

### 3.2.6 Nickel (Ni)

- **Eigenschaften**

Nickel (Ordnungszahl 28, rel. Atommasse 58,69) ist ein silberweißes, ferromagnetisches Metall mit einer Dichte von 8,9 g/cm<sup>3</sup>. Zahlreiche Legierungen, besonders mit Cu, Cr, Fe und Co, haben wegen ihrer Korrosions- und Hitzebeständigkeit große technische Bedeutung. Nickel ist für manche Organismen essentiell (STREIT 1991).

- **Vorkommen, Produktion, Emission**

Nickel kommt in der Erdkruste durchschnittlich in einem Konzentrationsbereich von 58-94 µg/g vor (ZIEMACKI et al. 1989) und liegt fast immer an Schwefel, Kieselsäure, Arsen oder Antimon gebunden vor. Abbauwürdige Menge finden sich vor allem in Sulfidlagerstätten. Die wichtigsten Erze sind Pentlandit (Nickeleisenkies, [NiFe]<sub>9</sub>S<sub>8</sub>) und Garnierit ([NiMg]<sub>6</sub> [[OH]<sub>8</sub>Si<sub>4</sub>O<sub>10</sub>]) (NEUMÖLLER 1973). Nach KABATA-PENDIAS & PENDIAS (1984) schwanken die natürlichen Bodenkonzentrationen allgemein von 2-8000 µg/g, wobei die höchsten Gehalte Serpentinböden aufweisen. Für Erdöl werden Gehalte von 0,29-76,6 µg/g 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 enthalten kann. Nach DARBINJAN (1988) wird die Nickelkonzentration in Braunkohlen ostelbischer Lagerstätten auf durchschnittlich 12,4 (0,7-62) µg/g geschätzt. Die mittlere Konzentration in Pflanzen schwankt von 0,4-4 µg/g (MARKERT 1992). Die Grundkonzentration in einem mittelbelasteten Moos (*Polytrichum commune*) in Zentraleuropa wird mit 1,5 µg/g beschrieben (MARKERT 1991).

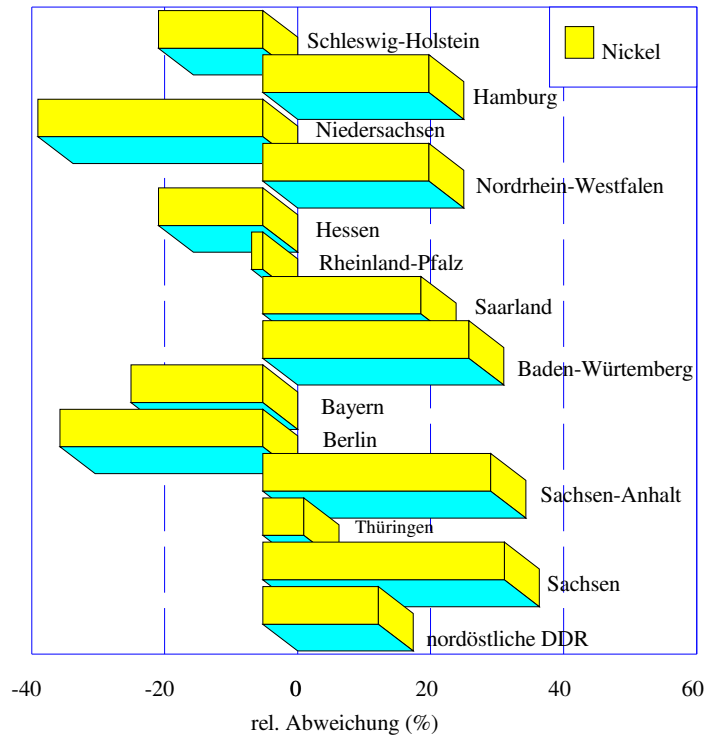
Zu natürlichen Nickel-Emissionen kommt es durch vulkanische Tätigkeiten und Windverwehungen von Bodestaub. Als anthropogene Hauptquelle ist die Verbrennung fossiler Brennstoffe und die Metallverarbeitung zu nennen (NRIAGU & PACYNA 1988). Bei der Kohleverbrennung bleibt der größte Teil als NiSO<sub>4</sub> 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 enthalten (FISCHBEIN 1981). Andere Nickel-Emissionen sind auf Nickelbergbau- und Veredelungsprozesse sowie Müllverbrennung zurückzuführen (SUNDERMANN & OSKARSSON 1991). Der Nickelgehalt der Luft variiert in Europa in abgelegenen Gebieten zwischen 0,1-0,7 ng/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 der Bundesrepublik 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 Luftkonzentrationen festgestellt (SUNDERMAN & OSKARSSON 1991).

- **Ergebnisbeschreibung**

Das Verteilungsmuster von Nickel zeigt erhöhte Werte im Ruhrgebiet, in der Rhein-Neckarregion, im Saarland, in südwestlichen Bereichen Baden-Württembergs und in ausgedehnten Teilen Ostdeutschlands. Sie reflektieren damit Aggregationen von Metallindustriekomplexen und Kraftwerken, wie Steinkohlekraftwerke im Ruhrgebiet und im Saarland sowie die Vielzahl an Braunkohlekraftwerken in Ostdeutschland. Zusätzlich wirkt sich in diesen Gebieten der Einfluß der verwendeten Benzin/Ölgemische in Kraftfahrzeugen aus.

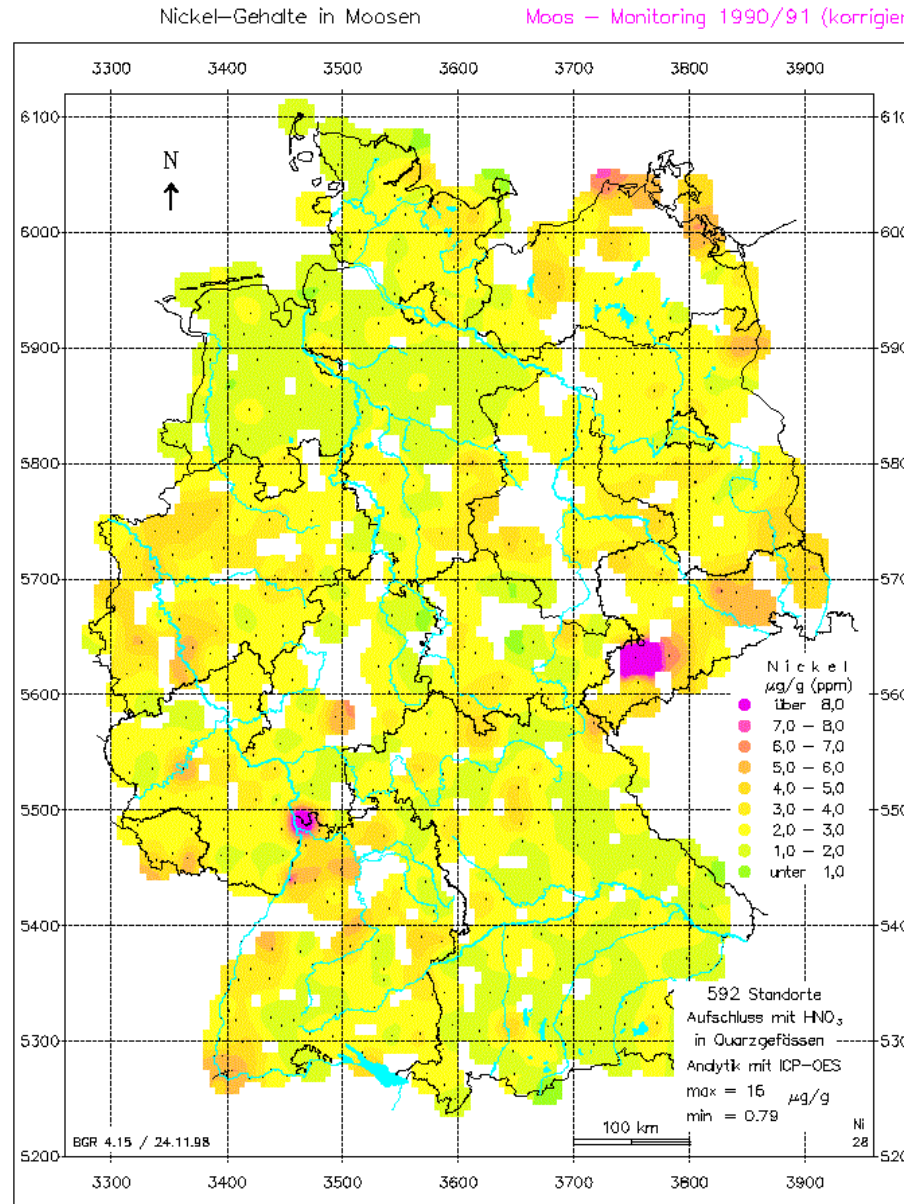
Die höchsten Nickelkonzentrationen weisen auf die bekannten Raffineriestandorte bei Karlsruhe, Mannheim, Köln und Schwedt hin. Eine Begründung für die lokal erhöhten Nickelkonzentrationen an der Ostseeküste ist die Einfuhr nickelhaltigen Rohphosphats aus Kola (GUS). Generell geringere Konzentrationen wurden in nördlichen Teilen Niedersachsens und den südlichen Bereichen Bayerns festgestellt. Wie aus Abb. 7 zu erkennen ist, kommt es in vielen Fällen in dicht besiedelten bzw. hochindustrialisierten Ländern und der damit einhergehenden verstärkten Nutzung fossiler Energiequellen zu relativen Abweichungen von ca. 20-40% gegenüber dem Median für Nickelkonzentrationen in der Bundesrepublik Deutschland. Die Werte des unkorrigierten Datensatzes reichen insgesamt von 0,56 µg/g bis 16 µg/g mit einem Median von 2,4 µg/g.



**Abb. 7:** Mittlere relative Abweichung (%) der Mediane für Nickelkonzentrationen in Moosen in den Ländern gegenüber dem Median für Nickelkonzentrationen ( $2,4 \mu\text{g/g TS}$ ) in Moosen in der Bundesrepublik Deutschland.

**Tab. 19:** Nickelkonzentrationen in Moosproben in den einzelnen Ländern. Es sind die Konzentrationen als Median, arithmetischer Mittelwert, Maximum und Minimum in  $\mu\text{g/g}$  TS für die entnommenen Moosarten aufgeführt (unkorrigierter Datensatz). Moosarten: *Pleurozium schreberi* (P.s.), *Scleropodium purum* (S.p.), *Hypnum cupressiforme* (H.c.), *Hylocomium splendens* (H.s.).

Land	Moosarten	n	Minimum ( $\mu\text{g/g}$ )	Maximum ( $\mu\text{g/g}$ )	Median ( $\mu\text{g/g}$ )	Mittelwert ( $\mu\text{g/g}$ )
Schleswig-Holstein	P.s.	19	1,0	3,0	1,9	1,8
	S.p.	10	0,8	3,5	2,1	2,2
	H.c.	12	0,7	4,8	2,9	3,0
	<b>Gesamt</b>	<b>41</b>			<b>2,0</b>	<b>2,3</b>
Hamburg	P.s.	4	2,1	4,1	3,1	3,1
	<b>Gesamt</b>	<b>4</b>			<b>3,1</b>	<b>3,1</b>
Niedersachsen	P.s.	72	0,6	4,0	1,6	1,7
	S.p.	6	1,1	4,7	1,7	2,3
	H.c.	4	1,6	3,3	2,8	2,6
	<b>Gesamt</b>	<b>82</b>			<b>1,6</b>	<b>1,8</b>
Nordrhein-Westfalen	P.s.	30	1,4	4,8	2,7	3,0
	S.p.	20	1,5	5,7	3,3	3,4
	H.c.	4	3,3	4,3	4,0	3,9
	H.s.	1	2,0	2,0	2,0	2,0
	<b>Gesamt</b>	<b>55</b>			<b>3,0</b>	<b>3,2</b>
Hessen	P.s.	11	1,3	3,6	2,1	2,2
	S.p.	12	0,7	4,1	1,8	2,0
	H.c.	2	3,5	5,7	4,6	4,6
	H.s.	1	1,5	1,5	1,5	1,5
	<b>Gesamt</b>	<b>26</b>			<b>2,0</b>	<b>2,5</b>
Rheinland-Pfalz	P.s.	26	1,1	3,9	2,3	2,4
	S.p.	6	1,8	5,9	2,7	3,1
	<b>Gesamt</b>	<b>32</b>			<b>2,4</b>	<b>2,6</b>
Saarland	P.s.	4	2,4	5,6	3,0	3,5
	S.p.	2	2,2	4,9	3,6	3,6
	<b>Gesamt</b>	<b>6</b>			<b>3,0</b>	<b>3,5</b>
Baden-Württemberg	P.s.	7	1,7	4,6	3,2	3,1
	S.p.	2	0,9	7,6	4,3	4,3
	H.c.	49	1,1	11,6	3,2	3,4
	H.s.	1	1,3	1,3	1,3	1,3
	<b>Gesamt</b>	<b>59</b>			<b>3,2</b>	<b>3,4</b>
Bayern	P.s.	98	0,6	6,0	1,9	2,1
	S.p.	17	0,6	4,3	2,2	2,3
	H.c.	2	1,6	2,7	2,2	2,2
	H.s.	1	2,6	2,6	2,6	2,6
	<b>Gesamt</b>	<b>118</b>			<b>1,9</b>	<b>2,1</b>
Berlin	P.s.	3	1,6	2,5	1,7	1,9
	<b>Gesamt</b>	<b>3</b>			<b>1,7</b>	<b>1,9</b>
Sachsen-Anhalt	P.s.	6	1,6	3,6	3,0	3,3
	S.p.	6	1,4	5,0	3,2	2,9
	<b>Gesamt</b>	<b>12</b>			<b>3,3</b>	<b>3,1</b>
Thüringen	P.s.	10	0,6	3,9	2,6	2,5
	S.p.	11	0,7	3,8	2,5	2,3
	H.c.	1	4,6	4,6	4,6	4,6
	<b>Gesamt</b>	<b>22</b>			<b>2,6</b>	<b>2,5</b>
Sachsen	P.s.	9	2,3	6,4	3,4	3,8
	S.p.	7	2,3	16,0	3,1	5,1
	<b>Gesamt</b>	<b>16</b>			<b>3,3</b>	<b>4,4</b>
nordöstl. DDR	P.s.	117	1,5	6,8	2,8	3,2
	<b>Gesamt</b>	<b>117</b>			<b>2,8</b>	<b>3,2</b>



### 3.2.7 Blei (Pb)

- **Eigenschaften**

Blei ( Ordnungszahl 82, rel. Atommasse 207,2) ist ein bläulich-weißes, weiches Metall mit einer Dichte von 11,3 g/cm<sup>3</sup>. Blei besteht natürlicherweise aus vier stabilen Isotopen, deren Verhältnis zueinander von ihrem mineralischem Ursprung und dessen Alter abhängig ist. Die weitaus beständigste Form ist die 2-wertige Oxidationsstufe. Ökotoxikologisch wichtig sind die Blei(II)salze und Organoblei-Verbindungen wie Pb-tetraethyl und Pb-tetramethyl (STREIT 1991).

- **Vorkommen, Produktion, Emission**

Die mittlere Bleikonzentration der Erdkruste wird auf 16 µg/g geschätzt. Als wichtige Bleiminerale gelten Bleiglanz (PbS), Bleicarbonat (PbCO<sub>3</sub>) und Bleisulfat (PbSO<sub>4</sub>). Bleiglanz kommt oft mit Zinkmineralen und solchen mit Kupfer, Eisen, Cadmium und anderen Metallen in Lagerstätten vor. In der Umgebung bleiverarbeitender Industrien wurden im Oberboden bis zu 20,000 µg/g gemessen. Normale Böden enthalten durchschnittlich 10-40 µg/g (EWERS & SCHLIPKÖTER 1991). In Pflanzen schwanken die Konzentrationen im Durchschnitt von 0,1-5 µg/g (MARKERT 1992). Für ein mittelbelastetes Moos (*Polytrichum commune*) in Zentraleuropa wird eine Grundkonzentration von 10 µg/g geschätzt (MARKERT 1991).

Der Hauptteil an Blei-Emissionen resultiert aus der Verbrennung von verbleitem Benzin (Pb-tetramethyl und Pb-tetraethyl als Antiklopfmittel). Verschiedenen Berichten zufolge, ist der Autoverkehr mit über 90% an der gesamten atmosphärischen Blei-Emission beteiligt (EWERS & SCHLIPKÖTER 1991). Zur Blei-Emission aus Kraftfahrzeugen in den neuen Ländern wird vermutet, daß die Werte über denen der alten Länder liegen, da der Kraftstoff in den neuen Ländern einen hohen Bleianteil aufweist (PETSCHOW et al. 1990). Blei ist ferner in Kohle enthalten, und diese muß deshalb als weitere Emissionsquelle betrachtet werden. Besonders bei der Verbrennung stark schwefelhaltiger Kohle wird Blei emittiert (ZIEMACKI et al. 1989).

Weitere Quellen sind die Eisen- und Stahlindustrie, die Verhüttung von Blei-, Kupfer- und Zinkerzen sowie Verwehungen von kontaminiertem Bodenmaterial in der Nähe bleiverarbeitender Industrien (NRIAGU & PACYNA 1988; EWERS & SCHLIPKÖTER 1991).

Da der Kraftfahrzeugverkehr die Hauptkomponente an atmosphärischem Blei darstellt, ist allgemein der Bleigehalt der Luft in urban-industriellen Gebieten bedeutend höher als in abgelegenen-ländlichen Gebieten. Viele europäische Städte zeigen im jährlichen Mittel 0,5-3 µg/m<sup>3</sup> gegenüber 0,1-0,3 µg/m<sup>3</sup> in abgelegenen Gebieten (ZIEMACKI et al. 1989).

Auch Angaben über die jährlichen Durchschnittsdepositionsraten beschreiben den Unterschied zwischen industrialisierten und ländlichen Gebieten. In Grönland und der Antarktis wurden Werte unter  $1 \mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$  festgestellt. In ländlichen Bereichen Europas und Nordamerikas konnten  $20\text{-}80 \mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ , in großen Städten 1,5-10 mal höhere Depositionsraten nachgewiesen werden. Im Niederschlag Westdeutschlands wurden Bleikonzentrationen von  $15 - 50 \mu\text{g Pb}^{2+}/\text{l}$  ermittelt, mit einer Naßdepositionrate von ca.  $30 \mu\text{g Pb}^{2+}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$  in ländlichen Gebieten,  $50 \mu\text{g Pb}^{2+}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$  in urbanen Bereichen und  $100\text{-}150 \mu\text{g Pb}^{2+}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$  in Regionen mit Metallindustrie (VALENTA et al. 1986). SIEWERS & ROOSTAI (1990) ermittelten im Harz von November 1987 - Dezember 1989 Gesamtdepositionen (naß und trocken) für Blei von  $139 \mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$  im Fichtenaltbestand und von  $46 \mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$  im benachbarten Freiland.

Trotz der generellen Abnahme des Bleigehaltes in der Luft konnten lokal im Rahmen kontinuierlicher Langzeituntersuchungen (MARKERT & WECKERT 1993, 1994; BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ 1993) nach anfänglicher Abnahme der Bleikonzentrationen in Moosen im Zeitraum der allgemeinen Grenzöffnung vergleichsweise wieder höhere Bleikonzentrationen festgestellt werden.

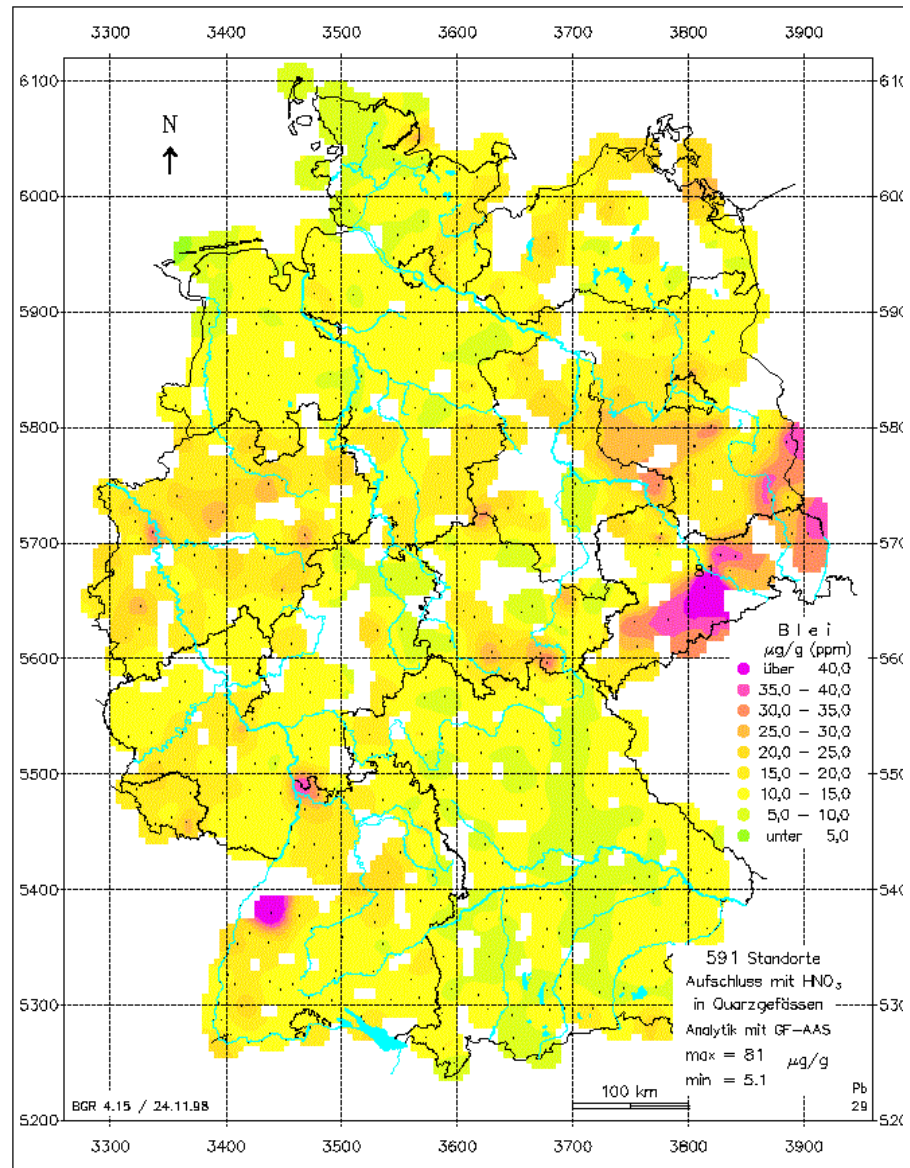
- **Ergebnisbeschreibung**

Grundsätzlich wurden erhöhte Bleikonzentrationen in den dicht besiedelten und industrialisierten westlichen, südwestlichen und südöstlichen Bereichen der Bundesrepublik Deutschland festgestellt. Besonders Gebiete in Brandenburg und Sachsen zeigen weiträumig vergleichsweise hohe Bleikonzentrationen. Diese Areale weisen eine hohe Dichte an Braunkohlekraftwerken und Metallindustrien auf. Darüber hinaus können durch den privaten Verbrauch von stark schwefelhaltiger Braunkohle bzw. Briketts ebenfalls Emissionen vermutet werden. In Sachsen gilt die im Raum Freiberg ansässige Buntmetallindustrie als weiterer Emissionsfaktor. Auf der anderen Seite ist in bestimmten Fällen keine Beziehung zwischen der anzunehmenden Bleiverteilung und der Verkehrsdichte zu beobachten. Es können z.B. über den Einfluß verkehrsreicher und industrieller Regionen um Frankfurt und München keine sicheren Interpretationen abgegeben werden. Zusammenfassend läßt sich durch Abb. 9 zeigen, daß Sachsen die maximale relative Abweichung ( $>60\%$ ) vom Median für Bleikonzentrationen in der Bundesrepublik Deutschland aufweist. Ebenso weichen die dicht besiedelten und hoch industrialisierten Länder Nordrhein-Westfalen und Saarland relativ stark vom Median der Bleikonzentrationen in der Bundesrepublik Deutschland ab.

Die Bleiwerte des unkorrigierten Datensatzes reichen insgesamt von  $5,1 \mu\text{g}/\text{g}$  bis  $80,5 \mu\text{g}/\text{g}$  mit einem Median von  $12,9 \mu\text{g}/\text{g}$ .

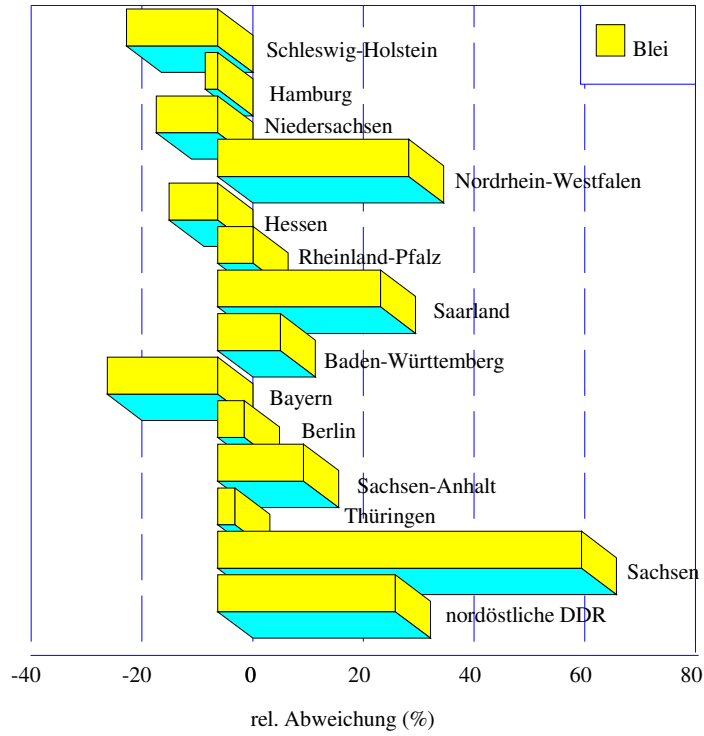
Abb. 24 a : Blei-Gehalte in Moosen

Moos - Monitoring 1990/91



UBA F+E 108020





**Abb. 8:** Mittlere relative Abweichung (%) der Mediane für Bleikonzentrationen in Moosen in den Ländern gegenüber dem Median für Bleikonzentrationen ( $12,9 \mu\text{g/g TS}$ ) in Moosen in der Bundesrepublik Deutschland.

**Tab. 20:** Bleikonzentrationen in Moosproben in den einzelnen Ländern. Es sind die Konzentrationen als Median, arithmetischer Mittelwert, Maximum und Minimum in  $\mu\text{g/g}$  TS für die entnommenen Moosarten aufgeführt (unkorrigierter Datensatz). Moosarten: *Pleurozium schreberi* (P.s.), *Scleropodium purum* (S.p.), *Hypnum cupressiforme* (H.c.), *Hylocomium splendens* (H.s.).

Land	Moosarten	n	Minimum ( $\mu\text{g/g}$ )	Maximum ( $\mu\text{g/g}$ )	Median ( $\mu\text{g/g}$ )	Mittelwert ( $\mu\text{g/g}$ )
Schleswig-Holstein	P.s.	19	6,3	16,1	9,9	19,0
	S.p.	10	7,2	16,1	10,6	10,0
	H.c.	12	9,0	26,4	14,4	12,0
	<b>Gesamt</b>	<b>41</b>			<b>10,8</b>	<b>11,8</b>
Hamburg	P.s.	4	11,1	15,7	12,6	13,0
	<b>Gesamt</b>	<b>4</b>			<b>12,6</b>	<b>13,0</b>
Niedersachsen	P.s.	72	7,9	19,5	11,4	11,9
	S.p.	6	5,1	21,7	10,3	11,4
	H.c.	4	14,6	19,4	14,8	15,9
	<b>Gesamt</b>	<b>82</b>			<b>11,5</b>	<b>12,1</b>
Nordrhein-Westfalen	P.s.	30	11,4	30,7	18,0	18,9
	S.p.	20	10,1	35,2	15,9	17,2
	H.c.	4	17,1	28,9	25,1	24,0
	H.s.	1	12,3	12,3	12,3	12,3
	<b>Gesamt</b>	<b>55</b>			<b>17,4</b>	<b>18,5</b>
Hessen	P.s.	11	8,9	22,4	11,8	13,1
	S.p.	12	6,9	13,0	10,6	10,3
	H.c.	2	10,3	18,2	14,3	14,3
	H.s.	1	12,0	12,0	12,0	12,0
	<b>Gesamt</b>	<b>26</b>			<b>11,8</b>	<b>12,2</b>
Rheinland-Pfalz	P.s.	26	10,8	29,7	13,8	14,6
	S.p.	6	9,2	18,5	13,7	14,0
	<b>Gesamt</b>	<b>32</b>			<b>13,8</b>	<b>14,5</b>
Saarland	P.s.	4	16,4	26,4	19,0	20,2
	S.p.	2	12,3	16,8	14,6	14,6
	<b>Gesamt</b>	<b>6</b>			<b>16,8</b>	<b>18,3</b>
Baden-Württemberg	P.s.	7	9,8	22,4	17,5	17,2
	S.p.	2	9,1	11,9	10,5	10,5
	H.c.	49	9,2	51,0	16,5	16,5
	H.s.	1	14,4	14,4	14,4	14,4
	<b>Gesamt</b>	<b>59</b>			<b>14,4</b>	<b>16,3</b>
Bayern	P.s.	98	6,1	19,3	10,4	10,8
	S.p.	17	5,6	14,0	8,9	9,2
	H.c.	2	10,4	13,5	12,0	12,0
	H.s.	1	21,4	21,4	21,4	21,4
	<b>Gesamt</b>	<b>118</b>			<b>10,3</b>	<b>10,6</b>
Berlin	P.s.	3	9,8	16,2	13,6	13,2
	<b>Gesamt</b>	<b>3</b>			<b>13,6</b>	<b>13,2</b>
Sachsen-Anhalt	P.s.	6	9,2	31,9	16,9	17,6
	S.p.	6	7,3	22,1	9,2	12,3
	<b>Gesamt</b>	<b>12</b>			<b>15,0</b>	<b>14,0</b>
Thüringen	P.s.	10	9,1	35,4	16,7	18,0
	S.p.	11	5,3	29,5	11,1	12,6
	H.c.	1	26,8	26,8	26,8	26,8
	<b>Gesamt</b>	<b>22</b>			<b>13,3</b>	<b>15,7</b>
Sachsen	P.s.	9	9,5	80,5	25,3	30,7
	S.p.	7	9,7	34,7	11,5	18,5
	<b>Gesamt</b>	<b>16</b>			<b>21,5</b>	<b>25,4</b>
nordöstl. DDR	P.s.	117	7,8	40,9	17,1	19,4
	<b>Gesamt</b>	<b>117</b>			<b>17,1</b>	<b>19,4</b>

### 3.2.8 Titan (Ti)

- **Eigenschaften**

Titan (Ordnungszahl 22, rel. Atommasse 47,9) ist ein silbergraues Metall mit einer Dichte von 4,5 g/cm<sup>3</sup>. Titan gilt als nicht essentielles Element für Organismen, spielt aber möglicherweise eine positive Rolle beim Getreidewachstum und bei der N<sub>2</sub>-Fixierung bei Leguminosen (STREIT 1991). Es bestehen keine Hinweise auf Toxizität (WHITEHEAD 1991). Aufgrund seiner Teilchengröße von 20 µm wird Titandioxid als Staubbelastung eingestuft (STREIT 1991).

- **Vorkommen, Produktion, Emission**

Titan ist ein weit verbreitetes Element und kommt in der Erdkruste mit einem Anteil von 0,6% vor (WHITEHEAD 1991). In Oberböden von Lateritböden können bis zu 15% Titan enthalten sein (STREIT 1991). Die wichtigsten Titanminerale sind Ilmenit (35-60% TiO<sub>2</sub>) und Rutil (95% TiO<sub>2</sub>). Viele Eisenerze sind oft mit Titan vergesellschaftet (NEUMÖLLER 1979). Nach Bowen (1979) enthält Braunkohle Konzentrationen von 150-1100 µg/g. Braunkohlen ostelbischer Kohlereviere zeigen im Mittel 2000 (170-7700) µg/g (DARBINJAN 1988).

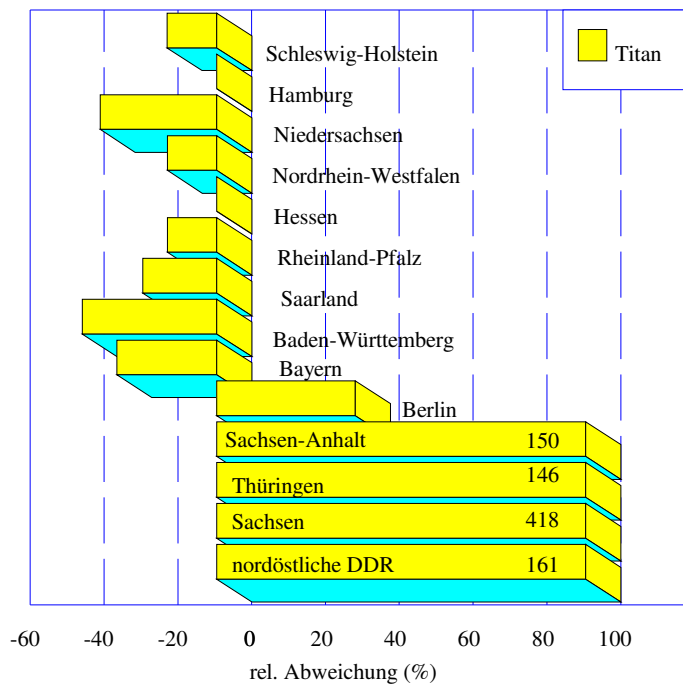
Die mittlere Konzentration in Pflanzen wird mit 0,02-56 µg/g angegeben (MARKERT 1992). Die Grundkonzentration in einem mittelbelasteten Moos (*Polytrichum commune*) in Zentraleuropa wird auf 8 µg/g geschätzt (MARKERT 1991).

Titan-Emissionen sind vor allem auf die Verarbeitung titan- und eisenreicher Erze, die Kohleverbrennung (Flugasche, Staub), die Müllverbrennung sowie auch durch Verwehung von Bodenmaterial zurückzuführen

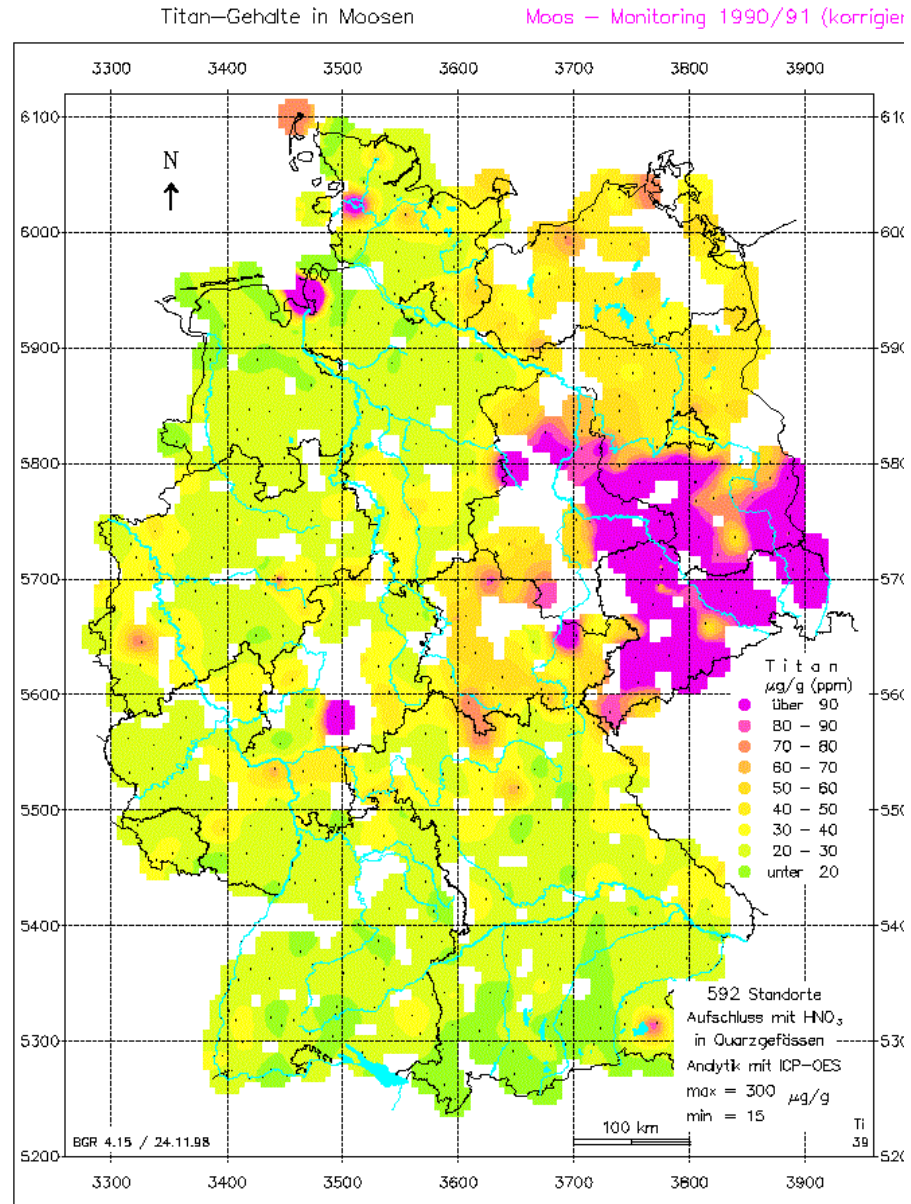
- **Ergebnisbeschreibung**

Der Vergleich zwischen West- und Ostdeutschland zeigt bedeutend höhere Konzentrationen in weiten Teilen Ostdeutschlands besonders in Gebieten Brandenburgs und Sachsens. Wie im Fall des Eisens stellen vermutlich die Eisenverhüttungsbetriebe, die Braunkohlekraftwerke und der Braunkohletagebau sowie die zu privaten Heizzwecken verwendete Braunkohle wichtige Emissionsquellen dar. Das Verteilungsmuster von Titan ist daher in vielen Fällen mit Eisen vergleichbar. Weiterhin zeigen sich großräumig gute Übereinstimmungen mit dem Staubdepositions muster (Jahresmittel) der Bundesrepublik Deutschland (UMWELTBUNDESAMT 1994). Weiträumig geringere Konzentrationen konnten in Niedersachsen, Bayern und Baden-Württemberg nachgewiesen werden.

Die maximale Titankonzentration (263  $\mu\text{g/g}$ ) in Niedersachsen (Wurster Heide) ist vermutlich auf geogene Verunreinigungen zurückzuführen, da der Probenentnahmeort hohe Vorkommen an den Schwermineralien Rutil und Ilmenit aufweist (schriftliche Mitteilung LUFA Oldenburg, Dr. Reepmeyer, siehe Vanadium). Wie aus Abb. 10 zu erkennen ist, zeigt Sachsen die höchste relative Abweichung (418%) vom Median für Titankonzentrationen in der Bundesrepublik Deutschland. Insgesamt weisen generell die östlichen Länder der Bundesrepublik Deutschland hohe relative Abweichungen auf. Die Titankonzentrationen des unkorrigierten Datensatzes reichen insgesamt von 1,9  $\mu\text{g/g}$  bis 263  $\mu\text{g/g}$  mit einem Median von 14,1  $\mu\text{g/g}$ .



**Abb.9:** Mittlere relative Abweichung (%) der Mediane für Titankonzentrationen in Moosen in den Ländern gegenüber dem Median für Titankonzentrationen (14,1  $\mu\text{g/g}$  TS) in Moosen in der Bundesrepublik Deutschland.



**Tab. 21:** Titankonzentrationen in Moosproben in den einzelnen Ländern. Es sind die Konzentrationen als Median, arithmetischer Mittelwert, Maximum und Minimum in  $\mu\text{g/g}$  TS für die entnommenen Moosarten aufgeführt (unkorrigierter Datensatz). Moosarten: *Pleurozium schreberi* (P.s.), *Scleropodium purum* (S.p.), *Hypnum cupressiforme* (H.c.), *Hylocomium splendens* (H.s.).

Land	Moosarten	n	Minimum ( $\mu\text{g/g}$ )	Maximum ( $\mu\text{g/g}$ )	Median ( $\mu\text{g/g}$ )	Mittelwert ( $\mu\text{g/g}$ )
Schleswig-Holstein	P.s.	19	5,6	82,2	10,9	19,9
	S.p.	10	8,2	42,8	21,5	22,5
	H.c.	12	9,0	24,0	12,0	13,5
	<b>Gesamt</b>	<b>41</b>			<b>12,2</b>	<b>18,7</b>
Hamburg	P.s.	4	4,1	19,2	14,1	12,9
	<b>Gesamt</b>	<b>4</b>			<b>14,1</b>	<b>12,9</b>
Niedersachsen	P.s.	72	4,5	263,0	9,5	14,3
	S.p.	6	5,4	15,8	7,5	9,3
	H.c.	4	10,0	15,9	13,5	13,2
	<b>Gesamt</b>	<b>82</b>			<b>9,6</b>	<b>13,9</b>
Nordrhein-Westfalen	P.s.	30	4,4	26,6	13,3	14,0
	S.p.	20	7,0	54,8	12,9	17,1
	H.c.	4	8,5	11,9	11,0	10,6
	H.s.	1	10,8	10,8	10,8	10,8
	<b>Gesamt</b>	<b>55</b>			<b>12,2</b>	<b>14,8</b>
Hessen	P.s.	11	7,9	25,2	14,0	16,0
	S.p.	12	4,2	65,5	13,9	20,6
	H.c.	2	28,2	108,0	67,9	67,9
	H.s.	1	5,7	5,7	5,7	5,7
	<b>Gesamt</b>	<b>26</b>			<b>14,1</b>	<b>22,6</b>
Rheinland-Pfalz	P.s.	26	5,1	29,5	12,2	13,9
	S.p.	6	4,2	47,9	12,7	18,4
	<b>Gesamt</b>	<b>32</b>			<b>12,2</b>	<b>14,7</b>
Saarland	P.s.	4	7,2	11,5	9,4	9,4
	S.p.	2	16,4	19,6	18,0	18,0
	<b>Gesamt</b>	<b>6</b>			<b>11,3</b>	<b>12,3</b>
Baden-Württemberg	P.s.	7	5,9	15,6	10,9	10,6
	S.p.	2	7,5	11,8	9,6	9,6
	H.c.	49	2,9	24,2	9,0	9,9
	H.s.	1	7,8	7,8	7,8	7,8
	<b>Gesamt</b>	<b>59</b>			<b>9,0</b>	<b>10,0</b>
Bayern	P.s.	98	2,0	66,9	10,1	12,5
	S.p.	17	3,5	46,7	10,9	13,4
	H.c.	2	8,7	10,3	9,5	9,5
	H.s.	1	5,6	5,6	5,6	5,6
	<b>Gesamt</b>	<b>118</b>			<b>10,3</b>	<b>12,5</b>
Berlin	P.s.	3	15,9	22,7	19,4	19,5
	<b>Gesamt</b>	<b>3</b>			<b>19,4</b>	<b>19,5</b>
Sachsen-Anhalt	P.s.	6	12,6	42,4	26,1	26,7
	S.p.	6	10,8	63,4	38,3	41,5
	<b>Gesamt</b>	<b>12</b>			<b>35,3</b>	<b>34,1</b>
Thüringen	P.s.	10	20,0	64,3	37,6	37,3
	S.p.	11	11,2	59,9	33,9	34,2
	H.c.	1	101,0	101,0	101,0	101,0
	<b>Gesamt</b>	<b>22</b>			<b>34,8</b>	<b>38,6</b>
Sachsen	P.s.	9	39,6	124,0	70,6	76,6
	S.p.	7	38,9	167,0	95,5	90,9
	<b>Gesamt</b>	<b>16</b>			<b>73,2</b>	<b>82,9</b>
nordöstl. DDR	P.s.	117	16,1	239,0	36,8	57,8
	<b>Gesamt</b>	<b>117</b>			<b>36,8</b>	<b>57,8</b>