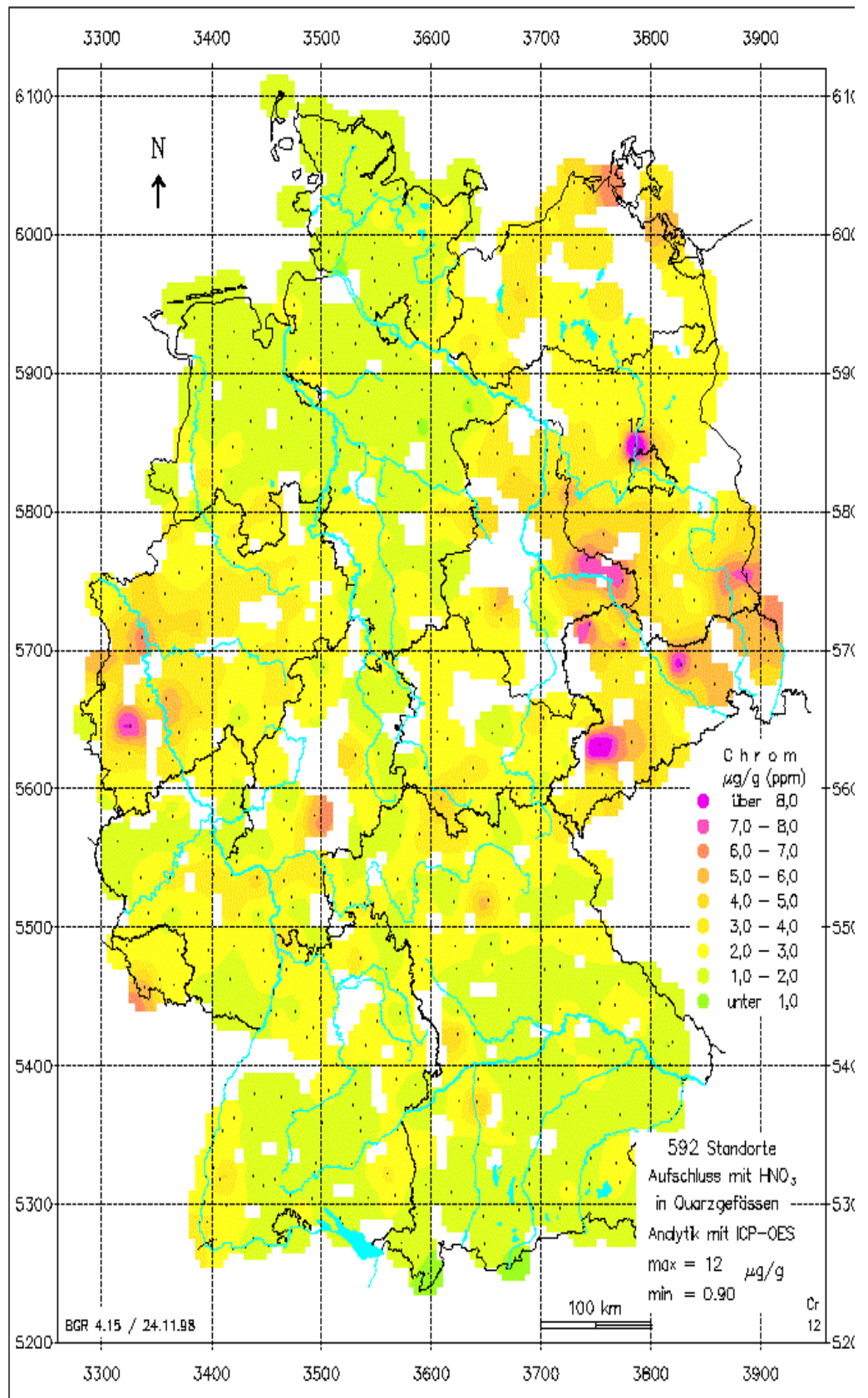
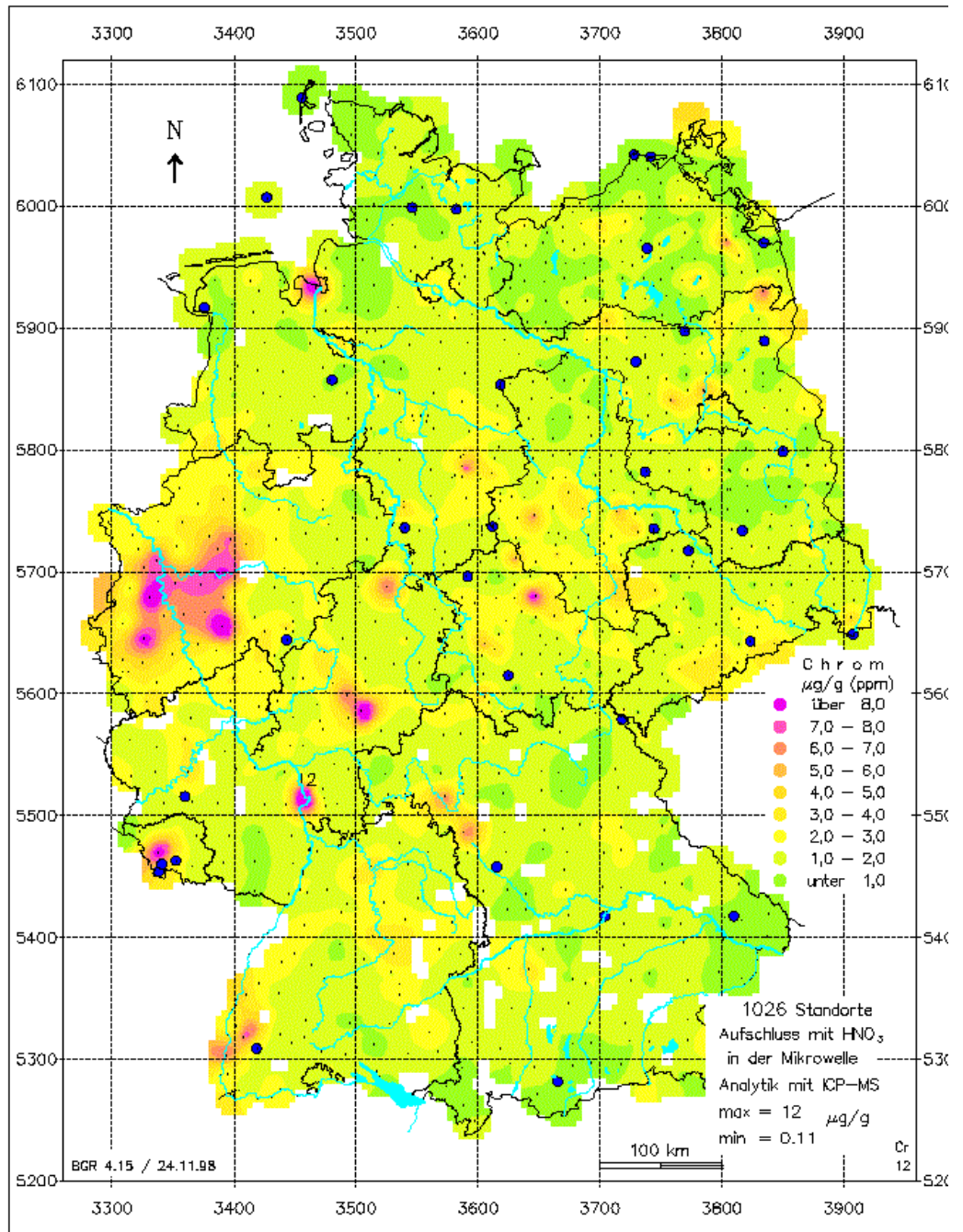


Abb. 12 b : Chrom-Gehalte in Moosen

Moos – Monitoring 1995/96



● UBA Standorte : Luft-Messnetz und Umweltprobenbank

UBA F+E 10802087/

deutschlands festgestellt. Insbesondere der maximale Wert aus 1990/91 nördlich Berlin zwischen Henningsdorf und Oranienburg konnte 1995/96 nicht bestätigt werden, die Probe weist aber wiederum einen erhöhten Gehalt auf.

Wie aus Abb. 14 zu erkennen ist, zeigt der Medianvergleich für Chromgehalte zwischen

1990/91 und 1995/96 in den neuen Ländern und in Berlin die größten Rückgänge. Neben Rückgängen in allen übrigen Ländern weist nur Hamburg eine zunehmende Tendenz auf. Insgesamt hat sich der Median für Chrom in Deutschland von 1995/96 gegenüber 1990/91 (korrigiert) um 37% verringert (s. Kap. 3.3).

Tab. 8: **Chrom-Gehalte in Moosen** in den Ländern und in Deutschland. Gehalte in µg/g TS als Median, arithmetischer Mittelwert, Maximum und Minimum.
Moosarten: *Pleurozium schreberi* (Ps), *Scleropodium purum* (Sp), *Hypnum cupressiforme* (Hc), *Hylocomium splendens* (H.s.) und sonstige Arten.

Länder	Arten	n	Median	Mittelwert	Maximum	Minimum
Schleswig-Holstein	Ps	11	0.98	1.09	1.68	0.72
	Sp	18	1.10	1.20	2.22	0.53
	Hc	13	1.34	1.35	2.87	0.64
	sonstige	4	1.04	1.22	2.22	0.60
	Gesamt	46	1.10	1.22		
Hamburg	Ps	4	1.87	2.05	3.10	1.37
Niedersachsen	Ps	84	1.46	1.51	3.87	0.43
	Sp	27	1.33	1.61	4.70	0.57
	Hc	6	1.89	2.21	3.64	1.15
	sonstige	9	2.12	3.68	9.14	1.30
	Gesamt	126	1.46	1.72		
Nordrhein-Westfalen	Ps	33	2.30	2.77	11.7	1.00
	Sp	46	2.51	3.62	10.4	0.44
	Hc	4	3.96	4.56	7.45	2.87
	Hs	1	1.67	1.67		
	Gesamt	84	2.51	3.31		
Hessen	Ps	23	1.31	1.77	6.86	0.86
	Sp	21	1.75	2.39	9.72	0.59
	Hc	7	1.83	2.16	3.68	1.58
	sonstige	1	12.1	12.1	12.1	
	Gesamt	52	1.73	2.28		
Rheinland-Pfalz	Ps	18	1.47	1.67	3.99	0.94
	Sp	9	1.52	1.80	3.27	0.86
	Hc	2	1.95	1.95	2.62	1.27
	sonstige	2	2.70	2.70	3.08	2.31
	Gesamt	31	1.57	1.79		
Baden-Württemberg	Ps	4	1.25	1.39	2.42	0.66
	Sp	1	1.95	1.95		
	Hc	69	1.75	2.05	7.64	0.76
	Gesamt	74	1.74	2.01		

Tab. 8: (Fortsetzung) **Chrom-Gehalte in Moosen.**

Länder	Arten	n	Median	Mittelwert	Maximum	Minimum
Bayern	Ps	80	1.17	1.31	6.37	0.52
	Sp	30	1.14	1.42	3.53	0.63
	Hc	5	2.12	2.57	6.29	0.85
	Hs	4	1.08	1.09	1.23	0.98
	Gesamt	119	1.17	1.38		
Saarland	Ps	3	1.37	1.28	1.48	1,00
	Sp	4	3.48	4.41	9.07	1.61
	Gesamt	7	1.61	3.10		
Berlin	Sp	3	1.21	1.28	1.51	1.11
Brandenburg	Ps	75	1.32	1.47	6.33	0.11
	Sp	42	1.39	1.65	6.88	0.39
	Hc	7	1.14	1.36	2.75	0.35
	sonstige	2	5.09	5.09	7.23	2.94
	Gesamt	126	1.35	1.59		
Mecklenburg- Vorpommern	Ps	24	0.84	0.89	2.14	0.40
	Sp	71	0.83	0.96	3.17	0.23
	Hc	12	1.75	1.94	3.74	0.63
	Hs	5	2.37	3.32	6.98	1.43
	sonstige	1	4.07	4.07		
	Gesamt	113	0.92	1.18		
Sachsen	Ps	40	1.20	1.37	3.18	0.64
	Sp	11	1.26	1.45	3.75	0.46
	Hc	22	1.84	2.00	4.30	0.79
	sonstige	7	3.48	3.34	4.38	2.02
	Gesamt	80	1.41	1.73		
Sachsen - Anhalt	Ps	38	1.08	1.30	3.35	0.66
	Sp	27	1.60	1.75	5.72	0.67
	Hc	3	2.02	2.53	3.93	1.64
	sonstige	18	2.38	2.93	6.47	1.32
	Gesamt	86	1.58	1.81		
Thüringen	Ps	27	1.25	1.47	4.87	0.22
	Sp	16	1.56	1.58	3.88	0.12
	Hc	24	1.71	1.99	6.08	0.64
	sonstige	8	2.03	3.22	9.07	0.72
	Gesamt	75	1.50	1.85		
Deutschland	Gesamt	1026	1.42	1.79	12.1	0.11

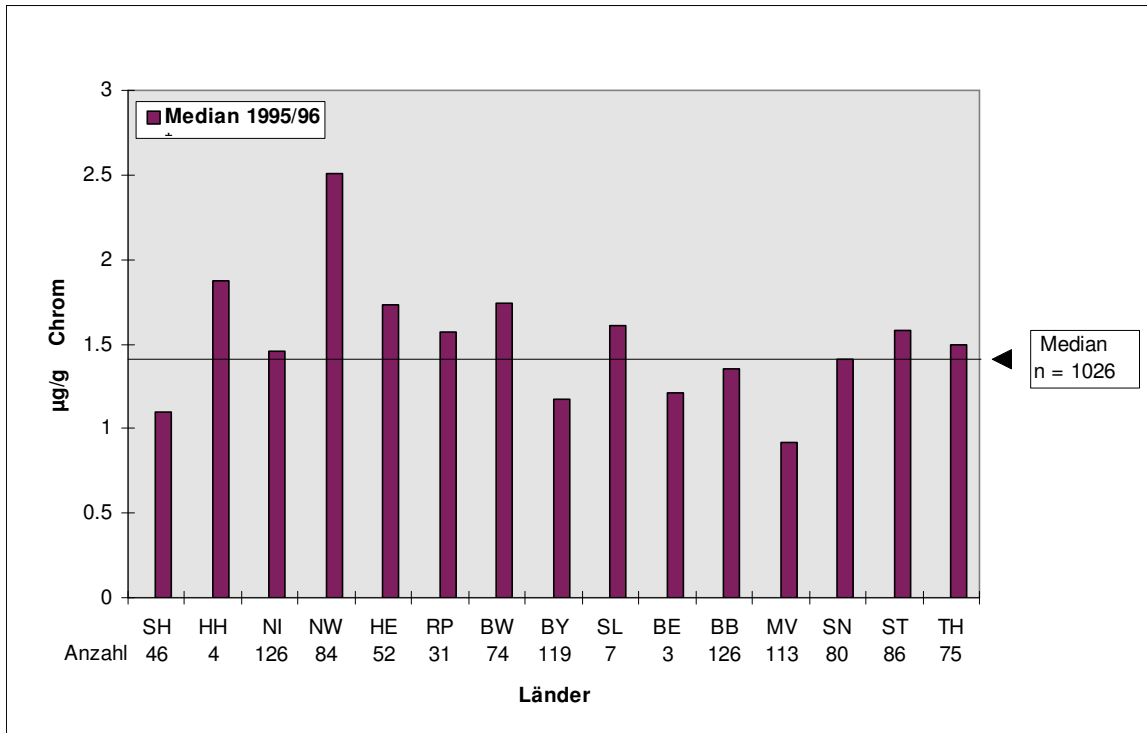


Abb. 13: Mediane (µg/g) für Chrom (Cr) in den Ländern und in Deutschland.

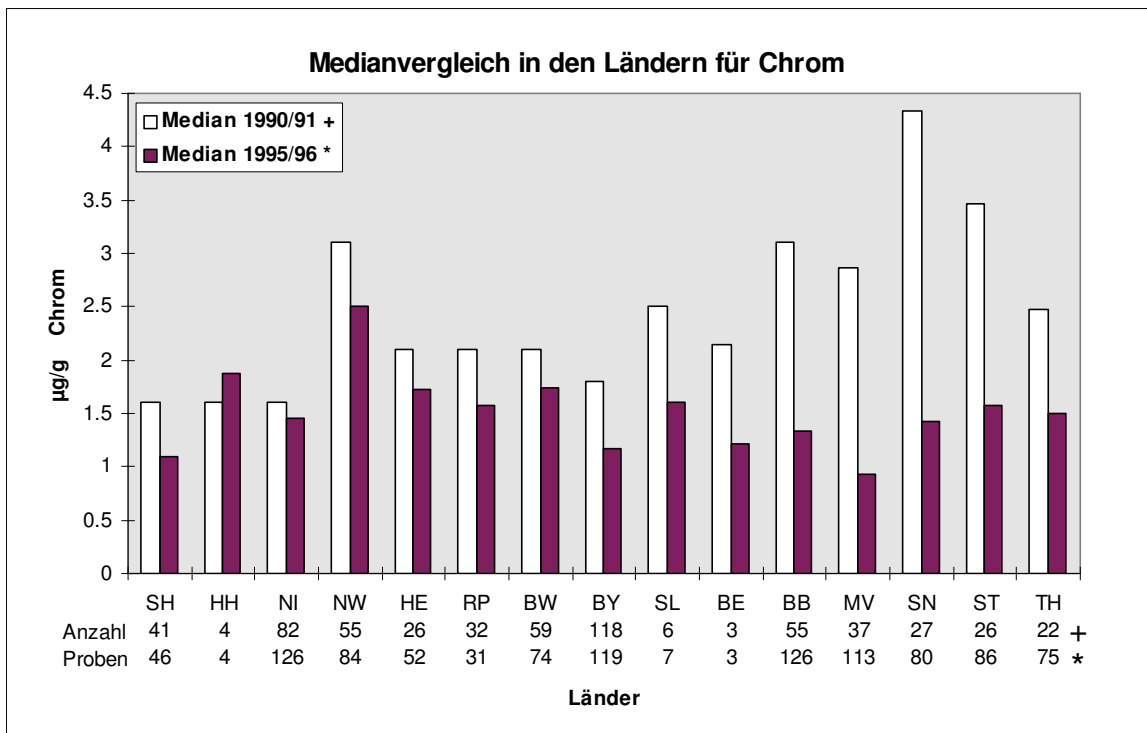


Abb. 14: Mediane (µg/g) für Chrom und die Anzahl der Proben aus 1990/91 (+) und 1995/96 (*) in den Ländern.

3.1.4 Kupfer (allgemeine Hinweise)

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

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

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

Kupfer in Moosen:

Hohe Kupferwerte im Einflußbereich von Kupferhütten und Verarbeitungsbetrieben zeigen sich im

Ruhrgebiet, im nördlichen Brandenburg (Raffineriestandort Schwedt), im Ostharz in Sachsen-Anhalt und im Bereich um Hamburg (Abb. 15b). Generell geringere Kupferwerte zeigen weite Teile Niedersachsens, Schleswig-Holsteins und der Süden Baden-Württembergs. Allgemein reichen die Kupferwerte in Moosen in Deutschland von 3,0 $\mu\text{g/g}$ bis 57 $\mu\text{g/g}$ Cu mit einem Median von 9,4 $\mu\text{g/g}$. Das 98 Perzentil liegt bei 20 $\mu\text{g/g}$ Cu.

Tab. 9 enthält die Zusammenfassung der Kupfergehalte in Moosproben in den Ländern.

Abb. 16 verdeutlicht, daß die höchsten Abweichungen vom Median aller Kupferwerte Deutschlands in Nordrhein-Westfalen und Hamburg zu finden sind. Niedrigere Mediane gegenüber dem Median aller Kupferwerte wurden in Niedersachsen, Berlin und dem Saarland gemessen.

Die in 1990/91 festgestellten Gebiete mit erhöhten Kupfergehalten (Abb. 15a) konnten an vielen Stellen 1995/96 wieder ermittelt werden. Insbesondere im Osten Deutschlands wurden wieder weiträumig vergleichbar höhere Gehalte nachgewiesen. Durch die Verdichtung des Meßnetzes erscheinen zusätzliche Anomalien. Es konnten keine deutlichen Rückgänge gezeigt werden. In vielen Fällen wurden Zunahmen registriert. Gegenüber einem maximalen Wert von 26 $\mu\text{g/g}$ Cu in 1990/91 wurde das Maximum 1995/96 mit 57 $\mu\text{g/g}$ Cu im Norden Brandenburgs bestimmt.

Nach Abb. 17 zeigen besonders Hamburg, Nordrhein-Westfalen und Hessen deutliche Zunahmen in den Medianen für Kupfer in 1995/96. Auffällige Rückgänge in den Medianen für Kupfer wurden in Berlin, Baden-Württemberg und Sachsen festgestellt. Bundesweit hat der Median für Kupfer in Deutschland in 1995/96 gegenüber 1990/91 (korrigiert) um 7% zugenommen (s. Kap. 3.3).

Abb. 15 a : Kupfer-Gehalte in Moosen

Moos - Monitoring 1990/91 (korrigiert)

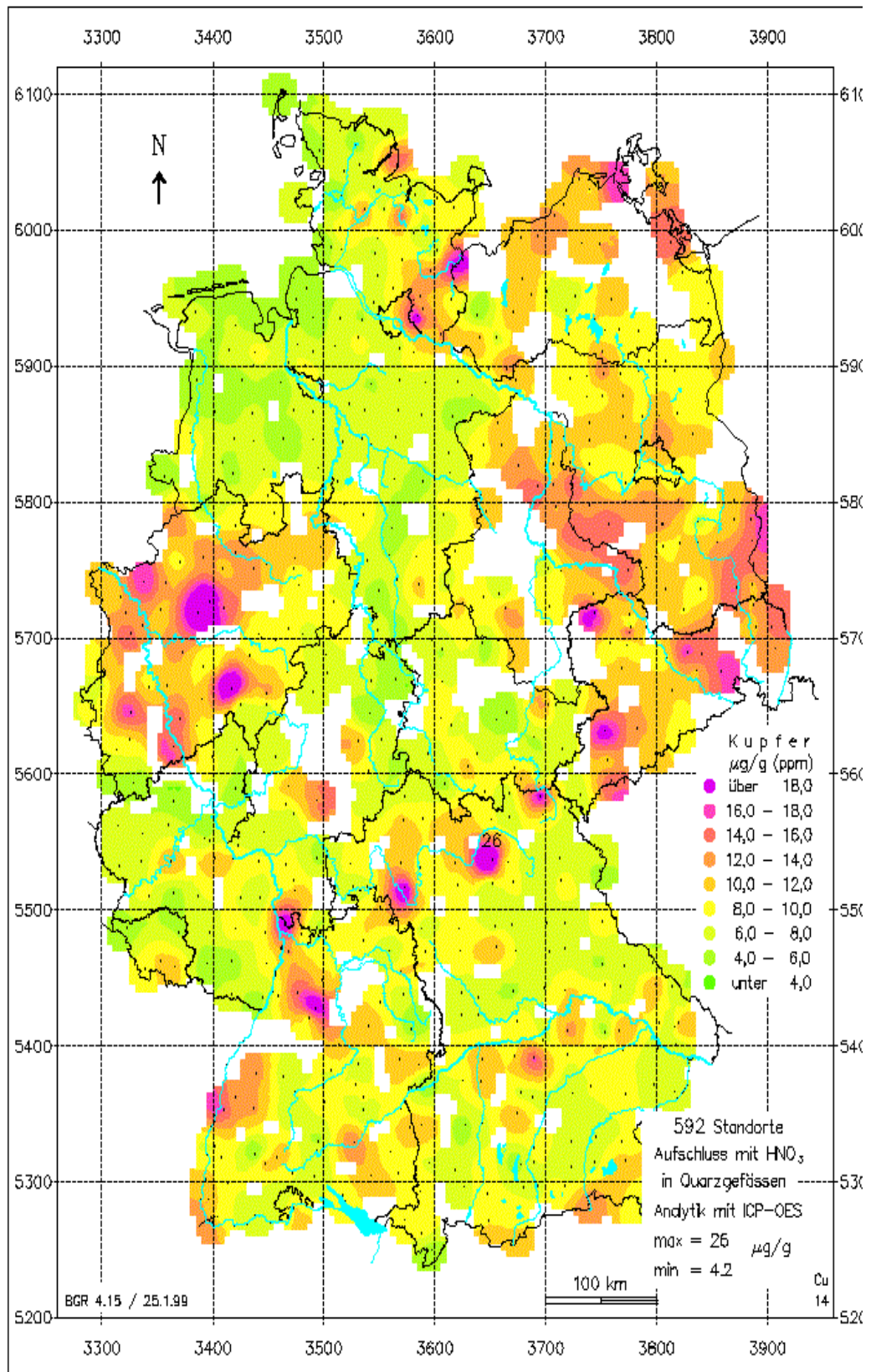
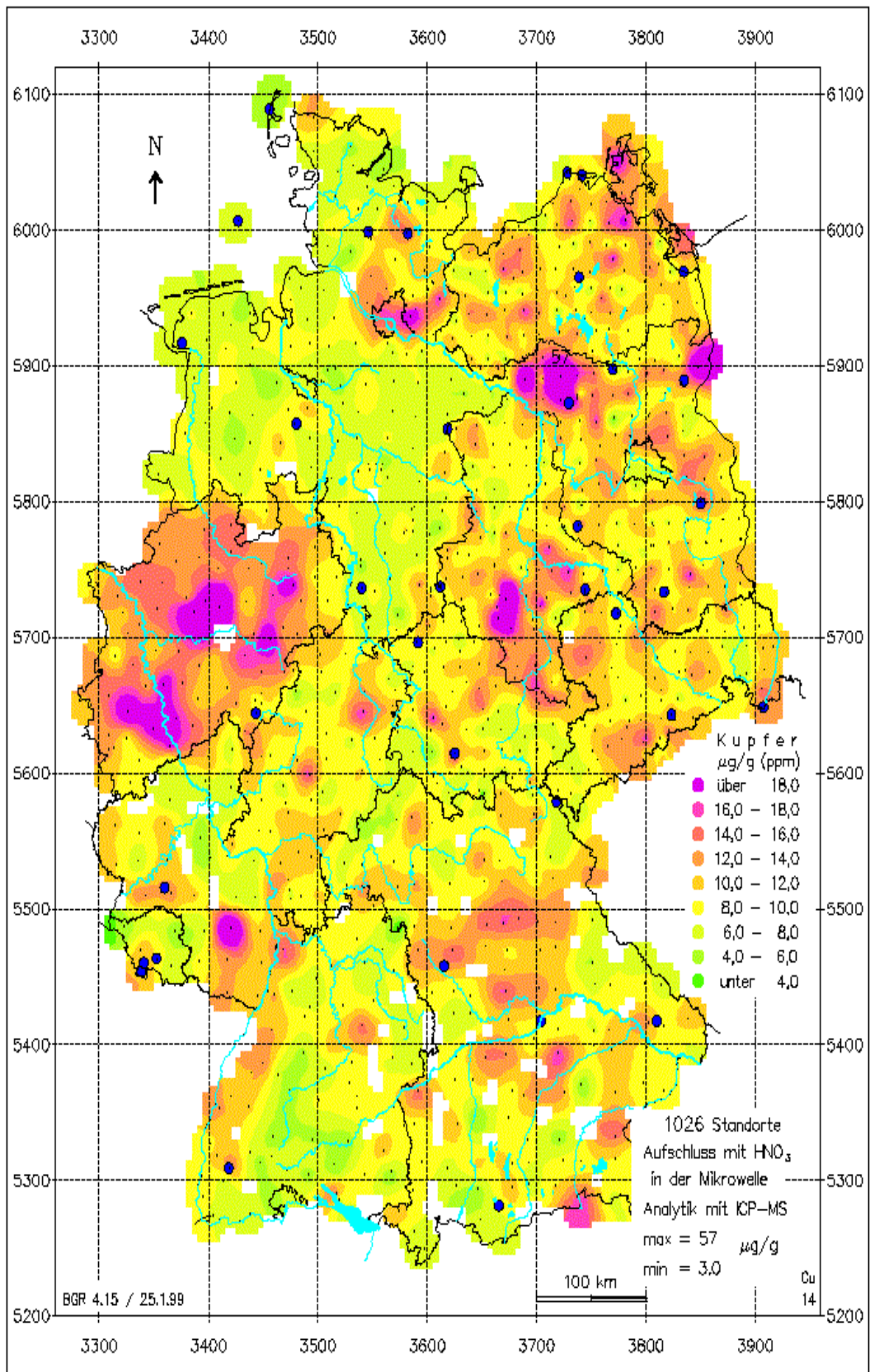


Abb. 15 b : Kupfer-Gehalte in Moosen

Moos – Monitoring 1995/96



● UBA Standorte : Luft-Messnetz und Umweltprobenbank

UBA F+E 10802087/01

Tab. 9: **Kupfer-Gehalte in Moosen** in den Ländern und in Deutschland.
 Gehalte in $\mu\text{g/g}$ TS (ppm) als Median, arithmetischer Mittelwert, Maximum und Minimum.
Moosarten: *Pleurozium schreberi* (Ps), *Scleropodium purum* (Sp), *Hypnum cupressiforme* (Hc),
Hylocomium splendens (H.s.) und sonstige Arten.

Länder	Arten	n	Median	Mittelwert	Maximum	Minimum
Schleswig-Holstein	Ps	11	8.7	8.8	19.0	4.5
	Sp	18	8.4	9.4	18.4	5.2
	Hc	13	8.7	8.9	13.9	5.9
	sonstige	4	8.3	10.7	21.8	4.3
	Gesamt	46	8.7	9.2		
Hamburg	Ps	4	13.8	13.6	17.0	9.7
Niedersachsen	Ps	84	7.4	7.7	16.5	5.1
	Sp	27	6.9	6.8	9.5	5.1
	Hc	6	7.4	7.3	9.7	4.4
	sonstige	9	8.0	8.2	11.7	6.2
	Gesamt	126	7.3	7.5		
Nordrhein-Westfalen	Ps	33	12.5	12.4	17.6	8.8
	Sp	46	13.2	14.4	26.9	8.3
	Hc	4	14.8	16.2	22.2	12.9
	Hs	1	8.5	8.5		
	Gesamt	84	13.0	13.7		
Hessen	Ps	23	9.9	10.0	16.7	7.5
	Sp	21	9.9	9.8	17.0	6.3
	Hc	7	7.6	8.3	12.2	5.1
	sonstige	1	13.9	13.9		
	Gesamt	52	9.7	9.7		
Rheinland-Pfalz	Ps	18	9.1	10.0	26.5	5.0
	Sp	9	10.2	9.0	12.7	6.0
	Hc	2	7.2	7.2	7.4	6.9
	sonstige	2	9.1	9.1	11.9	6.2
	Gesamt	31	8.3	9.1		
Baden-Württemberg	Ps	4	12.2	13.1	16.1	11.7
	Sp	1	7.4	7.4		
	Hc	69	8.0	8.3	14.5	4.1
	Gesamt	74	8.1	8.5		
Bayern	Ps	80	9.4	9.9	16.8	4.5
	Sp	30	9.5	9.9	14.4	4.6
	Hc	5	8.6	9.1	17.3	3.0
	Hs	4	7.2	7.0	8.5	5.2
	Gesamt	119	9.4	9.7		
Saarland	Ps	3	4.9	5.3	6.9	6.7
	Sp	4	10.4	9.7	11.7	6.2
	Gesamt	7	6.9	7.8		

Tab. 9: (Fortsetzung) **Kupfer-Gehalte in Moosen.**

Länder	Arten	n	Median	Mittelwert	Maximum	Minimum
Berlin	Sp	3	7.0	7.1	7.4	7.0
Brandenburg	Ps	75	10.1	11.6	56.8	3.6
	Sp	42	12.6	12.3	22.4	5.7
	Hc	7	9.2	9.3	11.5	7.8
	sonstige	2	11.8	11.8	13.2	10.4
	Gesamt	126	10.4	11.7		
Mecklenburg- Vorpommern	Ps	24	8.3	8.6	13.8	5.7
	Sp	71	11.2	11.2	20.1	4.9
	Hc	12	9.7	9.8	15.5	6.0
	Hs	5	14.8	14.6	16.9	10.3
	sonstige	1	11.7	11.7		
	Gesamt	113	10.5	10.7		
Sachsen	Ps	40	9.1	9.2	13.7	6.2
	Sp	11	11.1	11.0	14.9	7.0
	Hc	22	9.6	9.9	13.5	6.3
	sonstige	7	13.0	13.6	17.6	11.2
	Gesamt	80	9.6	10.0		
Sachsen - Anhalt	Ps	38	9.4	10.0	24.0	5.8
	Sp	27	11.9	12.4	19.7	6.8
	Hc	3	14.2	12.9	18.2	6.2
	sonstige	18	10.9	12.9	37.5	5.0
	Gesamt	86	10.5	11.4		
Thüringen	Ps	27	8.1	8.0	12.5	3.3
	Sp	16	9.0	10.4	15.4	5.6
	Hc	24	8.5	8.9	13.4	6.4
	sonstige	8	11.2	12.2	18.5	7.3
	Gesamt	75	8.8	9.3		
Deutschland	Gesamt	1026	9.4	10.1	56.8	3.0

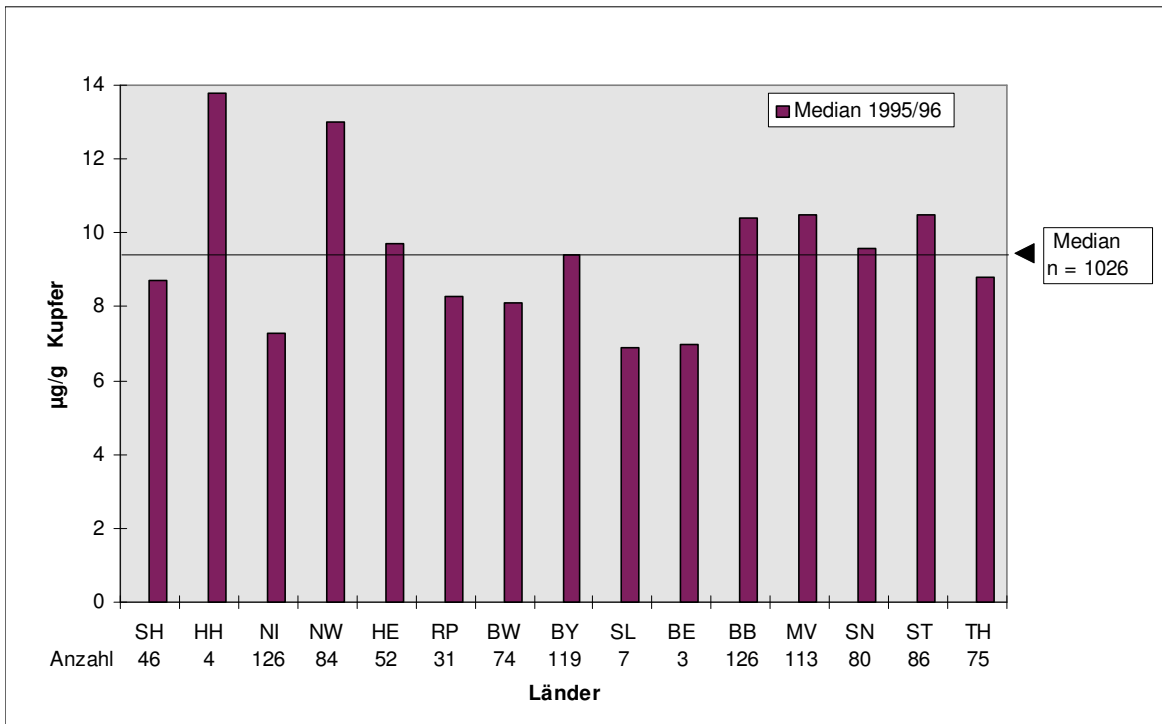


Abb. 16: **Mediane (µg/g) für Kupfer (Cu)** in den Ländern und in Deutschland.

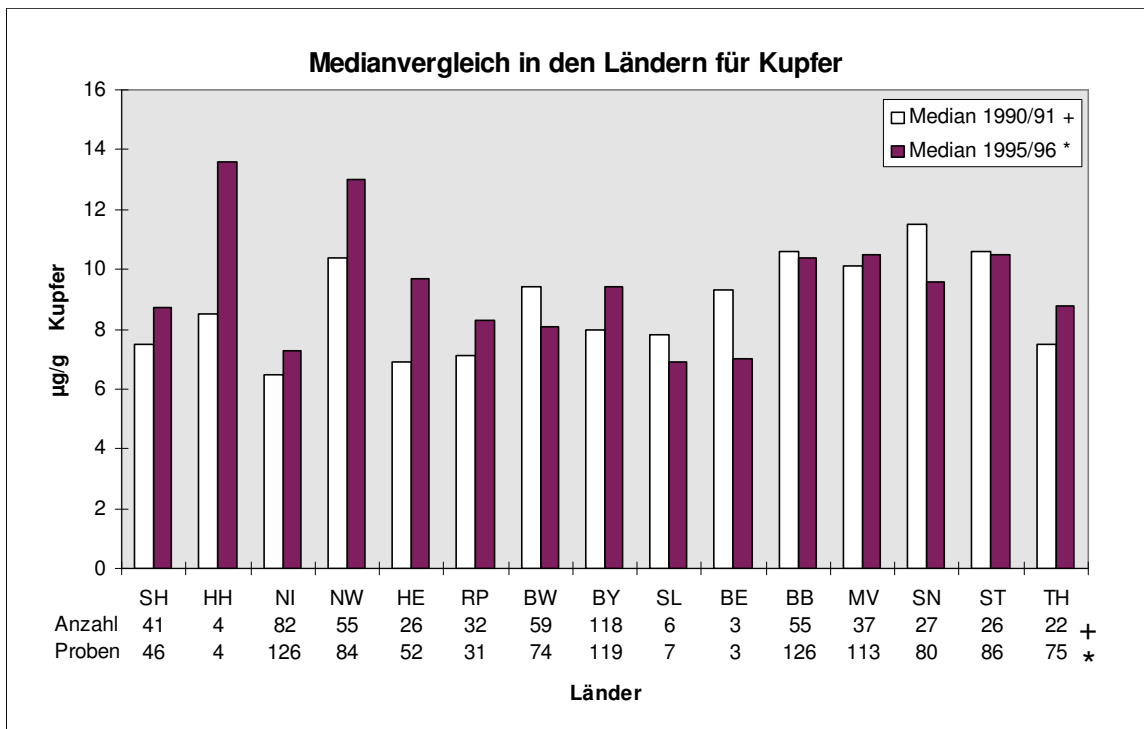


Abb. 17: **Mediane (µg/g) für Kupfer** und die Anzahl der Proben aus 1990/91 (+) und 1995/96 (*) in den Ländern.