

### 3.1.5 Eisen (allgemeine Hinweise)

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

In der obersten Erdkruste kommt Eisen mit einem Anteil von ca. 4,65 % vor (RÖSLER & LANGE 1975). Die wichtigsten Eisenerze (Gesteine mit mehr als 20 % Eisengehalt) sind Roteisenstein (Hämatit,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), Brauneisenstein (Limonit,  $\text{FeO}(\text{OH})$ ), Magneteisenstein (Magnetit,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), Pyrit ( $\text{FeS}_2$ ) und Bornit ( $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ ). Kohle enthält bis zu 10000  $\mu\text{g/g}$ , Erdöl ca. 2,5  $\mu\text{g/g}$  Fe (HAMILTON 1979). Flugaschen aus Kohlekraftwerken können bis zu 70  $\mu\text{g/g}$  aufweisen (MÄKINEN 1983). In Böden kommen durchschnittlich 4,0 (0,2-55,0) % Fe vor (BOWEN 1979). Eisen ist ein essentielles Element für alle Organismenarten (Cytochrome) (STREIT 1991; NEUMÖLLER 1973).

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

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

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

#### Eisen in Moosen:

**D**ie Eisenverteilung zeigt vorwiegend weiträumig leicht erhöhte Gehalte im Ruhrgebiet und in den neuen Ländern (Abb. 18b). Punktuelle Emissionsquellen wurden im Saarland und in Niedersachsen im Bereich von Nordenham festgestellt. Generell liegen die hohen Gehalte im Bereich von metallverarbeitenden Industriezweigen und in Gebieten mit privater und industrieller Nutzung von Braunkohle. Insbesondere im Osten Deutschlands bedingt vermutlich die Braunkohlennutzung noch die flächendeckend erhöhten Werte. Weiträumig geringere Eisenwerte wurden in weiten Teilen der alten Länder, vor allem in Niedersachsen, Schleswig-Holstein, Bayern, Rheinland-Pfalz und Hessen ermittelt. Die Eisengehalte in Moosen in Deutschland variieren von 118  $\mu\text{g/g}$  bis 3920  $\mu\text{g/g}$  Fe mit einem Median von 447  $\mu\text{g/g}$  Fe. Das 98 Perzentil liegt bei 1696  $\mu\text{g/g}$  Fe.

Tab. 10 enthält die Zusammenfassung der Eisenwerte in Moosen in den Ländern.

Abb. 19 zeigt die höchsten Abweichungen vom Median für die Eisengehalte in Deutschland in Hamburg, im Saarland sowie in den neuen Ländern mit Ausnahme von Mecklenburg-Vorpommern. Unter dem Median für alle Eisenwerte liegen die Mediane aus Schleswig-Holstein, Niedersachsen, Bayern und Rheinland-Pfalz.

Grundsätzlich weisen die 1995/96 ermittelten erhöhten Eisenwerte Areale aus, in denen auch 1990/91 höhere Werte festgestellt wurden (Ruhrgebiet, neue Länder). In den meisten Fällen haben sich die Gehalte merklich verringert. Deutliche Rückgänge zeigt der gesamte Bereich der neuen Länder. Der in 1990/91 in Sachsen

Abb. 18 a : Eisen-Gehalte in Moosen

Moos - Monitoring 1990/91 (korrigiert)

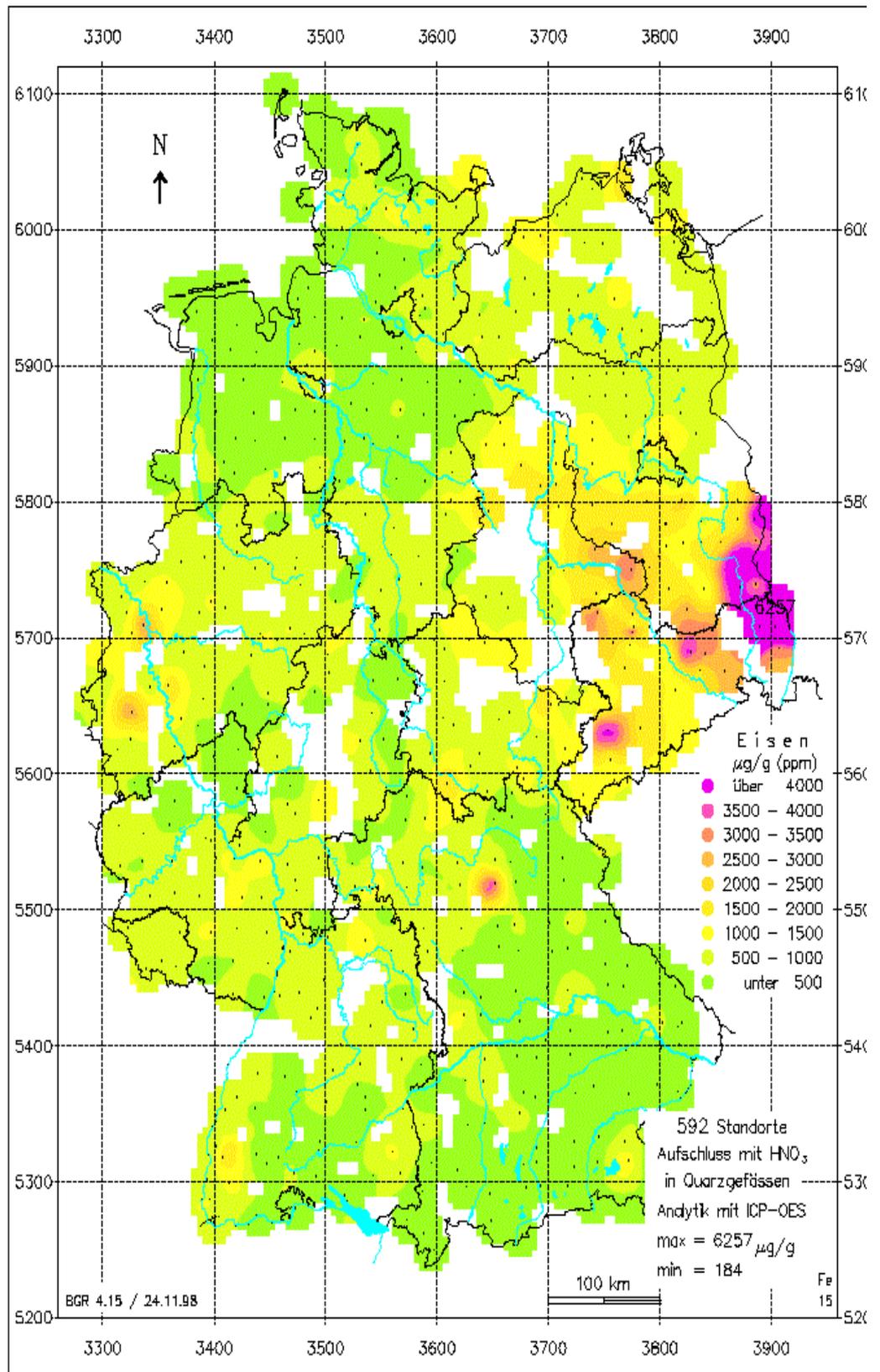
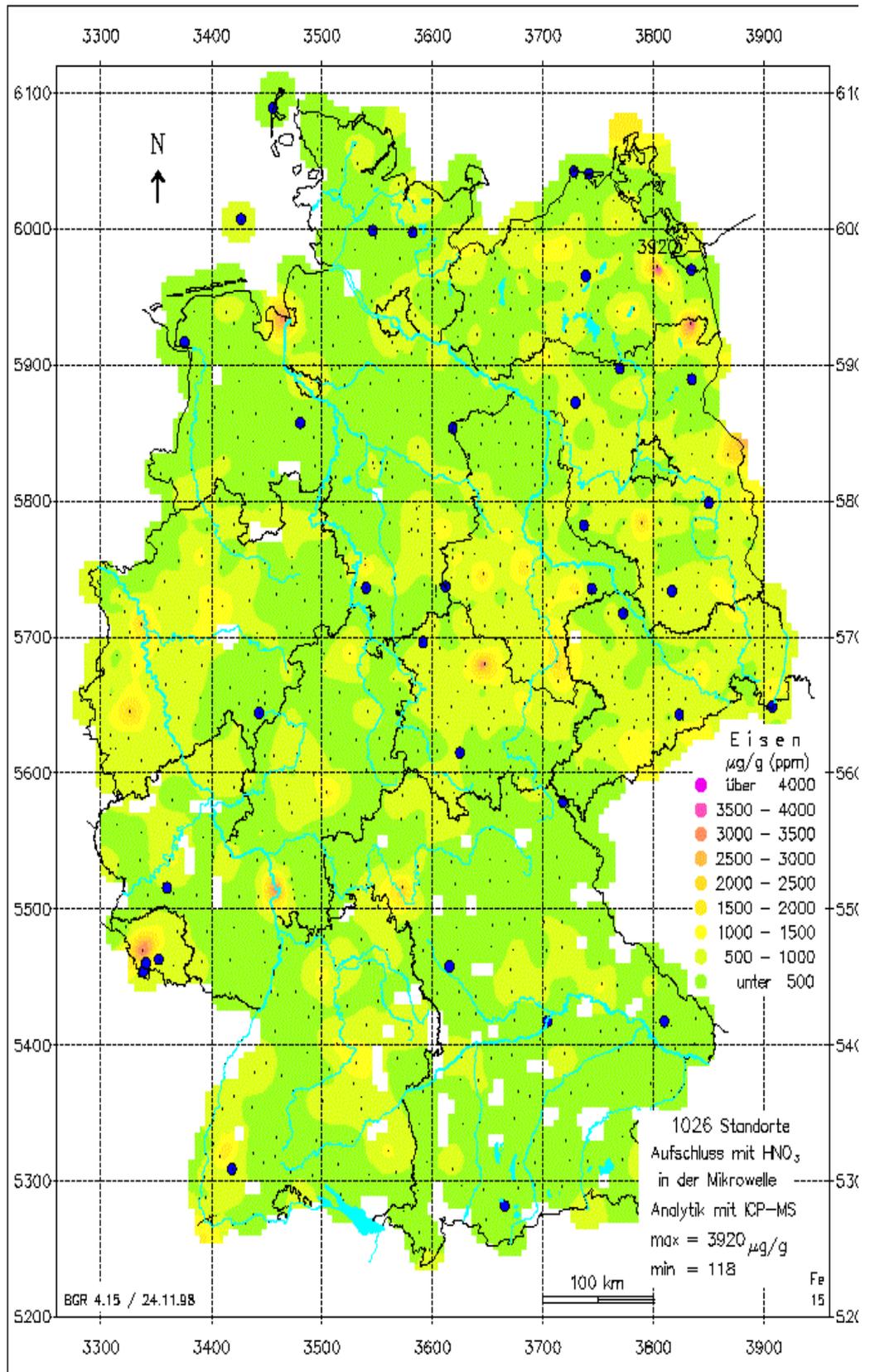


Abb. 18 b : Eisen-Gehalte in Moosen

Moos – Monitoring 1995/96



● UBA Standorte : Luft-Messnetz und Umweltprobenbank

UBA F+E 10802087/

ermittelte Maximalwert von 6257 µg/g Fe wurde in 1995/96 nicht wieder gefunden (Abb. 18a).

Die starken Rückgänge der Mediane für Eisen in den Ländern in 1995/96 gegenüber 1990/91 werden durch Abb. 20 besonders für die neuen Länder verdeutlicht. Eine Zunahme des Medians

für Eisen wie auch für Chrom zeigt sich abweichend vom allgemeinen Trend in Hamburg. Insgesamt hat sich der Median für Eisen in Deutschland gegenüber 1990/91 (korrigiert) in 1995/96 um 28% verringert (s. Kap. 3.3).

Tab. 10: **Eisen-Gehalte in Moosen** in den Ländern und in Deutschland.

Gehalte in µg/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	362	379	682	208
	Sp	18	402	428	1110	200
	Hc	13	523	514	1160	212
	sonstige	4	283	359	643	228
	Gesamt	46	402	435		
Hamburg	Ps	4	726	764	1090	516
Niedersachsen	Ps	84	368	399	980	144
	Sp	27	344	471	1800	170
	Hc	6	613	778	1450	372
	sonstige	9	800	985	3240	334
	Gesamt	126	380	472		
Nordrhein-Westfalen	Ps	33	431	462	828	202
	Sp	46	538	671	2240	237
	Hc	4	975	1006	1370	704
	Hs	1	493	493		
	Gesamt	84	502	603		
Hessen	Ps	23	375	413	1210	216
	Sp	21	447	537	1580	223
	Hc	7	482	547	784	441
	sonstige	1	3460	3460	3460	
	Gesamt	52	439	540		
Rheinland-Pfalz	Ps	18	380	403	833	227
	Sp	9	335	479	1010	229
	Hc	2	442	442	579	304
	sonstige	2	582	582	636	528
	Gesamt	31	408	554		

Tab. 10: (Fortsetzung) **Eisen-Gehalte in Moosen.**

Länder	Arten	n	Median	Mittelwert	Maximum	Minimum
Baden- Württemberg	Ps	4	205	325	719	170
	Sp	1	717	717		
	Hc	69	461	539	1900	191
	Gesamt	74	446	527		
Bayern	Ps	80	329	361	1090	135
	Sp	30	316	404	1000	144
	Hc	5	651	842	2216	259
	Hs	4	279	294	399	221
	Gesamt	119	325	390		
Saarland	Ps	3	584	560	668	427
	Sp	4	768	1410	3470	634
	Gesamt	7	644	1045		
Berlin	Sp	3	463	486	572	424
Brandenburg	Ps	75	526	578	2480	118
	Sp	42	569	620	1460	237
	Hc	7	587	738	1420	435
	sonstige	2	3120	3120	3820	2420
	Gesamt	126	565	641		
Mecklenburg- Vorpommern	Ps	24	436	427	710	234
	Sp	71	421	461	1600	184
	Hc	12	664	859	1680	285
	Hs	5	1200	1597	3920	455
	sonstige	1	1710	1710		
	Gesamt	113	455	557		
Sachsen	Ps	40	507	551	1790	222
	Sp	11	533	516	884	251
	Hc	22	699	772	2350	334
	sonstige	7	1080	1157	1620	742
	Gesamt	80	566	660		
Sachsen - Anhalt	Ps	38	342	413	996	211
	Sp	27	594	635	1180	299
	Hc	3	896	1008	1610	517
	sonstige	18	1001	1130	2180	542
	Gesamt	86	520	649		
Thüringen	Ps	27	410	449	747	174
	Sp	16	517	525	721	308
	Hc	24	592	654	1150	307
	sonstige	8	707	1057	3350	291
	Gesamt	75	524	598		
Deutschland	Gesamt	1026	447	551	3920	118

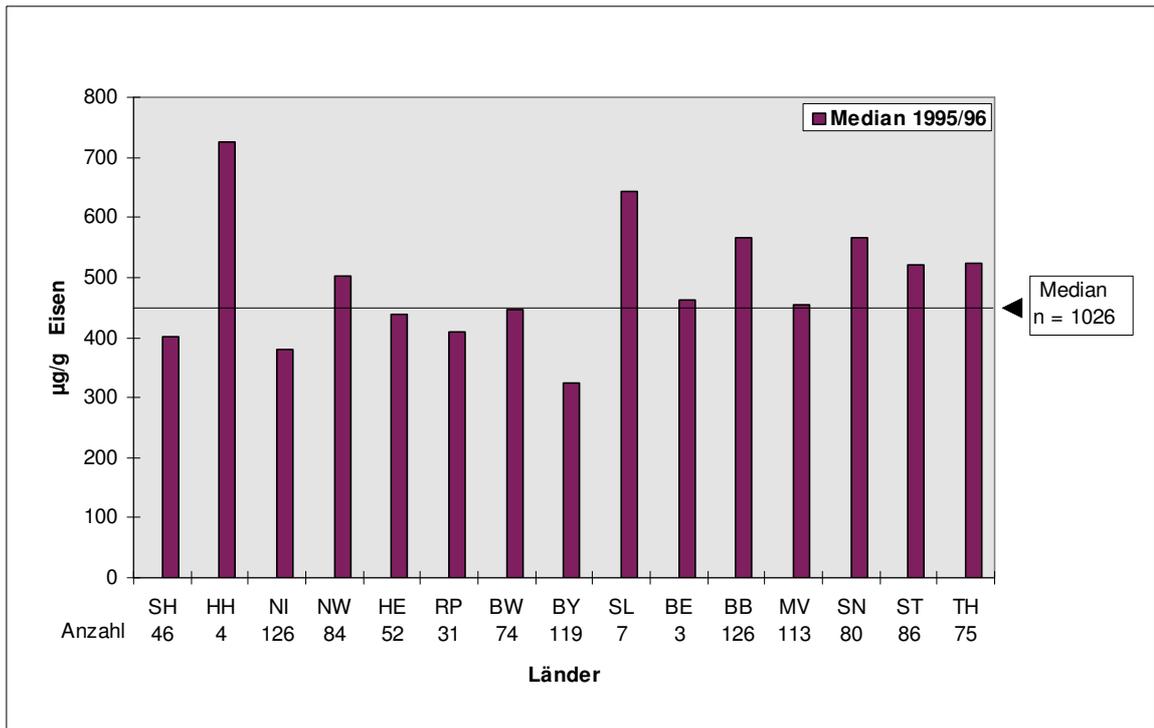


Abb. 19: Mediane (µg/g) für Eisen (Fe) in den Ländern und in Deutschland.

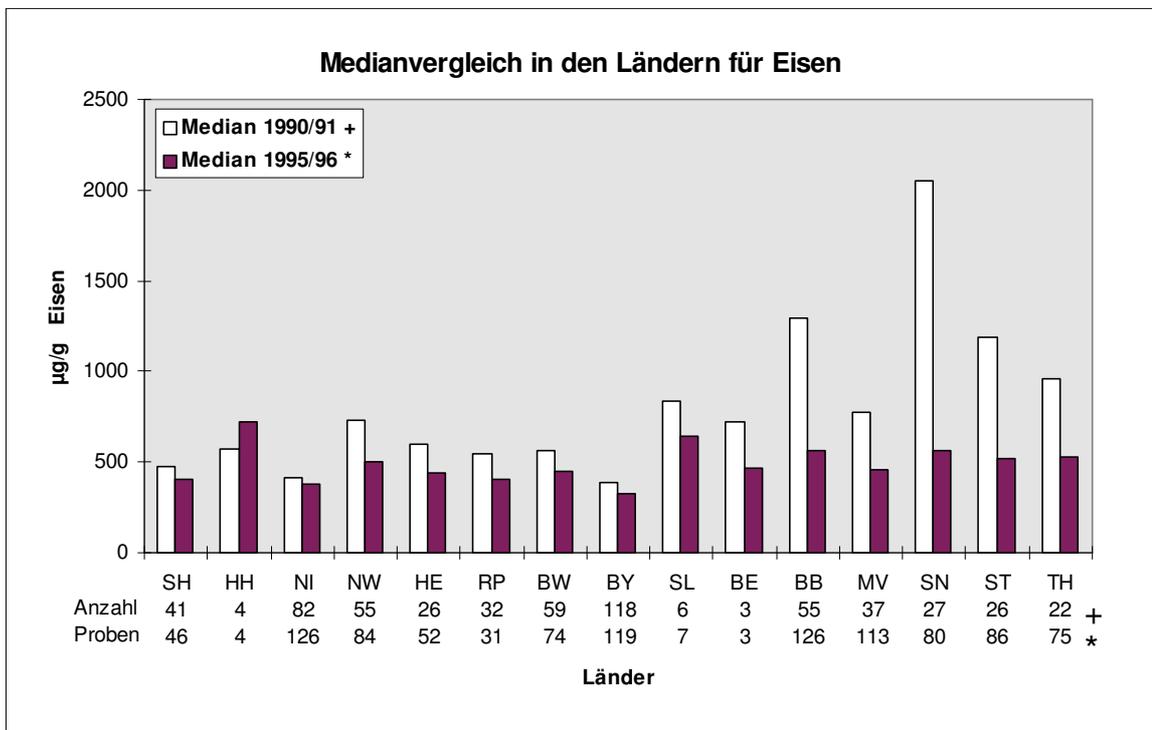


Abb. 20: Mediane (µg/g) für Eisen und die Anzahl der Proben aus 1990/91 (+) und 1995/96 (\*) in den Ländern.

### 3.1.6 Nickel (allgemeine Hinweise)

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

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

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

Zu natürlichen Nickel-Emissionen kommt es durch vulkanische Tätigkeiten und Windverwehungen von Bodestaub. Als anthropogene Hauptquelle gilt die Verbrennung fossiler Brennstoffe und die Metallverarbeitung, insbesondere die Cu-Ni-Verhüttung (NRIAGU & PACYNA 1988; SUNDERMAN & OSKARSSON 1991). Bei der Kohleverbrennung bleibt der größte Teil als  $\text{NiSO}_4$  in der Flugasche zurück (HAMILTON 1979; ZIEMACKI et al. 1989).

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

#### Nickel in Moosen:

**E**rhöhte Nickelwerte wurden großräumig im Ruhrgebiet, in Hessen, in Baden-Württemberg, in Südsachsen und in Ostbrandenburg (Raffineriestandort Schwedt/Oder, ebenso bei Kupfer) festgestellt. Diese Bereiche werden vor allem durch Raffinerien, Metallindustrien sowie Stein- und Braunkohlekraftwerke beeinflusst. Geringe Gehalte wurden in Niedersachsen, Rheinland-Pfalz und Bayern festgestellt (Abb. 21b). Die Nickelwerte in Moosen in Deutschland reichen insgesamt von 0,46 µg/g bis 8,4 µg/g (in Hessen) mit einem Median von 1,6 µg/g Ni. Das Maximum von 11,8 µg/g Ni in Sachsen wurde nicht dargestellt (s. Arsen). Das 98 Perzentil liegt bei 5,1 µg/g Ni.

Abb. 21 a : Nickel-Gehalte in Moosen

Moos - Monitoring 1990/91 (korrigiert)

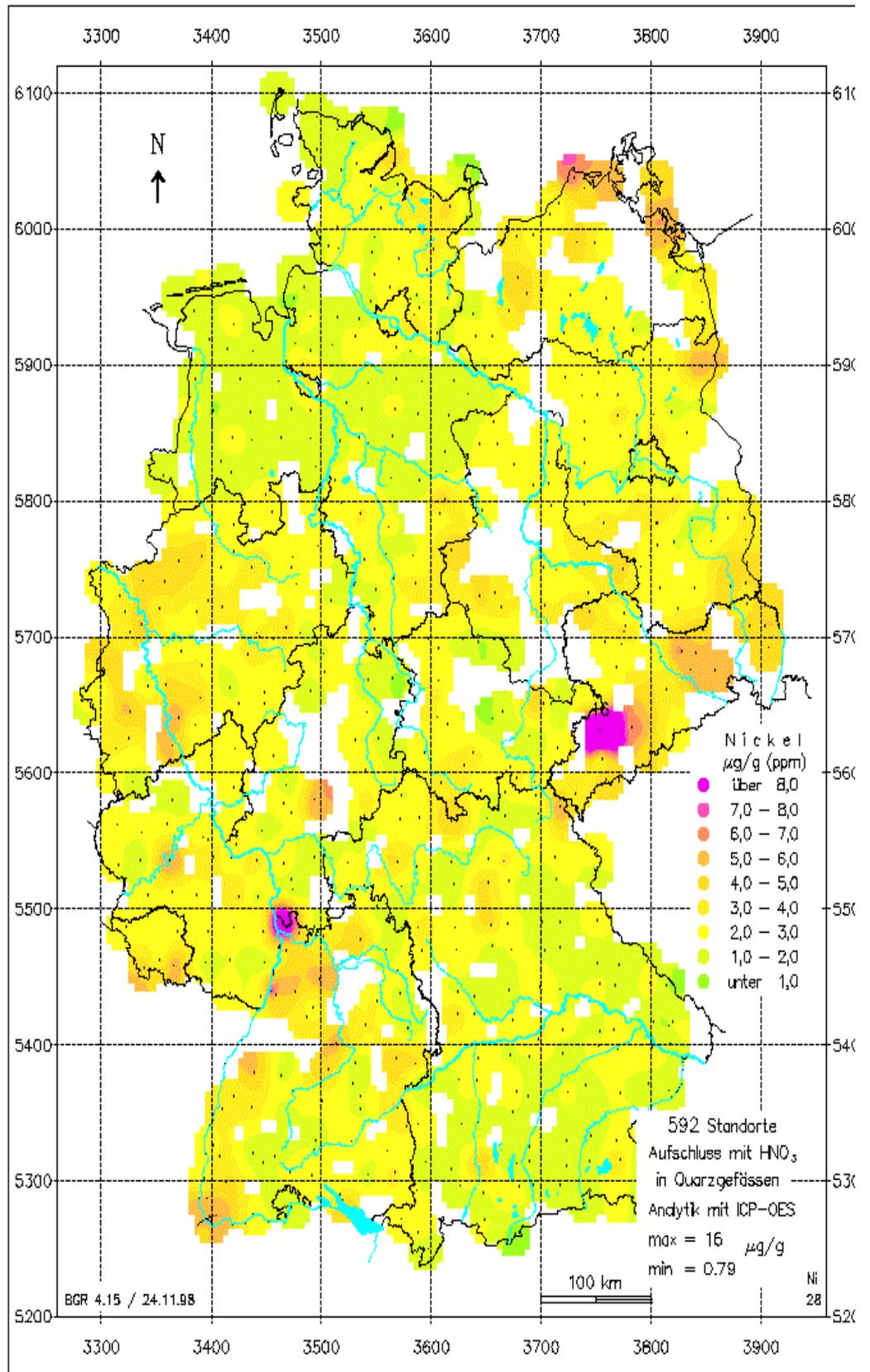
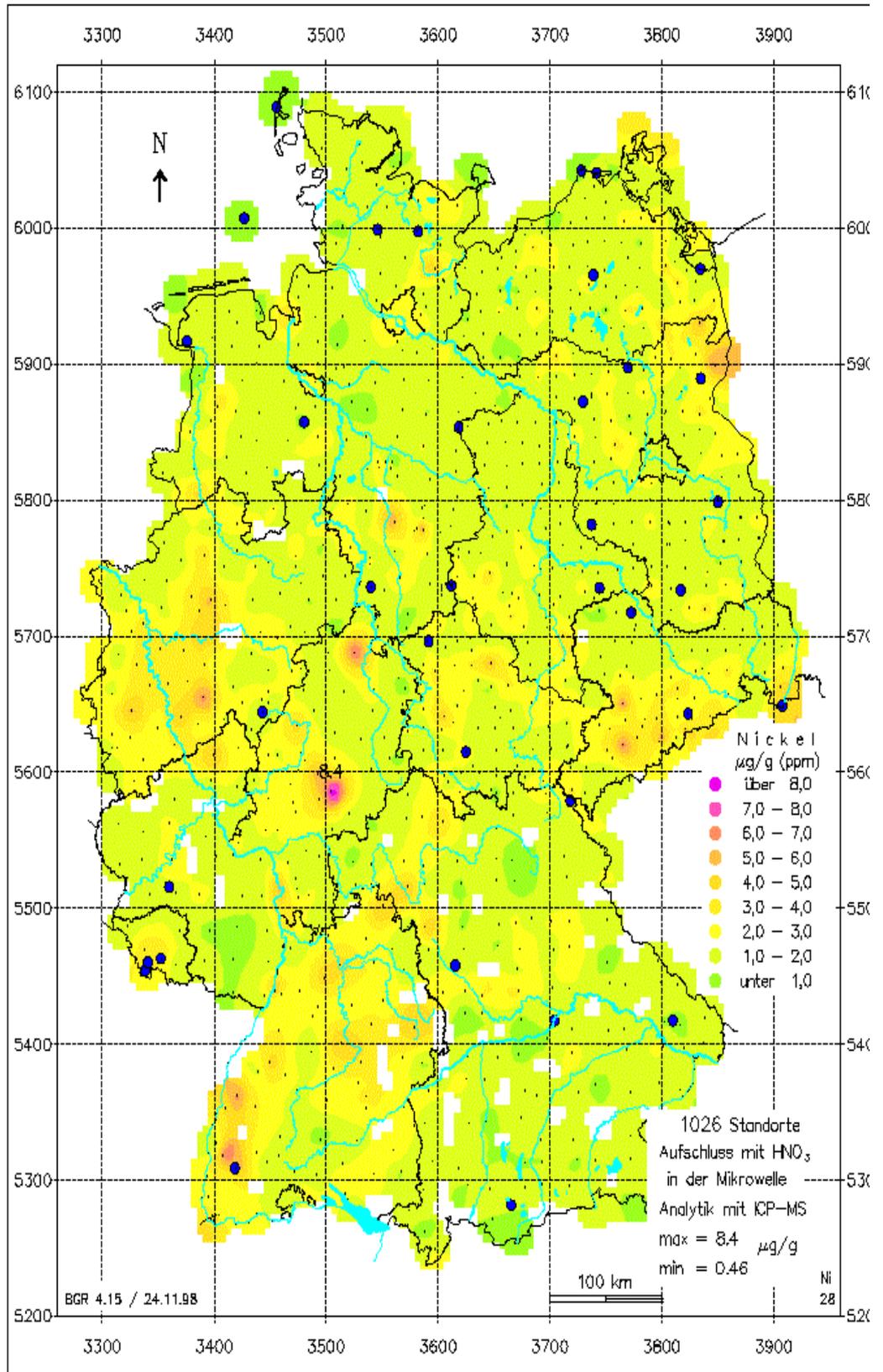


Abb. 21 b : Nickel-Gehalte in Moosen

Moos – Monitoring 1995/96



● UBA Standorte : Luft-Messnetz und Umweltprobenbank

UBA F+E 10802087/

Tab. 11 enthält die Zusammenfassung der Nickelgehalte in Moosen in den Ländern.

Nach Abb. 22 zeigen Hamburg, Nordrhein-Westfalen und Baden-Württemberg die höchsten Abweichungen vom Median für alle Nickelwerte in Deutschland. Dagegen liegen die Mediane für Schleswig-Holstein, Niedersachsen, Rheinland-Pfalz, Bayern, Berlin, Mecklenburg-Vorpommern und Sachsen-Anhalt deutlich unterhalb des Medians für Nickel in Deutschland.

In den 1990/91 ermittelten Gebieten mit erhöhten Nickelgehalten im Ruhrgebiet, in Baden-Württemberg, im Saarland und in Südsachsen konnten grundsätzlich Nickelwerte in vergleichbaren Gehalten wiedergefunden werden. Allerdings haben

sich die Ausbreitungsareale deutlich verkleinert. Insgesamt wurden deutliche großflächige Rückgänge in den Nickelgehalten in allen Ländern festgestellt. Besonders ausgeprägt zeigt sich diese Entwicklung in den neuen Ländern (Abb. 21a). Der maximale Wert von 16 µg/g Ni in 1990/91 in Sachsen wurde 1995/96 nicht wieder gefunden.

Wie Abb. 23 verdeutlicht, sind beim Medianvergleich zwischen 1990/91 und 1995/96 in allen Ländern Rückgänge zu verzeichnen. Gegenüber 1990/91 (korrigiert) ist der Median für Nickel in Deutschland in 1995/96 um 32 % zurückgegangen (s. Kap. 3.3).

Tab. 11: **Nickel-Gehalte in Moosen** in den Ländern und in Deutschland.

Gehalte in µg/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	1.39	1.33	1.83	0.72
	Sp	18	1.27	1.26	1.87	0.63
	Hc	13	1.75	1.98	4.80	0.84
	sonstige	4	1.53	1.55	2.34	0.81
	Gesamt	42	1.43	1.50		
Hamburg	Ps	4	2.45	2.53	3.09	2.12
Niedersachsen	Ps	84	1.44	1.53	4.19	0.62
	Sp	27	1.20	1.29	2.43	0.59
	Hc	6	2.78	2.58	2.99	1.64
	sonstige	9	1.96	2.78	5.98	1.21
	Gesamt	126	1.41	1.62		
Nordrhein-Westfalen	Ps	33	1.99	2.09	6.39	1.11
	Sp	46	2.16	2.41	5.12	0.77
	Hc	4	3.19	3.51	5.40	2.24
	Hs	1	1.53	1.53		
	Gesamt	84	2.10	2.32		
Hessen	Ps	23	1.62	1.93	6.71	1.06
	Sp	21	1.81	2.25	8.43	0.69
	Hc	7	2.41	2.62	4.19	1.53
	sonstige	1	5.55	5.55		
	Gesamt	52	1.75	2.22		

Tab. 11: (Fortsetzung) **Nickel-Gehalte in Moosen.**

Länder	Arten	n	Median	Mittelwert	Maximum	Minimum
	Ps	18	1.47	1.48	2.28	0.86
Rheinland-Pfalz	Sp	9	1.12	1.46	2.60	0.85
	Hc	2	1.96	1.96	2.69	1.22
	sonstige	2	3.47	3.47	4.99	1.95
	Gesamt	31	1.48	1.64		
Baden-Württemberg	Ps	4	1.53	1.51	2.05	0.95
	Sp	1	1.78	1.78		
	Hc	69	2.51	2.74	6.78	0.66
	Gesamt	74	2.46	2.67		
Bavarn	Ps	80	1.52	1.56	4.61	0.46
	Sp	30	1.43	1.55	3.69	0.53
	Hc	5	2.01	2.47	4.63	0.86
	Hs	4	1.20	1.16	1.43	0.81
	Gesamt	119	1.50	1.58		
Saarland	Ps	3	1.64	1.61	1.81	0.08
	Sp	4	3.26	2.92	3.67	1.49
	Gesamt	7	1.81	2.36		
Berlin	Sp	2	1.20	1.20	1.22	1.25
Brandenburg	Ps	75	1.70	1.85	6.11	0.77
	Sp	42	1.74	1.85	3.55	0.85
	Hc	7	2.03	2.21	2.98	1.43
	sonstige	2	3.98	3.98	5.52	2.43
	Gesamt	126	1.76	1.91		
Mecklenburg-Vorpommern	Ps	24	1.25	1.30	2.41	0.78
	Sp	71	1.38	1.42	3.24	0.50
	Hc	12	3.06	2.77	3.84	1.67
	Hs	5	2.66	2.93	3.96	2.17
	sonstige	1	3.02	3.02		
Gesamt	113	1.43	1.62			
Sachsen	Ps	40	1.49	1.59	3.53	0.88
	Sp	11	1.14	1.54	3.45	0.69
	Hc	22	2.75	3.13	6.60	1.71
	sonstige	7	4.01	4.15	5.72	2.23
	Gesamt	80	1.84	2.23		
Sachsen - Anhalt	Ps	38	1.27	1.48	3.25	0.97
	Sp	27	1.37	1.40	2.25	0.83
	Hc	3	2.76	2.73	3.58	1.84
	sonstige	18	2.20	2.12	3.78	0.98
	Gesamt	86	1.45	1.62		
Thüringen	Ps	27	1.76	1.78	3.12	0.65
	Sp	16	1.66	1.76	3.20	0.77
	Hc	24	2.05	2.13	3.23	1.11
	sonstige	8	2.43	2.89	5.32	1.08
	Gesamt	75	1.89	2.00		
Deutschland	Gesamt	1026	1.63	1.90	8.4	0.46

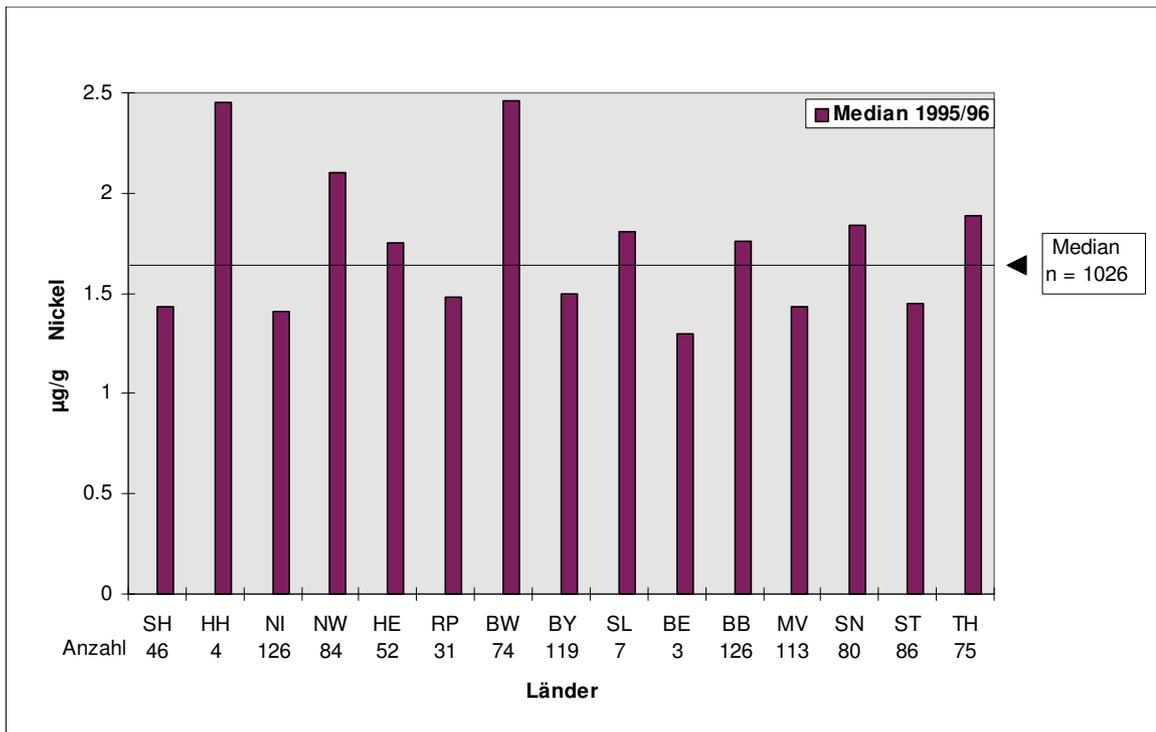


Abb. 22: Mediane (µg/g) für Nickel (Ni) in den Ländern und in Deutschland.

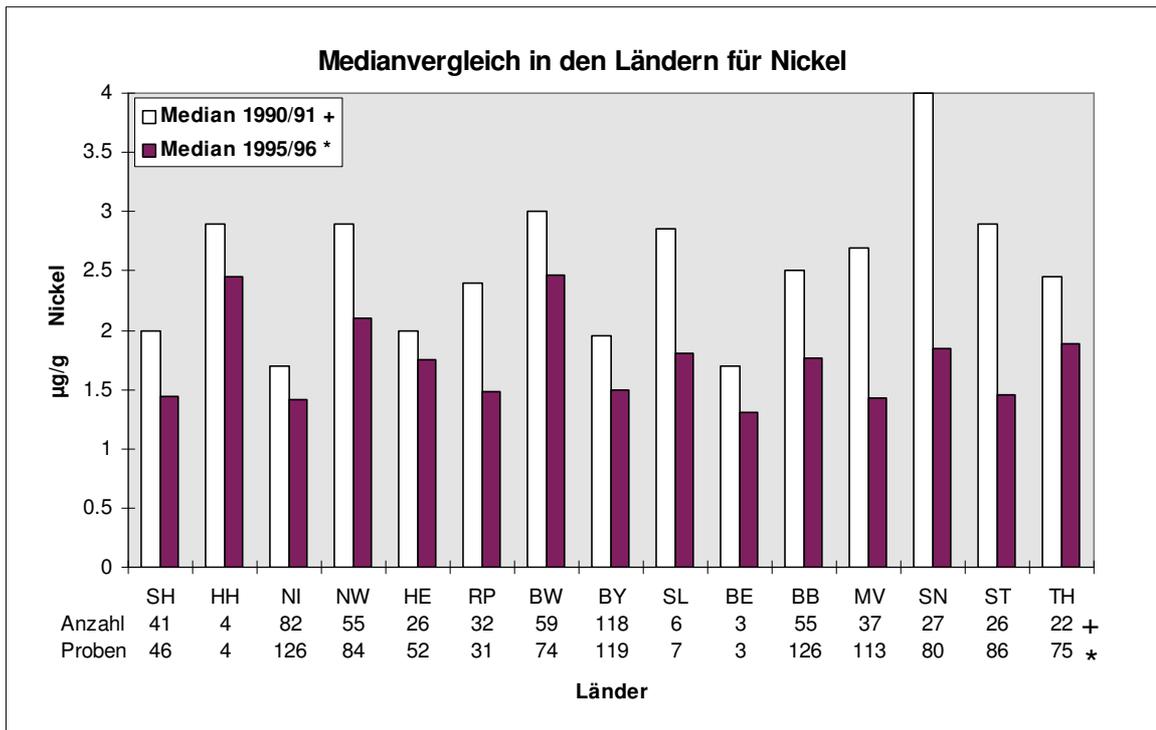


Abb. 23: Mediane (µg/g) für Nickel und die Anzahl der Proben aus 1990/91 (+) und 1995/96 (\*) in den Ländern.