

# Das neue Bundes- Bodenschutzgesetz

Welche Auswirkungen hat das Bundes-  
Bodenschutzgesetz unter technisch-  
naturwissenschaftlichen Fragestellungen  
auf die produzierende Industrie?



Münchener Rück  
Munich Re Group



# Das neue Bundes- Bodenschutzgesetz

**Welche Auswirkungen hat das Bundes-  
Bodenschutzgesetz unter technisch-  
naturwissenschaftlichen Fragestellungen  
auf die produzierende Industrie?**

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>10</b>
<b>2.1</b>	<b>Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG)</b>	<b>10</b>
	– Allgemeines	10
	– Bodenwerte im Rahmen des Bundes-Bodenschutzgesetzes (BBodSchG) (s. Tab. 1)	11
<b>2.2</b>	<b>Gängige Richtlinien in Deutschland</b>	<b>14</b>
	– Berliner Liste (1996)	14
	– Brandenburger Liste (1993)	16
	– Prüfwertliste der Stadtgemeinde Bremen (1993)	20
	– Hamburger Liste (1990)	24
	– Richtlinien Baden-Württemberg (1998)	27
	– Richtlinien Bayern (1998)	30
	– Entwurf hessischer „Orientierungswerte Boden“ für die Altlastensanierung	33
	– Sächsisches Abfallwirtschafts- und Bodenschutzgesetz (1999)	34
	– Klärschlammverordnung (1992)	37
<b>2.3</b>	<b>Gängige Richtlinien (international)</b>	<b>39</b>
	– Holland-Liste 94	39
	– Kloke-Liste (1987)	42
<b>2.4</b>	<b>Geochemische Grundlagen</b>	<b>43</b>
<b>2.4.1</b>	<b>Ausgangsmaterialien der Bodenbildung (Substrate)</b>	<b>43</b>
	– Der Begriff „Boden“	43
	– Substrate und ihre geogenen Elementgehalte	44
	– Lockergesteine/Deckschichten	45
	– Festgesteine	48
<b>2.4.2</b>	<b>Bodengenetische Prozesse</b>	<b>60</b>
<b>2.4.3</b>	<b>Einfluss des pH-Wertes auf den Boden</b>	<b>61</b>
<b>2.4.4</b>	<b>Hintergrundwerte für Gesteine oder Böden</b>	<b>63</b>

<b>2.5</b>	<b>Möglichkeiten eines Schadstoffeintrags in den Boden</b>	<b>110</b>
2.5.1	Stoffeintrag über Luft (Immission)	110
	– TA Luft (1986)	113
	– Die Hauptverursacher der Immissionen	116
2.5.2	Stoffeintrag über Gewässer	147
2.5.3	Unmittelbarer Stoffeintrag	150
<b>3</b>	<b>Bodeninformationssysteme (B.I.S.) der Behörden</b>	<b>156</b>
<b>4</b>	<b>Vergleich bestehender Tabellenwerke/Vorbelastungen</b>	<b>160</b>
<b>4.1</b>	<b>Vergleichsdarstellungen für den Wirkungspfad Boden–Mensch</b>	<b>161</b>
	– Anorganische Parameter (Boden–Mensch)	174
	– Organische Parameter (Boden–Mensch)	192
<b>4.2</b>	<b>Vergleichsdarstellungen für den Wirkungspfad Boden–Nutzpflanze</b>	<b>195</b>
	– Anorganische Parameter (Boden–Nutzpflanze)	200
	– Organische Parameter (Boden–Nutzpflanze)	208
<b>4.3</b>	<b>Vergleichsdarstellungen für den Wirkungspfad Boden–Grundwasser</b>	<b>209</b>
<b>5</b>	<b>Beurteilung</b>	<b>232</b>
<b>6</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>238</b>



The background of the entire page is a close-up photograph of parched, cracked earth. The cracks form a complex, irregular network of polygonal shapes across the surface. The color is a mix of dark brown and olive green, suggesting a dry, possibly fertile soil.

**1**

**Einführung**

# 1 Einführung

Für den Schutz des Bodens gab es bisher keine eigenständige, bundesweit gültige gesetzliche Regelung. Diese Lücke im Umweltrecht hebt das BBodSchG auf; damit wird jetzt neben dem Wasser und der Luft der Boden als drittes Umweltmedium unmittelbar durch ein Gesetz geschützt.

Dies hat weit reichende Folgen: So muss zum einen von Behördenseite ein Verwaltungsinstrumentarium zur Bewältigung und Umsetzung dieses Gesetzes organisiert und eingeführt werden; zum anderen muss sich die produzierende Industrie mit dem neuen Gesetz auseinandersetzen – unter der besonderen Berücksichtigung der Immissionsbelastungen, die vom Unternehmen selbst produziert werden bzw. von dritter Seite auf das Gelände eingetragen werden.

Ein weiterer Effekt ist, dass zu der ohnehin weitläufigen Zahl von länder-spezifischen Schwellenwerten, Listen, bodenrelevanten Gesetzen und Verordnungen das Bodenschutzgesetz mit eben diesen in Einklang gebracht werden muss, was zusätzlich verwirren kann.

Auf den ersten Blick sehen sich alle an diesem Prozess beteiligten Gruppen der Herausforderung ausgesetzt, all diese fundierten Zahlenwerke mit den hierfür relevanten technisch-naturwissenschaftlichen Gegebenheiten, der Jurisdiktion und Jurisprudenz in Einklang zu bringen.

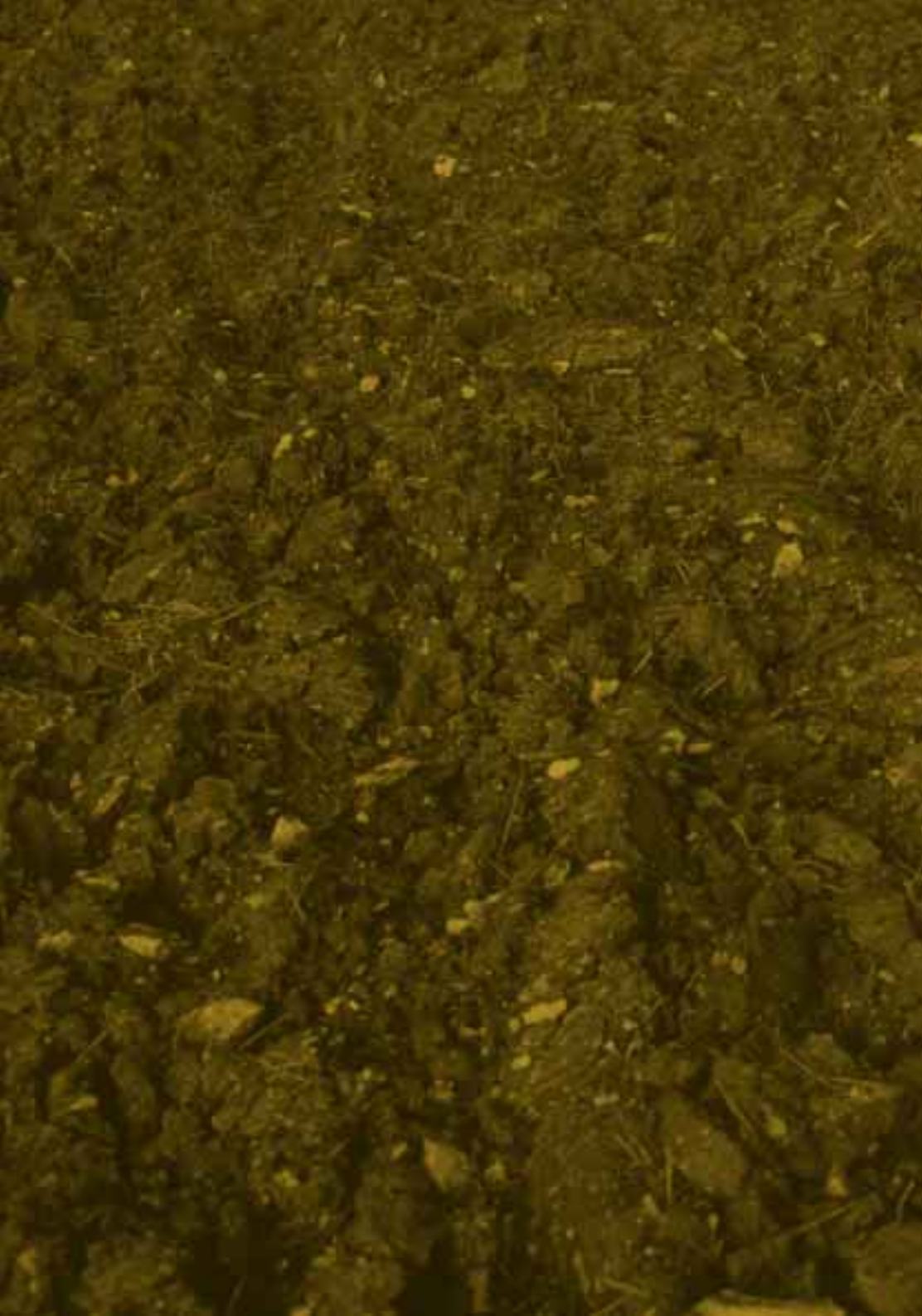
Vorliegende Publikation will Licht in das Datengewirr bringen, will erklären, was sich hinter Prüfwert, Maßnahmenwert und Vorsorgewert verbirgt, wie dies im Verhältnis steht zu von Natur aus vorhandenen Schwermetallbelastungen, bodengenetischen Prozessen und sonstigem geologischem und pedologischem Grundwissen.

Sicherlich nicht ein leichtes Unterfangen. Zu diesem Zweck haben wir das Hintergrundwissen zum Bodenschutzgesetz filetiert in gängige nationale und internationale Richtlinien, allgemeine und geochemische Grundlagen, Bodenprozesse, Hintergrundbelastungen, mögliche Schadstoffeinträge und das Bodeninformationssystem der Behörden.



Abschließend haben wir die verschiedenen Tabellenwerke miteinander verglichen und diesen Vergleichsdarstellungen einen Ausblick auf die möglichen Auswirkungen beigefügt.

Wir wollen mit dieser Publikation unseren Teil zur aktuellen Diskussion leisten und suchen die Diskussion mit dem Fachleser.





**2**

# **Grundlagen**

# 2 Grundlagen

## 2.1 Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG)

### – Allgemeines

Für den Schutz des Bodens gab es bisher keine eigenständige gesetzliche Regelung. Diese Lücke im Umweltrecht hebt das **BBodSchG** auf; damit wird jetzt neben dem Wasser und der Luft auch der Boden als drittes Umweltmedium unmittelbar durch ein Gesetz geschützt. Im Mittelpunkt des Gesetzes steht die nachhaltige Sicherung oder Wiederherstellung der Funktionen des Bodens durch Gefahrenabwehr, Sanierung und Vorsorge. Dabei sollen insbesondere nachteilige Einwirkungen auf die natürlichen Funktionen des Bodens und als „Archiv“ der Natur- und Kulturgeschichte so weit wie möglich vermieden werden.

Das Gesetz wurde am 17. März 1998 verabschiedet und trat am 1. März 1999 in Kraft.

Als wesentliche Änderung zur bisherigen Rechtslage vereinheitlicht das BBodSchG die Vorgaben für die Altlastensanierung, erweitert den Anwendungsbereich auf schädliche Bodenveränderungen und führt Regelungen zur Vorsorge gegen nachteilige Einwirkungen auf den Boden ein. Darüber hinaus wird der Kreis der Sanierungspflichtigen gegenüber den bisher nach allgemeinem Polizeirecht üblichen Handlungs- und Zustandsstörungen erweitert.

Mit dem Beschluss der Bundesregierung vom 16. Juni 1999 wurde die Bundes-Bodenschutz- und -Altlastenverordnung (**BBodSchV**) erlassen. Diese Rechtsverordnung des Bundes legt einheitliche Werte und Anforderungen zur Erfüllung der Pflichten für Gefahrenabwehr und Vorsorge fest. Es handelt sich dabei auf dem Gebiet der Gefahrenabwehr um Prüf- und Maßnahmenwerte wie die Bestimmung von Sanierungszielen, Sanierungsumfängen und erforderliche Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen sowie den Umgang mit Bodenmaterialien. Im Vorsorgebereich wurden Vorschriften über Vorsorgewerte, zulässige Zusatzbelastungen und Anforderungen zur Vermeidung und Verminderung von Stoffeinträgen erlassen. Weiterhin regelt die Verordnung das Auf- und Einbringen von Materialien auf oder in den Boden.

Das BBodSchG hat das Ziel, die Voraussetzungen für einen wirksamen Bodenschutz und die Sanierung von Altlasten zu schaffen. Die einheitlichen

Anforderungen, die das Gesetz bundesweit stellt, sollen die Grundlage für ein effizientes Vorgehen der Behörden bilden. Zugleich soll mit den Sanierungspflichten Rechtssicherheit und damit eine wesentliche Voraussetzung für künftige Investitionen gewährleistet sein.

– **Bodenwerte im Rahmen des Bundes-Bodenschutzgesetzes (BBodSchG) (s. Tab. 1)**

In der Tabelle 1 sind die Bodenwerte der BBodSchV aufgelistet. § 8 des BBodSchG definiert die festgelegten Bodenwerte wie folgt:

**Prüfwerte:** Werte, bei deren Überschreitung unter Berücksichtigung der Bodennutzung eine einzelfallbezogene Prüfung durchzuführen und festzustellen ist, ob eine schädliche Bodenveränderung oder Altlast vorliegt.

**Maßnahmenwerte:** Werte für Einwirkungen oder Belastungen, bei deren Überschreiten unter Berücksichtigung der jeweiligen Bodennutzung in der Regel von einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast auszugehen ist und Maßnahmen erforderlich sind.

**Vorsorgewerte:** Bodenwerte, bei deren Überschreiten in der Regel davon auszugehen ist, dass das Entstehen einer schädlichen Bodenveränderung zu befürchten ist. Im Zusammenhang mit Anforderungen der Vorsorge können auch Werte über die zulässige Zusatzbelastung des Bodens festgelegt werden.

Die Grenzwerte werden in Abhängigkeit von der Bodennutzung bestimmt. Folgende fachliche Inhalte der BBodSchV werden für die Bodenwerte festgesetzt:

- Prüf- und Maßnahmenwerte für Kinderspielflächen, Wohngebiete, Park- und Freizeitanlagen sowie Industrie- und Gewerbegrundstücke;
- Prüf- und Maßnahmenwerte für Ackerbau, Nutzgarten und Grünland;
- Prüfwerte für Sickerwasser im Hinblick auf den Schutz des Grundwassers (ohne Nutzungsdifferenzierung);
- Vorsorgewerte für Schwermetalle, differenziert nach den Bodenartenhauptgruppen Sand (leicht), Lehm/Schluff (mittel) und Ton (schwer) und Böden mit hohen Hintergrundgehalten; für organische Stoffe nach dem Humusgehalt der Böden differenziert.

Tab. 1: Bodenwerte im Rahmen des Bundes-Bodenschutzgesetzes (BBodSchG)

		anorganische Schadstoffe [mg/kg]																
		As	Pb	Cd	CN	Cr	Ni	Hg	TI	Cu	Zn							
<b>Wirkungspfad Boden-Mensch</b>																		
P f. Kinderspielflächen		25	200	10 <sup>2</sup>	50	200	70	10	/	/	/							
P für Wohngebiete		50	400	20 <sup>2</sup>	50	400	140	20	/	/	/							
P für Park- und Freizeitanlagen		125	1 000	50	50	1 000	350	50	/	/	/							
P für Industrie- und Gewerbegrundstücke		140	2 000	60	100	1 000	900	80	/	/	/							
M f. Kinderspielflächen		/	/	/	/	/	/	/	/	/	/							
M für Wohngebiete		/	/	/	/	/	/	/	/	/	/							
M für Park- und Freizeitanlagen		/	/	/	/	/	/	/	/	/	/							
M für Industrie- und Gewerbegrundstücke		/	/	/	/	/	/	/	/	/	/							
<b>Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze</b>																		
P für Ackerbau, Nutzgarten <sup>3</sup>		200 <sup>5</sup>	0,1	/	/	/	/	5	0,1	/	/							
P für Ackerbau <sup>4</sup>		0,4	/	/	/	/	1,5	/	/	1	2							
M für Ackerbau, Nutzgarten		/	/	0,04/ 0,1 <sup>6</sup>	/	/	/	/	/	/	/							
M für Grünland		50	1 200	20	/	/	1 900	2	15	1 300 <sup>7</sup>	/							
		anorganische Stoffe [µg/l]																
<b>Wirkungspfad Boden-Grundwasser</b>		Sb	As	Pb	Cd	Cr. ges.	Chromat	Co	Mo	Cu	Ni	Hg	Se	Zn	Sn	CN ges.	CN leicht freisetzbar	F
Prüfwerte		10	10	25	5	50	8	50	50	50	#	1	10	##	40	50	10	750
		anorganische Stoffe [mg/kg]																
<b>Vorsorgewerte</b>		Pb	Cd	Cr	Ni	Hg	Cu	Zn										
Bodenart Ton		100	1,5	100	70	1	60	200										
Bodenart Lehm/Schluff		70	1	60	50	0,5	40	150										
Bodenart Sand		40	0,4	30	15	0,1	20	60										
Humusgehalt >8%		/	/	/	/	/	/	/										
Humusgehalt %		/	/	/	/	/	/	/										
<b>zul. zusätzl. jährliche Frachten an Schadstoffen über alle Wirkungspfade in g/ha</b>		400	6	300	100	1,5	360	1 200										

organische Schadstoffe [mg/kg]							
Aldrin	Benzo(a)pyren	DDT	Hexachlorbenzol	Hexachlorcyclohexan	Pentachlorphenol		
2	2	40	4	5	50		
4	4	80	8	10	100		
10	10	200	20	25	250		
/	12	/	200	400	250		
/	/	/	/	/	/		
/	/	/	/	/	/		
/	/	/	/	/	/		
/	/	/	/	/	/		
/	/	/	/	/	/		
/	/	/	/	/	/		
/	/	/	/	/	/		
/	/	/	/	/	/		
/	/	/	/	/	/		
/	/	/	/	/	/		
organische Stoffe [µg/l]							
MKW	BTEX	Benzol	LHKW	Aldrin	DDT	Phenole	PCB ges.
200	20	1	10	0,1	0,1	20	0,05
organische Stoffe [mg/kg]							
PCB		Benzo(a)pyren		PAK			
/		/		/			
/		/		/			
/		/		/			
0,1		1		10			
0,05		0,3		3			



P Prüfwerte.

M Maßnahmenwerte.

<sup>1</sup> In ng/kg.

<sup>2</sup> In Haus- und Kleingärten, die sowohl als Aufenthaltsbereiche für Kinder als auch für den Anbau von Nahrungspflanzen genutzt werden, ist für Cadmium der Wert von 2,0 mg/kg anzuwenden.

<sup>3</sup> Im Hinblick auf Pflanzenqualität.

<sup>4</sup> Im Hinblick auf Wachstumsbeeinträchtigungen bei Kulturpflanzen.

<sup>5</sup> Bei zeitweise reduzierenden Verhältnissen gilt 50 mg/kg.

<sup>6</sup> Auf Flächen mit Brotweizenanbau oder Anbau stark Cd anreichernder Gemüsearten gilt 0,04, ansonsten 0,1 mg/kg.

<sup>7</sup> Bei Grünlandnutzung durch Schafe gilt 200 mg/kg.

### 2.2 Gängige Richtlinien in Deutschland

Im Folgenden werden die in Deutschland bestehenden Kriterien und Zahlenwerte in Form von schadstoffspezifischen Konzentrationsangaben aufgelistet. Hierbei werden nur solche Angaben berücksichtigt, die als Vergleich zu den Bodenwerten des BBodSchG dienen. Die Zahlenwerte lassen sich, gestaffelt nach ihrer Verbindlichkeit und entsprechend ihren Funktionen, in folgende Kategorien einordnen:

- **Referenz-/Hintergrundwerte** sind Einzel- oder Durchschnittswerte, die außerhalb des Einwirkungsbereichs von altlastverdächtigen Flächen ermittelt werden und zur Feststellung von Verunreinigungen dienen.
- **Orientierungs-/Richt-/Risikowerte** sind nicht verbindliche Werte, die lediglich als Vergleichsgrößen eine Hilfe bei der medien- bzw. schutzgutorientierten Beurteilung, z. B. des Verunreinigungsgrades, bieten. In diese Kategorie sind auch Schaden- und Nutzpflanzenwerte zu stellen.
- **Prüf-/Schwellen-/Stufenwerte** sind anleitende Werte, deren Überschreiten weitere Maßnahmen, z. B. weiter gehende Untersuchungen, auslösen.
- **Höchst-/Grenzwerte** sind verbindliche Werte, die nicht überschritten werden dürfen.

#### – Berliner Liste (1996)

Diese Richtlinie operiert beim Wirkungspfad Boden–Mensch mit **Risikowerten (Ri)** (Tab. 2). Es handelt sich dabei um Konzentrationen bodengefährdender Stoffe, die Maßnahmen zur Vorsorge gegen Gefahren für die menschliche Gesundheit angezeigt erscheinen lassen. Bei Überschreiten der Risikowerte ist das Umweltamt oder das Gesundheitsamt des Bezirkes zu unterrichten. Die Risikowerte sind nicht als starres System anzuwenden, sondern sollen durch eine notwendige Einzelfallprüfung und -bewertung Grundlage eines aktiven und vorsorgenden Verwaltungshandelns sein. Das Erreichen oder Überschreiten von Risikowerten im Boden sollte eine Prüfung des Einzelfalles veranlassen. Erst durch das fachkundige Urteil vor Ort, das die für das jeweilige Schutzgut relevanten Faktoren zu einer Gesamtbewertung zusammenführt, kann eine tragfähige Risikoabschätzung geleistet werden.

Beim Wirkungspfad Boden–Grundwasser werden **Schadenwerte (S)** (Tab. 2) verwendet. Die Schadenwerte für Grundwasser liegen wesentlich über den Werten der beginnenden anthropogenen Veränderung des Grundwassers in



Berlin und konkretisieren mit diesen Größenordnungen die „Verunreinigung oder sonstige nachteilige Veränderung eines Gewässers“ im Sinne von § 23 a Abs. 4 Berliner Wassergesetz, mithin also den Grundwasserschaden im polizeirechtlichen Sinne. Die Schadenwerte für Grundwasser folgen den „Empfehlungen für die Erkundung und Behandlung von Grundwasserschäden“ der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) und konkretisieren diese Empfehlungen an Berliner Verhältnissen. Das Vorgehen bei Grundwasserschäden soll sich nach den Empfehlungen der LAWA ausrichten.

Tab. 2.1: Bodenwerte (anorganische Parameter); Angaben in mg/kg

#### Regelwerk Berlin (1996)

Bezeichnung des Wertes	Ri für Kinderspielplatz	Ri für Wohngebiete	Ri für Bolz- und Sportplätze	S für Grundwasser <sup>1</sup>
As	40	80	100	20
Pb	200	600	500	80
Cd	3	9	100	10
CN ges.	60	/	/	100
CN leicht freisetzbar	/	/	/	20
Cr ges.	150	300	/	100
Chromat	/	/	/	30
Ni	/	/	/	100
Hg	2	6	100	2
Tl	/	/	/	/
Cu	/	/	/	100
Zn	/	/	20 000	500
Sb	/	/	/	20
Co	/	/	/	100
Mo	/	/	/	100
Se	/	/	/	20
Sn	/	/	/	80
F	400	/	/	2 000

<sup>1</sup> In µg/l.

Ri Risikowerte.

S Schadenwerte.

Tab. 2.2: Bodenwerte (organische Parameter); Angaben in mg/kg

<b>Regelwerk Berlin (1996)</b>				
<b>Bezeichnung des Wertes</b>	<b>Ri für Kinder-spielplatz</b>	<b>Ri für Wohn-gebiete</b>	<b>Ri für Bolz- und Sportplätze</b>	<b>S für Grund-wasser<sup>1</sup></b>
Aldrin	/	/	/	/
Benzo(a)pyren	0,1	5	20	/
DDT	/	/	/	/
Hexachlorbenzol	/	/	/	/
Hexachlorcyclo-hexan	/	/	/	/
Pentachlorphenol	/	/	/	/
PCB	3	9	/	1
Dioxine/Furane <sup>1</sup>	100	1 000	/	/
MKW	/	/	/	400
BTEX	/	/	/	/
Benzol	/	/	/	5
LHKW	/	/	/	20
PAK	1	50	/	0,4
Naphtalin	/	/	/	4
Phenole	30	2	140	/

<sup>1</sup> In µg/l.                      Ri Risikowerte.                      S Schadenwerte.

**– Brandenburger Liste (1993)**

Die Werte der „Brandenburger Liste“ sind als **Prüfwerte (P)** definiert, die von Zeit zu Zeit einer wissenschaftlichen Überprüfung unterworfen und dabei aktualisiert werden (Tab. 3). Diese Prüfwerte dienen lediglich der Orientierung; sie haben somit keine Rechtskraft. In jedem Einzelfall ist die zuständige Ordnungsbehörde gehalten, die Prüfwerte in Verbindung mit anderen Vorschriften des öffentlichen Rechts (z. B. Abfall-, Wasser-, Bergrecht, allgemeines Ordnungsrecht, Bau- und Planungsrecht, Immissionschutz- und Arbeitsrecht) anzuwenden.

Bei der Klärung eines Handlungsbedarfs für kontaminierten Boden oder verunreinigtes Grundwasser sind stets Gesetze, Verordnungen und Richtlinien betreffend Trinkwasser, Grundwasser, Oberflächenwasser, Klärschlamm, Boden als Kulturboden, Futtermittel, Lebensmittel, Luft und Arbeitsschutz heranzuziehen. Das bedeutet, dass für jede Entscheidung eine Einzelfallprüfung vorzusehen ist. Dabei hat sich die Beurteilung auf Art, Menge, Verteilung und Mobilität von Schadstoffen auf verschiedenen Ausbreitungspfaden zu beziehen. Des Weiteren sind die zeitliche und räumliche Beeinflussung aller Schutzgüter und die Wirkungen auf sie zu betrachten.

Die „Brandenburger Liste“ ist in zwei Teile untergliedert: Teil 1 listet Prüfwerte zur Sanierung kontaminierter Standorte für Boden und Grundwasser auf. Teil 2 umfasst Prüfwerte für den Einbau von gereinigten Böden und für die Einleitung von unkontaminiertem/gereinigtem Grundwasser in den Untergrund.

Bei Überschreitung der in der „Brandenburger Liste“, Teil 1, enthaltenen Prüfwerte für Boden und Grundwasser ist zu prüfen, ob in diesem Einzelfall unter Beachtung der Ausbreitungspfade akute oder gegenwärtige Gefahren für die Bedrohung/Beeinflussung von Schutzgütern gegeben sind und welche Maßnahmen (Sicherung, Nutzungseinschränkungen, Sanierung) unter Berücksichtigung der Verhältnismäßigkeit der Mittel anzuordnen sind.

Die „Brandenburger Liste“, Teil 1, untergliedert sich für das Umweltkompartiment Boden in die Kategorie Ia (Wasserschutz- und -vorbehaltsgebiete), die Kategorie Ib (Flächen mit sensiblen Nutzungen, z. B. Anbau landwirtschaftlicher und gärtnerischer Kulturen, die dem Direktverzehr durch den Menschen dienen, Spielplätze usw.) und die Kategorie II (oberer Prüfwert) (siehe Tab. 3.1).

Unter Wasserschutz- und -vorbehaltsgebieten versteht man Gebiete, die der öffentlichen Wasserversorgung dienen. Zur Bewertung von Bodenkontaminationen sind in diesen Gebieten grundsätzlich die Werte der Kategorie Ia bzw. bei vorliegenden oder geplanten sensiblen Nutzungen die Werte der Kategorie Ib heranzuziehen. Hierbei ist die geogene Belastung des Umfeldes zu berücksichtigen. Außerhalb dieser Gebiete sind in Abhängigkeit von den Ergebnissen der geologischen und hydrogeologischen Untersuchungen die oberen Prüfwerte einzubeziehen.

Tab. 3.1: Prüfwerte (anorganische Parameter)

**Regelwerk Brandenburg (1993)**

Bezeichnung des Wertes	Prüfwerte zur Sanierung kontaminierter Standorte					Prüfwerte für gereinigte Böden
	Boden [mg/kg]			Grundwasser [µg/l]		
Kategorien	Ia	Ib	II	I	II	
As	10	7	20	40	60	5
Pb	100	100	500	40	60	50
Cd	2	1,5	10	5	10	1
CN ges.	25	25	50	50	100	10
CN leicht freisetzbar	1	1	5	5	10	0,5
Cr ges.	150	100	400	50	100	75
Chromat	5	5	25	20	30	2,5
Ni	200	50	250	50	75	100
Hg	0,5	0,5	1	1	2	0,25
Tl	/	/	/	/	/	/
Cu	200	100	500	40	60	100
Zn	500	300	2 000	1 000	1 500	250
Sb	/	/	/	/	/	/
Co	100	100	200	50	150	50
Mo	/	/	/	/	/	/
Se	/	/	/	/	/	/
Sn	100	100	300	40	100	50
F	500	100	1 000	1 500	3 000	250

Ia Prüfwerte für Wasserschutz- und -vorbehaltsgebiete.  
 Ib Prüfwerte für Flächen mit sensiblen Nutzungen.  
 II oberer Prüfwert.

Die Prüfwerte der „Brandenburger Liste“, Teil 2, gelten als Hinweise für den Einbau von gereinigten Böden. Bei Unterschreiten der Prüfwerte können die repräsentativ beprobten Bodenmassen überall eingebaut werden. Ansonsten

Tab. 3.2: Prüfwerte (organische Parameter)

## Regelwerk Brandenburg (1993)

Bezeichnung des Wertes	Prüfwerte zur Sanierung kontaminierter Standorte					Prüfwerte für gereinigte Böden
	Boden [mg/kg]			Grundwasser [µg/l]		
Kategorien	Ia	Ib	II	I	II	
Aldrin	/	/	/	/	/	/
Benzo(a)pyren	/	/	/	/	/	/
DDT	/	/	/	/	/	/
Hexachlorbenzol	/	/	/	/	/	/
Hexachlor- cyclohexan	/	/	/	/	/	/
Pentachlor- phenol	/	/	/	/	/	/
PCB	1	1	3	0,5	1	0,5
Dioxine/Furane	/	/	/	/	/	/
MKW	300	300	1 000	500	1 000	150
BTEX	/	/	/	/	/	/
Benzol	0,5	0,5	3	5	10	0,25
LHKW	5	5	25	25	40	2,5
PAK	10	1	50	5	10	5
Naphtalin	/	/	/	/	/	/
Phenole	10	10	25	10	20	5

Ia Prüfwerte für Wasserschutz- und -vorbehaltsgebiete.

Ib Prüfwerte für Flächen mit sensiblen Nutzungen.

II oberer Prüfwert.

muss im Einzelfall unter Berücksichtigung von Standort, Nutzung und geogener Belastung über die Genehmigung des Einbaus entschieden werden. Entsprechendes gilt für alle In-situ-Sanierungen.

### – Prüfwertliste der Stadtgemeinde Bremen (1993)

Die Stadtgemeinde Bremen verwendet Prüfwerte, die mit den Prüfwerten des BBodSchG gut zu vergleichen sind. Analog zum BBodSchG werden auch hier verschiedene Wirkungspfade sowie Nutzungstypen unterschieden. Es werden lediglich andere Bezeichnungen für die Werte benutzt (Tab. 4).

Wirkungspfad Boden–Mensch: Der **Referenzwert (R)** beschreibt einen nach dem derzeitigen Wissensstand für alle denkbaren Nutzungen (außer Kinderspielflächen) geeigneten Boden. Die Überschreitung des R-Wertes gibt einen Hinweis auf eine anthropogene Beeinflussung oder besondere geogene Verhältnisse. Die Ursachen sind zu klären, eine Einzelfallprüfung ist notwendig.

Für Wohn- und Gewerbegebiete werden zusätzlich noch **W- und G-Werte** angegeben. Diese wurden durch Multiplikation der Referenzwerte mit einem von der Toxizität jedes Einzelelementes abhängigen Faktor ermittelt. Bei den W- und G-Werten wird in zwei abgestufte Dringlichkeitskategorien mit folgenden Konsequenzen bei Überschreitung unterteilt:

**Kategorie 1:** Zügiges Einleiten einer Untersuchung. Je nach bestehender oder geplanter Nutzung und nach Prüfung und Bewertung möglicher Gefährdungspfade muss über mögliche Schutzmaßnahmen, Nutzungseinschränkungen oder sinnvolle Nutzungsänderungen entschieden werden.

**Kategorie 2:** Sofortige Verfügung einer Nutzungsbeschränkung, unverzügliches Einleiten einer Untersuchung und anschließende Festlegung von Sanierungs- bzw. Sicherungsmaßnahmen.

Wirkungspfad Boden–Nutzpflanze: Der **Nutzpflanzenwert (N)** beschreibt einen Schwermetallgehalt im Boden, der bei Nutzpflanzenanbau im Allgemeinen keine Gefährdung für den Menschen beim Verzehr der Nutzpflanzen erwarten lässt. Bei Überschreitung eines N-Wertes sind zügig weitere Untersuchungen einzuleiten. Nach Überprüfung der Bodenverhältnisse und der tatsächlichen Schadstoffgehalte in den Pflanzen ist über Anbau- und Nutzungseinschränkungen zu entscheiden.

Tab. 4.1: Prüfwerte (anorganische Parameter); Angaben in mg/kg

## Regelwerk Bremen (1993)

Bezeichnung des Wertes	Prüfwerte					
	R-Werte	N-Werte	W-1-Werte	W-2-Werte	G-1-Werte	G-2-Werte
As	20	40	40	50	60	80
Pb	100	300	500	800	1 500	3 000
Cd	1	2/1*	10	15	20	30
CN ges.	/	/	/	/	/	/
CN leicht freisetzbar	/	/	/	/	/	/
Cr ges.	100	100	200	300	350	500
Chromat	/	/	/	/	/	/
Ni	50	100	200	350	500	2 000
Hg	1	2	5	8	10	30
Tl	0,5	/	/	/	/	/
Cu	75	100	500	1 000	1 000	3 000
Zn	300	500	2 000	/	4 000	/
Sb	/	/	/	/	/	/
Co	/	/	/	/	/	/
Mo	/	/	/	/	/	/
Se	/	/	/	/	/	/
Sn	/	/	/	/	/	/
F	/	/	/	/	/	/

\* = bei pH < 6,5 und/oder sandigem Boden: 1 mg/kg TS.

R Referenzwerte.

W Prüfwerte für Wohngebiete.

N Nutzpflanzenwerte.

G Prüfwerte für Gewerbegebiete.

Für die Beurteilung von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen und polychlorierten Biphenylen im Sand und im Boden/in Baumaterialien des vegetationsfreien Umfeldes auf Kinderspielplätzen werden Kriterien als behördliche Handlungsgrundlage empfohlen.

Im Einzelnen wird differenziert in

- Boden/Bodenmaterial bewachsen/verdichtet, Schlacke auf Kinderspielplätzen,
- Boden/Bodenmaterial vegetationsfrei auf Kinderspielplätzen, Sand auf Kinderspielplätzen.

**Tab. 4.2:** Richtwerte für (chlor)organische Kohlenwasserstoffe in Sand bzw. Boden/Baumaterialien auf Kinderspielplätzen – Angaben in mg/kg Trockenmasse

	Sand (S)	Boden/Baumaterialien (B)
	Einbringwert/ Einschreitwert	Einbringwert/ Einschreitwert
- Gesamt-PAK a)	< 0,5 / 0,5	< 1,0 / 1,0
- Benzo(a)pyren (BaP)	< 0,05 / 0,05	< 0,1 / 0,1
Polychlorierte Biphenyle (PCB)		
- Gesamt-PCB b)	< 1,0 / 1,0	< 2,0 / 2,0

a) Gesamtgehalt; Summe der PAK-Fluoranthen, Benzo(b)fluoranthen, Benzo(k)fluoranthen, Benzo(a)pyren, Benzo(ghi)perylen, Indeno(1,2,3-cd)pyren entspr. TrinkwV, 1990.

b) Gesamtgehalt; hochgerechnete Summe aus PCB 28, PCB 52, PCB 101, PCB 138, PCB 153, PCB 180.

**Tab. 4.3:** Richtwerte für PAK im Sand auf Kinderspielplätzen in Abhängigkeit von der Anzahl der PAK-Komponenten – Angaben in mg/kg Trockenmasse (Tm)

Einbring-/Einschreitwert	
- Gesamt-PAK (nach EPA)	< 1,0 / 1,0
(nach TrinkwV)	< 0,5 / 0,5
- Benzo(a)pyren (BaP)	< 0,05 / 0,05



**Tab. 4.4:** Richtwerte für PAK im vegetationsfreien Boden/Bodenmaterial auf Kinderspielflächen in Abhängigkeit von der Anzahl der PAK-Komponenten – Angaben in mg/kg Trockenmasse (Tm)

Einbring-/Einschreitwert	
– Gesamt-PAK (nach EPA)	< 2,0 / 2,0
(nach TrinkwV)	< 1,0 / 1,0
– Benzo(a)pyren (BaP)	< 0,1 / 0,1

**Tab. 4.5:** Prüfwerte für PAK und BaP in bewachsenem/verdichtetem Boden/Bodenmaterial und in Schlacke auf Kinderspielflächen – Angaben in mg/kg Trockenmasse

Prüfwert	
– Gesamt-PAK (nach EPA)	2,0
(nach TrinkwV)	1,0
– Benzo(a)pyren (BaP)	0,1

**Tab. 4.6:** Eingreifwerte für PAK und BaP in bewachsenem/verdichtetem Boden/Bodenmaterial und in Schlacke auf Kinderspielflächen – Angaben in mg/kg Trockenmasse

Grünland, verdichteter Boden; Schlacke	
– Gesamt-PAK (nach EPA)	20,0
(nach TrinkwV)	10,0
– Benzo(a)pyren (BaP)	1,0

– **Hamburger Liste (1990)**

Auch in Hamburg sind die Prüfwerte nutzungsbezogen, weil sie aus der modellhaften Beurteilung möglicher Pfade für die Gefährdung von Schutzgütern abgeleitet sind. Ihre Anwendung auf einzelne Flächen richtet sich nach der realen oder geplanten Nutzung der Fläche bzw. nach dem betroffenen Schutzgut (Tab. 5).

Tab. 5: Prüfwerte (anorganische Parameter); Angaben in mg/kg

<b>Regelwerk Hamburg (1990)</b>					
<b>Bezeichnung des Wertes</b>	<b>Prüfwerte</b>				<b>Referenzwerte</b>
<b>Kategorien</b>	<b>für den Nutzpflanzenanbau</b>	<b>für das Grundwasser</b>	<b>für die menschliche Gesundheit in Wohngebieten etc.</b>		
			<b>auf Dauer</b>	<b>akut</b>	
	<b>N<sup>1</sup></b>	<b>G</b>	<b>D<sup>3</sup></b>	<b>A</b>	<b>R<sup>8</sup></b>
As	50	50	100	100	20
Pb	300	300	500	3 000	100
Cd	2 <sup>4</sup>	5	40	40	1
CN ges.	/	/	/	/	/
CN leicht freisetzbar	/	/	/	/	/
Cr ges. <sup>5</sup>	100	200	200	500	100
Chromat	/	/	/	/	/
Ni	100	200	400	4 000 <sup>7</sup>	50
Hg	2	5	10	200	2
TI	/	/	/	/	/
Cu	100	300	500 <sup>6</sup>	3 000	100
Zn	500	1 000	2 000	2 000	300
Sb	/	/	/	/	/
Co	/	/	/	/	/
Mo	/	/	/	/	/
Se	/	/	/	/	/
Sn	/	/	/	/	/
F	/	/	/	/	/

- <sup>1</sup> Für sandige Böden mit normalen Humusgehalten und pH-Werten im schwach sauren bis schwach alkalischen Bereich; bei noch sorptionsschwächeren Böden sind insbesondere bei Cadmium niedrigere Prüfwerte vorzusehen.
- <sup>2</sup> Kritischer Pfad ist in der Regel das mögliche Verschlucken kontaminierten Bodens durch Kleinkinder. Die D-Werte gelten für Flächen, auf denen sich Kinder überwiegend aufhalten (z.B. Kinderspielplätze, Hausgärten). Die A-Werte gelten auch für Flächen, auf denen sich Kleinkinder gelegentlich aufhalten.
- <sup>3</sup> Bei Einhaltung der D-Werte ist auch der Verlust an biologischer Aktivität und Vegetationsvielfalt noch hinnehmbar. Im Falle möglicher karzinogener Wirkungen (As, inhalativ auch Cd, Cr, Ni) kann keine Schwelle angegeben werden, unterhalb deren ein Risiko nicht besteht. Aus verwaltungspraktischen Gründen ist dennoch versucht worden, einen Prüfwert zu empfehlen.
- <sup>4</sup> Bei Böden mit einem pH-Wert unter 6,5 oder Sand bzw. schwach schluffigem Sand gegebenenfalls niedrigerer Wert.
- <sup>5</sup> Gesamtchromgehalt, Gefährlichkeit im Hinblick auf Chrom (VI).
- <sup>6</sup> Der Wert ist zum Schutz der biologischen Aktivität und der Vegetationsvielfalt der Böden festgelegt und nur für Neuplanungen und Überplanungen relevant.
- <sup>7</sup> Aufgrund der spärlichen Datenlage sehr unsicherer Wert.
- <sup>8</sup> Orientierungsdaten für tolerierbare Gehalte nach Kloke (bis auf den Cadmiumwert, der bisher bei 3 mg/kg liegt, für den jedoch neuerdings ein Wert zwischen 1 und 2 mg/kg erwogen wird).

Die **Prüfwerte N** kennzeichnen Schadstoffkonzentrationen im Boden, bei deren Überschreiten unter bestimmten Voraussetzungen Gefährdungen für die menschliche Gesundheit über den Nahrungspflanzenanbau oder erhebliche Ertragseinbußen auftreten können. Die dazugehörigen Nutzungskategorien sind Kleinsiedlungsgebiete, Wohngebiete (mit größeren Haus- bzw. Mietgärten), Dauerkleingärten, landwirtschaftliche Nutzflächen und sonstige vergleichbare Gebiete. Bei Flächen, die nicht dem Nutzpflanzenanbau dienen, können auch Schadstoffgehalte bis zu den D-Prüfwerten noch toleriert werden.

Die **Prüfwerte G** kennzeichnen Schadstoffkonzentrationen im Boden, bei deren Überschreiten unter bestimmten Voraussetzungen das Grundwasser gefährdet sein kann.

Die **Prüfwerte D** kennzeichnen Schadstoffkonzentrationen im Boden, bei deren Überschreiten unter bestimmten Voraussetzungen bei Dauerbelastung eine chronische Gesundheitsgefährdung für den Menschen bestehen kann. Nutzungskategorien sind Wohngebiete (ohne größere Haus- bzw. Mietgärten), Mischgebiete, öffentliche Grünflächen, forstwirtschaftliche Nutzflächen, Sondergebiete (Hochschul-, Kur- und Klinikgebiete, Großmärkte) und sonstige vergleichbare Gebiete.

Die **Prüfwerte A** kennzeichnen Schadstoffkonzentrationen im Boden, bei deren Überschreiten unter bestimmten Voraussetzungen eine akute Gefahr für die menschliche Gesundheit bestehen kann. Nutzungskategorien sind Gewerbe- und Industriegebiete, sonstige Sondergebiete und vergleichbare Gebiete.

– **Richtlinien Baden-Württemberg (1998)**

In Baden-Württemberg existiert eine gemeinsame Verwaltungsvorschrift des Ministeriums für Umwelt und Verkehr und des Sozialministeriums über Orientierungswerte für die Bearbeitung von Altlasten und Schadenfällen. Diese Verwaltungsvorschrift gibt Hinweise, wie Entscheidungen mithilfe folgender Orientierungswerte zu treffen sind (Tab. 6):

Prüfwerte

- zum Schutz von Grundwasser und Grundwassernutzungen
- zum Schutz der Gesundheit von Menschen auf kontaminierten Flächen
- zum Schutz von Boden, Schutzgut Pflanzen

Die Einteilung verschiedener Wirkungspfade und Nutzungskategorien bei den Prüfwerten erfolgt ähnlich wie beim BBodSchG. Auch in Baden-Württemberg werden drei Wirkungspfade (Boden–Mensch, Boden–Grundwasser und Boden–Nutzpflanze) unterschieden. Beim Wirkungspfad Boden–Mensch wird ebenso eine Unterteilung in verschiedene Nutzungskategorien (Kinderspielflächen, Siedlungsflächen und Gewerbeflächen) vorgenommen.

Überschreiten repräsentative Schadstoffgehalte die Prüfwerte, besteht in der Regel die Notwendigkeit, eine eingehende Erkundung/Sanierungsvorplanung als Grundlage für eine einzelfallbezogene Entscheidung über Notwendigkeit und Ziel von Sanierungsmaßnahmen durchzuführen.

Die Prüfwerte sind Konzentrationsangaben, bei deren Unterschreitung auch bei ungünstigsten örtlichen Verhältnissen kein Sanierungserfordernis besteht.

Tab. 6.1: Prüfwerte (anorganische Parameter); Angaben in mg/kg

Regelwerk Baden-Württemberg (1998)					
Bezeichnung des Wertes	Prüfwerte				
	Boden-Grundwasser	Boden-Nutzpflanze	Boden-Mensch [mg/kg]		
Nutzungskategorien	[µg/l]	[mg/kg]	Kinderspielflächen	Siedlungsflächen	Gewerbe- flächen
As	10	40	20	30	130
Pb	10 <sup>1</sup>	100	100	500	4 000
Cd	3	1-1,5	3	15	60
CN ges.	40	/	50	150	150
CN leicht freisetzbar	/	/	/	/	/
Cr ges.	40	100	100	500	/
Cr VI	8	/	/	/	/
Ni	50	50	100	100	300
Hg	0,7	1	2	10	40
TI	8	0,5-1	1	4	15
Cu	100	60	/	/	/
Zn	1500	150-200	/	/	/
Sb	/	/	/	/	/
Co	/	/	/	/	/
Mo	/	/	/	/	/
Se	8	/	/	/	/
Sn	10	50	/	/	/
F	750	250	750	3750	15 000

<sup>1</sup> In Anlehnung an die Übergangsregelung in der revidierten EU-Trinkwasserrichtlinie (80/778/EWG) können für einen Zeitraum von 20 Jahren höhere Bleikonzentrationen bis zu 25 µg/l akzeptiert werden.

Tab. 6.2: Prüfwerte (organische Parameter); Angaben in mg/kg

## Regelwerk Baden-Württemberg (1998)

Bezeichnung des Wertes	Prüfwerte				
	Boden-Grund- wasser	Boden-Nutz- pflanze	Boden-Mensch [mg/kg]		
	[µg/l]	[mg/kg]	Kinderspiel- flächen	Siedlungs- flächen	Gewerbe- flächen
Aldrin	/	/	/	/	/
Benzo(a)pyren	/	/	0,5	2,5	10
DDT	/	/	/	/	/
Hexachlor- benzol	/	/	/	/	/
Hexachlor cyclohexan	0,1	0,1	15	/	/
Pentachlor- phenol	0,1	0,2	9	/	/
PCB	0,05	1,5	3	/	/
Dioxine/Furane	5	5	/	/	/
MKW	50	400	/	/	/
BTEX	/	/	/	/	/
Benzol	1	/	0,01	0,01	0,01
LHKW	/	/	/	/	/
PAK	0,15	10	5	25	100
Naphtalin	2	/	/	/	/
Phenole	30	/	/	/	/

### – Richtlinien Bayern (1998)

Bei diesen Richtlinien handelt es sich um eine Bewertung von Gewässer-  
verunreinigungen und Bodenbelastungen für den Wirkungspfad  
Boden–Grundwasser.

Grundlage für die Bewertung analytisch-chemischer Untersuchungsbefunde  
bildet ein 2-stufiges Wertesystem (**Stufe-1- und Stufe-2-Werte**) für Stoff-  
konzentrationen bei Basis- und Leitparametern in Wasser-, Boden- und  
Bodenluftproben. Die Hinweise betreffen dabei im Wesentlichen das  
Schutzgut Grundwasser (Tab. 7).

Die **Stufe-1-Werte** für gelöste Stoffe haben insbesondere bei der Beurteilung  
von Grund- und Sickerwasserverunreinigungen (hilfsweise Eluaten)  
sowohl die Funktion einer Geringfügigkeits- als auch einer Erheblichkeits-  
schwelle. Dies bedeutet grundsätzlich, dass

- bei Konzentrationen unter dem Stufe-1-Wert im Grundwasser eine nur geringfügige oder keine Verunreinigung vorliegt bzw. in der ungesättigten Zone (Sickerwasser) derzeit keine Besorgnis wegen einer erheblichen Verunreinigung besteht;
- bei Konzentrationen über dem Stufe-1-Wert im Grundwasser eine erhebliche Verunreinigung vorliegt bzw. in der ungesättigten Zone (Sickerwasser) eine erhebliche Verunreinigung zu befürchten ist. Maßnahmen (Überwachung, Sanierung) oder – bei noch nicht abgeschlossener Erkundung – eine weitere Sachverhaltsermittlung sind dann grundsätzlich erforderlich.

Die **Stufe-2-Werte** dienen im Rahmen der abschließenden Gefährdungs-  
abschätzung als Entscheidungshilfe für die Notwendigkeit von technischen  
Sanierungsmaßnahmen sowohl bei Grundwasserverunreinigungen als auch  
bei -gefährdungen.



Tab. 7.1: Stufenwerte (anorganische Parameter)

## Regelwerk Bayern (1998)

Bezeichnung des Wertes	Stufenwerte			
	bei Bodenbelastungen [mg/kg]		bei Grund- und Sickerwasser- belastungen [µg/l]	
	Stufe-1-Wert	Stufe-2-Wert	Stufe-1-Wert	Stufe-2-Wert
As	10	50	10	40
Pb	100	500	10	40
Cd	10	50	5	20
CN ges.	50	/	50	200
CN leicht freisetzbar	5	/	5	50
Cr ges.	50	1 000	50	200
Cr VI	/	/	8	30
Ni	100	500	20	80
Hg	2	10	1	4
Tl	2	10	8	30
Cu	100	500	50	200
Zn	500	2 500	300	1 200
Sb	10	50	5	20
Co	100	500	50	200
Mo	100	500	50	200
Se	10	50	10	40
Sn	50	250	40	160
F	500	/	750	3 000

Die Stufe-2-Werte stellen in der Regel ein Vielfaches (Faktor 4 bis 10) der jeweiligen Stufe-1-Werte dar. Sie wurden vom LfW aufgrund vorliegender Erfahrungen festgesetzt, wobei die Systematik des Altlastenleitfadens von 1991 grundsätzlich beibehalten wurde.

Die Stufenwerte haben als Orientierungswerte nicht den rechtlichen Status von Grenzwerten und dürfen daher keinesfalls rein schematisch angewandt werden. Sie können nur Ausgangspunkt für eine Einzelfallbeurteilung von Grundwasserverunreinigungen und Bodenbelastungen sein.

Tab. 7.2: Stufenwerte (organische Parameter)

<b>Regelwerk Bayern (1998)</b>				
<b>Bezeichnung des Wertes</b>	<b>Stufenwerte</b>			
	<b>bei Bodenbelastungen [mg/kg]</b>		<b>bei Grund- und Sickerwasserbelastungen [µg/l]</b>	
	<b>Stufe-1-Wert</b>	<b>Stufe-2-Wert</b>	<b>Stufe-1-Wert</b>	<b>Stufe-2-Wert</b>
Aldrin	/	/	/	/
Benzo(a)pyren	/	/	/	/
DDT	/	/	/	/
Hexachlorbenzol	/	/	/	/
Hexachlorcyclohexan	/	/	/	/
Pentachlorphenol	/	/	/	/
PCB	1	10	0,05	0,5
Dioxine/Furane	/	/	/	/
MKW	/	/	/	/
BTEX	10	100	10	100
Benzol	1	/	1	10
LHKW	1	/	10	40
PAK	5	25	0,1	1
Naphtalin	1	5	2	8
Phenole	1	/	20	80

– Entwurf hessischer „Orientierungswerte Boden“  
für die Altlastensanierung

Hessen verwendet Orientierungswerte, die in drei Bereiche unterteilt sind:

- N-Werte: **Prüfwerte**, bei deren Einhaltung in der Regel keine Untersuchungs- und Sanierungsmaßnahmen erfolgen.
- E-Werte: **Sanierungsschwellenwerte**, bei deren Überschreitung in der Regel eine Sanierung erforderlich ist. Diese Werte sind mit den Maßnahmenwerten im BBodSchG zu vergleichen.
- Z-Werte: **Sanierungszielwerte**, die im Falle einer Sanierung durch Dekontaminationsverfahren in der Regel zu erreichen sind.

Tab. 8.1: Orientierungswerte (anorganische Parameter); Angaben in mg/kg

Regelwerk Hessen (1992)

Bezeichnung des Wertes	Orientierungswerte		
	N-Werte	E-Werte	Z-Werte
Kategorien			
As	30	50	30
Pb	100	600	100
Cd	1	5	1
CN ges.	10	50	25
CN leicht freisetzbar	1	5	1
Cr ges.	100	500	100
Cr VI	/	/	/
Ni	50	300	50
Hg	1	5	1
TI	/	/	/
Cu	60	300	60
Zn	150	1 000	150
Sb	/	/	/
Co	/	/	/
Mo	/	/	/
Se	/	/	/
Sn	/	/	/
F	/	/	/

Tab. 8.2: Orientierungswerte (organische Parameter); Angaben in mg/kg

**Regelwerk Hessen (1992)**

Bezeichnung des Wertes	Orientierungswerte		
	N-Werte	E-Werte	Z-Werte
Kategorien			
Aldrin	/	/	/
Benzo(a)pyren	/	1	/
DDT	/	/	/
Hexachlorbenzol	/	/	/
Hexachlorcyclohexan	/	/	/
Pentachlorphenol	/	/	/
PCB	/	1	0,2
Dioxine/Furane <sup>1</sup>	5	1 000	100
MKW	300	1 000	500
BTEX	5	10	5
Benzol	/	1	/
LHKW	/	/	/
PAK	5	20	10
Naphtalin	/	5	/
Phenole	/	5	/

<sup>1</sup> In ng/kg.

**– Sächsisches Abfallwirtschafts- und Bodenschutzgesetz (1999)**

In Sachsen werden Prüfwerte (P) und Maßnahmenwerte (M) für Bodenkontaminationen in verschiedenen Nutzungsklassen (nach LAGA-Empfehlung 12/93, „Kloke-Liste“ und anderen Quellen) verwendet.

**Maßnahmenwert:** Orientierungswert für die Schadstoffkonzentration in Umweltmedien, bei deren Überschreitung in der Regel Maßnahmen der Gefahrenabwehr erforderlich werden.

**Prüfwert:** Orientierungswert für die Schadstoffkonzentration in Umweltmedien, deren Überschreitung weitere Untersuchungen erfordert und bei deren Unterschreitung in der Regel ein Gefahrenverdacht als ausgeräumt gilt.

Tab. 9.1: Prüf- und Maßnahmenwerte (anorganische Parameter); Angaben in mg/kg

## Regelwerk Sachsen (1999)

Wirkungspfad	Boden-Mensch								Boden-Nutzpflanze	
	Kinderspielplätze		Wohngebiete		Park- und Freizeitanlagen		Gewerbe/Industrie		Gärtnerische/landwirtschaftl. Nutzflächen	
Bezeichnung des Wertes	P	M	P	M	P	M	P	M	P	M
As	20	50	40	100	100	/	200	/	40	50
Pb	200	500	400	1 000	1 000	/	2 000	/	300	1 000
Cd	6	15	12	30	30	/	60	/	2 <sup>1</sup>	5
CN ges.	40	100	80	200	200	/	400	/	/	/
CN leicht freisetzbar	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Cr ges.	100	250	200	350	300	600	1 000	/	200	500
Chromat	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Ni	60	150	120	300	300	/	600	/	100	200
Hg	4	10	8	20	20	/	40	/	2	20
Tl	0,5	1,25	1	2,5	2,5	/	5	/	1	20
Cu	300	750	600	1 500	1 500	/	3 000	/	100	200
Zn	500	1 000	500	1 000	1 000	3 000	2 500	/	500	1 000
Sb	2	5	4	10	10	/	20	/	/	/
Co	50	150	100	400	250	500	500	600	200	1 000
Mo	10	25	20	50	50	100	100	200	20	100
Se	40	100	80	200	200	/	400	/	5	10
Sn	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
F	300	750	600	1 500	1 500	/	3 000	/	/	/

<sup>1</sup> Bei Überschreitung des Prüfwertes Kontrolle des Boden-pH-Wertes. Dieser sollte > 7 betragen und ggf. durch Kalkzugaben auf Werte > 7 eingestellt werden. Bei pH-Werten < 7 gilt ein Prüfwert von 1 mg/kg.

P Prüfwert.

M Maßnahmenwert.

Tab. 9.2: Prüf- und Maßnahmenwerte (organische Parameter); Angaben in mg/kg

**Regelwerk Sachsen (1999)**

Wirkungspfad	Boden-Mensch								Boden-Nutzpflanze	
	Kinderspielplätze		Wohngebiete		Park- und Freizeitflächen		Gewerbe/Industrie		Gärtnerische/landwirtschaftl. Nutzflächen	
Nutzungstyp	P	M	P	M	P	M	P	M	P	M
<b>Bezeichnung des Wertes</b>	<b>P</b>	<b>M</b>	<b>P</b>	<b>M</b>	<b>P</b>	<b>M</b>	<b>P</b>	<b>M</b>	<b>P</b>	<b>M</b>
Aldrin	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Benzo(a)pyren	1	2,5	2	5	5	/	10	/	2	2-10 <sup>1</sup>
DDT	0,4	1	0,8	2	2	/	4	/	/	/
Hexachlorbenzol	0,3	0,8	0,6	1,5	1,5	/	3	/	/	/
Hexachlorcyclohexan	0,2	0,5	0,4	1	1	/	2	/	/	/
Pentachlorphenol	3	10	6	15	15	/	30	/	/	/
PCB	0,3	0,8	0,5	1	1	/	3	/	0,2	/
Dioxine/Furane <sup>1</sup>	30	100	60	1 000	150	1 000	300	10 000	5	40
MKW	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
BTEX	/	/	7	/	/	/	25	/	2	/
Benzol	/	/	0,2	/	/	/	1	/	0,5	/
LHKW	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
PAK	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Naphtalin	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Phenole	20	50	40	100	100	/	200	/	/	/

<sup>1</sup> Im Bereich von 2–10 mg BaP/kg Boden werden folgende abgestufte Nutzungseinschränkungen empfohlen:

- bis 2 mg/kg Boden: uneingeschränkter Anbau von Nahrungs- und Futterpflanzen
- ab 2 mg/kg Boden: Verzicht auf Anbau von Möhren, Schwarzwurzeln (Spargel) und Erdbeeren (Verschmutzungsrisiko)
- ab 5 mg/kg Boden: zusätzlicher Verzicht auf Anbau von diversen Blattgemüsearten, Petersilie, Sellerie, Radieschen, Rettich, Roten Beeten, Kartoffeln, Buschbohnen sowie Futterraps, Stoppelrüben, Futterrüben und Rübenblatt (Verschmutzungsgefahr)
- ab 10 mg/kg Boden: allgemeiner Verzicht auf den Anbau von Gemüsepflanzen und Ackerfutterpflanzen sowie von Obst

### – Klärschlammverordnung (1992)

Die Klärschlammverordnung (AbfKlärV) regelt das Aufbringen von Klärschlamm auf landwirtschaftlich oder gärtnerisch genutzte Böden. Das Aufbringen ist verboten, wenn sich aus den Bodenuntersuchungen nach § 3 Abs. 2 oder 3 der AbfKlärV ergibt, dass die Gehalte nachstehend genannter Schwermetalle mindestens einen der folgenden Werte übersteigen (in mg/kg):

Blei	100
Cadmium	1,5
Chrom	100
Kupfer	60
Nickel	50
Quecksilber	1
Zink	200

Bei Böden, die im Rahmen der Bodenschätzung als leichte Böden eingestuft sind und deren Tongehalt unter 5 vom Hundert liegt oder deren Untersuchung gemäß § 3 Abs. 4 der AbfKlärV einen pH-Wert von mehr als 5 und weniger als 6 ergeben hat, ist eine Aufbringung von Klärschlamm auch dann verboten, wenn bei den Schwermetallen Cadmium und Zink folgende Werte (mg/kg) überschritten werden:

Cadmium	1
Zink	150

Das Aufbringen von Klärschlamm auf landwirtschaftlich oder gärtnerisch genutzte Böden ist verboten, wenn sich aus den Klärschlammuntersuchungen nach § 3 Abs. 6 der AbfKlärV ergibt, dass die Gehalte der nachstehend genannten organisch-persistenten Schadstoffe mindestens einen der folgenden Werte übersteigen:

- polychlorierte Biphenyle (PCB) jeweils 0,2 Milligramm je Kilogramm Schlamm-trockenmasse für die Komponenten
- polychlorierte Dibenzodioxine/Dibenzofurane (PCDD/PCDF) 100 Nanogramm TCDD-Toxizitätsäquivalente je Kilogramm Schlamm-trockenmasse

Das Aufbringen von Klärschlamm auf landwirtschaftlich oder gärtnerisch genutzte Böden ist verboten, wenn sich aus den Klärschlammuntersuchungen nach § 3 Abs. 5 der AbfKlärV ergibt, dass die Summe der halogenorganischen Verbindungen, ausgedrückt als Summenparameter AOX, 500 mg je Kilogramm Schlamm-trockenmasse überschreitet.

Das Aufbringen von Klärschlamm auf landwirtschaftlich oder gärtnerisch genutzte Böden ist verboten, wenn sich aus Klärschlammuntersuchungen nach § 3 Abs. 5 der AbfKlärV ergibt, dass die Gehalte nachstehender Schwermetalle mindestens einen der folgenden Werte übersteigen (Milligramm je Kilogramm Schlamm-trockenmasse):

Blei	900
Cadmium	10
Chrom	900
Kupfer	800
Nickel	200
Quecksilber	8
Zink	2 500

Bei Böden, die im Rahmen der Bodenschätzung als leichte Böden eingestuft sind und deren Tongehalt unter 5 vom Hundert liegt oder deren Untersuchung gemäß § 3 Abs. 4 der AbfKlärV einen pH-Wert von mehr als 5 und weniger als 6 ergeben hat, sind in Satz 1 folgende Werte für Cadmium und Zink einzusetzen:

Cadmium	5
Zink	2 000



## 2.3 Gängige Richtlinien (international)

### – Holland-Liste 94

Die Werte der Holland-Liste zur Bodenrehabilitation bestehen aus den Referenzwerten (**S-Werten**) und den Interventionswerten (**I-Werten**). Sie beziehen sich auf einen Standardboden mit 25 Gew.-% Ton und 10 Gew.-% organischem Material. Es ist allerdings möglich, die Werte eines Standardbodens für verschiedene Bodenarten umzurechnen.

Die vorgeschlagenen Referenzwerte erlauben die Beurteilung der aktuellen Bodenqualität und einer möglichen zukünftigen Verschlechterung der Böden. Bei der Einhaltung der in den Tabellen angegebenen Werte oder bei niedrigeren Werten kann der Boden aus heutiger Sicht als multifunktional angesehen werden, d. h., dass keine nachteiligen Auswirkungen für den Boden zu erwarten sind. Die Überschreitung der Referenzwerte bedeutet allerdings nicht unbedingt, dass der Boden nicht mehr multifunktional ist. Auch von Natur aus können örtlich höhere Konzentrationen auftreten. Bei diesen Werten muss berücksichtigt werden, dass die Ausgangsbasis immer Böden aus den Niederlanden sind und somit nur die dort vorherrschenden regionalen Verhältnisse berücksichtigt werden.

Tab. 10.1: Bodenwerte (anorganische Parameter)

<b>Regelwerk Holland-Liste '94</b>				
<b>Bezeichnung des Wertes</b>	<b>Referenz- und Interventionswerte</b>			
<b>Kategorien</b>	<b>Boden/Sediment [mg/kg]</b>		<b>Grundwasser [µg/l]</b>	
	<b>S-Werte</b>	<b>I-Werte</b>	<b>S-Werte</b>	<b>I-Werte</b>
As	29	55	10	60
Pb	85	530	15	75
Cd	0,8	12	0,4	6
CN ges.	5	50	10	1 500
CN leicht freisetzbar	/	/	/	/
Cr ges.	100	380	1	30
Cr VI	/	/	/	/
Ni	35	210	15	75
Hg	0,3	10	0,05	0,3
Tl	/	/	/	/
Cu	36	190	15	75
Zn	140	720	65	800
Sb	/	/	/	/
Co	20	240	20	100
Mo	10	200	5	300
Se	/	/	/	/
Sn	/	/	/	/
F	/	/	/	/

Tab. 10.2: Bodenwerte (organische Parameter)

## Regelwerk Niederlande (1994)

Bezeichnung des Wertes	Referenz- und Interventionswerte			
	Boden/Sediment [mg/kg]		Grundwasser [ $\mu\text{g/l}$ ]	
Kategorien	S-Werte	I-Werte	S-Werte	I-Werte
Aldrin	0,0025	/	d	0,01
Benzo(a)pyren	/	/	0,001	0,05
DDT	0,0025	4	d	0,01
Hexachlorbenzol	0,0025	/	0,01	0,5
Hexachlor- cyclohexan	/	2	/	1
Pentachlorphenol	0,002	5	0,02	3
PCB	0,02	1	0,01	0,01
Dioxine/Furane	/	/	/	/
MKW	50	5 000	50	600
BTEX	/	/	/	/
Benzol	0,05	1	0,2	30
LHKW	/	/	/	/
PAK	1	40	/	/
Naphtalin	/	/	0,1	70
Phenole	0,05	40	0,2	2 000

d Bestimmungsgrenze.

**– Kloke-Liste (1987)**

Die Kloke-Liste enthält die Richtwerte 80; das sind Orientierungsdaten für tolerierbare Gesamtgehalte einiger Elemente in Kulturböden. Die Daten wurden 1987 modifiziert. Nach Auffassung von Kloke sollen die tolerierbaren Gesamtgehalte der Tabelle unter anderem beim Aufbringen von Komposten, Klär- und Flussschlämmen auf Kulturböden berücksichtigt werden und dazu beitragen, dass Zahl und Größe der mit Schadstoff belasteten Flächen nicht weiter ansteigen. Die Kloke-Liste berücksichtigt nur anorganische Parameter.

**Tab. 11:** Bodenwerte (anorganische Parameter); Angaben in mg/kg

<b>Regelwerk Kloke-Liste (1987)</b>	
<b>Bezeichnung des Wertes</b>	<b>Richtwerte tolerierbar</b>
As	20
Pb	100
Cd	3
CN ges.	/
CN leicht freisetzbar	/
Cr ges.	100
Cr VI	/
Ni	50
Hg	2
Tl	1
Cu	100
Zn	300
Sb	5
Co	50
Mo	5
Se	10
Sn	50
F	/

## 2.4 Geochemische Grundlagen

Die natürlichen Elementgehalte der Böden dienen als Basis zur Beurteilung anthropogener Zusatzbelastungen. Diese natürlichen oder geogenen Gehalte werden überwiegend durch die Zusammensetzung der jeweiligen Ausgangsgesteine geprägt. Als geogene Grundbelastungen stehen die Schwermetalle im Vordergrund. Oft kann es der Fall sein, dass natürliche hohe Schwermetallgehalte im Ausgangsgestein die Grenzwerte gängiger Richtlinien (s. 2.2 und 2.3) erheblich überschreiten (vgl. 2.5 und 3).

Die Ausgangsmaterialien der Bodenbildung sind die im Untergrund anstehenden Gesteine sowie eventuell vorhandene Deckschichten. Bei Kenntnis des Stoffbestandes der Deckschichten und des geologischen Untergrundes ist es möglich, Vorhersagen über die natürliche Schwermetallverteilung in Bodenprofilen zu treffen. Organische Schadstoffe, wie sie heute verstärkt in den Böden der Verdichtungsräume auftreten, sind fast ausschließlich anthropogenen Ursprungs.

### 2.4.1 Ausgangsmaterialien der Bodenbildung (Substrate)

#### – Der Begriff „Boden“

Im naturwissenschaftlichen Sinn sind Böden meistens Produkte der Gesteinsverwitterung. Nach Murawski (1992) ist der Boden „die oberste Verwitterungsschicht der Erdrinde. Neben zerkleinerten, z.T. chemisch veränderten Gesteins- und Mineralbruchstücken enthält er mehr oder minder große Mengen von schon zersetzten oder noch im Zersatz befindlichen organischen Substanzen.“ Der Boden ist „nach unten durch festes oder lockeres Gestein, nach oben durch eine Vegetationsdecke bzw. durch eine Atmosphäre begrenzt, während er zur Seite gleitend in benachbarte Böden übergeht“ (Scheffer und Schachtschabel, 1989).

Im Gegensatz dazu wird der Boden im BBodSchG § 2 Absatz 1 und 2 nicht definiert. Vielmehr wird lediglich gesagt, wo man ihn findet und welche Nutzungsfunktionen er für den Menschen hat. Der Boden im Sinne dieses Gesetzes „ist die obere Schicht der Erdkruste ... einschließlich der flüssigen Bestandteile (Bodenlösung) und der gasförmigen Bestandteile (Bodenluft), ohne Grundwasser und Gewässerbetten“. Es existiert keine Vorstellung von „sauberem Boden“, wie es beispielsweise bei Wasser und Luft in den betreffenden Gesetzen der Fall ist (Bickel, 1999).

Im juristischen Sinn ist der Boden anzusehen als „natürlicher fester Körper sehr unterschiedlicher Konsistenz, der sich von der Erdoberfläche an bis zum Beginn des Grundwassers erstreckt“. Die künstliche Versiegelung des Bodens (durch Asphalt, Beton, Pflasterung usw.) stellt keinen Bestandteil des Bodens dar. Anders jedoch bei natürlichem Boden, der durch menschliche Eingriffe (Rüttler, Walzen) stark verdichtet wird. Eine Ausbreitung im Boden liegt bereits dann vor, wenn z.B. flüssige Chemikalien oder Stäube sich an der Bodenoberfläche sammeln. Ein Eindringen in den Boden ist nicht erforderlich. Ein im Eigentum eines Dritten stehender Boden kann gleichzeitig betroffenes Umweltmedium und verletztes Rechtsgut sein (Vogel, 1998).

### – Substrate und ihre geogenen Elementgehalte

Unter den heutigen klimatischen Bedingungen ist die natürliche Schwermetallzusammensetzung eines Bodens in der Regel nahezu identisch mit den Gehalten in seinen Ausgangsmaterialien. Es gibt allerdings Ausnahmen, die in bodengenetischen Prozessen begründet sind (s. 2.4.2).

Zu den Verwitterungsprodukten der anstehenden Gesteine im Untergrund gesellen sich in der Mehrzahl der Fälle Deckschichten aus verschiedenen Materialien als Produkte der Eiszeiten des Pleistozäns. Die wichtigsten Ablagerungsprozesse im periglazialen Bereich zwischen den Eiskappen in Nordeuropa und den Alpen waren äolischer und solifluidaler Natur:

- Die äolischen Deckschichten bestehen aus Material, das vom Wind während der Eiszeit z.B. aus den Sand- und Schotterflächen der großen Flüsse sowie aus Moränengebieten bei geringer oder fehlender Vegetationsdecke ausgeweht und meist in größerer Entfernung wieder abgelagert wurde (Löss).
- Die solifluidalen Deckschichten bestehen dagegen aus hangaufwärts anstehendem Material, das durch Auftauvorgänge während des eiszeitlichen Sommers bei Hangneigungen  $< 2^\circ$  fließen konnte.

Meist sind die Materialien beider Herkünfte in variablen Verhältnissen miteinander vermischt und als Decksediment von etwa 30–70 cm Mächtigkeit an der nacheiszeitlichen Bodenbildung beteiligt. Beide, Gestein und Deckschichten, sind die Ausgangsmaterialien der Bodenbildung und bestimmen die natürlichen Grundgehalte der Elemente in den Böden.

Im Folgenden werden die in Deutschland häufig auftretenden Gesteinstypen bzw. Deckschichten beschrieben, für deren Böden in den Kapiteln auf Seite 43 **Der Begriff „Boden“** und Seite 44 **Substrate und ihre geogenen Elementgehalte** Hintergrundwerte aufgelistet sind. Zusätzlich werden die typischen Verbreitungsgebiete der jeweiligen Gesteine in Deutschland genannt.

– **Lockergesteine/Deckschichten**

- **Löss/Lösslehm:** Löss ist ein gelbes bis gelbgraues, poröses, kalkhaltiges äolisches (d. h. durch Wind verfrachtetes) Staubsediment mit einem Korngrößendurchmesser von 0,05 bis 0,01 mm. Löss findet sich vor allem als pleistozänes Sediment. Lösslehm ist durch Auslaugungsprozesse entkalkter Löss. Im Vergleich zu den anderen Substraten hat Löss eher mittlere, teilweise auch niedrige Gehalte an Schwermetallen, wobei jedoch die Chromgehalte mehr als 100 mg/kg betragen und den Gehalten von Tongesteinen gleichen können.

Löss ist wahrscheinlich das auf der Erde am weitesten verbreitete Sediment. Es wird geschätzt, dass etwa 9% der Landfläche der Erde mit Löss bedeckt sind. In Europa zieht sich ein nördlicher Lössgürtel von Nordfrankreich über Belgien am Nordrand des deutschen Mittelgebirges entlang nach Südpolen und in die Ukraine und dehnt sich im Wolgagebiet bis auf 1 000 km Breite aus. Ein südlicher Lössgürtel geht mit weiten Ausstrahlungen nach Osten von der Oberrheinebene aus, setzt sich entlang der Donau nach Niederösterreich, Mähren, Ungarn und Rumänien fort und vereinigt sich am Schwarzen Meer mit dem nördlichen Lössgürtel. Löss liegt vorwiegend in Niederungen und mäßig hohen Flächen. Berge sind in Mitteleuropa ab 500 m Höhe in der Regel frei von Lössdecken.

- **Sande (Auensande, Talsande, Terrassensande, Flugsande):** In der Ingenieurgeologie wird Sand als ein Sediment mit Korngrößen von 0,06 bis 2,00 mm im Durchmesser definiert. Die meisten Sande und Sandsteine (s. unten) haben einen hohen Gehalt an Quarz, einem Mineral, das nur sehr wenige Bindungsplätze für anorganische Problemstoffe besitzt. Diese stammen meist aus den tonigen und schluffigen Beimengungen oder dem Bindemittel der Sandsteine. Sande entstehen sowohl im terrestrischen als auch im marinen Ablagerungsmilieu und sind daher deutschlandweit verbreitet.

- **Geschiebemergel/Geschiebelehm:** Geschiebemergel ist ein Sediment der Gletschergrundmoräne. Er besteht aus einer Grundmasse von ungeschichtetem Zerreibsel tonig-kalkiger Gesteine, das mehr oder weniger stark mit Geschieben verschiedenster Größe durchsetzt ist. Verwitterungsbedingte Kalkabfuhr, aber auch primärer Kalkmangel erzeugen den Geschiebelehm. Die Schwermetallgehalte sind gering bis mittel und übertreffen meist die der Sande und Sandsteine, ohne die Gehalte der Lössen zu erreichen.

Geschiebemergel bzw. -lehm ist in den Gebieten der pleistozänen Vergletscherung weit verbreitet. Er ist in höher gelegenen Gebieten häufiger zu finden als in Tälern und Becken, in denen die fluviale Erosion wirksamer war. Verbreitungsgebiete in Deutschland sind die Alpen, das nördliche Alpenvorland und Norddeutschland von der Küste bis etwa zum nördlichen Rand des deutschen Mittelgebirges.

- **Tone:** Sedimente mit Korngrößen unter 0,002 mm im Durchmesser. Tone und Tonsteine (s. unten) enthalten einen hohen Anteil an Tonmineralen, die aufgrund ihrer reaktiven, negativ geladenen Oberflächen in der Lage sind, anorganische Problemstoffe, die meist als Kationen im Boden auftreten, zu binden. Böden aus Tonen und Tonsteinen zeichnen sich daher im Vergleich zu Böden aus weniger bindigen Substraten durch höhere Problemstoffgehalte aus. Bezeichnend für Tone und Tonsteine sind sehr hohe Arsen- und Selengehalte (vgl. 2.5). Tone sind immer dort zu finden, wo es stehende Gewässer gibt oder gab. Typisches Verbreitungsgebiet der Tone ist die Norddeutsche Tiefebene.
- **Sedimente im Gezeitenbereich (Marschen):** Eine Flachlandschaft, die etwa in Höhe des Meeresspiegels an einer Wattenküste oder im Tidebereich der Flüsse liegt, nennt man Marsch. Der Name wurde auf die Böden dieser Landschaft übertragen. Marschen bilden sich aus Schllick, einem carbonat- und sulfidhaltigen, feinkörnigen Sediment der Wattenküsten und Flussmündungsbereiche mit „primärer“ organischer Substanz. Die Problemstoffgehalte der Marschen richten sich zum einen nach der Zusammensetzung des Materials (tonig, schluffig oder sandig), zum anderen nach der Schadstoffbelastung bzw. Zusammensetzung des Überflutungswassers.



Die Verbreitung der Marschen ist in Deutschland weitgehend auf die Küstenzone der Nordsee beschränkt. An den Flussläufen dringen sie innerhalb des Tidebereiches bis ins Binnenland vor und gehen dort in die Auenböden über.

- **Moor:** Als „Moor“ wird eine Fläche bezeichnet, die aus einer oberflächennahen, mindestens 30 cm mächtigen Torfschicht besteht. Torf bildet sich aus abgestorbenen Pflanzenresten, die infolge Sauerstoffmangels (bei Wasserüberschuss) nicht vollständig zersetzt werden. Besitzt ein Sediment mehr als 30% organische Substanz, wird es als **Torf** bezeichnet (Scheffer und Schachtschabel, 1989). **Niedermoortorf** entwickelt sich in flachen Gewässern (bis etwa 2 m) und vernässten Flächen mit nährstoffreichem Wasser. Steigt der Wasserspiegel langsam an, kann Niedermoortorf durchaus mächtiger als 2 m werden (Schreiner, 1997). Wächst der Torf über den Wasserspiegel empor, spricht man von **Hochmoortorf**. Anorganische Problemstoffe kommen vorwiegend aus der Pflanzenmasse, aus der sich der Torf zusammensetzt. Soweit diese Pflanzen mit ihren Wurzeln noch Kontakt mit mineralischem Gestein unter dem Torf hatten, kann der Torf durch dieses Gestein beeinflusst sein. War dies nicht der Fall, wird der Mineralstoffgehalt der Torfe durch den Eintrag aus dem Niederschlag und bei Niedermooren zusätzlich durch den Grundwasserstrom bestimmt. Dies erklärt auch die im Allgemeinen etwas höheren Gehalte der Schwermetalle in Niedermoortorfen (vgl. Tab. 14, Tab. 15 und Tab. 16).

Die Verbreitung der Moore in Deutschland hängt eng mit den Klimabedingungen und der Oberflächengestaltung nach Rückgang des Inlandeises zusammen. So findet man die meisten Hochmoore in den niederschlagsreichen küstennahen Gebieten der Norddeutschen Tiefebene. Auch im Alpenvorland gibt es im Auswirkungsbereich der Alpenvereisung ausgedehnte Moore. Außerhalb der Vereisungszone findet man kleinere Hochmoore in fast allen deutschen Mittelgebirgen, wo zahlreiche Niederschläge, hohe Luftfeuchtigkeit und Geländeformen mit gehemmtem Wasserabfluss die Bildung von Mooren ermöglichen (z.B. Harz, Rhön, Schwarzwald, Bayerischem Wald). Große Niedermoorflächen haben sich vor allem im Bereich der Urstromtäler (Spreewald, Warthe-Netze-Oderbruch) und in anderen Flussniederungen (z.B. Donaumoos, Dachauer Moos) gebildet.

### – Festgesteine

#### a) Sedimentgesteine

- **Tonstein:** Klastisches, pelitisches Sedimentgestein, bei dem die Korngrößen unter 0,002 mm liegen. Tonsteine zeigen die gleichen Problemstoffanreicherungen wie die Tone (s. oben).

Abgesehen von der Norddeutschen Tiefebene und dem kristallinen Grundgebirge wie Schwarzwald oder Bayerischem Wald (s. unten), findet man Tonstein fast überall in Deutschland. Typisches Verbreitungsgebiet ist das Molassebecken im nördlichen Alpenvorland.

- **Tonmergel/Mergel:** Mergel sind sedimentäre Mischgesteine aus Ton und Karbonaten. Je nach Mengenverhältnis unterscheidet man Tonmergel, Mergel und Kalkmergel. Bei dem Karbonatanteil überwiegt Calcit, aber auch Dolomit ist möglich. Je nach Ton-/Karbonatanteilen gelten die Beurteilungen über Schwermetallanreicherungen in Tonstein und Kalkstein.

Verbreitungsgebiet: Siehe Tonstein.

- **Kalkstein:** Sedimentgesteine, die zu über 85% aus Calciumkarbonat aufgebaut sind. Die nicht karbonatischen Minerale sind meist Silikate. Bei der Verwitterung werden die Karbonate gelöst und im Sickerwasser abgeführt. Die zurückbleibenden Silikate bilden Böden aus Residualtonen, die gegenüber dem Ausgangsgestein eine 2- bis 24fache Problemstoffanreicherung haben können.

Typische Verbreitungsgebiete der Kalksteine in Deutschland sind die Schwäbische und Fränkische Alb sowie die Nördlichen Kalkalpen.

- **Dolomit:** Sedimentgesteine, die überwiegend aus dem Mineral Dolomit ( $\text{CaMg}[\text{CO}_3]_2$ ), also Magnesiumkarbonat, bestehen. Beurteilung über Problemstoffgehalte siehe Kalkstein.

In Deutschland bestehen große Teile der Nördlichen Kalkalpen aus Dolomit, außerdem kommt der Dolomit auch im Fränkischen und Schwäbischen Jura, in der Eifel und in Thüringen vor.

- **Sandstein:** Sedimentgesteine mit Korngrößen der Fragmente zwischen 0,02 mm und 2 mm Durchmesser. Im üblichen Sprachgebrauch ist der „Sandstein“ mit Quarzsandstein gleichzusetzen, der aus über 75% Quarz ( $\text{SiO}_2$ ) besteht. Wenn Beimengungen von mehr als ungefähr 25% anderer Komponenten vorhanden sind, führt das zu Arkose-, Grauwacke- oder Gesteinsfragmentsandstein. Sandstein zeigt ein ähnliches Muster anorganischer Problemstoffe wie die Sande (s. oben).

Verbreitungsgebiet: Siehe Tonstein.

- **Grauwacke:** Grauwacke kann man als sehr unreine Sandsteine betrachten. Neben den Quarzfragmenten führt das Gestein erhebliche Mengen von Feldspatklüften und vor allem Gesteinsbruchstücke verschiedener Art. Alle Bestandteile liegen in einer für Grauwacke typischen Grundmasse von Tonmineralen, Glimmer und Chlorit. Es kommen daher unterschiedliche Konzentrationen an anorganischen Problemstoffen vor, die im Vergleich zu den anderen Gesteinen jedoch insgesamt niedrige Konzentrationen aufweisen.

Verbreitungsgebiet: Siehe Tonstein.

- **Ölschiefer:** Viele Tonsteine, Schiefertone, Siltsteine und auch Kalksteine bilden eine Gruppe von Sedimentgesteinen mit hohen Anteilen von festem pflanzlichem und tierischem Kohlenstoff. Übersteigt diese Beimengung 10%, spricht man von Ölschiefer oder Schwarzschiefer. Hierbei handelt es sich um ein ultrabasisches Gestein, das durch extrem hohe Gehalte an anorganischen Problemstoffen auffällt (vgl. Tab. 3 und Kap. 2.5).

Ölschiefer tritt häufig im Schwarzen Jura (Lias) der Schwäbischen und Fränkischen Alb (z.B. zwischen Balingen und Stuttgart, zwischen Bruchsal und Heidelberg) sowie im Tertiär des Oberrheintalgrabens auf.

- **Kupferschiefer:** Es handelt sich um einen dunklen, kohlig-bituminösen Mergelschiefer des Zechsteins, der einer Faulschlamm-Bildung entspricht, wobei das  $\text{H}_2\text{S}$  des Meerwassers bzw. des Sediments selbst zahlreiche Metalle (nachweislich 48), vor allem aber Cu, Pb und Zn, ausgefällt hat.

So enthält der Kupferschiefer stellenweise bis zu 3,6% Cu, bis zu 4,1% Zn, bis zu 2,6% Pb und bis zu 0,9% Ag. Diese Elemente sind an Sulfide gebunden. Die Gehalte an V bis zu 0,5%, Cr bis zu 0,03%, Ni bis zu 0,12%, Co bis zu 0,04% und Mo bis zu 0,15% sind den Kohlenstoffgehalten proportional, also wahrscheinlich an die organische Substanz im Sediment gebunden (alle Gehaltsangaben aus Correns, 1968).

Der Kupferschiefer wurde aus dem Meer des unteren Zechsteins abgesetzt. Sehr bekannt ist der Mansfelder Kupferschiefer im Harz. Vorkommen gibt es zwischen dem Rheinischen Schiefergebirge, Thüringer Wald, Harz und Flechtinger Höhenzug (z. B. das Kurhessische Kupferschiefergebiet bei Richelsdorf sowie bei Sangerhausen).

### b) Metamorphite

Gesteine, die unter Beibehaltung des festen Zustands Veränderungen erleiden durch Einwirkungen, die nicht an der Erdoberfläche stattfinden. Die wesentlichen Wirkungskräfte sind durch Veränderungen der Temperatur und des Druckes gegeben.

- **Tonschiefer:** metamorph gewordener Tonstein
- **Phyllit:** höherer Metamorphosegrad des Tonschiefers
- **Quarzit:** metamorph gewordener Sandstein
- **Gneis:** hochmetamorphes Gestein

Die Schwermetallanreicherungen in Metamorphiten sind sehr unterschiedlich und hängen im Wesentlichen vom Edukt, also vom Ausgangsgestein des Metamorphites, ab. Die Verbreitungsgebiete der Metamorphite in Deutschland beschränken sich auf das kristalline Grundgebirge. Dazu gehören Schwarzwald, Bayerischer Wald, Oberpfälzer Wald, Fichtelgebirge, Erzgebirge, Frankenwald, Thüringer Wald, Kyffhäuser, Rhön, Spessart, Odenwald, Rheinisches Schiefergebirge sowie der Harz. Generell gilt, dass der Metamorphosegrad von Süd nach Nord abnimmt. So sind im Rheinischen Schiefergebirge schwach metamorphe Tonschiefer, Schiefertone und Quarzite vorhanden, während im Bayerischen Wald hochmetamorphe Gesteine wie Gneise, Amphibolite und Eklogite zu finden sind.

### c) Magmatite (Eruptivgesteine, Erstarrungsgesteine)

Gesteine, die durch Auskristallisation (Erstarrung) aus dem irdischen Schmelzfluss (Magma) entstanden sind, nennt man Magmatite. Man

unterscheidet zwischen Gesteinen, die an der Erdoberfläche erstarrt sind (Vulkaniten, Erguss-, Effusiv- oder Oberflächengesteinen), und Gesteinen, die im Erdinneren erstarrt sind (Plutoniten, Tiefengesteinen).

- **Basalt, Schalstein, Diabas und Pikrit** sind basische bis ultrabasische Vulkanite. Sie zeichnen sich gegenüber den anderen Substraten sowohl im Gestein als auch im Boden durch hohe bis sehr hohe Co-, Cr-, Cu-, Ni-, V- und Zn-Gehalte aus (vgl. 2.4 und 2.5). Bezeichnend sind niedrige Gehalte für Blei. Verbreitungsgebiete sind vorwiegend die jungen Vulkangebiete Kaiserstuhl, Hegau, Vogelsberg, Westerwald, Knüll, Rhön, Eifel, Siebengebirge und östliches Fichtelgebirge sowie ältere Vulkangebiete wie bei Brilon im östlichen Sauerland und im Lahn-Dill-Gebiet.
- **Granit** ist ein saurer Plutonit. Er zeichnet sich durch einen hohen Anteil an Quarz und Alkalifeldspäten aus. Aufgrund des hohen Quarzanteils sind die Gehalte anorganischer Problemstoffe vergleichsweise gering. Verbreitungsgebiete der Granite sind der Schwarzwald, der Bayerische Wald, der Oberpfälzer Wald, das Fichtelgebirge, das Erzgebirge und der Harz.

In Tabelle 12 sind Schwermetallgehalte einzelner wichtiger Minerale unterschiedlicher Ausgangsgesteine zusammengestellt. Die Werte sind in Milligramm je Kilogramm Trockenmasse angegeben. Die Schwankungsbreite der Gehalte ist erheblich. Dennoch lassen sich für die Böden folgende Schlüsse ableiten: Hauptschwermetallträger in tonigen Böden sind von der Menge her die Tonminerale Kaolinit, Montmorillonit, Illit und Chlorit (selten auch Glaukonit).

Fe-Oxidhydroxide, Fe-Oxide und Glimmer sowie die am Ende der Tabelle aufgeführten Schwerminerale sind in Böden bzw. Sedimenten gewöhnlich nur mit wenigen Prozenten vertreten, sie können jedoch durch ihre teilweise extremen Metallkonzentrationen wesentliche Anteile der Gesamtschwermetalle des Bodens enthalten. Vor allem bei Sanden und Sandböden dürften Menge, Art und Zusammensetzung der Schwerminerale die Gehalte an Cr, Ni, Co und Zn entscheidend prägen. Die natürlichen Bleigehalte der Böden können mit den Kalifeldspatanteilen steigen, die Kobalt- und Kupferwerte auch mit dem Plagioklasanteil bzw. dessen Verwitterungsprodukten (z. B. Kaolinit). Quarz und Karbonatminerale dagegen wirken verdünnend wegen ihrer extrem niedrigen Schwermineralgehalte.

Tab. 12: Natürliche Schwermetallgehalte [mg/kg] von häufig vorkommenden gesteinsbildenden Mineralien (aus Ruppert, 1987)

Mineral	Gestein	Cr [mg/kg]	Mn [mg/kg]	Fe [mg/kg]
Kaolinit	Löss	40	/	/
Montmorillonit	Bentonit	2–38	39–373	1,5–2,2
Glaukonit	Glaukonitsande	135–411	47–147	5,2–15
Chlorit	Sedimente	/	/	/
Illit	Sedimente	/	/	/
Illit + Chlorit	Löss	80	/	/
Muskovit	Magm. + metam. Gest.	5–100	/	/
Muskovit	Magm. + meam. Gest. (max.)	<400	400	2,7
Muskovit	Löss	50	/	/
Biotit	Magm. + metam. Gest.	10–200	< 400–500	/
Biotit	Magm. + metam. Gest.	< 400–6 400	< 400–7 000	0,6–27
Biotit	Magm. + metam. Gest.	/	/	/
Biotit	Granit	13–650 (129)	1 200–8 300 (3 100)	13,1–23,2 (17,6)
Biotit	Gneis	24–652 (210)	770–4 000 (2 200)	11,4–19,6 (15,9)
Biotit	Löss	100	/	/
Biotit	kaolin. Granit	103	288	17,4
Kalifeldspat	verschieden	/	/	/
Kalifeldspat	Löss	5	/	/
Kalifeldspat	Sandstein	/	32	/
Kalifeldspat	kaolin. Granit	6	41	0,06
Alkalifeldspat	kaolin. Sandstein	5	30	/
Plagioklas	verschieden	/	/	/
Plagioklas	Löss	5	/	/
Quarz	verschieden	/	/	/
Quarz	Löss	1	/	/
Kalzit	Löss	1	/	/
Amphibol	verschieden	1 000–5 000	/	/
Hornblende	Löss	2 000	/	/
Epidot	Löss	1 000	/	/
Pyroxen	verschieden	200–6 000	/	/
Granat	Löss	3 000	/	/
Magnetit	verschieden	10 000	/	/

Co [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Zn [mg/kg]	Cd [mg/kg]	Pb [mg/kg]
5	20	20	30	/	10
17-76	22-51	2-18	60-182	/	26-63
0-87	10-124	3-34	57-174	/	15-51
/	/	/	700-1 000	0,6-1,5	/
/	/	/	/	/	45-70
10	40	100	100	/	30
4-9	/	5-50	20-150	/	10-50
/	200	< 40	400	/	/
6	10	45	50	/	30
10-80	8-200	1-200	30-1 500	/	10-50
/	40-1 800	< 40-200	50-1 450	/	/
/	/	/	140-510	0,06-8,84	6-54
3-77 (32)	6-208 (62)	1-121 (15)	290-1 520 (700)	/	/
14-114 (42)	19-359 (92)	1-37 (7)	40-1 220 (445)	/	~10
60	50	90	700	/	35
/	59	37	54	/	17
< 0,5	/	< 1-20	5-20	/	3-150
0,2	2	3	5	/	55
/	/	5-10	38-51	/	82-128
/	~2	6	36	/	101
/	/	42	77	/	106
10-80	8-30	10-150	10-20	/	1-40
60	20	60	15	/	20
< 0,5	/	2	5	/	<1
0,2	1	2	4	/	0,5
0,2	1	1	5	/	2
10-80	< 5-140	1-150	30-700	/	5-30
60	20	80	300	/	15
100	100	100	600	/	5
30-260	200-1 000	5-200	20-200	/	0,3-20
50	100	60	400	/	5
/	/	20-300	25-1 500	/	< 10

In den Tabellen 13.1, 13.2 und 13.3 sind für verschiedene Ausgangsgesteine der Bodenbildung die durchschnittlichen natürlichen Elementgehalte (geometrisches Mittel), die zugehörigen logarithmischen Standardabweichungen (Standardabweichungen der Zehnerlogarithmen der Elementkonzentrationen) und die Vertrauensgrenzen der Mittelwerte aufgelistet. Die Berechnung dieser statistischen Kenndaten kann Hindel und Fleige (1988) entnommen werden.

$x_g$  = geometrisches Mittel  
 $s_v$  = Standardabweichung der Zehnerlogarithmen der Elementkonzentrationen  
 n = Anzahl der Proben  
 V = Vertrauensgrenzen (untere und obere Grenze) der Mittelwerte für eine Sicherheitsschwelle von 95%

Bimstuff n = 6

	$x_g$	$s_v$	V
SiO <sub>2</sub>	62,9	0,02	59,0–67,0
TiO <sub>2</sub>	0,50	0,17	0,32–0,79
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,8	0,04	15,0–19,0
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,0	0,09	3,1–5,1
MnO	0,24	0,10	0,18–0,32
MgO	0,76	0,12	0,55–1,06
CaO	0,95	0,27	0,46–1,95
Na <sub>2</sub> O	4,5	0,22	2,5–8,2
K <sub>2</sub> O	4,1	0,07	3,4–5,0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,09	0,12	0,07–0,12
*As	5,1	0,19	3,1–8,5
Ba	279	0,31	121–640
*Cd	< 0,3		
Ce	119	0,10	90–156
*Co	7	0,15	5–11
Cr	41	0,20	24–70
*Cu	9	0,09	7–11
La	57	0,11	42–78
*Li	25	0,21	14–44
Mo	1,3	0,24	0,7–2,4
Nb	99	0,15	66–148
*Ni	19	0,13	13–27
*Pb	28	0,14	19–40
Rb	187	0,19	112–314
*Sb	0,7	0,28	0,3–1,4
Sc	5,7	0,09	4,5–7,3
Sn	1,8	0,59	0,4–8,5
Sr	160	0,37	59–435
Th	27	0,29	12–58
U	5,8	0,44	1,8–18,8
V	62	0,17	38–98
W	1,7	0,36	0,7–4,4
Y	26	0,04	23–29
*Zn	133	0,19	80–220
Zr	533	0,25	274–1 035
*Hg	< 10		



**Tab. 13.1:** Durchschnittliche Elementgehalte in verschiedenen Ausgangsmaterialien der Bodenbildung (aus Hindel und Fleige, 1988)

Tonstein n = 57			Basalt n = 23			Pikrit n = 6		
$x_g$	$s_y$	V	$x_g$	$s_y$	V	$x_g$	$s_y$	V
63,0	0,04	61,3–64,8	44,9	0,06	42,1–48,1	41,0	0,06	34,7–48,6
0,84	0,05	0,81–0,87	2,1	0,19	1,7–2,6	0,64	0,13	0,45–0,91
16,4	0,08	15,5–17,2	15,0	0,09	13,7–16,5	8,3	0,11	6,2–11,3
6,3	0,10	5,9–6,8	11,1	0,13	9,7–12,80	13,3	0,11	9,9–17,9
0,08	0,32	0,06–0,10	0,19	0,15	0,16–0,22	0,17	0,05	0,15–0,21
1,3	0,24	1,2–1,6	5,2	0,33	3,7–7,3	15,5	0,28	7,3–32,7
0,09	0,76	0,05–0,14	3,8	0,44	2,4–6,0	2,8	0,24	1,4–5,3
0,37	0,53	0,27–0,51	0,74	0,88	0,30–1,82	0,16	0,77	0,02–1,20
3,2	0,11	3,0–3,4	0,93	0,38	0,63–1,37	0,24	0,50	0,06–0,90
0,10	0,20	0,09–0,11	0,38	0,32	0,27–0,53	0,09	0,12	0,06–0,12
8,9	0,31	7,4–10,8	2,6	0,49	1,6–4,3	1,4	0,25	0,7–2,8
423	0,13	390–459	379	0,42	247–582	28	1,14	2–575
< 0,3			< 0,3			< 0,3		
83	0,11	78–89	56	0,60	31–104	2	0,72	0,3–13
18	0,20	16–20	49	0,19	41–60	129	0,07	106–157
103	0,10	97–110	317	0,22	253–398	740	0,21	422–1 290
22	0,24	19–26	50	0,27	38–67	207	0,19	124–346
32	0,31	26–39	37	0,52	22–64	5	0,80	0,6–45
38	0,18	34–42	14	0,27	11–19	26	0,22	14–47
1,3	0,26	1,1–1,6	1,7	0,34	1,2–2,5	1	0,00	
18	0,18	16–20	35	0,37	24–51	6	0,47	2–20
60	0,13	55–65	207	0,29	154–278	1 460	0,12	1 050–2 030
39	0,24	34–46	31	0,16	26–37	57	0,15	38–86
136	0,12	126–146	31	0,35	22–45	16	0,37	6–43
0,7	0,34	0,6–0,9	< 0,3			< 0,3		
15	0,11	14–16	24	0,10	22–27	14	0,05	12–16
2,4	0,62	1,6–3,5	1,5	0,47	0,9–2,4	1	0,00	
68	0,23	59–79	250	0,40	166–376	61	0,34	25–153
14	0,13	13–16	5,5	0,46	3,4–8,8	3,2	0,57	0,7–14
2,5	0,36	2,0–3,2	1,9	0,39	1,2–2,8	1,8	0,41	0,6–5,6
112	0,10	106–120	198	0,10	179–219	118	0,07	98–142
1,2	0,30	1,0–1,4	1,3	0,31	1,0–1,8	1	0,00	
34	0,07	32–35	25	0,13	22–29	10	0,17	6–16
98	0,16	88–108	103	0,12	90–117	130	0,13	91–186
239	0,14	218–262	194	0,21	156–243	47	0,36	18–122
44	0,48	32–59	27	0,40	18–41	32	0,54	8–137

Die Konzentrationsangaben der Oxide erfolgen in %, diejenigen der Elemente As bis Zr in mg/kg und von Hg in µg/kg.

Analysenmethode: \* = AAS, sonst RFA.

Kalkstein n = 25

	$x_g$	$s_v$	V
SiO <sub>2</sub>	5,5	0,37	3,8–7,9
TiO <sub>2</sub>	0,07	0,41	0,05–0,10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,6	0,39	1,1–2,4
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,72	0,34	0,5–1,0
MnO	0,04	0,40	0,03–0,06
MgO	0,01	1,32	0,003–0,04
CaO	48,1	0,05	45,7–50,6
Na <sub>2</sub> O	0,01	1,02	0,002–0,015
K <sub>2</sub> O	0,24	0,41	0,16–0,36
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,05	0,30	0,04–0,06
*As	3,6	0,39	2,5–5,3
Ba	24	0,83	11–53
*Cd	< 0,3		
Ce	1	0,00	
*Co	5	0,36	3–7
Cr	5	0,75	2–9
*Cu	9	0,30	7–12
La	6	0,72	3–13
*Li	6	0,41	3,8–8,6
Mo	1,1	0,13	0,9–1,2
Nb	3,1	0,35	2,2–4,4
*Ni	16	0,30	12–22
*Pb	38	0,17	32–45
Rb	14	0,30	10–19
*Sb	< 0,3		
Sc	1,1	0,18	0,9–1,3
Sn	1,1	0,27	0,9–1,5
Sr	294	0,54	173–500
Th	3,5	0,52	2,1–5,8
U	1,3	0,27	1,0–1,6
V	36	0,15	31–41
W	1,1	0,14	0,9–1,2
Y	7	0,35	5–10
*Zn	35	0,29	26–46
Zr	24	0,35	17–33
*Hg	18	0,40	12–27

$x_g$  = geometrisches Mittel  
 $s_v$  = Standardabweichung der Zehner-  
 logarithmen der Elementkonzentrationen  
 n = Anzahl der Proben  
 V = Vertrauensgrenzen (untere und obere  
 Grenze) der Mittelwerte für eine Sicher-  
 heitsschwelle von 95%

**Tab. 13.2:** Durchschnittliche Elementgehalte in verschiedenen Ausgangsmaterialien der Bodenbildung (aus Hindel und Fleige, 1988)

Mergelstein n = 13			Glimmerschiefer n = 11			Löss n = 37		
x <sub>g</sub>	s <sub>y</sub>	V	x <sub>g</sub>	s <sub>y</sub>	V	x <sub>g</sub>	s <sub>y</sub>	V
35,6	0,12	29,6–42,7	59,2	0,08	52,1–67,2	66,4	0,06	63,3–69,8
0,43	0,11	0,37–0,51	0,75	0,18	0,6–1,0	0,65	0,08	0,60–0,69
9,8	0,11	8,2–11,6	17,4	0,08	15,1–20,0	8,9	0,10	8,3–9,7
3,5	0,14	2,8–4,3	6,7	0,17	5,0–9,0	3,3	0,13	3,0–3,7
0,09	0,36	0,05–0,15	0,10	0,21	0,08–0,15	0,07	0,10	0,06–0,07
2,2	0,63	0,9–5,5	1,8	0,30	1,1–3,0	1,0	0,26	0,8–1,2
15,7	0,26	10,8–22,9	0,67	0,40	0,3–1,3	2,6	0,66	1,6–4,4
0,15	0,72	0,05–0,42	1,4	0,37	0,8–2,6	0,82	0,10	0,76–0,89
2,0	0,21	1,5–2,8	2,1	0,20	1,5–2,9	1,9	0,08	1,8–2,0
0,11	0,20	0,09–0,16	0,11	0,21	0,08–0,17	0,11	0,11	0,10–0,12
6,7	0,27	4,5–10	5,9	0,29	3,7–9,6	6,5	0,16	5,7–7,4
242	0,15	194–302	468	0,31	282–777	335	0,08	315–356
< 0,3			< 0,3			< 0,3		
12	0,75	4–35	30	0,74	9–102	44	0,42	32–61
17	0,23	12–24	25	0,08	22–29	9	0,18	8–10
55	0,15	44–69	65	0,15	51–84	67	0,15	59–75
23	0,25	16–33	28	0,19	21–39	15	0,11	14–16
13	0,63	5–32	17	0,62	6–48	15	0,62	9–24
33	0,27	22–48	32	0,17	24–42	21	0,10	19–23
1	0,00		1,4	0,26	0,9–2,2	1,2	0,29	0,9–1,5
9	0,18	7–12	12	0,16	9–16	14	0,09	13–15
49	0,19	37–65	39	0,22	27–57	28	0,14	25–31
50	0,11	43–59	35	0,08	30–40	34	0,12	31–37
81	0,18	63–106	77	0,21	55–109	78	0,10	72–84
< 0,3			< 0,3			0,4	0,31	0,3–0,6
10	0,20	8–14	19	0,20	14–26	9	0,13	8–10
2,1	0,60	0,9–5,0	1,3	0,42	0,7–2,7	1,8	0,54	1,2–2,8
281	0,34	171–461	118	0,31	71–196	123	0,21	104–145
11	0,34	6,6–18,0	12	0,11	10–14	14	0,25	11–17
2,3	0,43	1,2–4,3	2,7	0,42	1,4–5,5	2,1	0,38	1,6–2,8
78	0,11	66–91	136	0,21	97–192	64	0,13	58–71
1,3	0,31	0,9–2,1	1,5	0,59	0,6–4,0	1,4	0,35	1,1–1,9
19	0,10	16–22	27	0,19	20–37	32	0,08	30–34
71	0,18	58–87	124	0,11	102–150	53	0,18	46–61
101	0,18	77–132	137	0,35	78–243	414	0,14	369–464
32	0,37	18–55	15	0,28	9–23	22	0,35	16–28

Die Konzentrationsangaben der Oxide erfolgen in %, diejenigen der Elemente As bis Zr in mg/kg und von Hg in µg/kg.

Analysenmethode: \* = AAS, sonst RFA.

Sand n = 43

	$x_g$	$s_y$	V
SiO <sub>2</sub>	92,4	0,01	91,5–93,3
TiO <sub>2</sub>	0,11	0,21	0,09–0,13
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,9	0,16	2,6–3,3
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,49	0,27	0,40–0,60
MnO	0,01	0,37	0,01–0,02
MgO	< 0,1		
CaO	0,10	0,48	0,07–0,14
Na <sub>2</sub> O	0,48	0,26	0,40–0,58
K <sub>2</sub> O	1,05	0,17	0,92–1,19
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,02	0,26	0,019–0,028
*As	1,3	0,20	1,1–1,5
Ba	218	0,17	193–247
*Cd	< 0,3		
Ce	1,4	0,42	1,0–1,8
*Co	< 3		
Cr	1,5	0,46	1,0–2,1
*Cu	< 3		
La	1,1	0,20	0,9–1,2
*Li	7	0,20	6,1–8,2
Mo	1	0,00	
Nb	5	0,28	4–6
*Ni	5	0,33	4,0–6,6
*Pb	10	0,24	8,7–12,3
Rb	40	0,15	36–45
*Sb	< 0,3		
Sc	1,4	0,24	1,2–1,6
Sn	3	0,68	1,8–4,9
Sr	40	0,18	35–46
Th	3,4	0,46	2,4–4,7
U	1,9	0,35	1,5–2,5
V	3,3	0,65	2,0–5,3
W	1,1	0,16	0,9–1,2
Y	2,2	0,40	1,6–2,9
*Zn	11	0,25	9,3–13,3
Zr	125	0,23	106–148
*Hg	< 10		

$x_g$  = geometrisches Mittel  
 $s_y$  = Standardabweichung der Zehner-  
 logarithmen der Elementkonzentrationen  
 n = Anzahl der Proben  
 V = Vertrauensgrenzen (untere und obere  
 Grenze) der Mittelwerte für eine Sicher-  
 heitsschwelle von 95%

**Tab. 13.3:** Durchschnittliche Elementgehalte in verschiedenen Ausgangsmaterialien der Bodenbildung (aus Hindel und Fleige, 1988)

Sandstein n = 33			Geschiebelehm n = 11			Granit n = 7		
$x_g$	$s_y$	V	$x_g$	$s_y$	V	$x_g$	$s_y$	V
85,1	0,02	83,3–86,9	81,2	0,03	76,9–85,5	73,9	0,04	67,5–80,8
0,27	0,24	0,22–0,33	0,37	0,24	0,25–0,55	0,15	0,40	0,06–0,38
6,2	0,19	5,3–7,3	7,1	0,21	5,0–10,0	12,5	0,12	9,5–16,4
1,6	0,32	1,20–2,05	2,2	0,27	1,4–3,4	1,1	0,41	0,44–2,88
0,02	0,49	0,01–0,03	0,04	0,39	0,02–0,07	0,02	0,49	0,005–0,05
0,09	0,95	0,04–0,19	0,42	0,39	0,22–0,80	0,06	1,27	0,003–1,19
0,02	0,76	0,01–0,04	0,44	0,32	0,26–0,75	0,09	0,64	0,02–0,4
0,15	0,64	0,08–0,24	0,72	0,24	0,48–1,07	1,1	0,36	0,47–2,51
1,7	0,32	1,28–2,21	1,9	0,16	1,42–2,41	6,3	0,15	4,4–9,1
0,05	0,21	0,04–0,06	0,05	0,23	0,04–0,08	0,05	0,43	0,02–0,14
4,7	0,35	3,6–6,3	3,4	0,30	2,1–5,5	1,8	0,19	1,2–2,9
228	0,66	132–394	335	0,17	253–444	496	0,22	295–835
< 0,3			< 0,3			< 0,3		
11	0,77	6–22	16	0,79	5–58	32	0,72	6–169
5	0,38	4,0–7,5	6	0,33	4–11	4	0,43	2–12
17	0,73	9–30	20	0,68	6–60	2	0,47	0,5–4,5
8	0,38	5,7–10,8	9	0,43	4–17	4	0,36	2–10
3	0,70	1,7–5,5	6	0,73	2–19	3	0,81	0,5–19
21	0,22	17–25	13	0,28	8–21	31	0,35	14–70
1	0,15	0,9–1,2	1	0,00		1,2	0,18	0,8–1,8
7	0,27	5,4–8,6	9	0,15	7–11	11	0,17	7–16
14	0,33	10–18	15	0,42	7–29	8	0,36	4–19
20	0,25	16–25	20	0,09	17–24	25	0,46	9–72
67	0,26	54–83	72	0,18	54–97	220	0,12	167–291
0,6	0,44	0,4–0,8	< 0,3			0,4	0,51	0,13–1,4
3,1	0,35	2,3–4,1	6	0,37	3–10	2,7	0,42	1,0–7,0
3,6	0,70	2,0–6,4	3,4	0,73	1–11	1	0,00	
60	0,29	47–77	81	0,24	55–120	58	0,55	16–204
8,4	0,32	6,3–10,9	6,3	0,51	2,7–14,5	20	0,17	14–31
2,1	0,36	1,6–2,9	2,4	0,37	1,3–4,4	3,7	0,29	1,9–7,2
27	0,49	18–41	29	0,73	9–94	4,5	0,82	0,7–30
1,2	0,23	1,0–1,5	1,2	0,25	0,8–1,8	1	0,00	
12	0,34	9–16	15	0,44	7–31	11	0,35	5–24
30	0,34	22–39	36	0,28	22–56	31	0,59	8–121
183	0,23	150–222	214	0,18	158–289	105	0,30	52–213
21	0,40	15–30	16	0,41	8–32	19	0,52	6–63

Die Konzentrationsangaben der Oxide erfolgen in %, diejenigen der Elemente As bis Zr in mg/kg und von Hg in µg/kg.

Analysenmethode: \* = AAS, sonst RFA.

### 2.4.2 Bodengenetische Prozesse

Die natürlichen Elementgehalte der Ausgangsmaterialien werden verändert durch interne bei der Bodenbildung ablaufende chemische, physikalische und biologische Prozesse und durch externe Faktoren wie Niederschlag, Temperatur, Wind, Relief, Tier- und Pflanzenwelt. Solche Einflüsse wirken sich folgendermaßen aus:

- als Verwitterung mit Karbonatauflösung, Mobilisierung von Alkalien und Erdalkalien, Mineralumbildungen und Verlagerungen von Humus, Tonmineralen und pedogenen Aluminium-, Eisen- und Manganoxihydroxiden;
- als Bioturbation (Vermengung durch Bodenwühler);
- als Erosion durch laterale Verlagerung, in den Eiszeiten auch als Solifluktion (Bodenfließen);
- in der Ausbildung, Menge, Art und Transformation der organischen Verbindungen im Boden;
- in der Menge des natürlichen Elementeintrages aus der Atmosphäre usw.

Normalerweise jedoch beeinflussen die bodengenetischen Prozesse, wie sie unter den heutigen Klimabedingungen ablaufen, die Gehalte der hier berücksichtigten Elemente wesentlich weniger als die Ausgangsmaterialien der Bodenbildung.

Böden aus Karbonatgesteinen und Paläoböden bilden hier eine Ausnahme. Bei den Karbonatgesteinen bleiben durch Weglösung von Kalzium und Magnesium die eingelagerten meist silikatischen Mineralien („Residualtone“) zurück; bei intensiver tropischer Verwitterung wurden im Laufe der Erdgeschichte neben den Karbonatgesteinen auch Silikatgesteine unter Wegfuhr von Alkalien und Erdalkalien, zum Teil auch von Silizium, im Stoffbestand sehr stark verändert. Eisen und Aluminium, aber auch Chrom, Nickel, Kupfer, Zink und Cadmium sowie Phosphor und Titan können angereichert sein. Solche Paläoböden aus dem Tertiär, seltener auch aus der Kreide und dem Quartär, sind noch heute auf Landoberflächen beispielsweise in Bayern und Baden-Württemberg vor allem nördlich der Donau verbreitet (Jerz, 1993). Diese reliktschen Böden können Bestandteile der heutigen Böden sein und durch ihre Schwermetallanreicherungen auffallen.

### 2.4.3 Einfluss des pH-Wertes auf den Boden

Die gesamten chemischen, biotischen und physikalischen Bodenbildungsprozesse, vor allem die Verfügbarkeit und Speicherfähigkeit der Pflanzensubstanzen, werden durch den pH-Wert gesteuert. Mit dem pH-Wert wird die Säurekonzentration in der Bodenlösung angegeben. Er ist Kennzeichen für die Wasserstoffionen-Konzentration, dargestellt durch den negativen dekadischen Logarithmus von  $[H^+]$ . Dann entspricht  $10^{-7}$  dem Wert 7, der ein neutrales Milieu anzeigt. Werte über 7 geben ein basisches/alkalisches, unter 7 ein saures Milieu an.

Der pH-Wert des Bodens ändert sich ständig durch Niederschlag, Wasserbewegung und molekulare Diffusion, Austauschvorgänge mit Mineral- und Humusoberflächen sowie Organismen. Schwankungen des pH-Wertes treten im Freiland sowohl jahreszeitlich als auch örtlich auf. In der Regel sinkt der pH-Wert in den Sommermonaten ab und steigt dann in den Wintermonaten wieder an. Diese jahreszeitliche Schwankung entsteht im wesentlichen durch die Änderung des Salzgehaltes und die biologische Aktivität. Örtliche pH-Unterschiede sind v.a. auf die nesterartige Verteilung von alkalischen und sauren bzw. Säure bildenden Düngern zurückzuführen. Weiterhin bestehen pH-Unterschiede zwischen dem Ober- und Unterboden. In Naturböden steigt in der Regel der pH-Wert von oben nach unten an, weil die Auswaschung in Oberflächennähe intensiver ist. In Kulturböden ist dagegen infolge Zufuhr alkalischer Dünger der pH-Wert im Oberboden häufig höher als im Unterboden.

Die höchsten pH-Werte treten im ariden Klimabereich auf (bis pH 11) und im humiden Klimabereich in  $CaCO_3$ -haltigen Böden (pH 8,5). Die niedrigsten pH-Werte kommen in Hochmoorböden (pH 3,0) und in Podsolen vor (pH 2–3).

Der pH-Wert nimmt auf die chemischen, physikalischen und biologischen Eigenschaften der Böden großen Einfluss. Viele bodengenetische Prozesse (s. 2.4.2) werden vom pH-Wert beeinflusst. Beispielsweise ist die chemische Verwitterung vom pH-Wert abhängig. Je niedriger er ist, desto höher ist die chemische Verwitterung. Auch kommt es in diesem Fall zu einer erheblichen Einschränkung der biotischen Aktivitäten. Dauert dieser Zustand über

längere Zeit an, etwa durch den Eintrag saurer Niederschläge, so werden die Bodenlebewesen geschädigt, Nährstoffverluste treten ein und ein Sterben der Vegetation kann die Folge sein. Zwar verfügen die Böden über verschiedene Puffersysteme, mit denen der Säureeintrag über eine bestimmte Zeit ausgeglichen werden kann; ständiger Säureeintrag führt jedoch zur Zerstörung dieser Pufferzone. Im Endstadium kommt es zur vollständigen Auswaschung der Pflanzennährstoffe und zur Freisetzung von Metallionen, die potenzielle Zellgifte sind. Die Metallionen gelangen schließlich ins Grundwasser und belasten dies in erheblicher Weise.

Die Abhängigkeit des Schwermetallgehaltes im Boden vom pH-Wert zeigt beispielhaft folgende Tabelle (aus der gemeinsamen Verwaltungsvorschrift des Ministeriums für Umwelt und Verkehr und des Sozialministeriums über Orientierungswerte für die Bearbeitung von Altlasten und Schadenfällen in Baden-Württemberg):

**Tab. 14:** Hintergrundwerte für den mobilen Gehalt im Oberboden in Abhängigkeit vom pH-Wert [in µg/kg]

	pH-Wert								
	< 4	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5
As	60	50	40	40	40	40	40	45	50
Cd	80	65	35	18	13	8	6	5	5
Cr	50	40	30	13	12	11	12	15	15
Cu	300	250	250	250	250	250	275	300	400
Hg	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ni	1 000	1 000	800	450	300	250	200	200	200
Pb	3 000	2 500	1 000	90	25	15	8	5	4
Tl	50	40	25	18	14	11	12	13	15
Zn	5 000	4 000	3 500	2 000	700	250	190	150	120

Tabelle 14 zeigt, dass die Schwermetallgehalte – abgesehen von Quecksilber – stark von den pH-Werten abhängig sind. Allerdings verändern sich die Metallgehalte nicht gleichartig. Während As, Cu und Tl bei pH > 7 zunehmende



Werte zeigen, ist bei allen anderen Metallen ein stetiges Absinken der Gehalte bei pH-Erhöhung festzustellen.

Generell lässt sich jedoch feststellen, dass mit abnehmenden pH-Werten und steigenden Gesamtgehalten die Löslichkeit und Verfügbarkeit der meisten Metalle stark zunehmen. Damit ist vor allem auf belasteten Böden mit saurer Bodenreaktion mit einer erhöhten Schwermetallverfügbarkeit zu rechnen.

Auf den Gehalt an organischer Substanz eines Bodens hat der pH-Wert nur einen geringen Einfluss. Nach Scheffer & Schachtschabel (1989) kann in Naturböden ein überdurchschnittlicher Gehalt an organischer Substanz sowohl im stark sauren als auch im schwach alkalischen Milieu auftreten. In Kulturböden ist der Gehalt an organischer Substanz im pH-Bereich 5–8 unabhängig von der Höhe des pH-Wertes. In torfhaltigen Substraten jedoch bewirkt eine pH-Erhöhung einen verstärkten Abbau von Pflanzenresten und somit eine Reduzierung von organischer Substanz.

Liegt der pH-Wert in unkultivierten Böden unter 5, kann wegen der geringen biologischen Aktivität eine Kohlenstoffanreicherung erfolgen, wie es z. B. in Auflagehorizonten von Podsoilen und bei Moorböden der Fall ist.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Mobilität der Schwermetalle mit sinkendem pH-Wert steigt. Außerdem ist die Mobilität der Schwermetalle bei geringen Ton- und Kohlenstoffgehalten größer als bei entsprechend höheren Gehalten.

#### **2.4.4 Hintergrundwerte für Gesteine oder Böden**

Um die Auswirkungen des Bundes-Bodenschutzgesetzes auf die produzierende Industrie beurteilen zu können, sind fundierte fachliche Grundlagen zur Bewertung von Stoffgehalten im Boden nötig. Hierfür ist die Kenntnis des Istzustandes der Böden eine wesentliche Voraussetzung. Die Darstellung des Istzustandes von Böden und die Kennzeichnung von Böden mit naturbedingt oder siedlungsbedingt erhöhten Stoffgehalten sind mit Hintergrundgehalten und Hintergrundwerten möglich. Diese sind von der Bundesländer-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO, 1995) wie folgt definiert:

Der **Hintergrundgehalt** eines Bodens setzt sich zusammen aus dem geogenen Grundgehalt – das ist der Stoffbestand des Bodens, der sich aus dem Ausgangsgestein (lithogener Anteil) und den durch pedogenetische Prozesse beeinflussten Umverteilungen (An- oder Abreicherungen) von Stoffen im Boden ergibt – und der ubiquitären Stoffverteilung als Folge diffuser Einträge in den Boden. Die Formulierung „ubiquitär/diffus“ grenzt den Hintergrundgehalt von solchen Istgehalten ab, die durch punktuell hohe Stoffeinträge (z. B. punktueller Emittenteneinfluss, Altlasten) gegenüber den Hintergrundgehalten deutlich erhöht sind.

**Hintergrundwerte** sind repräsentative Werte für allgemein verbreitete Hintergrundgehalte eines Stoffes in Böden. Sie beruhen auf den ermittelten Hintergrundgehalten und bezeichnen unter Angabe der statistischen Kenngrößen und der Differenzierung hinsichtlich der Bodeneigenschaften und Standortverhältnisse sowie der Bezugsgrößen Nutzung und Gebietstyp die repräsentativen Stoffgehalte in Böden.

Die tabellarisch aufgelisteten Hintergrundwerte stammen größtenteils aus der Bestandsaufnahme der Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO, 1995). Diese Daten von Hintergrundgehalten in Böden wurden zum 15.2.1995 abgeschlossen. Die von den Ländern zusammengestellten Daten zu regionstypischen Hintergrundwerten wurden mit Stand 15.7.1994 aufgenommen. Weitere einschlägige Daten sind den Veröffentlichungen des Bayerischen Geologischen Landesamtes sowie den digitalen Umweltatlanten Hamburg und Berlin entnommen (Stand 1998).

Definitionsgemäß gehen punktuelle Belastungsschwerpunkte nicht in die Ermittlung von Hintergrundwerten ein. Daher muss darauf geachtet werden, dass die aufgelisteten Hintergrundwerte zwar großräumig einen Überblick geben, jedoch kleinräumig nicht ausreichend repräsentativ sind. So sind Aussagen zu regionstypischen Abweichungen, z. B. für Gebiete mit Verdichtungsansätzen, nicht möglich.

Bei der Auflistung wurden die Hintergrundwerte wie folgt differenziert:

- Substrattyp (bei anorganischen Stoffen)
- Nutzung (und damit Horizonte)
- siedlungsstruktureller Gebietstyp

Zur Charakterisierung von Hintergrundwerten und deren Verteilung sind hauptsächlich die 50. und 90. Perzentile angegeben, da die Datenkollektive in der Regel nicht normalverteilt sind.

Im Einzelnen werden drei Kategorien von Hintergrundwerten für Gesteine und Böden aufgestellt:

- mittlere Gehalte anorganischer Problemstoffe in Gesteinen oder Böden (Literaturdaten)
- länderübergreifende Hintergrundwerte für anorganische Stoffe in Böden
- länderspezifische Hintergrundwerte für anorganische und organische Böden

**Mittlere Gehalte anorganischer Problemstoffe in Gesteinen oder Böden  
(Literaturdaten aus Suttner, Außendorf, Martin, 1998)**

**Tab. 15:** Mittlere Gehalte (mg/kg) anorganischer Problemstoffe in Gesteinen oder Böden

<b>Gesteine (weltweit)</b>	<b>As</b>	<b>Cd</b>	<b>Co</b>	<b>Cr</b>
Sandsteine <sup>2,6,9</sup>	1	0,06	0,x	20
Sandsteine <sup>1</sup>	1	0,0x	0,3	35
Grauwacken <sup>10</sup>	8	0,09	20	50
Löss <sup>8</sup>			10	44
Tonsteine <sup>10</sup>	10	0,13	19	90
Tonige Gesteine <sup>1</sup>	6,6	0,3	20	100
Karbonatgesteine <sup>10</sup>	2,5	0,16	2	11
Kalksteine <sup>1</sup>	1	0,035	0,1	11
Granitische Gesteine <sup>10</sup>	1,5	0,09	4	12
Granite <sup>1</sup>	1,5	0,1	5	25
Gneise, Glimmerschiefer <sup>10</sup>	4,3	0,10	13	76
Basaltisch-gabbroide Gesteine <sup>10</sup>	1,5	0,10	48	168
Basite <sup>1</sup>	2,0	0,19	45	200
Ultrabasische Gesteine <sup>2,9</sup>	1	0,1	150	1 600
Ultrabasite <sup>1</sup>	0,5	0,05	200	2 000
Schwarzschiefer <sup>1</sup> (Mitteleuropa)			70	200
Kupferschiefer <sup>7</sup> (Mitteleuropa)	x00	x00	x00	x00

<b>Cu</b>	<b>Hg</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Se</b>	<b>TI</b>	<b>V</b>	<b>Zn</b>
x	0,0x	2	8	0,05	0,2	20	25
x	0,03	2	7	0,05	0,82	20	15
45	0,11	40	14	0,1	0,20	67	105
17		21	12		0,4	65	54
45	0,45	68	22	0,5	0,68	130	95
57	0,27	95	20	0,6	1	130	80
4	0,03	15	5	0,19	0,05	20	23
4	0,04	20	9	0,08	0,0x	20	20
13	0,03	7	32	0,04	1,1	94	50
20	0,04	8	20	0,5	1,5	40	60
23	0,02	26	16	0,08	0,65	60	65
90	0,02	134	3,5	0,09	0,08	251	100
100	0,09	160	8	0,5	0,2	200	130
10	0,0x	2 000	2	0,05	0,2	40	50
20	0,01	2 000	0,1	0,5	0,01	40	30
310		425	28			1 200	400
x0 000	x0	x00	x0 000	x00	x0	x000	x0 000

Fortsetzung Tab. 15: Mittlere Gehalte (mg/kg) anorganischer Problemstoffe in Gesteinen oder Böden

<b>Böden (Deutschland)</b>	<b>As</b>	<b>Cd</b>	<b>Co</b>	<b>Cr</b>
Hochmoortorf <sup>3</sup>	1,0	< 0,3	< 3	
Niedermoortorf <sup>3</sup>	6,0	0,4	4	
Sand <sup>4</sup>	1	< 0,3	< 3	9
Sandstein <sup>4</sup>	4	< 0,3	4	30
Löss <sup>4</sup>	6	< 0,3	8	110
Geschiebemergel, Geschiebelehm <sup>4</sup>	3	0,3	6	28
Tongesteine <sup>4</sup>	9	< 0,3	20	115
Mergelstein <sup>4</sup>	7	< 0,3	13	61
Kalkstein <sup>4</sup>	7	0,4	6	40
Saure Magmatite/Metamorphite <sup>4</sup>	4	0,3	< 3	10
Gneis <sup>4</sup>	4	0,4	17	69
Glimmerschiefer <sup>4</sup>	9	< 0,3	26	57
Basische Magmatite/Metamorphite <sup>4</sup>	1	< 0,3	56	455
Ultrabasische Magmatite/Metamorphite <sup>4</sup>	1	< 0,3	105	1 260
<b>Böden/Gesteine (regional)</b>	<b>As</b>	<b>Cd</b>	<b>Co</b>	<b>Cr</b>
Löss <sup>7</sup> (Südbayern)		0,20		75
Löss <sup>5</sup> (Göttingen)		0,06	15	70
Lehmige Tone <sup>7</sup> (Tertiär)		0,14	16	86
Hauptdolomit <sup>7</sup> (Nordalpen)		0,05	< 2	6

<b>Cu</b>	<b>Hg</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Se</b>	<b>Tl</b>	<b>V</b>	<b>Zn</b>
< 3	0,023	4	7				14
10	0,056	12	17				29
< 3	< 0,02	4	8			11	8
7	< 0,02	13	26			30	22
13	< 0,02	27	31			56	42
	< 0,02	14	19			36	34
24	< 0,03	63	32			112	95
24	0,02	36	49			73	60
16	0,04	16	54			55	41
4	< 0,02	5	30			13	45
17	0,02	38	21			110	99
30	0,03	32	48			126	156
67	< 0,02	277	32			222	133
123	0,02	1 141	36			97	132
<b>Cu</b>	<b>Hg</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Se</b>	<b>Tl</b>	<b>V</b>	<b>Zn</b>
18	0,1	27	20				60
35		22	13				75
36		43	23				88
2		2	< 3				5

**Länderübergreifende und länderspezifische Hintergrundwerte für Böden**

In den Tabellen 16 und 17 sind die Hintergrundwerte für Böden in Deutschland aufgelistet. Es werden folgende Stoffe und Substrate berücksichtigt sowie Nutzungstypen und siedlungsbedingte Gebietstypen unterschieden:

**Tab. 16 und 17:** Länderübergreifende und länderspezifische Hintergrundwerte für Böden

<b>Stoffe:</b>	<b>Anorganische Stoffe</b>	<b>Organische Stoffe</b>
	As	PAK
	Cd	B(a)p
	Cr	Flu
	Cu	PCB
	Ni	HCH
	Pb	HCB
	Zn	PCDD/F
	Hg	
	Tl	
	Sb	
<b>Substrate:</b>	Sande (Flugsande, Talsande usw.)	
	Sedimente im Gezeitenbereich	
	Löss	
	Geschiebelehm, Geschiebemergel	
	Torf (Hochmoor/Niedermoor)	
	Tonstein, Tonschiefer, Phyllit	
	Sandstein, Quarzit, Grauwacken	
	Kalkstein	
	Mergelstein	
	saure Magmatite und Metamorphite (Granit, Gneis)	
	basische Magmatite und Metamorphite (Gabbro, Diabas, Amphibolit, Basalt)	
	ultrabasische Magmatite und Metamorphite (pykritischer Basalt)	
	ohne Differenzierung nach Ausgangssubstraten	
<b>Nutzungstypen:</b>	Ackeroberboden (Ap)	
	Grünlandoberboden (Ah)	
	Waldoberboden (Ah)	
	Waldauflage (Of, Oh)	
	Oberboden ohne Differenzierung nach Nutzungstypen (NT)	
<b>Siedlungsstrukturelle Gebietstypen:</b>	Typ I: Regionen mit großen Verdichtungsräumen	
	Typ II: Regionen mit Verdichtungsansätzen	
	Typ III: ländlich geprägte Regionen	
	Typ 0: ohne Differenzierung nach siedlungsstrukturellen Gebietstypen	
<b>Abkürzungen:</b>	P = Perzentilwert	



### Länderübergreifende Hintergrundwerte für anorganische Stoffe in Böden

Die Werte basieren auf den Analysendaten von ca. 16 000 Bodenproben, die nach flächenrepräsentativ bundeseinheitlichen Kriterien gewonnen wurden. Sie geben den in Abhängigkeit von bodenbildendem Ausgangssubstrat typischen Hintergrundwert von Böden im ländlichen Raum an. Aussagen zu regionstypischen Abweichungen sind nicht möglich.

Tab. 16.1: Länderübergreifende Hintergrundwerte für Böden<sup>1</sup>

#### Anorganische Stoffe (Gesamtgehalte)<sup>2,3</sup>

\*Gebietstyp III, ländlich geprägte Region

Substrat: Sande

mg/kg	n	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Sb	Zn
Ackeroberboden	27									
50. P		2,0	< 0,3		3	0,03	< 3	13	< 0,3	14
90. P		3,0	< 0,3		13	0,35	< 3	40	< 0,3	51
Grünlandoberboden										
50. P										
90. P										
Waldoberboden	120			n = 71						
50. P		2,0	< 0,3	7	< 3	0,04	4	19	0,4	14
90. P		4,0	< 0,3	21	< 3	0,14	10	38	1,0	33
Waldauflage	107									
50. P		3,0	0,9		24	0,45	13	141	2,8	117
90. P		10,0	1,7		69	0,95	25	356	7,5	231

Fortsetzung Tab. 16.1: Länderübergreifende Hintergrundwerte für Böden<sup>1</sup>

Substrat: Löss

mg/kg	n	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Sb	Zn
Ackeroberboden	54			n = 34						
50. P		7,0	< 0,3	125	20	0,08	32	41	0,6	65
90. P		9,6	< 0,3	149	25	0,16	44	51	1,1	89
Grünlandoberboden										
50. P										
90. P										
Waldoberboden	61			n = 34						
50. P		6,0	< 0,3	111	10	0,05	21	32	0,4	46
90. P		10,9	< 0,3	124	16	0,18	34	59	1,6	33
Waldauflage	22									
50. P		4,0	0,7		14	0,40	18	90	0,8	73
90. P		15,0	1,3		96	1,58	49	587	8,4	287

<sup>1</sup> Quelle: Die Werte wurden erstellt auf der Grundlage von Ergebnissen aus den UBA-F+E-Vorhaben Grupe, M.; H. Kuntze (1992); Hindel, R.; H. Fleige (1991) und Hindel et al. (1994).

<sup>2</sup> Leerfelder = es liegen keine Angaben vor (n < 20!).

<sup>3</sup> Analytik: Pb, Cu, Zn, Cd, Ni      HF + HClO<sub>4</sub> (Druck)  
 As, Sb                              Königswasser  
 Hg                                    Pyrolyse (900 °)  
 Cr                                     Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA)

Fortsetzung Tab. 16.1: Länderübergreifende Hintergrundwerte für Böden<sup>1</sup>

Substrat: Geschiebelehm

mg/kg	n	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Sb	Zn
Ackeroberboden	26									
50. P		3,0	< 0,3		10	0,05	11	28	0,3	40
90. P		5,4	< 0,3		14	0,08	19	32	0,9	76
Grünlandoberboden										
50. P										
90. P										
Waldoberboden	20									
50. P		5,0	< 0,3		7	0,08	12	29	0,4	36
90. P		8,0	< 0,3		18	0,17	41	44	0,9	71
Waldauflage	22									
50. P		2,0	0,7		18	0,35	11	82	1,0	82
90. P		8,7	1,3		116	0,83	18	266	6,8	266

Substrat: Sedimente im Gezeitenbereich (Marschen)

mg/kg	n	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Sb	Zn
Ackeroberboden										
50. P										
90. P										
Grünlandoberboden	38									
50. P		11,0	0,5		15	0,17	23	48	0,5	125
90. P		15,2	0,9		30	0,49	31	62	1,2	169
Waldoberboden										
50. P										
90. P										
Waldauflage										
50. P										
90. P										

Fortsetzung Tab. 16.1: Länderübergreifende Hintergrundwerte für Böden<sup>1</sup>

Substrat: Tonstein

mg/kg	n	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Sb	Zn
Ackeroberboden	79									
50. P		8,0	0,5		21	0,07	43	47	0,3	92
90. P		10,0	1,1		27	0,14	74	61	0,6	121
Grünlandoberboden	207			n = 32						
50. P		8,0	0,4	112	18	0,07	58	49	0,6	99
90. P		11,0	1,1	133	24	0,11	76	66	0,9	123
Waldoberboden	196			n = 79						
50. P		8,0	0,3	105	16	0,13	40	61	0,8	85
90. P		15,0	1,3	126	24	0,29	56	117	1,8	129
Waldauflage	220									
50. P		4,0	0,7		19	0,45	20	108	1,8	85
90. P		9,0	1,4		36	0,95	39	340	4,3	144

Substrat: Sandstein

mg/kg	n	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Sb	Zn
Ackeroberboden	112									
50. P		5,0	0,3		12	0,07	16	45	0,3	41
90. P		7,0	0,9		15	0,11	30	75	0,6	63
Grünlandoberboden	75									
50. P		5,0	0,3		9	0,06	16	44	0,3	38
90. P		7,0	0,6		15	0,09	30	65	0,6	79
Waldoberboden	286			n = 59						
50. P		4,0	< 0,3	39	6	0,08	6	45	0,6	21
90. P		8,0	< 0,3	91	12	0,18	19	75	1,5	64
Waldauflage	281									
50. P		4,0	0,6		18	0,35	12	135	2,1	66
90. P		7,0	1,2		28	1,04	20	215	3,9	120

Fortsetzung Tab. 16.1: Länderübergreifende Hintergrundwerte für Böden<sup>1</sup>

Substrat: Kalkstein

mg/kg	n	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Sb	Zn
Ackeroberboden										
50. P										
90. P										
Grünlandoberboden										
50. P										
90. P										
Waldoberboden	442									
50. P		9,0	0,8		15	0,15	18	72	0,5	82
90. P		18,0	1,5		22	0,25	29	102	0,8	132
Waldauflage										
50. P										
90. P										

Substrat: Basalt

mg/kg	n	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Sb	Zn
Ackeroberboden	136									
50. P		3,0	0,5		49	0,06	204	42		137
90. P		5,0	0,8		71	0,10	339	49		168
Grünlandoberboden	119									
50. P		4,0	0,6		44	0,06	180	47		127
90. P		6,0	1,3		67	0,11	273	55		167
Waldoberboden	68									
50. P		4,0	0,5		40	0,08	165	55	0,4	152
90. P		6,0	1,2		61	0,14	274	76	0,7	190
Waldauflage	79									
50. P		2,0	1,0		28	0,25	57	84	1,2	106
90. P		5,0	1,5		49	0,50	136	212	3,3	150

Fortsetzung Tab. 16.1: Länderübergreifende Hintergrundwerte für Böden<sup>1</sup>

**\* Gebietstyp III, ohne Nutzungsbezug**

Substrat: Hochmoortorf<sup>4</sup>

mg/kg	n	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Sb	Zn
50. P	52	1,0	0,2		4	0,03	4	9	0,3	22
90. P	52	4,0	1,1		18	0,22	12	92	2,5	77

Substrat: Niedermoortorf<sup>4</sup>

mg/kg	n	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Sb	Zn
50. P	120	3,0	0,4		8	0,08	9	16	0,5	25
90. P	120	10,0	1,2		34	0,26	23	53	1,6	91

Substrat: Mergelstein

mg/kg	n	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Sb	Zn
50. P	36	12,0	0,5		28	0,11	46	59	0,4	97
90. P	36	13,8	1,1		45	0,19	97	114	1,1	157

Substrat: Pikrit

mg/kg	n	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Sb	Zn
50. P	21	4,0	0,6		82	0,07	419	58	0,5	135
90. P	21	6,0	0,8		140	0,14	646	104	1,4	206

<sup>4</sup> Torfe aus unterschiedlichen Tiefen (bis 2 m).

**Tab. 16.2:** Hintergrundwerte für Waldböden – Deutschland (Daten der Begleitstudie zur BZE-W)<sup>1</sup>**Anorganische Stoffe (Gesamtgehalte)**\*Ohne Differenzierung nach Ausgangssubstraten.<sup>2</sup>

mg/kg		n	Cd	Cu	Pb	Zn
Waldoberboden						
Typ 0	50. P	62	0,25	9,5	39,5	43,5
	90. P	62	0,85	41,5	117,0	163,8
Waldoberboden (0–5 cm)						
Typ 0	50. P	60	0,25	8,5	42,0	46,0
	90. P	60	0,75	38,0	90,0	158,5
Waldauflage						
	50. P	52	0,6	15,0	95,0	70,0
	90. P	52	1,2	48,0	330,0	188,0

**Organische Schadstoffe**

mg/kg		n	B(a)p
Waldoberboden			
Typ 0	50. P	62	0,024
	90. P	62	0,127
Waldauflage			
Typ 0	50. P	60	0,120
	90. P	60	0,608

<sup>1</sup> Quelle: UBA-F+E-Vorhaben 107 06 002 „Begleitstudie zur bundesweiten Bodenzustandserhebung Wald“ (Angaben für alte Bundesländer), UBA-Texte 6/94.

<sup>2</sup> HClO<sub>4</sub>/HNO<sub>3</sub>-Extraktion.

**Länderspezifische Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden**

Die Werte werden auf der Grundlage länderspezifischer Untersuchungen aufgestellt und ermöglichen wegen der höheren Datendichte eine bessere regionale Differenzierung und standorttypische Beschreibung der Hintergrundgehalte von Böden. Aufgrund der unterschiedlichen Erhebungsmethodik ist der regionale Geltungsbereich zu berücksichtigen. Die Daten liegen in den Ländern in unterschiedlicher Qualität und Quantität vor. Eine statistische Verrechnung im Sinne länderübergreifender Werte wird daher nicht als sinnvoll erachtet.

**Tab. 17.1:** Hintergrundwerte für Böden Baden-Württemberg

**Anorganische Stoffe (Gesamtgehalte)**

Substrat: Granit<sup>1</sup>

mg/kg		As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg	Tl
ohne Diff. nach NT										
Typ III	90. P	–	–	32	12	14	46	85	–	–

Substrat: Gneis<sup>2</sup>

mg/kg		As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg	Tl
ohne Diff. nach NT										
Typ III	90. P	–	–	84	53	43	72	118	–	–

Substrat: Ölschiefer<sup>3</sup>

mg/kg		As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg	Tl
ohne Diff. nach NT										
Typ III	90. P	45	2,2	–	75	190	–	190	–	5,7

<sup>1</sup> Hintergrundwerte nach Tab. III, Anlage 1 der 3. VwV zum BodSchG Baden-Württemberg.

<sup>2</sup> Hintergrundwerte nach Tab. III, Anlage 1 der 3. VwV zum BodSchG Baden-Württemberg.

<sup>3</sup> Hintergrundwerte nach Tab. II, Anlage 1 der 3. VwV zum BodSchG Baden-Württemberg.



Fortsetzung Tab. 17.1: Hintergrundwerte für Böden Baden-Württemberg

Substrat: Tonstein/Tonmergel

mg/kg	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg	Tl
ohne Diff. nach NT									
Typ III 90. P	–	–	32	12	14	46	85	–	–

Substrat: Böden aus Residualton

mg/kg	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg	Tl
ohne Diff. nach NT									
Typ III 90. P	–	2,2	120	–	130	–	190	–	–

Alle weiteren Ausgangssubstrate<sup>4</sup>

mg/kg	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg	Tl
ohne Diff. nach NT									
Typ I 90. P	35	2,5	100	180	50	160	350	0,5	0,7
Typ III 90. P									
Tongehaltsstufe 1 <sup>5</sup>	6	0,2	20	10	15	25	35	0,05	0,2
Tongehaltsstufe 2	15	0,3	35	20	25	35	60	0,10	0,4
Tongehaltsstufe 3	17	0,4	50	30	40	40	75	0,10	0,4
Tongehaltsstufe 4	17	0,5	60	35	55	50	95	0,10	0,4
Tongehaltsstufe 5	17	0,6	75	50	70	55	110	0,12	0,5
Tongehaltsstufe 6	17	1,0	90	60	100	55	150	0,20	0,7
Waldoberboden <sup>6</sup>									
n	202	313	307	307	307	307	307	308	308
Typ III 50. P	9	0,11	33	15	22	31	56	0,06	0,22
90. P	16	0,62	57	29	49	59	106	0,13	0,53
Waldauflage									
n	130	147	143	143	143	143	143	143	142
Typ III 50. P	3	0,40	5	12	8	66	60	0,22	0,20
90. P	10	0,85	18	23	15	138	90	0,58	0,38

<sup>4</sup> Analytik: Königswasser.<sup>5</sup> Hintergrundwerte nach Tab. I, Anlage 1 der 3. VwV zum BodSchG Baden-Württemberg.<sup>6</sup> Quelle: Bodendauerbeobachtung in Baden-Württemberg, Materialien zum Bodenschutz, Band 2, LfU 1993.

Fortsetzung Tab. 17.1: Hintergrundwerte für Böden Baden-Württemberg

**NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>-extrahierbare Gehalte – Anorganische Stoffe**

\*Ohne Differenzierung nach Ausgangssubstraten, ohne Differenzierung nach Nutzungstypen (90. Perzentilwerte).

mg/kg	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg	Tl
Typ I	45	40	35	500	400	500	4 000	< 1	10

Differenzierung nach dem pH-Wert<sup>7</sup>

mg/kg	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg	Tl
Typ 0 pH < 4	60	80	50	300	1 000	3 000	5 000	1	50
4	50	65	40	250	1 000	2 500	4 000	1	40
4,5	40	35	30	250	800	1 000	3 500	1	25
5	40	18	13	250	450	90	2 000	1	18
5,5	40	13	12	259	300	25	700	1	14
6	40	8	11	250	250	15	250	1	11
6,5	40	6	12	275	200	8	190	1	12
7	45	5	15	300	200	5	150	1	13
7,5	50	5	15	400	200	4	120	1	15

<sup>7</sup> Hintergrundwerte für mobile Gehalte im Oberboden nach Tab. V, Anlage 1 der 3. VwV zum BodSchG Baden-Württemberg.

Fortsetzung Tab. 17.1: Hintergrundwerte für Böden Baden-Württemberg

**Organische Schadstoffe**

\*Gebietstyp III.

	PAK		HCB		PCB		HCH <sup>8</sup>		PCDD/F <sup>9</sup>
	µg/kg	n	µg/kg	n	µg/kg	n	µg/kg	n	ng l-Teq/kg
Ackeroberboden									
50. P	193	58	2	58	n.n.	58	< BS <sup>10</sup>	58	1
90. P	543	58	10	58	7	58	< BG	58	5
Grünlandoberboden									
50. P	255	65	n.n.	65	n.n.	65	< BG	65	0,5
90. P	525	65	4	65	4	65	< BG	65	2
Waldoberboden									
50. P	254	116	n.n.	116	2	116	< BG	116	4
90. P	1 993	116	2	116	24	116	< BG	116	40
Waldauflage									
50. P	1 147	62	3	62	38	62	29	62	15
90. P	2 977	62	7	62	107	62	54	62	20

<sup>8</sup> Summe (5 Verbindungen).<sup>9</sup> Einschließlich Ödland, Spielplätzen, Gärten, Brachflächen, Hofflächen usw.<sup>10</sup> BG = Bestimmungsgrenze PAK 10 µg/kg

PCB, HCB (0, p+pp)

HCB (alpha, beta, gama, delta, epsilon) je 1 µg/kg

Werte &lt; BG werden bei Summenbildung = 0 gesetzt.

Tab. 17.2: Hintergrundwerte für Böden – Brandenburg<sup>1</sup>

**Anorganische Stoffe<sup>2,3</sup>**

Substrat: Sand

mg/kg		As	n	Cd	n	Cu	n	Pb	n	Zn	n	Tl	n
Ackeroberboden													
Typ III	50. P	2,0	55	0,2	55	–	–	12,2	55	–	–	–	–
	90. P	4,5	55	0,2	55	–	–	21,5	55	–	–	–	–

Substrat: Lehm

mg/kg		As	n	Cd	n	Cu	n	Pb	n	Zn	n	Tl	n
Ackeroberboden													
Typ III	50. P	2,0	31	0,2	31	–	–	14,2	31	–	–	–	–
	90. P	2,9	31	0,2	31	–	–	18,7	31	–	–	–	–

Substrat: Sand – Lehm

mg/kg		As	n	Cd	n	Cu	n	Pb	n	Zn	n	Tl	n
Grünlandoberboden													
Typ III	50. P	2,0	43	0,2	43	3,9	20	14,2	43	16,7	20	0,1	20
	90. P	3,5	43	0,3	43	–	–	28,7	43	–	–	–	–
Waldoberboden													
Typ III	50. P	2,0	79	0,2	79	–	–	3,5	79	–	–	–	–
	90. P	4,7	79	0,2	79	–	–	32,0	79	–	–	–	–

Fortsetzung Tab. 17.2: Hintergrundwerte für Böden – Brandenburg<sup>1</sup>

Substrat: Niedermoor

mg/kg		As	n	Cd	n	Cu	n	Pb	n	Zn	n	Tl	n
Ackeroberboden													
Typ III	50. P	2,0	30	0,2	30	–	–	23,9	30	–	–	–	–
	90. P	4,2	30	0,3	30	–	–	25,1	30	–	–	–	–

<sup>1</sup> Quelle: Landesumweltamt Brandenburg.<sup>2</sup> Analytik: Königswasserextraktion.<sup>3</sup> Der siedlungsstrukturelle Gebietstyp ist nicht mit der Einteilung der Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung identisch: Typ III = ländlicher Raum.

## Organische Schadstoffe

		PAK	n	B(a)p	n	g-HCH	n
		mg/kg		µg/kg		µg/kg	
Ackerboden			31		13		13
Typ III	50. P	0,00		0		0	
	90. P	0,13		–	–	–	–
Grünlandoberboden			43		20		20
Typ III	50. P	0,54		0		0	
	90. P	1,10		–	–	–	–
Waldoberboden			79				
Typ III	50. P	0,00		–	–	–	–
	90. P	0,18		–	–	–	–

Tab. 17.3: Hintergrundwerte für Böden – Bayern

**Anorganische Stoffe (Gesamtgehalte)<sup>1</sup>**

Substrat: Sand/Sandstein

mg/kg		Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Waldoberboden <sup>2</sup>							
n		38	38	40	36	40	40
Typ 0	50. P	0,12	29,0	7,8	8,1	32,0	29,0
	90. P	0,26	55,0	14,0	13,0	52,0	69,0
Waldauflage							
n		32	31	31	33	33	30
Typ 0	50. P	0,53	11,0	14,0	9,0	78,0	60,0
	90. P	0,69	16,0	20,0	12,0	91,0	92,0

Substrat: Lösslehm/Lehm

mg/kg		Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Waldoberboden <sup>2</sup>							
n		102	105	101	104	106	105
Typ 0	50. P	0,10	45,0	9,0	12,0	36,0	39,0
	90. P	0,23	62,0	14,0	19,0	50,0	52,0
Waldauflage <sup>3</sup>							
n		87	86	85	86	86	85
Typ 0	50. P	0,50	11,0	14,0	10,0	74,0	59,0
	90. P	0,70	19,0	23,0	15,0	93,0	83,0

Fortsetzung Tab. 17.3: Hintergrundwerte für Böden – Bayern

Substrat: Kalkstein/Dolomit<sup>4</sup>

mg/kg		Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Waldoberboden <sup>2</sup>							
n		67	67	64	64	65	65
Typ 0	50. P	1,30	55,0	15,0	27,0	88,0	120,0
	90. P	3,40	92,0	21,0	44,0	185,0	250,0
Waldauflage							
n		67	63	64	63	66	65
Typ 0	50. P	0,80	8,0	12,0	4,7	81,0	94,0
	90. P	1,50	16,0	20,0	10,0	135,0	145,0

Substrat: Granit/Gneis (saurer magmatisches Gestein/metamorphes Gestein)

mg/kg		Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Waldoberboden <sup>2</sup>							
n		22	22	22	22	22	22
Typ 0	50. P	0,26	33,0	12,0	13,0	65,0	55,0
	90. P	0,48	58,0	18,0	20,0	91,0	99,0
Waldauflage <sup>3</sup>							
n		23	22	23	22	21	24
Typ 0	50. P	0,36	9,1	15,0	6,6	97,0	65,0
	90. P	0,68	18,0	23,0	12,0	130,0	100,0

Fortsetzung Tab. 17.3: Hintergrundwerte für Böden – Bayern

Organische Schadstoffe<sup>5,6</sup>

Gebietstyp <sup>7</sup>		PAK <sup>8</sup>		B(a)P		PCB		PCDD/F	
		µg/kg	n	µg/kg	n	µg/kg	n	ng/kg <sup>9</sup>	n
Typ II									
Acker	50. P	–	–	23,0	44	–	–	–	–
	90. P	–	–	142,0	44	–	–	–	–
Grünland	50. P	–	–	8,9	18	–	–	–	–
Typ III									
Acker/Grünland	50. P	–	–	7,9	53	–	–	–	–
	90. P	–	–	49,0	53	–	–	–	–
Typ II/III									
Acker	50. P	–	–	–	–	20,0	76	–	–
	90. P	–	–	–	–	154,0	76	–	–
Grünland	50. P	–	–	–	–	n.n.	60	–	–
	90. P	–	–	–	–	50,0	60	–	–
Acker/Grünland	50. P	321,0	85	–	–	–	–	0,16	115
	90. P	847,0	85	–	–	–	–	1,10	115
Waldoberboden	50. P	666,0	31	19,0	45	11,0	46	0,30	41
	90. P	1 590,0	31	300,0	45	67,0	46	3,30	41
Waldauflage	50. P	556,0	34	15,0	30	68,0	64	4,60	50
	90. P	2 060,0	34	90,0	30	546,0	64	30,0	50

<sup>1</sup> Gesamtgehalte: Totalaufschluss mit HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub>/HF-Aufschluss, Datenkollektive ausreißer-korrigiert (x + 4s).

<sup>2</sup> Ah-Horizontale ohne Gewichtung von Mächtigkeit oder Trockenraumgewicht und ohne Berücksichtigung der räumlichen Repräsentativität der Daten.

<sup>3</sup> Of-Horizonte ohne Gewichtung von Mächtigkeit oder Trockenraumgewicht und ohne Berücksichtigung der räumlichen Repräsentativität der Daten.

<sup>4</sup> Daten stammen ausschließlich aus den bayerischen Alpen.

<sup>5</sup> Quelle: Joneck und Prinz (1994).

<sup>6</sup> Datenkollektive ausreißerkorrigiert (Testkriterium x + 4s).

<sup>7</sup> Der siedlungsstrukturelle Gebietstyp ist nicht mit der Einteilung der Bundesanstalt für Landeskunde und Raumordnung identisch; Typ II = Verdichtungsraum; Typ III = ländlicher Raum.

<sup>8</sup> Summe PAK (B(a)P, BPe, CH, FA, PH, Py).

<sup>9</sup> ITEq.



Tab. 17.4: Hintergrundwerte für Böden – Bremen<sup>1</sup>**Anorganische Stoffe (Gesamtgehalte)<sup>2</sup>**

\*Ohne Differenzierung nach Ausgangssubstraten.

mg/kg	n	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg	Tl	
Ackeroberboden											
Typ I	50. P	<sup>111</sup>	2,9	0,1	13,0	8,0	3,0	50,0	31,0	0,05	0,06
	90. P	<sup>111</sup>	13,1	0,3	37,0	17,0	24,0	56,0	134,0	0,17	0,13
Grünlandoberboden											
Typ I	50. P	<sup>517</sup>	9,5	0,7	38,0	22,0	22,0	71,0	132,0	0,17	0,20
	90. P	<sup>517</sup>	16,6	2,0	70,0	47,5	40,0	169,0	246,0	0,61	0,40
Waldoberboden											
Typ I	50. P	<sup>45</sup>	3,3	0,1	6,0	10,0	3,0	49,0	35,0	0,11	0,06
	90. P	<sup>45</sup>	7,1	1,1	19,0	23,0	12,0	156,0	250,0	0,33	0,14

<sup>1</sup> Quelle: Bodenmessprogramm Bremen „Erfahrung und Dokumentation der Bodensituation im Lande Bremen“.

<sup>2</sup> Königswasserextrakt.

Tab. 17.5: Hintergrundwerte für Böden – Niedersachsen<sup>1,2</sup>**Anorganische Stoffe**

Substrat: Sand

mg/kg	n	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg	
Ackeroberboden								
Typ II	50. P	<sup>253</sup>	0,20	9	3	14	22	0,04
	90. P	<sup>253</sup>	0,40	14	5	23	41	0,07
Typ III	50. P	<sup>3 379</sup>	0,16	8	2	11	22	0,03
	90. P	<sup>3 379</sup>	0,24	13	3	18	33	0,05

<sup>1</sup> Untersuchungen im Rahmen der AbfklärV, LUFA Hameln.

<sup>2</sup> Der siedlungsstrukturelle Gebietstyp ist nicht mit der Einteilung der Bundesanstalt für Landeskunde und Raumordnung identisch.

Typ II = Verdichtungsraum; Typ III = ländlicher Raum.

Fortsetzung Tab. 17.5: Hintergrundwerte für Böden – Niedersachsen<sup>1,2</sup>

Substrat: Geschiebelehm; Bodenart IS, sL

mg/kg		n	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg
Ackeroberboden								
Typ II	50. P	175	0,21	9	5	16	35	0,06
	90. P	175	0,38	15	10	40	65	0,10
Typ III	50. P	1 833	0,19	10	6	15	35	0,05
	90. P	1 833	0,30	16	12	24	55	0,10

Substrat: Geschiebelehm; Bodenart L

mg/kg		n	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg
Ackeroberboden								
Typ III	50. P	1088	0,28	15	16	20	66	0,06
	90. P	1088	0,46	27	31	35	110	0,10

Substrat: Löss, Verwitterungsböden

mg/kg		n	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg
Ackeroberboden								
Typ III	50. P	238	0,32	14	14	19	54	0,07
	90. P	238	0,44	22	25	27	86	0,10

Substrat: Geschiebelehm, Löss

mg/kg		n	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg
Ackeroberboden								
Typ II	50. P	304	0,36	16	17	24	59	0,07
	90. P	304	0,64	23	28	59	99	0,11

Tab. 17.6: Hintergrundwerte für Böden – Nordrhein-Westfalen<sup>1</sup>**Anorganische Stoffe (Gesamtgehalte)<sup>2,3</sup>**

\*Ohne Differenzierung nach Ausgangssubstraten, n &gt;&gt; 100.

mg/kg		Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Ackeroberboden							
Typ 0	50. P	0,42	25	12	12	30	67
	90. P	0,77	39	22	24	52	119
Typ I	50. P	0,53	–	16	–	44	108
	90. P	1,0	–	34	–	96	245
Typ II	50. P	0,40	–	14	–	29	66
	90. P	0,80	–	26	–	50	111
Typ III	50. P	0,40	–	11	–	27	60
	90. P	0,70	–	18	–	44	99
Grünlandoberboden							
Typ 0	50. P	0,63	28	18	25	56	127
	90. P	1,41	48	46	54	130	333
Typ I	50. P	0,92	–	21	–	79	179
	90. P	1,91	–	58	–	213	494
Typ II	50. P	0,76	–	17	–	61	123
	90. P	1,21	–	36	–	117	216
Typ III	50. P	0,50	–	16	–	43	105
	90. P	1,31	–	43	–	107	304
Waldoberboden							
Typ 0	50. P	0,39	20	19	13	99	92
	90. P	1,14	37	55	28	294	259
Typ I	50. P	0,49	–	32	–	128	140
	90. P	1,12	–	90	–	409	472
Typ II	50. P	0,40	–	16	–	95	71
	90. P	1,35	–	55	–	324	178
Typ III	50. P	0,21	–	9	–	70	144
	90. P	0,77	–	21	–	155	104

Fortsetzung Tab. 17.6: Hintergrundwerte für Böden – Nordrhein-Westfalen<sup>1</sup>

mg/kg		Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Waldauflage							
Typ 0	50. P	0,86	17	35	15	230	134
	90. P	1,59	36	75	26	422	218
Typ I	50. P	1,14	–	50	–	340	183
	90. P	1,68	–	77	–	492	252
Typ II	50. P	0,90	–	39	–	218	133
	90. P	1,83	–	107	–	442	241
Typ III	50. P	0,57	–	38	–	158	97
	90. P	1,23	–	20	–	339	160

Organische Schadstoffe

		B(a)P		Flu		PCB		PCDD/F	
		µg/kg	n	µg/kg	n	µg/kg	n	ng I-Teq/kg	n
Ackerboden									
Typ 0	50. P	44	322	80	156	–		–	
	90. P	200	322	400	156	–		–	
Typ I	50. P	–		–		6,5	61	–	
	90. P	–		–		43,8	61	–	
Typ II	50. P	60	238	100	90	–		–	
	90. P	260	238	590	90	–		–	
Typ III	50. P	25	94	60	76	4,5	41	–	
	90. P	70	94	180	76	10,1	41	–	

Fortsetzung Tab. 17.6: Hintergrundwerte für Böden – Nordrhein-Westfalen<sup>1</sup>

		B(a)P		Flu		PCB		PCDD/F	
		µg/kg	n	µg/kg	n	µg/kg	n	ng l-Teq/kg	n
Grünlandoberboden									
Typ 0	50. P	210	82	780	71	–		5,9	157
	90. P	830	82	1 900	71	–		8,9	157
Typ I	50. P	–		–		4,3	28	7,4	10
	90. P	–		–		12,6	28	18,0	10
Typ II	50. P	400	25	800	25	–		6,3	35
	90. P	730	25	1 800	25	–		11,0	35
Typ III	50. P	150	56	710	45	1,8	71	4,7	112
	90. P	940	56	2 000	45	3,9	71	7,9	112
Waldoberboden									
Typ 0	50. P	25	53	262	40	–		–	
	90. P	640	53	2 500	40	–		–	
Typ I	50. P	–		–		–		–	
	90. P	–		–		–		–	
Typ II	50. P	71	31	300	29	–		–	
	90. P	640	31	2 700	29	–		–	
Typ III	50. P	23	20	–	–	–		–	
	90. P	360	20	–	–	–		–	
Waldauflage									
Typ 0	50. P	193	40	567	38	–		–	
	90. P	2 430	40	1 870	38	–		–	
Typ I	50. P	–		–		–		–	
	90. P	–		–		–		–	
Typ II	50. P	194	26	639	26	–		–	
	90. P	990	26	1 874	26	–		–	
Typ III	50. P	110	11			–		–	
	90. P	320	11			–		–	

<sup>1</sup> Quellen: Späte und Werner 1991; Fliegner u. Reinirkens 1993; Hein u. Delschen 1994; König u. Hein (im Druck).

<sup>2</sup> Ohne Stolberg, Mechernich, Duisburg.

<sup>3</sup> Königswasserextraktion.

Tab. 17.7: Hintergrundwerte für Böden – Rheinland-Pfalz<sup>1</sup>

**Anorganische Stoffe<sup>2</sup>**

\* Ohne Differenzierung nach Ausgangssubstraten.

mg/kg		n	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg
Ackeroberboden <sup>3</sup>										
Typ II	50. P	125	8,7	0,260	32,0	17,0	21,5	21,5	54,0	0,13
	90. P	125	13,3	0,925	50,0	28,5	31,0	31,0	81,0	0,31
Typ III	50. P	257	8,0	0,320	29,0	16,0	26,0	26,0	70,5	0,12
	90. P	257	13,9	0,650	51,0	32,0	63,0	63,0	118,0	0,25
Waldoberboden										
Typ II	50. P	103	3,3	0,151	8,0	6,7	6,1	35,0	33,5	0,17
	90. P	103	7,9	0,545	29,0	19,5	27,0	74,0	73,0	0,33
Typ III	50. P	196	9,3	0,340	21,0	12,0	24,0	75,0	77,0	0,22
	90. P	196	17,0	0,985	35,0	27,5	43,0	304,0	146,0	0,51
Waldauflage										
Typ III	50. P	123	7,9	0,635	16,0	18,0	17,0	184,0	98,0	0,43
	90. P	123	19,0	1,225	26,0	26,5	30,5	487,0	144,0	1,00

\* Ohne Differenzierung nach siedlungsstrukturellen Gebietstypen.

Substrat: Flugsand

mg/kg		n	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg
ohne Diff. nach NT										
	50. P	31	3,0	0,157	8,6	11,1	6,5	21,0	24,5	0,10
	90. P	31	6,3	0,515	20,5	17,0	10,9	39,5	50,5	0,24

Fortsetzung Tab. 17.7: Hintergrundwerte für Böden – Rheinland-Pfalz<sup>1</sup>

Substrat: Auensand/Terrassensand

mg/kg	n	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg
ohne Diff. nach NT									
50. P	60	5,2	0,230	15,5	13,9	11,2	22,0	45,0	0,11
90. P	60	11,4	0,850	39,0	43,0	30,0	81,0	187,0	0,34

Substrat: Löss

mg/kg	n	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg
ohne Diff. nach NT									
50. P	121	9,0	0,282	30,0	18,0	23,0	22,0	58,5	0,13
90. P	121	12,9	0,740	46,5	54,0	37,5	43,0	102,0	0,22
Ackeroberboden									
50. P	68	8,8	0,277	30,0	16,0	23,0	22,0	56,0	0,13
90. P	68	12,4	0,785	43,0	21,5	38,5	36,5	73,5	0,22

Substrat: Lösslehm

mg/kg	n	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg
ohne Diff. nach NT									
50. P	49	8,2	0,325	27,0	14,1	22,0	36,0	71,0	0,13
90. P	49	15,8	0,650	44,0	30,5	41,5	208,0	97,0	0,42

Fortsetzung Tab. 17.7: Hintergrundwerte für Böden – Rheinland-Pfalz<sup>1</sup>

Substrat: Deckschutt

mg/kg	n	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg
ohne Diff. nach NT									
50. P	122	10,2	0,380	22,0	14,8	26,0	90,0	98,0	0,21
90. P	122	17,5	0,800	37,0	28,0	44,0	299,0	160,0	0,47
Waldoberboden									
50. P	87	10,8	0,366	20,0	12,6	24,0	126,0	94,5	0,26
90. P	87	18,0	0,915	35,0	26,0	41,5	366,0	154,0	0,61
Waldauflage									
50. P	74	9,0	0,610	16,0	19,0	17,5	219,0	99,0	0,47
90. P	74	21,0	1,240	24,5	29,0	28,0	494,0	142,0	1,06

Substrat: Auenlehm

mg/kg	n	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg
ohne Diff. nach NT									
50. P	150	8,3	0,371	30,0	22,0	29,0	31,0	79,0	0,14
90. P	150	13,5	1,010	50,0	45,0	44,0	95,0	208,0	0,54
Ackeroberboden									
50. P	35	9,5	0,323	31,0	20,0	32,0	22,0	67,0	0,14
90. P	35	13,9	1,055	48,0	36,5	43,5	47,0	93,0	0,52
Grünlandoberboden									
50. P	43	7,3	0,463	31,0	20,0	26,0	30,0	92,0	0,16
90. P	43	13,1	0,900	55,5	44,0	44,5	119,0	236,0	0,42
Waldoberboden									
50. P	20	6,8	0,470	28,0	20,0	27,0	33,0	79,0	0,16
90. P	20	9,5	0,750	46,0	36,0	40,0	58,0	154,0	0,38



Fortsetzung Tab. 17.7: Hintergrundwerte für Böden – Rheinland-Pfalz<sup>1</sup>

Substrat: Tonschiefer, Phyllit

mg/kg	n	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg
ohne Diff. nach NT									
50. P	46	10,7	0,400	40,0	18,0	38,0	37,0	87,0	0,15
90. P	46	17,7	1,230	73,5	125,0	54,0	72,5	137,0	0,32

Substrat: Sandstein

mg/kg	n	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg
ohne Diff. nach NT									
50. P	82	3,90	0,150	10,3	6,3	6,8	29,0	36,0	0,15
90. P	82	9,40	0,315	32,0	17,5	23,5	74,0	70,5	0,30
Ackeroberboden									
50. P	54	3,20	0,100	8,1	5,0	5,3	43,0	33,0	0,18
90. P	54	7,00	0,250	12,7	8,5	10,7	76,5	49,0	0,32

Substrat: Mergelstein

mg/kg	n	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg
ohne Diff. nach NT									
50. P	36	10,3	0,282	40,0	32,0	34,0	23,0	76,0	0,15
90. P	36	16,4	1,110	58,0	101,0	62,0	43,0	109,0	0,30

Fortsetzung Tab. 17.7: Hintergrundwerte für Böden – Rheinland-Pfalz<sup>1</sup>

**Organische Schadstoffe – PCB**

\*Ohne Differenzierung nach siedlungsstrukturellen Gebietstypen.

µg/kg	ohne Diff. nach NT	Ackeroberboden	Grünlandoberboden	Waldoberboden	Waldauflage
n	399	102	36	80	34
50. P	6,6	< 3	< 3	31,0	31,2
90. P	56,0	12,2	19,1	79,5	73,3

\*Ohne Differenzierung nach Nutzungstyp

µg/kg	Typ II	Typ III
n	119	280
50. P	9,7	< 5,0
90. P	70,6	44,9

<sup>1</sup> Quelle: Ergebnisse von Untersuchungen im Auftrag des RP-Umweltministeriums (Veröffentlichung geplant).

Untersuchungen konnten noch nicht in den Tab. 3–9 dokumentiert werden.

<sup>2</sup> Königwasserextraktion.

<sup>3</sup> Landwirtschaftliche Nutzung; ohne Sonderkulturen.

Tab. 17.8: Hintergrundwerte für Böden – Sachsen

**Anorganische Stoffe (Gesamtgehalte)<sup>1</sup>**

Substrat: Sand

mg/kg	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg
n	233	744	744	744	744	744	744	744
Ackeroberboden								
Typ III 50. P	4,6	0,1	12	8,0	5,0	22	32	0,08
90. P	9,1	0,3	40	16,0	12,0	33	66	0,13

Fortsetzung Tab. 17.8: Hintergrundwerte für Böden – Sachsen

Substrat: Löss

mg/kg		As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg
n		706	1 596	1 596	1 596	1 596	1 596	1 596	1 596
Ackeroberboden									
Typ III	50. P	8,5	0,2	20	14	12	30	60	0,10
	90. P	13,0	0,5	30	23	18	46	92	0,17

Substrat: Gneis

mg/kg		As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg
n		427	825	825	825	825	825	825	825
Ackeroberboden									
Typ III	50. P	26	0,5	28	21	15	75	131	0,12
	90. P	56	1,2	46	35	23	184	215	0,20

Substrat: Tonschiefer/Phyllit

mg/kg		As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg
n		498	648	648	648	648	648	648	648
Ackeroberboden									
Typ III	50. P	18	0,3	27	28	27	50	125	0,16
	90. P	63	0,6	55	46	58	78	175	0,29

Substrat: (extrem) saure Magmatite und Metamorphite

mg/kg		As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg
n		60	147	147	147	147	147	147	147
Ackeroberboden									
Typ III	50. P	13	0,21	20	16	11	42	76	0,12
	90. P	44	0,90	30	34	19	(184)	169	0,26

Fortsetzung Tab. 17.8: Hintergrundwerte für Böden – Sachsen

\*Ohne Differenzierung nach Ausgangssubstraten.

mg/kg		As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg
n		2 665	4 787	5 249	5 251	5 249	5 249	5 249	5 249
Ackeroberboden									
Typ III	50. P	10	0,21	21	15	12	33	67	0,09
	90. P	39	0,70	42	33	28	85	163	n.b.

<sup>1</sup> Suntheim, L., u. a.: Untersuchungen sächsischer Böden auf Belastungen mit Schwermetallen und organischen Rückständen. Landesanstalt für Landwirtschaft, Leipzig 1991/1992. Gesamtgehalte Königswasseraufschluss nach DIN 38 414.

Tab. 17.9: Hintergrundwerte für Böden – Sachsen-Anhalt<sup>1</sup>

**Anorganische Stoffe (Gesamtgehalte)**

\*Ohne Differenzierung nach siedlungsstrukturellem Gebietstyp und Ausgangssubstraten.

mg/kg		Zn	Pb	Cd	Ni	Cr	Cu
n		200	200	200	200	200	200
Ackeroberboden <sup>2</sup>							
	50. P	57,0	24,0	< 0,3	15,0	20,0	11,0
	90. P	120,0	59,0	1,0	29,0	36,0	26,0

<sup>1</sup> Zusammenstellung der Schwermetallgehalte von Proben der Musterstücke der Bodenschätzung. Untersuchungen konnten aufgrund fehlerhafter Unterlagen noch nicht in den Tab. 3–9 dokumentiert werden.

<sup>2</sup> Oberbodenhorizont (Ackerkrume, überwiegen bis 30% unter Flur).

Tab. 17.10: Hintergrundwerte für Böden – Freie und Hansestadt Hamburg

**Organische Schadstoffe<sup>1</sup>**

\*Ohne Differenzierung nach Nutzungstyp und siedlungsstrukturellen Gebietstypen.

<b>µg/kg</b>	<b>HCB</b>	<b>HCH</b>	<b>PCB (60 % CI)</b>
n	22	59	63
Ackeroberboden <sup>2</sup>			
50. P	0,4	0,4	10
90. P	1,9	2,3	79

<sup>1</sup> Oberbodenuntersuchungen auf PCDD/F wurden in Hamburg bisher nicht flächendeckend, sondern schwerpunktmäßig im Hamburger Südosten durchgeführt. Aus diesen Untersuchungen abgeleitete Hintergrundwerte liegen im Bereich von etwa 5 und 10 ng/kg ITEq in mehr ländlichen Gebieten bzw. 10 und 20 ng/kg ITEq im innerstädtischen/industriellen Raum. Untersuchungen konnten aufgrund fehlerhafter Unterlagen noch nicht in den Tab. 3–9 dokumentiert werden.

Tab. 17.11: Hintergrundwerte für Böden – Berlin<sup>1,2</sup>**Anorganische Stoffe<sup>3</sup>**\*Ohne Differenzierung nach Ausgangssubstraten.<sup>4</sup>

<b>mg/kg</b>		<b>Cd</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>
n		843	843	360	843	843	843
Ackeroberboden							
Typ I	50. P	0,15	2,20	10,00	0,80	22	16,0
	90. P	0,40	4,20	21,00	1,70	44	35,0

<sup>1</sup> Quelle: „Schwermetallprogramm Berlin – Ergebnisse, Bewertungsmethoden, Ursachen der Belastung und verwaltungsmäßige Konsequenzen“, Berlin (1994).

<sup>2</sup> Gebiet des ehemaligen Berlin (West).

<sup>3</sup> Analytik: Extraktion der Schwermetalle mit 2nHCl.

<sup>4</sup> Substrate: Sande (ca. 90%); Geschiebelehm, Geschiebemergel (ca. 10%).

Tab. 17.12: Hintergrundwerte für Böden – Thüringen

**Anorganische Stoffe (Gesamtgehalte)<sup>1</sup>**

Substrat: tonig, tonig-mergelige, karbonatisch-dolomitische Substrate aus Zechstein und Trias<sup>2</sup>

mg/kg	n	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg	Sb	Tl
Acker-/Grünland- oberboden	51										
Typ III	50. P	7,6	0,13	63,0	25,0	43,0	31,0	92,0	0,07	0,52	0,46
	90. P	14,0	0,37	87,0	37,0	61,0	47,0	135,0	0,09	0,74	1,10

<sup>1</sup> Quelle: Grün et al. (1993), „Schwermetallgehalte Thüringer Böden“, unveröffentlichter Ergebnisbericht mit Anlagen (Bearbeitungsabschnitt 1993).

Analytik: Cr, Cu, Ni, Pb, Zn: H<sub>2</sub>F<sub>2</sub>/HNO<sub>3</sub>/HCl (Druck)

As, Cd, Hg, Tl: HNO<sub>3</sub> (Druck)

Sb: Königswasser

<sup>2</sup> Substrate des Zechsteins und der Trias (mit Ausnahme Unterer und Mittlerer Buntsandstein) im Bereich.

Tab. 17.13: Hintergrundwerte für Böden – Schleswig-Holstein<sup>1</sup>**Anorganische Stoffe (Gesamtgehalte)<sup>2</sup>**

Substrat: Sande

mg/kg		n	Cu	Zn	Pb	Cd	Hg	Ni	Cr
Ackeroberboden									
Typ 0	50. P	129	6,8	25,0	13,0	0,10	0,40	4,0	8,0
	90. P	129	11,0	39,0	20,0	0,30	0,60	9,0	13,0
Typ I	50. P	42	7,9	28,0	14,0	0,20	0,04	4,0	8,0
	90. P	42	11,5	41,0	25,0	0,30	0,06	8,0	12,0
Typ II	50. P	43	7,0	29,0	12,0	0,10	0,04	6,0	10,0
	90. P	43	10,4	40,0	18,0	0,30	0,06	12,0	16,0
TYP III	50. P	42	6,0	19,5	10,0	0,15	0,03	3,0	6,0
	90. P	42	9,1	31,0	15,0	0,30	0,05	6,0	10,0
Grünlandoberboden									
Typ 0	50. P	233	7,9	27,0	16,0	0,20	0,40	4,0	9,0
	90. P	233	18,3	70,0	46,0	0,70	0,12	10,0	21,0
Typ 1	50. P	61	9,1	39,0	21,0	0,30	0,04	5,0	11,0
	90. P	61	25,0	90,0	49,0	0,70	0,12	11,0	21,0
Typ II	50. P	57	9,0	29,0	17,0	0,30	0,04	4,0	10,0
	90. P	57	17,0	75,0	47,0	0,70	0,15	13,0	23,0
Typ III	50. P	115	7,1	22,0	13,0	0,20	0,03	4,0	8,0
	90. P	115	16,9	58,0	41,0	0,60	0,08	8,0	17,0
Waldoberboden									
Typ 0	50. P	91	4,8	19,0	19,0	0,10	0,03	3,0	5,0
	90. P	91	11,0	33,0	39,0	0,40	0,09	7,0	9,0

<sup>1</sup> Quelle: Geologisches Landesamt Schleswig-Holstein.<sup>2</sup> Analytik: Königswasserextrakt.

Fortsetzung Tab. 17.13: Hintergrundwerte für Böden – Schleswig-Holstein<sup>1</sup>

Substrat: Lehm

mg/kg		n	Cu	Zn	Pb	Cd	Hg	Ni	Cr
Ackeroberboden									
Typ 0	50. P	237	9,2	43,0	14,0	0,10	0,04	11,0	17,0
	90. P	237	14,8	65,0	21,0	0,30	0,06	18,0	25,0
Typ I	50. P	52	9,9	39,0	15,0	0,10	0,04	9,0	13,5
	90. P	52	12,3	57,0	20,0	0,20	0,06	14,0	23,0
Typ II	50. P	102	9,1	40,5	13,0	0,10	0,04	10,0	16,0
	90. P	102	13,7	53,0	19,0	0,30	0,06	16,0	23,0
TYP III	50. P	81	10,0	50,0	17,0	0,10	0,03	15,0	19,0
	90. P	81	16,9	74,0	23,0	0,30	0,05	21,0	30,0
Grünlandoberboden									
Typ 0	50. P	161	10,6	55,0	19,0	0,20	0,03	13,0	20,0
	90. P	161	19,6	95,0	38,0	0,40	0,06	22,0	32,0
Typ 1	50. P	24	8,3	43,4	16,0	0,20	0,04	9,0	13,5
	90. P	24	18,9	104,0	31,0	0,40	0,06	20,0	23,5
Typ II	50. P	37	10,2	45,0	16,0	0,20	0,04	10,0	16,0
	90. P	37	18,4	80,0	37,0	0,40	0,06	19,0	28,0
Typ III	50. P	100	11,6	64,0	22,5	0,20	0,02	15,0	22,0
	90. P	100	20,4	97,5	39,5	0,35	0,07	23,0	33,0
Waldoberboden									
Typ 0	50. P	20	5,8	31,0	20,0	0,10	0,04	8,0	10,0
	90. P	20	10,1	42,0	26,0	0,20	0,06	9,0	13,0

\*Ohne Differenzierung nach Ausgangssubstraten.

mg/kg		n	Cu	Zn	Pb	Cd	Hg	Ni	Cr
Waldoberboden									
Typ 0	50. P	39	5,7	20,0	20,0	0,10	0,03	4,0	5,0
	90. P	39	15,5	42,0	37,0	0,20	0,07	8,0	11,0
Typ II	50. P	37	5,1	27,0	20,0	0,10	0,04	5,0	7,0
	90. P	37	9,9	42,0	39,0	0,40	0,11	9,0	12,0
Typ III	50. P	35	4,0	14,0	19,0	0,10	0,03	3,0	4,0
	90. P	35	8,1	33,0	35,0	0,50	0,08	6,0	9,0



Fortsetzung Tab. 17.13: Hintergrundwerte für Böden – Schleswig-Holstein<sup>1</sup>**Organische Schadstoffe**

\*Ohne Differenzierung nach siedlungsstrukturellen Gebietstypen.

ng/kg I-TEq-gesamt	n	PCDD/F
50. P	90	0,51
90. P	90	1,823

Tab. 17.14: Hintergrundwerte für Böden – Hessen<sup>1</sup>**Anorganische Stoffe<sup>2</sup>**

Substrat: Sande (Flugsande, Talsande usw.) und Terrassen

mg/kg		As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
ohne Diff. nach Nutzung									
n		214	435	435	435	156	435	435	435
Typ 0	50. P	4,75	0,40	6,0	14,0	0,130	8,0	45,0	54,0
	90. P	12,50	1,00	13,0	32,4	0,433	18,0	142,8	96,0
n		197	418	418	418	156	418	418	418
Typ I	50. P	4,20	0,40	6,0	14,0	0,130	8,0	45,0	53,0
	90. P	12,50	1,0	11,0	32,0	0,433	16,0	144,0	93,1
Ackeroberboden									
n			40	40	40		40	40	40
Typ 0	50. P		0,20	12,0	11,0		12,0	29,5	53,5
	90. P		0,60	47,8	55,4		23,0	56,9	107,2
n			33	33	33		33	33	33
Typ I	50. P		0,30	10,0	11,0		11,0	30,0	47,0
	90. P		0,66	18,8	27,6		19,2	58,2	101,8

Fortsetzung Tab. 17.14: Hintergrundwerte für Böden – Hessen

mg/kg		As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Grünlandoberboden									
n			31	31	31		31	31	31
Typ 0	50. P		0,20	9,0	12,0		11,0	41,0	62,0
	90. P		1,06	49,0	21,6		29,8	89,6	144,4
n			24	24	24		24	24	24
Typ I	50. P		0,45	8,0	11,0		9,0	41,5	56,0
	90. P		1,3	16,0	32,0		22,5	116,0	228,0
Waldoberboden									
n		49	125	125	125	38	125	125	125
Typ 0	50. P	8,50	0,10	6,0	6,0	0,140	7,0	37,0	28,0
	90. P	14,70	0,44	10,0	15,4	0,398	13,0	81,4	50,8
n		48	124	124	124	38	124	124	124
Typ I	50. P	8,50	0,10	6,0	6,0	0,140	7,0	37,0	28,0
	90. P	14,52	0,45	9,5	15,5	0,398	13,0	79,5	50,0
Waldauflage									
n		134	239	239	239	101	239	239	239
Typ 0	50. P	2,20	0,60	5,0	19,0	0,110	9,0	61,0	62,0
	90. P	9,75	1,1	10,0	37,0	0,422	18,0	160	99,0
n		132	237	237	237	101	237	237	237
Typ I	50. P	2,20	0,60	5,0	19,0	0,110	9,0	61,0	62,0
	90. P	9,85	1,1	10,0	37,0	0,422	18,0	160	98,2

<sup>1</sup> Räumlicher Bezug: Frankfurt und Umland, Gießen/Wetzlar, Vogelsberg.

<sup>2</sup> Analytik: Werte der Typen I und II – Königswasseraufschluss  
 Werte des Typs III – Flusssäure/Perchlorsäure-Druckaufschluss

Fortsetzung Tab. 17.14: Hintergrundwerte für Böden – Hessen

Substrat: Löss, Lösslehm, Kolluvium

mg/kg		As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
ohne Diff. nach Nutzung									
n		182	232	188	232	149	232	232	232
Typ 0	50. P	8,85	0,45	18,0	17,0	0,060	26,0	34,0	68,0
	90. P	12,60	0,80	31,1	25,0	0,300	42,7	82,4	108,0
n		110	160	160	160	106	160	160	160
Typ I	50. P	9,85	0,55	17,0	16,0	0,040	24,0	31,0	64,0
	90. P	14,37	0,79	24,0	26,0	0,140	32,9	56,7	107,8
n		28	28	28	28		28	28	28
Typ II	50. P	9,20	0,00	27,0	16,0		31,0	27,0	78,5
	90. P	12,10	0,36	49,0	28,1		45,5	55,7	170,2
n		44	44		44	43	44	44	44
Typ III	50. P	5,00	0,40		18,0	0,140	40,0	67,0	81,0
	90. P	10,00	0,95		23,5	0,368	70,0	129,5	107,0
Ackeroberboden									
n		118	147	152	152	97	152	152	152
Typ 0	50. P	9,45	0,40	18,0	17,0	0,040	25,0	29,0	64,0
	90. P	13,64	0,70	28,6	25,0	0,140	35,0	45,7	90,1
n		91	125	125	125	88	125	125	125
Typ I	50. P	9,80	0,50	17,0	17,0	0,040	24,0	29,0	62,0
	90. P	14,08	0,70	23,4	25,0	0,140	32,0	45,0	81,8
Grünlandoberboden									
n		35	47	34	47	29	47	47	47
Typ 0	50. P	8,90	0,50	21,0	17,0	0,060	31,0	45,0	84,0
	90. P	14,68	1,04	44,5	27,2	0,160	59,2	70,2	175,6
n			28	28	28		28	28	28
Typ I	50. P		0,60	20,0	17,5		23,5	40,0	80,0
	90. P		0,93	36,0	27,2		37,0	68,2	180,4

Fortsetzung Tab. 17.14: Hintergrundwerte für Böden – Hessen

Substrat: Auenlehm

mg/kg		As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
ohne Diff. nach Nutzung									
n		43	48	48	48		48	48	48
Typ 0	50. P	10,20	0,25	36,0	19,5		33,5	41,5	108,5
	90. P	15,76	0,90	68,6	31,5		57,3	109,3	184,1
n			21	21	21		21	21	21
Typ I	50. P		0,70	22,0	20,0		27,0	41,0	103,0
	90. P		0,98	36,4	37,6		46,2	133,8	184,2
n		27	26	27	27		27	27	27
Typ II	50. P	9,80	0,10	49,0	19,0		37,0	42,0	111,0
	90. P	11,70	0,30	85,6	31,0		60,8	112,6	185,8
Ackeroberboden									
n			20	20	20		20	20	20
Typ 0	50. P		0,10	40,5	18,5		32,0	40,5	87,5
	90. P		0,78	61,8	27,8		59,7	71,6	128,8
Grünlandoberboden									
n		26	28	28	28		28	28	28
Typ 0	50. P	16,67	0,30	31,5	20,0		36,0	46,5	134,0
	90. P	16,67	1,01	83,3	40,8		49,6	139,5	185,8

Fortsetzung Tab. 17.14: Hintergrundwerte für Böden – Hessen

Substrat: Hochflutlehm

mg/kg		As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
ohne Diff. nach Nutzung									
n			56	56	56		56	56	56
Typ 0	50. P		0,50	14,5	15,5		17,0	40,0	72,0
	90. P		1,23	25,0	31,3		29,0	83,7	131,0
n			56	56	56		56	56	56
Typ I	50. P			14,5	15,5		17,0	40,0	72,0
	90. P		1,23	25,0	31,3		29,0	83,7	131,0
Ackeroberboden									
n			29	29	29		29	29	29
Typ 0	50. P		0,50	14,0	16,0		17,0	34,0	66,0
	90. P		0,80	21,0	31,0		27,0	75,0	123,0
n			29	29	29		29	29	29
Typ I	50. P		0,50	14,0	16,0		17,0	34,0	66,0
	90. P		0,80	21,0	31,0		27,0	75,0	123,0

Fortsetzung Tab. 17.14: Hintergrundwerte für Böden – Hessen

Substrat: Tonstein, Tonschiefer, Phyllit

mg/kg		As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
ohne Diff. nach Nutzung									
n		22	26	26	26		26	26	26
Typ 0	50. P				15,0		16,5	41,0	73,0
	90. P	18,32	0,83	43,3	38,2		47,7	127,1	128,5
n		20	20	20	20		20	20	20
Typ I	50. P				13,5		12,5	37,5	75,0
	90. P	12,21	0,50	43,9	35,6		43,6	118,9	95,8

Substrat: Sandstein, Quarzit, Grauwacke

mg/kg		As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
ohne Diff. nach Nutzung									
n		31	31	31	31		31	31	31
Typ 0	50. P	8,90	0,0	29,0	13,0		28,0	37,0	86,0
	90. P	15,46	0,8	51,6	23,0		37,0	73,6	133,6
n		31	31	31	31		31	31	31
Typ I	50. P	8,90	0,0	29,0	13,0		28,0	37,0	86,0
	90. P	15,46	0,8	51,6	23,0		37,0	73,6	133,6

Fortsetzung Tab. 17.14: Hintergrundwerte für Böden – Hessen

Substrat: Basalt, Schalstein, Diabas usw.

mg/kg		As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
ohne Diff. nach Nutzung									
n		382	382		382	358	382	382	382
Typ 0	50. P	3,0	0,60		45,0	0,07	175,5	48,0	137,0
	90. P	6,0	1,20		69,0	0,22	284,0	98,0	174,7
n		366	366		366	358	366	366	366
Typ III	50. P	3,0	0,60		46,0	0,07	180,5	49,0	137,0
	90. P	5,3	1,20		69,0	0,22	285,6	101,3	175,0
Ackeroberboden									
n		127	127		127	121	127	127	127
Typ 0	50. P	3,0	0,50		50,0	0,07	205,0	42,0	140,0
	90. P	5,0	0,72		72,2	0,10	339,0	49,0	169,2
n		121	121		121	121	121	121	121
Typ III	50. P	3,0	0,50		52,0	0,07	207,0	42,0	144,0
	90. P	5,0	0,78		72,8	0,10	339,0	49,0	169,8
Grünlandoberboden									
n		123	123		123	118	123	123	123
Typ 0	50. P	3,0	0,60		46,0	0,06	183,0	47,0	135,0
	90. P	6,0	1,20		69,0	0,11	275,6	55,0	167,6
n		119	119		119	118	119	119	119
Typ III	50. P	3,0	0,60		47,0	0,06	185,0	48,0	135,0
	90. P	5,0	1,20		69,0	0,11	276,0	55,0	168,0
Waldoberboden									
n		73	73		73	69	73	73	73
Typ 0	50. P	4,0	0,80		45,0	0,13	181,0	73,0	162,0
	90. P	8,0	1,20		68,6	0,23	276,4	119,6	210,4
n		70	70		70	79	70	70	70
Typ III	50. P	4,0	0,80		45,5	0,13	182,0	74,0	162,0
	90. P	8,0	1,20		68,9	0,23	277,6	119,9	211,6
Waldauflage									
n		58	58		58	49	58	58	58
Typ 0	50. P	2,0	1,00		28,5	0,22	56,5	83,0	107,5
	90. P	5,0	1,41		48,1	0,39	144,2	198,1	161,2
n		55	55		55	49	55	55	55
Typ III	50. P	2,0	1,00		29,0	0,22	63,0	83,0	107,0
	90. P	4,4	1,44		48,4	0,39	147,8	207,0	159,2

## 2.5 Möglichkeiten eines Schadstoffeintrags in den Boden

Es gibt zahlreiche Möglichkeiten eines Schadstoffeintrags in den Boden. Im Wesentlichen sind drei Eintragspfade vorhanden:

- über **Luft** (nasse Deposition: Nebel, Regen, Schnee; trockene Deposition: Interzeption an den Oberflächen der Pflanzen, vor allem Waldstandorte)
- über **Gewässer** (Uferfiltrat, Überschwemmungen)
- durch **unmittelbaren Eintrag** (Dünge- und Pflanzenschutzmittel, Aufbringung von Klärschlamm, Verrieselung zur Gw-Anreicherung, künstliche Auffüllungen und Aufschüttungen, Streusalz, Abfälle, Transport- und Industrieunfälle usw.)

Im Folgenden wird nur auf diejenigen Möglichkeiten genauer eingegangen, die im Zusammenhang mit dem BBodSchG als wichtig anzusehen sind.

### 2.5.1 Stoffeintrag über Luft (Immission)

Luftverunreinigungen sind insofern erwähnenswert, als durch die Deposition ein großer Anteil der Staubinhaltsstoffe der Luft in den Boden gelangt. Von den Hauptverursachern der Immissionen werden Schadstoffe emittiert, die nach den jeweiligen Umständen über weite Strecken verfrachtet werden können.

Die emittierten Stoffe einer Anlage werden in Abhängigkeit von den naturräumlichen Gegebenheiten, meteorologischen Faktoren, anlagentechnischen Parametern (z. B. Schornsteinhöhe) und Faktoren wie Abgasmenge und Ausströmverhalten der Abgase über die Umgebung der Anlage verteilt. Dabei kommt es in einer anlagenabhängigen Entfernung zu typischen Belastungsmaxima in Form einer Ellipse um die Anlage. Insbesondere in den Ballungsräumen, wo sich die Emissionsradien mehrerer Anlagen überschneiden, kann es daher zu stark erhöhten Hintergrundgehalten im Boden kommen.

Die Deposition von Luftschadstoffen nimmt mit Erhöhung des atmosphärischen Niederschlags (Nebel, Regen, Schnee) zu. In Waldgebieten werden die Luftschadstoffe „ausgekämmt“, weshalb in die Böden unter Wald im Vergleich zu anderen Nutzungsarten größere Mengen Luftschadstoffe eingetragen werden.



In Tabelle 18 sind Anhaltswerte für Jahresmittel der Deposition von Staubinhaltsstoffen in Deutschland in  $\mu\text{g}/(\text{m}^2\text{d})$  aufgelistet. Daraus ist ersichtlich, dass der Eintrag von Staubinhaltsstoffen in den Boden mit zunehmender Entfernung vom Emittenten abnimmt.

Die Entwicklung der Deposition der Einträge von Blei und Cadmium in Deutschland zeigen die Diagramme A und B. Innerhalb der letzten 15 Jahre nahmen die Einträge von Blei und Cadmium in die Böden Deutschlands etwa um das 5fache ab (Daten aus Bachmann, 1998).

**Tab. 18:** Anhaltswerte für Jahresmittel der Deposition von Staubinhaltsstoffen in Deutschland [in  $\mu\text{g}/(\text{m}^2\text{d})$ ] (aus Matthes, 1990)

Komponente	Reinluft- gebiete	Ländliche Gebiete	Ballungsgebiete	Einflussbereich von Emittenten
Gesamtstaub	20 000	50 000–150 000	150 000–200 000	
Blei	< 40	40–80	100–300	bis ca. 1 000
davon nass		25–70		
Cadmium	0,5	1–5	1–10	10–300
davon nass	0,5	1–4		
Zink	80	80–500	300–einige 1 000	bis zu einigen 10 000
Magnesium		200–600		
Thallium		0,3		
Arsen			1–15	200–2 000
Nickel		5–30	10–80	400–1 200
Ammonium (ger. als $\text{N}_2$ )		2 000–4 000	4 000–6 000	
Natrium		2 000–3 000		
Kalium		500–1 000		
Calcium		2 500–4 000		
Benzo(a)pyren		0,01–0,1	150–400	
Chlorid		2 000–4 000	3 000–10 000	> 10 000 (Küstennähe)
Fluoride		100–200	200–300	
Phosphate		300–3 000		
Nitrite		200–2 000		
Nitrate		4 000–15 000		

Diagramm A

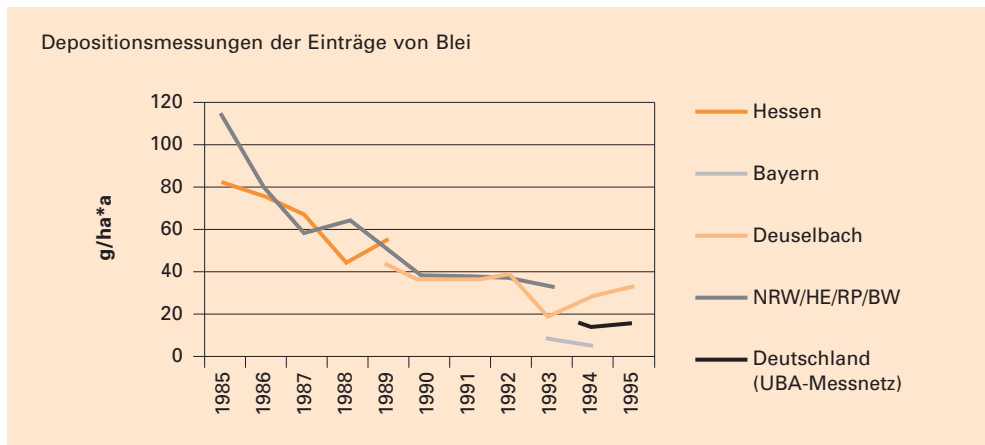
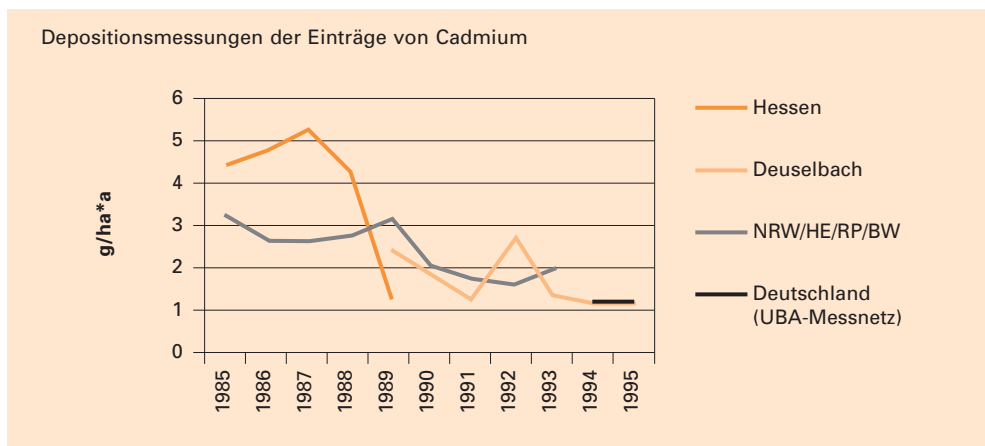


Diagramm B



– **TA Luft (1986)**

**Luftverunreinigungen** im Sinne dieser Anleitung sind Veränderungen der natürlichen Zusammensetzung der Luft, insbesondere durch Rauch, Ruß, Staub, Gase, Aerosole, Dämpfe oder Geruchsstoffe; zu den Dämpfen kann auch Wasserdampf gehören.

**Immissionen** im Sinne dieser Anleitung sind auf Menschen sowie Tiere, Pflanzen oder andere Sachen einwirkende Luftverunreinigungen. Immissionen werden angegeben als Massenkonzentration (Masse der luftverunreinigenden Stoffe bezogen auf das Volumen der verunreinigten Luft in den Einheiten  $\text{g}/\text{m}^3$ ,  $\text{mg}/\text{m}^3$  oder  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) oder als Staubbiederschlag (zeitbezogene Massenbedeckung in den Einheiten  $\text{g}/(\text{m}^2\text{d})$  oder  $\text{mg}/(\text{m}^2\text{d})$ ).

**Emissionen** im Sinne dieser Anleitung sind die von einer Anlage ausgehenden Luftverunreinigungen. Emissionen werden wie folgt angegeben:

- a) Masse der emittierten Stoffe bezogen auf das Volumen
  - aa) von Abgas im Normzustand ( $0\text{ °C}$ ;  $1\,013\text{ mbar}$ ) nach Abzug des Feuchtegehaltes an Wasserdampf
  - bb) von Abgas (f) im Normzustand ( $0\text{ °C}$ ;  $1\,013\text{ mbar}$ ) vor Abzug des Feuchtegehaltes an Wasserdampf
 als Massenkonzentration in den Einheiten  $\text{g}/\text{m}^3$  oder  $\text{mg}/\text{m}^3$ ;
- b) Masse der emittierten Stoffe bezogen auf die Zeit als Massenstrom in den Einheiten  $\text{kg}/\text{h}$ ,  $\text{g}/\text{h}$  oder  $\text{mg}/\text{h}$ ;
 der Massenstrom ist die gesamte Emission, die während einer Betriebsstunde bei bestimmungsgemäßigem Betrieb einer Anlage unter den für die Luftreinhalteung ungünstigsten Betriebsbedingungen auftritt;
- c) Verhältnis der Masse der emittierten Stoffe zu der Masse der erzeugten oder verarbeiteten Produkte (Emissionsfaktoren) als Massenverhältnis in den Einheiten  $\text{kg}/\text{t}$  oder  $\text{g}/\text{t}$ .

**Abgase** im Sinne dieser Anleitung sind die Trägergase mit den festen, flüssigen oder gasförmigen Emissionen.

Die Luftmengen, die einer Einrichtung der Anlage zugeführt werden, um das Abgas zu verdünnen oder zu kühlen, bleiben bei der Bestimmung der Massenkonzentration unberücksichtigt.

Die TA Luft gibt **Immissionswerte (IW 1 und IW 2)** zum Schutz vor Gesundheitsgefahren und zum Schutz vor erheblichen Nachteilen und Belästigungen an. Die Immissionswerte IW 1 sind definiert als arithmetische Jahresmittelwerte, die Immissionswerte IW 2 als 98%-Werte der Summenhäufigkeitsverteilung aller Messwerte (Halbstundenwerte bei Gasen, Tagesmittelwerte bei Schwebstaub; bei Staubniederschlag: höchster Monatsmittelwert). Die Immissionswerte gelten grundsätzlich im Einwirkungsbereich von ortsfesten, genehmigungsbedürftigen Anlagen. Sie sind auf das in der TA Luft beschriebene Mess- und Auswerteverfahren bezogen.

**Tab. 19.1:** Zum Schutz vor Gesundheitsgefahren (Angaben in **mg/m<sup>3</sup>**, also der Anteil, der sich in einem Kubikmeter Luft befindet)

Schadstoff	IW 1	IW 2
Schwebstaub	0,15	0,3
Blei im Schwebstaub	2 µg/m <sup>3</sup>	/
Cadmium im Schwebstaub	0,04 µg/m <sup>3</sup>	/
Chlor	0,1	0,3
Chlorwasserstoff	0,1	0,2
Kohlenmonoxid	10	30
Schwefeldioxid	0,14	0,4
Stickstoffdioxid	0,08	0,2

IW 1 = arithmetischer Mittelwert, in der Regel über 1 Jahr.

IW 2 = 98%-Wert der Summenhäufigkeit der Einzelwerte (bei Staubniederschlag: höchster Monatsmittelwert).

Die Immissionswerte indizieren das Vorhandensein schädlicher Umwelteinwirkungen im Sinne des § 3 Abs. 1 BImSchG. Werden die Immissionswerte überschritten, muss nach allgemeiner Erfahrung in der Regel davon ausgegangen werden, dass die Immissionsbelastung eine schädliche Umwelteinwirkung darstellt. Bleibt die ermittelte Immissionsbelastung unterhalb der Immissionswerte, ist in der Regel der Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen sichergestellt.

In der TA Luft werden aufgrund des heutigen Wissensstandes nur für eine begrenzte Anzahl von Stoffen Immissionswerte festgelegt. Treten andere Stoffe in den Emissionen einer Anlage auf, sind diese nach einer in der TA Luft festgesetzten Sonderfallprüfung zu prüfen.

Die **Zusatzbelastungswerte** sind die maximalen zulässigen Langzeitimmissionsbeiträge einer Anlage. Sie sind für die Prüfung von erheblichen Nachteilen und Belästigungen nach der TA Luft in Verbindung mit der o. a. Sonderfallprüfung von Bedeutung.

Die Zusatzbelastungswerte liegen zwischen 1 und 5% der entsprechenden Immissionswerte IW 1. Es gibt also eine gewisse Analogie zur Prüfung von

**Tab. 19.2:** Zum Schutz vor erheblichen Nachteilen oder erheblichen Belästigungen (Angaben in  $\mu\text{g}/(\text{m}^2\text{d})$ , also der Anteil, der auf einen Quadratmeter Bodenfläche pro Tag niederfällt)

Schadstoff	IW 1	IW 2
Staubniederschlag	0,35 g/(m <sup>2</sup> d)	0,65 g/(m <sup>2</sup> d)
Pb im Staubniederschlag	0,25 mg/(m <sup>2</sup> d)	/
Cd im Staubniederschlag	5 $\mu\text{g}/(\text{m}^2\text{d})$	/
Tl im Staubniederschlag	10 $\mu\text{g}/(\text{m}^2\text{d})$	/
Fluorwasserstoff	1 $\mu\text{g}/(\text{m}^2\text{d})$	3 $\mu\text{g}/(\text{m}^2\text{d})$

IW 1 = arithmetischer Mittelwert, in der Regel über 1 Jahr.

IW 2 = 98%-Wert der Summenhäufigkeit der Einzelwerte (bei Staubniederschlag: höchster Monatsmittelwert).

Gesundheitsgefahren, wo bei Überschreitung der Immissionswerte die Zusatzbelastung 1% dieser Immissionswerte nicht überschreiten darf, damit die Anlage genehmigungsfähig bleibt.

Allerdings werden Zusatzbelastungswerte bei Einhaltung des Standes der Technik in der Regel kaum erreicht, sodass Sonderfallprüfungen aufgrund von Überschreitungen der Zusatzbelastungswerte heute praktisch nicht mehr zum Tragen kommen.

**Tab. 19.3:** Zusatzbelastungswerte

Staubniederschlag (nicht gefährdende Stäube)	3,5 mg/(m <sup>2</sup> d)
Blei und anorganische Bleiverbindungen als Bestandteile des Staubniederschlags – angegeben als Pb –	7,5 µg/(m <sup>2</sup> d)
Cadmium und anorganische Cadmiumverbindungen als Bestandteile des Staubniederschlags – angegeben als Cd –	0,15 µg/(m <sup>2</sup> d)
Thallium und anorganische Thalliumverbindungen als Bestandteile des Staubniederschlags – angegeben als Tl –	0,2 µg/(m <sup>2</sup> d)
Fluorwasserstoff und anorganische gasförmige Fluorverbindungen – angegeben als F –	0,05 µg/m <sup>3</sup>
Schwefeldioxid	2 µg/m <sup>3</sup>

### – Die Hauptverursacher der Immissionen

Bei Verbrennungsprozessen und bei verschiedenen industriellen Verfahren werden u. a. Säurebildner, Schwermetalle und organische Verbindungen emittiert, die über verschiedene Pfade (s. oben) auf den Boden einwirken. Im Folgenden sollen die Hauptverursacher der Immission aufgezählt und deren Emissionsgrenzwerte genannt werden. Die Emittenten können in 3 große Gruppen eingeteilt werden:

- Emissionen aus der Industrie
- Emissionen von Feuerungsanlagen
- Emissionen von Verbrennungsmotoren (Kfz)

## **Industrie**

Die industriellen Anlagen wurden der TA Luft entnommen:

### **1 Steine und Erden, Glas, Keramik, Baustoffe**

#### **1.1 Anlagen zur Herstellung von Zementen**

**Staub:** Bei Zementöfen mit Rostvorwärmer sind Hilfskamine an eine Entstaubungseinrichtung anzuschließen.

**Stickstoffoxide:** Die Emissionen an Stickstoffmonoxid und Stickstoffdioxid dürfen, angegeben als Stickstoffdioxid, im Abgas von Zementöfen

a) mit Rostvorwärmer  $1,5 \text{ g/m}^3$ ,

b) mit Zyklonvorwärmer und Abgaswärmenutzung  $1,3 \text{ g/m}^3$ ,

c) mit Zyklonvorwärmer ohne Abgaswärmenutzung  $1,8 \text{ g/m}^3$

nicht überschreiten; die Möglichkeiten, die Emissionen durch feuerungstechnische oder andere dem Stand der Technik entsprechende Maßnahmen weiter zu vermindern, sind auszuschöpfen.

**Schwefeloxide:** Die Emissionen an Schwefeldioxid und Schwefeltrioxid im Abgas der Zementöfen dürfen  $0,40 \text{ g/m}^3$ , angegeben als Schwefeldioxid, nicht überschreiten.

#### **1.2 Anlagen zum Brennen von Bauxit, Dolomit, Gips, Kalkstein, Kieselgur, Magnesit, Quarzit oder Schamotte**

**Bezugsgrößen:** Die Emissionswerte beziehen sich bei Anlagen zur Herstellung von Kalk- oder Dolomithydrat auf feuchtes Abgas.

**Staub:** Beim Brennen von Chromitsteinen dürfen die staubförmigen Emissionen an Chrom und seinen Verbindungen im Abgas, angegeben als Chrom,  $10 \text{ mg/m}^3$  nicht überschreiten.

**Stickstoffoxide:** Die Emissionen an Stickstoffmonoxid und Stickstoffdioxid dürfen, angegeben als Stickstoffdioxid, im Abgas

a) von Drehrohröfen 1,8 g/m<sup>3</sup>,

b) von sonstigen Öfen 1,5 g/m<sup>3</sup>

nicht überschreiten; die Möglichkeiten, die Emissionen durch feuerungstechnische und andere dem Stand der Technik entsprechende Maßnahmen zu vermindern, sind auszuschöpfen.

**Fluorverbindungen:** Bei periodisch betriebenen Öfen zum Brennen von Quarzit dürfen die Emissionen an gasförmigen anorganischen Fluorverbindungen im Abgas 10 mg/m<sup>3</sup>, angegeben als Fluorwasserstoff, nicht überschreiten.

### 1.3 Anlagen zum Blähen von Perlite, Schiefer oder Ton

**Bezugsgrößen:** Die Emissionswerte beziehen sich auf feuchtes Abgas und auf einen Volumengehalt an Sauerstoff im Abgas von 14 vom Hundert.

**Schwefeloxide:** Die Emission an Schwefeldioxid und Schwefeltrioxid im Abgas, angegeben als Schwefeldioxid, dürfen bei einem Massenstrom von 10 kg/h oder mehr 1,0 g/m<sup>3</sup> nicht überschreiten.

### 1.4 Anlagen zur Herstellung von Glas einschließlich Glasfasern

**Bezugsgrößen:** Die Emissionswerte beziehen sich bei flammenbeheizten Glasschmelzöfen auf einen Volumengehalt an Sauerstoff im Abgas von 8 vom Hundert sowie bei flammenbeheizten Hafentöpfen und Tageswannen auf einen Volumengehalt an Sauerstoff im Abgas von 13 vom Hundert.

**Stickstoffoxide:** Die Emissionen an Stickstoffmonoxid und Stickstoffdioxid im Abgas dürfen folgende Massenkonzentrationen, angegeben als Stickstoffdioxid, nicht überschreiten:



	ölbeheizt g/m <sup>3</sup>	gasbeheizt g/m <sup>3</sup>
Hafenöfen	1,2	1,2
Wannen mit rekuperativer Wärmerückgewinnung	1,2	1,4
Tageswannen	1,6	1,6
U-Flammenwannen mit regenerativer Wärmerückgewinnung	1,8	2,2
Querbrennerwannen mit regenerativer Wärmerückgewinnung	3,0	3,5

**Schwefeloxide:** Die mit fossilen Brennstoffen beheizt werden; die Emissionen an Schwefeldioxid und Schwefeltrioxid im Abgas, angegeben als Schwefeldioxid, dürfen bei einem Massenstrom von 10 kg/h oder mehr bei flammenbeheizten

a) Glasschmelzöfen 1,8 g/m<sup>3</sup>,

b) Hafenöfen und Tageswannen 1,1 g/m<sup>3</sup>

nicht überschreiten.

### 1.5 Anlagen zum Brennen keramischer Erzeugnisse unter Verwendung von Tonnen

**Bezugsgröße:** Die Emissionswerte beziehen sich auf einen Volumengehalt an Sauerstoff im Abgas von 18 vom Hundert.

**Schwefeloxide:** Bei einem Schwefelgehalt des Einsatzstoffes von weniger als 0,12 vom Hundert dürfen die Emissionen an Schwefeldioxid und Schwefeltrioxid im Abgas, angegeben als Schwefeldioxid, bei einem Massenstrom von 10 kg/h oder mehr 0,50 g/m<sup>3</sup> nicht überschreiten. Bei einem Schwefelgehalt des Einsatzstoffes von 0,12 vom Hundert oder mehr dürfen die Emissionen an Schwefeldioxid und Schwefeltrioxid im Abgas, angegeben als Schwefeldioxid, bei einem Massenstrom von 10 kg/h oder mehr 1,5 g/m<sup>3</sup> nicht überschreiten; die Möglichkeiten, die Emissionen durch Abgasreinigungseinrichtungen zu vermindern, sind auszuschöpfen.

### 1.6 Anlagen zum Schmelzen mineralischer Stoffe, insbesondere Basalt, Diabas oder Schlacke

**Bezugsgröße:** Die Emissionswerte beziehen sich bei Anlagen, die mit fossilen Brennstoffen beheizt werden, auf einen Volumengehalt an Sauerstoff im Abgas von 8 vom Hundert.

**Stickstoffoxide:** Die Emissionen an Stickstoffmonoxid und Stickstoffdioxid im Abgas dürfen folgende Massenkonzentrationen, angegeben als Stickstoffdioxid, nicht überschreiten:

	ölbeheizt g/m <sup>3</sup>	gasbeheizt g/m <sup>3</sup>
Wannen mit rekuperativer Wärmerückgewinnung	1,2	1,4
Schachtöfen	1,8	2,2

**Schwefeloxide:** Die mit fossilen Brennstoffen betrieben werden; die Emissionen an Schwefeldioxid und Schwefeltrioxid im Abgas, angegeben als Schwefeldioxid, dürfen bei einem Massenstrom von 10 kg/h oder mehr 1,8 g/m<sup>3</sup> nicht überschreiten.

### 1.7 Anlagen zur Herstellung oder zum Schmelzen von Mischungen aus Bitumen oder Teer mit Mineralstoffen einschließlich Aufbereitungsanlagen für bituminöse Straßenbaustoffe und Teersplittanlagen

**Bezugsgröße:** Die Emissionswerte beziehen sich auf einen Volumengehalt an Sauerstoff im Abgas von 17 vom Hundert.

**Staub:** Die staubförmigen Emissionen im Abgas der Trockentrommel und des Mischers dürfen 20 mg/m<sup>3</sup> nicht überschreiten.

## 2 Stahl, Eisen und sonstige Metalle einschließlich Verarbeitung

### 2.1 Eisenerzsinteranlagen

**Staub:** Staubhaltige Abgase sind zu erfassen und einer Entstaubungseinrichtung zuzuführen.

**Stickstoffoxide:** Die Emissionen an Stickstoffmonoxid und Stickstoffdioxid im Abgas dürfen  $0,40 \text{ g/m}^3$ , angegeben als Stickstoffdioxid, nicht überschreiten.

### 2.2 Anlagen zur Gewinnung von Roheisen

**Staub:** Staubhaltige Abgase, insbesondere der Möllierung, der Emissionsquellen in der Hochofengießhalle und der Roheisenentschwefelung, sind zu erfassen und einer Entstaubungseinrichtung zuzuführen.

### 2.3 Anlagen zur Gewinnung von Nichteisenrohmetallen

**Staub:** Staubhaltige Abgase sind zu erfassen und einer Entstaubungseinrichtung zuzuführen. Die staubförmigen Emissionen im Abgas dürfen  $20 \text{ mg/m}^3$  – in Bleihütten  $10 \text{ mg/m}^3$  – nicht überschreiten.

**Schwefeloxide:** Die Emissionen an Schwefeldioxid und Schwefeltrioxid im Abgas dürfen bei einem Massenstrom von  $5 \text{ kg/h}$  oder mehr  $0,80 \text{ g/m}^3$ , angegeben als Schwefeldioxid, nicht überschreiten.

### 2.4 Anlagen zur Erzeugung von Ferrolegerungen nach elektrothermischen oder metallothermischen Verfahren

**Staub:** Staubhaltige Abgase sind zu erfassen und einer Entstaubungseinrichtung zuzuführen. Die staubförmigen Emissionen im Abgas dürfen  $20 \text{ mg/m}^3$  nicht überschreiten.

## 2.5 Anlagen zur Stahlerzeugung in Konvertern, Elektrolichtbogenöfen und Vakuumschmelzanlagen

### Anlagen zum Erschmelzen von Stahl oder Gusseisen

#### **Staub:**

- a) Die staubhaltigen Abgase sind so weit wie möglich zu erfassen und einer Entstaubungseinrichtung zuzuführen, sofern dies zur Erfüllung anderer Anforderungen erforderlich ist.
- b) Die staubförmigen Emissionen dürfen im Abgas
  - aa) von Elektrolichtbogenöfen, Induktionsöfen oder Kupolöfen mit Obergichtabsaugung  $20 \text{ mg/m}^3$  nicht überschreiten;
  - bb) von Kupolöfen mit Untergichtabsaugung  $50 \text{ mg/m}^3$  nicht überschreiten.

**Kohlenmonoxid:** Die Emissionen an Kohlenmonoxid im Abgas dürfen bei Heißwindkupolöfen mit nachgeschaltetem eigenbeheiztem Rekuperator  $1,0 \text{ g/m}^3$  nicht überschreiten; bei sonstigen Schmelzanlagen und bei Konvertern sind kohlenmonoxidhaltige Abgase nach Möglichkeit zu verwerten oder zu verbrennen.

## 2.6 Elektro-Schlacke-Umschmelzanlagen

**Fluorverbindungen:** Die Emissionen an gasförmigen anorganischen Fluorverbindungen im Abgas dürfen  $1 \text{ mg/m}^3$ , angegeben als Fluorwasserstoff, nicht überschreiten.

## 2.7 Schmelzanlagen für Aluminium

**Staub:** Staubhaltige Abgase sind zu erfassen und einer Entstaubungseinrichtung zuzuführen. Die staubförmigen Emissionen im Abgas der Öfen dürfen bei einem Massenstrom von  $0,5 \text{ kg/h}$  oder mehr  $20 \text{ mg/m}^3$  nicht überschreiten.

**Chlor:** In den Abgasen der Raffination (Chlorierungsanlagen) dürfen die Emissionen an Chlor  $3 \text{ mg/m}^3$  nicht überschreiten.

**Organische Stoffe:** Die Emissionen an organischen Stoffen im Abgas dürfen  $50 \text{ mg/m}^3$ , angegeben als Gesamtkohlenstoff, nicht überschreiten.

## **2.8 Schmelzanlagen einschließlich der Anlagen zur Raffination für Nichteisenmetalle und ihre Legierungen, ausgenommen Aluminium**

**Staub:** Staubhaltige Abgase sind zu erfassen und einer Entstaubungseinrichtung zuzuführen. Die staubförmigen Emissionen im Abgas der Schmelz- oder Raffinationsanlagen dürfen bei einem Massenstrom von 0,2 kg/h oder mehr 20 mg/m<sup>3</sup> – der Schmelz- oder Raffinationsanlagen für Blei oder seine Legierungen 10 mg/m<sup>3</sup> – nicht überschreiten. Beim Einschmelzen von Kathodenkupfer in Schachtöfen dürfen die Emissionen an Kupfer und seinen Verbindungen im Abgas, angegeben als Kupfer, 10 mg/m<sup>3</sup> nicht überschreiten.

**Organische Stoffe:** Die Emissionen an organischen Stoffen im Abgas dürfen 50 mg/m<sup>3</sup>, angegeben als Gesamtkohlenstoff, nicht überschreiten.

## **2.9 Anlagen zum Walzen von Metallen, Wärme- und Wärmebehandlungsöfen Eisen-, Temper- und Stahlgießereien Gießereien für Nichteisenmetalle**

### **Staub:**

- a) Die staubhaltigen Abgase sind so weit wie möglich zu erfassen und einer Entstaubungseinrichtung zuzuführen.
- b) Beim Einsatz von filternden Entstaubern dürfen die staubförmigen Emissionen im Abgas bei einem Massenstrom von 0,5 kg/h oder mehr 20 mg/m<sup>3</sup> nicht überschreiten.

**Organische Stoffe:** Die bei der Kernherstellung einschließlich Kernsandmischung, Trocknung und Härtung entstehenden und mit organischen Stoffen beladenen Abgase sind so weit wie möglich zu erfassen und einer Abgasreinigungseinrichtung zuzuführen.

## **2.10 Anlagen zum Feuerverzinken**

**Staub:** Die staubförmigen Emissionen im Abgas dürfen 10 mg/m<sup>3</sup> nicht überschreiten.

**Chlorverbindungen:** Die Emissionen an gasförmigen anorganischen Chlorverbindungen im Abgas dürfen  $20 \text{ mg/m}^3$ , angegeben als Chlorwasserstoff, nicht überschreiten.

### 2.11 Anlagen zur Oberflächenbehandlung von Metallen unter Verwendung von Salpetersäure

**Stickstoffoxide:** Die Emissionen an Stickstoffmonoxid und Stickstoffdioxid dürfen im Abgas von kontinuierlich arbeitenden Beizanlagen  $1,5 \text{ g/m}^3$ , angegeben als Stickstoffdioxid, nicht überschreiten; die Möglichkeiten, die Emissionen durch Abgasreinigungsmaßnahmen zu vermindern, sind auszuschöpfen.

### 2.12 Anlagen zur Herstellung von Bleiakkumulatoren

**Staub:** Die Abgase sind zu erfassen und einer Entstaubungseinrichtung zuzuführen. Die staubförmigen Emissionen dürfen bei einem Massenstrom von  $5 \text{ g/h}$  oder mehr  $0,5 \text{ mg/m}^3$  nicht überschreiten.

**Schwefelsäuredämpfe:** Die bei der Formierung auftretenden Schwefelsäuredämpfe sind zu erfassen und einer Abgasreinigungseinrichtung zuzuführen; die Emissionen an Schwefelsäure im Abgas dürfen  $1 \text{ mg/m}^3$  nicht überschreiten.

### 3 Chemische Erzeugnisse, Arzneimittel, Mineralölraffination und Weiterverarbeitung

#### 3.1 Anlagen zur Herstellung von anorganischen Chemikalien wie Säuren, Basen, Salze

##### Anlagen zur Herstellung von Salpetersäure

**Stickstoffoxide:** Die Emissionen an Stickstoffmonoxid und Stickstoffdioxid im Abgas dürfen 0,45 g/m<sup>3</sup>, angegeben als Stickstoffdioxid, nicht überschreiten.

#### 3.2 Anlagen zur Herstellung von Schwefeldioxid, Schwefeltrioxid, Schwefelsäure oder Oleum

##### Schwefeloxide:

###### a) Abgasführung:

Bei Anlagen zur Herstellung von reinem Schwefeldioxid durch Verflüssigung ist das Abgas einer Schwefelsäureanlage oder einer anderen Aufarbeitungsanlage zuzuführen;

###### b) Umsatzgrade:

- aa) Bei Anwendung des Doppelkontaktverfahrens ist ein Umsatzgrad von mindestens 99 vom Hundert einzuhalten, beträgt der Volumengehalt an Schwefeldioxid im Einsatzgas ständig 8 vom Hundert oder mehr, so ist
  - bei schwankenden Gasbedingungen ein Umsatzgrad von mindestens 99,5 vom Hundert oder
  - bei konstanten Gasbedingungen ein Umsatzgrad von mindestens 99,6 vom Hundert
 einzuhalten; die Emissionen an Schwefeldioxid und Schwefeltrioxid sind durch Einsatz des Peracidox-Verfahrens, einer fünften Horde oder gleichwertiger Maßnahmen weiter zu vermindern.
- bb) Bei Anwendung des Kontaktverfahrens ohne Zwischenabsorption und einem Volumengehalt an Schwefeldioxid von weniger als 6 vom Hundert im Einsatzgas ist ein Umsatzgrad von mindestens 97,5 vom Hundert einzuhalten; die Emissionen an Schwefeldioxid und Schwefeltrioxid im Abgas sind durch Einsatz einer Ammoniakwäsche weiter zu vermindern.

cc) Bei Anwendung der Nasskatalyse ist ein Umsatzgrad von mindestens 97,5 vom Hundert einzuhalten.

c) *Schwefeltrioxid:*

Die Emissionen an Schwefeltrioxid im Abgas dürfen

- bei konstanten Gasbedingungen 60 mg/m<sup>3</sup>,
  - in den übrigen Fällen 0,12 g/m<sup>3</sup>
- nicht überschreiten.

### 3.3 Anlagen zur Herstellung von Metallen und Nichtmetallen auf nassem Wege oder mithilfe elektrischer Energie Anlagen zur Herstellung von Aluminium

**Staub:** Die staubförmigen Emissionen dürfen im Abgas

- der Elektrolyseöfen 30 mg/m<sup>3</sup> und
- der Elektrolyseöfen einschließlich der Abgase, die aus dem Ofenhaus abgeleitet werden, im Tagesmittel 5 kg je Tonne Aluminium nicht überschreiten.

**Fluorverbindungen:** Die Emissionen an gasförmigen anorganischen Fluorverbindungen, angegeben als Fluorwasserstoff, dürfen im Abgas

- der Elektrolyseöfen 1 mg/m<sup>3</sup> und
- der Elektrolyseöfen einschließlich der Abgase, die aus dem Ofenhaus abgeleitet werden, im Tagesmittel 0,5 kg je Tonne Aluminium nicht überschreiten.

**Altanlagen:** Soweit bei Altanlagen zur Absenkung der Badtemperatur Lithiumverbindungen nicht eingesetzt werden können, dürfen die Emissionen an gasförmigen anorganischen Fluorverbindungen, angegeben als Fluorwasserstoff, im Abgas

- der Elektrolyseöfen 1,5 mg/m<sup>3</sup> und
- der Elektrolyseöfen einschließlich der Abgase, die aus dem Ofenhaus abgeleitet werden, im Tagesmittel 0,7 kg je Tonne Aluminium nicht überschreiten.



### **3.4 Anlagen zur Herstellung von Halogenen oder Halogenerzeugnissen sowie Schwefel oder Schwefelerzeugnissen Anlagen zur Herstellung von Chlor**

**Chlor:** Die Emissionen an Chlor im Abgas dürfen  $1 \text{ mg/m}^3$  nicht überschreiten; abweichend hiervon dürfen bei Anlagen zur Herstellung von Chlor mit vollständiger Verflüssigung die Emissionen an Chlor im Abgas  $6 \text{ mg/m}^3$  nicht überschreiten.

**Quecksilber:** Bei der Alkalichloridelektrolyse nach dem Amalgamverfahren dürfen die Emissionen an Quecksilber in der Zellaalabluft im Jahresmittel je Tonne genehmigte Chlorproduktion  $1,5 \text{ g}$  und bei Altanlagen, die vor 1972 in Betrieb gegangen sind,  $2 \text{ g}$  nicht überschreiten.

### **3.5 Anlagen zur Herstellung von Schwefel Clausanlagen**

#### **Schwefelemissionsgrad:**

- a) Bei Clausanlagen mit einer Kapazität bis einschließlich 20 Tonnen Schwefel je Tag darf ein Schwefelemissionsgrad von 3 vom Hundert nicht überschritten werden.
- b) Bei Clausanlagen mit einer Kapazität von mehr als 20 Tonnen Schwefel je Tag bis einschließlich 50 Tonnen Schwefel je Tag darf ein Schwefelemissionsgrad von 2 vom Hundert nicht überschritten werden.
- c) Bei Clausanlagen mit einer Kapazität von mehr als 50 Tonnen Schwefel je Tag darf ein Schwefelemissionsgrad von 0,5 vom Hundert nicht überschritten werden.

**Schwefelwasserstoff:** Die Abgase sind einer Nachverbrennung zuzuführen; die Emissionen an Schwefelwasserstoff im Abgas dürfen  $10 \text{ mg/m}^3$  nicht überschreiten.

### **3.6 Anlagen zur Herstellung von phosphor- oder stickstoffhaltigen Düngemitteln**

#### **Anlagen zur Granulation und Trocknung**

**Staub:** Bei der Granulation und Trocknung von

- a) Mehrnährstoffdüngemitteln mit einem Massengehalt an Ammoniumnitrat von mehr als 50 vom Hundert,
- b) Düngemitteln mit einem Massengehalt an Sulfat von mehr als 10 vom Hundert dürfen die staubförmigen Emissionen im Abgas  $75 \text{ mg/m}^3$  nicht überschreiten.

### **3.7 Anlagen zur Herstellung von organischen Chemikalien oder Lösungsmitteln wie Alkohole, Aldehyde, Ketone, Säuren, Ester, Ether**

#### **Anlagen zur Herstellung von 1,2-Dichlorethan und Vinylchlorid**

Die Abgase sind einer Abgasreinigungseinrichtung zuzuführen; die Emissionen an 1,2-Dichlorethan oder Vinylchlorid im Abgas dürfen  $5 \text{ mg/m}^3$  nicht überschreiten.

### **3.8 Anlagen zur Herstellung von Acrylnitril**

Die aus dem Reaktionssystem und dem Absorber anfallenden Abgase sind einer Verbrennung zuzuführen; die Emissionen an Acrylnitril im Abgas der Verbrennungsanlage dürfen  $0,2 \text{ mg/m}^3$  nicht überschreiten. Die bei der Reinigung der Reaktionsprodukte (Destillation) sowie bei Umfüllvorgängen anfallenden Abgase sind einer Abgaswäsche zuzuführen.

### **3.9 Anlagen zur Herstellung von Wirkstoffen für Pflanzenschutzmittel oder Schädlingsbekämpfungsmittel**

**Staub:** Im Abgas von Anlagen zur Herstellung von Wirkstoffen für Pflanzenschutz- oder Schädlingsbekämpfungsmittel dürfen die staubförmigen Emissionen bei Vorhandensein von Wirkstoffen, die schwer abbaubar und leicht akkumulierbar oder von hoher Toxizität sind (z.B. Azinphosethyl, Carbofuran, Dinitro-o-kresol, Parathion-methyl), sowie an Stoffen, die der Verordnung über Anwendungsverbote und -beschränkungen für Pflanzen-

schutzmittel unterliegen, bei einem Massenstrom von 25 g/h und mehr die Massenkonzentration von 5 mg/m<sup>3</sup> nicht überschreiten.

### **3.10 Anlagen zur Herstellung von Fluorchlorkohlenwasserstoffen Anlagen zur Herstellung von Maleinsäureanhydrid oder Ethylbenzol**

**Altanlagen:** Altanlagen mit Emissionen an Benzol im Abgas von weniger als 20 mg/m<sup>3</sup> sollen den Anforderungen für Benzol am 1. März 1996 entsprechen.

### **3.11 Anlagen zur Herstellung von Kunststoffen oder Chemiefasern**

#### **3.11.1 Anlagen zur Herstellung von Polyvinylchlorid (PVC)**

**Restmonomergehalte:** An der Übergangsstelle vom geschlossenen System zur Aufbereitung oder Trocknung im offenen System sind die Restgehalte an Vinylchlorid (VC) im Polymerisat so gering wie möglich zu halten; dabei dürfen folgende Höchstwerte im Monatsmittel nicht überschritten werden:

Massen-PVC	10 mg VC je kg PVC
Suspensions-Homopolymerisate	0,10 g VC je kg PVC
Suspensions-Copolymerisate	0,40 g VC je kg PVC
Mikro-Suspensions-PVC und Emulsions-PVC	1,5 g VC je kg PVC

Zur weiteren Verminderung der Massenkonzentration an Vinylchlorid im Abgas der Trockner ist das Trocknerabgas möglichst als Verbrennungsluft in Feuerungsanlagen einzusetzen.

#### **3.11.2 Anlagen zur Herstellung von Polyacrylnitril-Kunststoffen**

Wird das Prozessabgas einer Verbrennungsanlage zugeführt, dürfen die Emissionen an Acrylnitril im Abgas der Verbrennungsanlagen 0,2 mg/m<sup>3</sup> nicht überschreiten.

Wird das Prozessabgas einer Abgaswäsche zugeführt, dürfen die Emissionen an Acrylnitril im Abgas der Wäscher 5 mg/m<sup>3</sup> nicht überschreiten.

Zur Verminderung der Massenkonzentration an Acrylnitril im Abgas der Trockner ist das Trocknerabgas möglichst als Verbrennungsluft in Feuerungsanlagen einzusetzen.

a) Herstellung und Verarbeitung von Acrylnitrilpolymerisaten für Fasern  
Die Emissionen an Acrylnitril im Abgas der Trockner dürfen  $20 \text{ mg/m}^3$  nicht überschreiten. Die aus den Reaktionskesseln, der Intensivausgasung, dem Suspensionssammelbehälter und dem Waschfilter stammenden acrylnitrilhaltigen Abgase sind einer Abgaswäsche oder einer Adsorption zuzuführen; die Emissionen an Acrylnitril im Abgas der Adsorption dürfen  $10 \text{ mg/m}^3$  nicht überschreiten.

Bei der Verspinnung des Polymers zu Fasern sind Abgasströme mit einem Acrylnitrilgehalt von mehr als  $5 \text{ mg/m}^3$  einer Abgasreinigungseinrichtung zuzuführen. Die Emissionen an Acrylnitril im Abgas der Wäscher des Nassspinnverfahrens dürfen  $10 \text{ mg/m}^3$  – im Abgas der Wäscher des Trockenspinnverfahrens  $35 \text{ mg/m}^3$  – nicht überschreiten.

b) Herstellung von ABS-Kunststoffen

**Emulsionspolymerisation:** Die bei der Polymerisation, der Fällung und der Reaktorreinigung anfallenden acrylnitrilhaltigen Abgase sind einer Verbrennung zuzuführen; die Emissionen an Acrylnitril im Abgas der Trockner dürfen im Monatsmittel  $25 \text{ mg/m}^3$  nicht überschreiten.

**Kombinierte Lösungs-/Emulsionspolymerisation:** Die an den Reaktoren, den Zwischenlagern, der Fällung, der Entwässerung, der Lösungsmittelrückgewinnung und den Mixern anfallenden acrylnitrilhaltigen Abgase sind einer Verbrennung zuzuführen; die im Bereich des Mischeraustrages austretenden Emissionen an Acrylnitril dürfen im Monatsmittel  $10 \text{ mg/m}^3$  nicht überschreiten.

c) Herstellung von NBR-Nitrilkautschuk

Die bei der Butadienrückgewinnung, der Latexzwischenlagerung und der Wäsche des Festkautschuks anfallenden acrylnitrilhaltigen Abgase sind einer Verbrennung, die bei der Acrylnitrilrückgewinnung anfallenden Abgase einer Abgaswäsche zuzuführen; die Emissionen im Abgas der Trockner dürfen  $15 \text{ mg/m}^3$  nicht überschreiten.

- d) Herstellung von Dispersionen durch Emulsionspolymerisation von Acrylnitril

Die aus den Monomervorlagen, den Reaktoren, den Zwischenbehältern und den Kondensatoren anfallenden acrylnitrilhaltigen Abgase sind, sofern der Acrylnitrilgehalt mehr als  $5 \text{ mg/m}^3$  beträgt, einer Abgasreinigungseinrichtung zuzuführen.

### 3.11.3 Anlagen zur Herstellung und Verarbeitung von Viskose

- a) Die Abgase der Viskoseherstellung und der Spinnbadaufbereitung sowie der Nachbehandlung bei der Herstellung von textilem Rayon sind einer Abgasreinigungseinrichtung zuzuführen.

**Schwefelwasserstoff:** Die Emissionen an Schwefelwasserstoff im Abgas dürfen im Tagesmittel  $5 \text{ mg/m}^3$  nicht überschreiten.

**Kohlenstoffdisulfid:** Die Emissionen an Kohlenstoffdisulfid im Abgas dürfen im Tagesmittel  $0,10 \text{ g/m}^3$  nicht überschreiten.

- b) Bei der Herstellung von Zellwolle und Zellglas sind die Abgase der Spinnmaschinen und der Nachbehandlung einer Abgasreinigungseinrichtung zuzuführen.

**Schwefelwasserstoff:** Die Emissionen an Schwefelwasserstoff im Abgas dürfen im Tagesmittel  $5 \text{ mg/m}^3$  nicht überschreiten.

**Kohlenstoffdisulfid:** Die Emissionen an Kohlenstoffdisulfid im Abgas dürfen im Tagesmittel  $0,15 \text{ g/m}^3$  nicht überschreiten.

- c) Bei der Herstellung von Viskoseprodukten dürfen im Gesamtabgas einschließlich Raumluf tabsaugung und Maschinenzusatzabsaugung im Tagesmittel die Emissionen an Schwefelwasserstoff  $50 \text{ mg/m}^3$  und an Kohlenstoffdisulfid folgende Werte nicht überschreiten:

Viskoseprodukt	Kohlenstoffdisulfid g/m <sup>3</sup>
Zellwolle, Zellglas, Rayon, textil	0,15
Kunst Darm, Schwammtuch	0,40
Rayon, technisch	0,60

Die Möglichkeiten, die Emissionen an Schwefelwasserstoff und Kohlenstoffdisulfid durch Kapselung der Maschinen mit Abgaserfassung und Abgasreinigung oder durch andere dem Stand der Technik entsprechende Maßnahmen zu vermindern, sind auszuschöpfen.

### 3.11.4 Anlagen zur Herstellung von Kohlenwasserstoffen (CH)

**Anlagen, in denen Pflanzenschutz-, Schädlingsbekämpfungsmittel oder ihre Wirkstoffe gemahlen oder maschinell gemischt, abgepackt oder umgefüllt werden**

Die staubhaltige Abluft ist zu erfassen und einer Entstaubungseinrichtung zuzuführen; die staubförmigen Emissionen dürfen 5 mg/m<sup>3</sup> nicht überschreiten.

### 3.11.5 Mineralö raffinerien

**Anfahr- und Abstellvorgänge:** Gase, die beim Anfahren oder Abstellen der Anlage anfallen, sind so weit wie möglich über ein Gassammelsystem in den Prozess zurückzuführen oder in Prozessfeuerungen zu verbrennen; soweit dies nicht möglich ist, sind die Gase einer Fackel zuzuführen, in der für organische Stoffe ein Emissionsgrad von 1 vom Hundert, bezogen auf Gesamtkohlenstoff, nicht überschritten werden darf.

**Schwefelwasserstoff:** Gase aus Entschwefelungsanlagen oder anderen Quellen mit einem Volumengehalt an Schwefelwasserstoff von mehr als 0,4 vom Hundert und mit einem Massenstrom an Schwefelwasserstoff von mehr als 2 t/d sind weiterzuverarbeiten. Gase, die nicht weiterverarbeitet werden, sind einer Nachverbrennung zuzuführen; die Emissionen an

Schwefelwasserstoff im Abgas dürfen  $10 \text{ mg/m}^3$  nicht überschreiten; schwefelwasserstoffhaltiges Wasser darf nur so geführt werden, dass ein Ausgasen in die Atmosphäre vermieden wird (vgl. Prozesswasser und Ballastwasser).

**Organische Stoffe:** Beim Umfüllen von Roh-, Zwischen- und Fertigprodukten sind die Emissionen an organischen Stoffen mit einem Dampfdruck von mehr als 13 mbar bei einer Temperatur von  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  durch geeignete Maßnahmen, z. B. Gaspendingelung, Absaugung und Zuführung zu einer Gasreinigungseinrichtung, zu vermindern.

**Katalytisches Spalten:** Die Emissionen im Abgas von Anlagen zum katalytischen Spalten im Fließbettverfahren dürfen beim Regenerieren des Katalysators folgende Massenkonzentrationen nicht überschreiten:

- a) Staub  $50 \text{ mg/m}^3$
- b) Stickstoffmonoxid und Stickstoffdioxid, angegeben als Stickstoffdioxid  $0,70 \text{ g/m}^3$
- c) Schwefeldioxid und Schwefeltrioxid, angegeben als Schwefeldioxid  $1,7 \text{ g/m}^3$

Die Möglichkeiten, die Emissionen an Stickstoffoxiden und Schwefeloxiden durch prozesstechnische Maßnahmen zu vermindern, sind auszuschöpfen. Altanlagen mit staubförmigen Emissionen im Abgas von weniger als  $0,10 \text{ g/m}^3$  sollen den Anforderungen für Staub am 1. März 1996 entsprechen.

### 3.11.6 Anlagen zur Herstellung von Furnace- oder Flammrußen

**Staub:** Die staubförmigen Emissionen im Abgas dürfen  $20 \text{ mg/m}^3$  nicht überschreiten.

### 3.11.7 Anlagen zur Herstellung von Kohlenstoff (Hartbrandkohle) oder Elektrographit durch Brennen, z. B. für Elektroden, Stromabnehmer oder Apparateile

**Mischen und Formen:** Die Emissionen an organischen Stoffen im Abgas von Misch- und Formgebungsanlagen, in denen Pech, Teer oder sonstige flüchtige Binde- oder Fließmittel bei erhöhter Temperatur verarbeitet werden, dürfen  $0,10 \text{ g/m}^3$ , angegeben als Gesamtkohlenstoff, nicht überschreiten.

**Brennen:** Die Emissionen an organischen Stoffen im Abgas von Einzelkammeröfen, Kammerverbundöfen und Tunnelöfen dürfen  $50 \text{ mg/m}^3$ , angegeben als Gesamtkohlenstoff, nicht überschreiten.

Die Emissionen an gasförmigen organischen Stoffen im Abgas von Ringöfen für Graphitelektroden, Kohlenstoffelektroden und Kohlenstoffsteine dürfen  $0,20 \text{ g/m}^3$ , angegeben als Gesamtkohlenstoff, nicht überschreiten.

**Imprägnieren:** Die Emissionen an organischen Stoffen im Abgas von Imprägnieranlagen, in denen teerbasische Imprägniermittel verwendet werden, dürfen  $50 \text{ mg/m}^3$ , angegeben als Gesamtkohlenstoff, nicht überschreiten.



## **4 Oberflächenbehandlung mit organischen Stoffen, Herstellung von bahnenförmigen Materialien aus Kunststoffen, sonstige Verarbeitung von Harzen und Kunststoffen**

### **4.1 Anlagen zur Serienlackierung von Automobilkarossen, ausgenommen Omnibusse und Aufbauten von Lastkraftwagen**

**Lösungsmittlemissionen der Gesamtanlage:** Die Emissionen an organischen Lösungsmitteln im Abgas der gesamten Anlage einschließlich der Konservierung dürfen je Quadratmeter Rohbaukarosse

- a) bei Unilackierungen 60 g,
  - b) bei Metalleffektlackierungen 120 g
- nicht überschreiten.

Die Möglichkeiten, die Emissionen durch Einsatz lösungsmittelarmer oder lösungsmittelfreier Lacksysteme oder Lackauftragsverfahren mit einem hohen Wirkungsgrad durch Umluftverfahren oder Abgasreinigung – insbesondere in den Spritzzonen – weiter zu vermindern, sind auszuschöpfen.

**Trockner:** Die Emissionen an organischen Stoffen im Abgas der Trockner dürfen  $50 \text{ mg/m}^3$ , angegeben als Gesamtkohlenstoff, nicht überschreiten. Sofern die Abgase einer Nachverbrennung zugeführt werden, ist im Genehmigungsbescheid festzulegen, dass der dem Emissionswert entsprechende Ausbrand auch bei ungünstigsten Betriebsbedingungen sicherzustellen ist, z. B. durch kontinuierliche Überwachung der entsprechenden Massenkonzentration an Kohlenmonoxid oder der entsprechenden Mindestbrennraumtemperatur in Verbindung mit der erforderlichen Mindestverweilzeit.

**Staub:** Die staubförmigen Emissionen im Abgas (Lackpartikel) dürfen  $3 \text{ mg/m}^3$  nicht überschreiten.

### **4.2 Sonstige Anlagen zum Lackieren**

**Trockner:** Die Emissionen an organischen Stoffen im Abgas der Trockner dürfen  $50 \text{ mg/m}^3$ , angegeben als Gesamtkohlenstoff, nicht überschreiten. Sofern die Abgase einer Nachverbrennung zugeführt werden, ist im Geneh-

migungsbescheid festzulegen, dass der dem Emissionswert entsprechende Ausbrand auch bei ungünstigsten Betriebsbedingungen sicherzustellen ist, z. B. durch kontinuierliche Überwachung der entsprechenden Massenkonzentration an Kohlenmonoxid oder der entsprechenden Mindestbrennraumtemperatur in Verbindung mit der erforderlichen Mindestverweilzeit.

**Staub:** Die staubförmigen Emissionen im Abgas (Lackpartikel) dürfen  $3 \text{ mg/m}^3$  nicht überschreiten.

### **4.3 Anlagen zum Bedrucken von bahnen- oder tafelförmigen Materialien mit Rotationsdruckmaschinen einschließlich der zugehörigen Trockner**

**Organische Stoffe:** Beim Einsatz wasserverdünnbarer Druckfarben, die als organisches Lösungsmittel ausschließlich Ethanol mit einem Massenanteil von höchstens 25 vom Hundert enthalten, dürfen die Emissionen an Ethanol im Abgas  $0,50 \text{ g/m}^3$  nicht überschreiten. Die Möglichkeiten, die Emissionen durch Einsatz ethanolärmerer Druckfarben oder Abgasreinigungseinrichtungen weiter zu vermindern, sind auszuschöpfen.

### **4.4 Anlagen zum Tränken von Glasfasern oder Mineralfasern mit Kunstharzen**

**Organische Stoffe:** Die Emissionen an Stoffen der Klasse I im Abgas dürfen  $40 \text{ mg/m}^3$  nicht überschreiten. Die Möglichkeiten, die Emissionen durch Nachverbrennung oder gleichwertige Maßnahmen weiter zu vermindern, sind auszuschöpfen.

## 5 Holz, Zellstoff

### Anlagen zur Gewinnung von Zellstoff aus Holz

### Anlagen zur Herstellung von Holzfaserplatten oder Holzspanplatten

#### Lagerplätze:

**Staub:** Die staubförmigen Emissionen dürfen im Abgas

a) der Schleifmaschinen 10 mg/m<sup>3</sup>,

b) der Trockner 50 mg/m<sup>3</sup>(f)

nicht überschreiten.

**Dampf- oder gasförmige organische Stoffe:** Die Emissionen an dampf- oder gasförmigen organischen Stoffen nach Klasse I im Abgas der Pressen dürfen je Kubikmeter hergestellter Platten 0,12 kg nicht überschreiten.

**Brennstoffe:** Bei Einsatz von festen oder flüssigen Brennstoffen in Späne-trocknern darf der Massengehalt an Schwefel 1 vom Hundert, bei festen Brennstoffen bezogen auf einen unteren Heizwert von 29,3 MJ/kg, nicht überschreiten, oder die Abgase sind gleichwertig zu reinigen.

#### Feuerungsanlagen

Die Feuerungsanlagen wurden aus den Verordnungen zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) entnommen.

#### Kleinfeuerungsanlagen (1. BImSchV vom 14. März 1997)

Feuerungsanlagen für feste Brennstoffe

1. Bei Einsatz der folgenden Brennstoffe: Steinkohlen, nicht pechgebundene Steinkohlenbriketts, Steinkohlenkoks, Braunkohlen, Braunkohlenbriketts, Braunkohlenkoks, Torfbriketts, Brenntorf, naturbelassenes stückiges Holz einschließlich anhaftender Rinde, beispielsweise in Form von Scheitholz, Hackschnitzeln, sowie Reisig und Zapfen.

Die staubförmigen Emissionen im Abgas dürfen eine Massenkonzentration von 0,15 Gramm je Kubikmeter, bezogen auf einen Volumengehalt an Sauerstoff im Abgas von 8 vom Hundert, nicht überschreiten.

- 2. Bei Einsatz der folgenden Brennstoffe: naturbelassenes stückiges Holz einschließlich anhaftender Rinde, beispielsweise in Form von Scheitholz, Hackschnitzeln, sowie Reisig und Zapfen, naturbelassenes nicht stückiges Holz, beispielsweise in Form von Sägemehl, Spänen, Schleifstaub oder Rinde, Stroh oder ähnliche pflanzliche Stoffe.
  - a) Die staubförmigen Emissionen im Abgas dürfen eine Massenkonzentration von 0,15 Gramm je Kubikmeter, bezogen auf einen Volumengehalt an Sauerstoff im Abgas von 13 vom Hundert, nicht überschreiten.
  - b) Die Emissionen an Kohlenmonoxid im Abgas dürfen die folgenden Massenkonzentrationen, bezogen auf einen Volumengehalt an Sauerstoff im Abgas von 13 vom Hundert, nicht überschreiten:

<b>Nennwärmeleistung in Kilowatt</b>	<b>Massenkonzentration an Kohlenmonoxid in Gramm je Kubikmeter</b>
bis 50	4
über 50 bis 150	2
über 150 bis 500	1
über 500	0,5

Abweichend davon dürfen bei Feuerungsanlagen für den Einsatz von Stroh oder ähnlichen pflanzlichen Stoffen als Brennstoffe mit einer Nennwärmeleistung von weniger als 100 Kilowatt die Emissionen an Kohlenmonoxid im Abgas eine Massenkonzentration von 4 Gramm je Kubikmeter, bezogen auf einen Volumengehalt an Sauerstoff im Abgas von 13 vom Hundert, nicht überschreiten.

- 3. Bei Einsatz der folgenden Brennstoffe: gestrichenes, lackiertes oder beschichtetes Holz sowie daraus anfallende Reste, soweit keine Holzschutzmittel aufgetragen oder enthalten sind und Beschichtungen nicht aus halogenorganischen Verbindungen bestehen, Sperrholz, Spanplatten, Faserplatten oder sonst verleimtes Holz sowie daraus anfallende Reste, soweit Holzschutzmittel aufgetragen oder enthalten sind und Beschichtungen nicht aus halogenorganischen Verbindungen bestehen.

- a) Die staubförmigen Emissionen im Abgas dürfen eine Massenkonzentration von 0,15 Gramm je Kubikmeter, bezogen auf einen Volumengehalt an Sauerstoff im Abgas von 13 vom Hundert, nicht überschreiten.
- b) Die Emissionen an Kohlenmonoxid im Abgas dürfen die folgenden Massenkonzentrationen, bezogen auf einen Volumengehalt an Sauerstoff im Abgas von 13 vom Hundert, nicht überschreiten:

<b>Nennwärmeleistung in Kilowatt</b>	<b>Massenkonzentration an Kohlenmonoxid in Gramm je Kubikmeter</b>
bis 100	0,8
über 100 bis 500	0,5
über 500	0,3

#### Öl- und Gasfeuerungsanlagen

Bei Öl- und Gasfeuerungsanlagen dürfen die nach dem Verfahren der Anlage III Nr. 3.4 der 1. BImSchV für die Feuerstätte ermittelten Abgasverluste die nachfolgend genannten Vomhundertsätze nicht überschreiten:

<b>Nennwärmeleistung in Kilowatt</b>	<b>Grenzwerte für die Abgasverluste</b>
über 4 bis 25	11
über 25 bis 50	10
über 50	9

#### Großfeuerungsanlagen (13. BImSchV vom 22. Juni 1983)

Feuerungsanlagen für feste Brennstoffe

##### Grenzwerte für staubförmige Emissionen

1. Feuerungsanlagen für feste Brennstoffe sind so zu errichten und zu betreiben, dass die staubförmigen Emissionen im Abgas eine Massen-

konzentration von 50 Milligramm je Kubikmeter Abgas nicht überschreiten.

2. Werden andere feste Brennstoffe als Kohle oder Holz eingesetzt, so dürfen die staubförmigen Emissionen an Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Kobalt, Nickel und deren Verbindungen, angegeben als Elemente, im Abgas eine Massenkonzentration von insgesamt 0,5 Milligramm je Kubikmeter Abgas nicht überschreiten.
3. Die Massenkonzentration bezieht sich
  - a) bei Rostfeuerungen und Wirbelschichtfeuerungen auf einen Volumengehalt an Sauerstoff im Abgas von 7 vom Hundert,
  - b) bei Staubfeuerungen mit trockenem Ascheabzug auf einen Volumengehalt an Sauerstoff im Abgas von 6 vom Hundert,
  - c) bei Staubfeuerungen mit flüssigem Ascheabzug auf einen Volumengehalt an Sauerstoff im Abgas von 5 vom Hundert.
4. Die Emissionsgrenzwerte nach den Absätzen 1 und 2 sind auch bei der Heizflächenreinigung einzuhalten.

### **Grenzwert für Kohlenmonoxid**

Feuerungsanlagen für feste Brennstoffe sind so zu errichten und zu betreiben, dass die Emissionen an Kohlenmonoxid im Abgas, bezogen auf ein Volumengehalt an Sauerstoff im Abgas von 5 vom Hundert, eine Massenkonzentration von 250 Milligramm je Kubikmeter Abgas nicht überschreiten.

### **Grenzwerte für Stickstoffoxide**

1. Feuerungsanlagen für feste Brennstoffe sind so zu errichten und zu betreiben, dass die Emissionen an Stickstoffmonoxid und Stickstoffdioxid im Abgas eine Massenkonzentration von höchstens 800 Milligramm je Kubikmeter Abgas, angegeben als Stickstoffdioxid und bezogen auf ein Volumengehalt an Sauerstoff im Abgas von 5 vom Hundert, nicht überschreiten. Die Möglichkeiten, die Emissionen durch feuerungstechnische oder andere dem Stand der Technik entsprechende Maßnahmen weiter zu vermindern, sind auszuschöpfen.

2. Für Feuerungsanlagen mit Staubfeuerungen für Steinkohle und flüssigem Ascheabzug gilt Absatz 1 mit der Maßgabe, dass eine Massenkonzentration von höchstens 1800 Milligramm je Kubikmeter Abgas, angegeben als Stickstoffdioxid und bezogen auf einen Volumengehalt an Sauerstoff im Abgas von 5 vom Hundert, nicht überschritten wird.

#### **Grenzwerte für Schwefeldioxide**

1. Feuerungsanlagen für feste Brennstoffe sind so zu errichten und zu betreiben, dass die Emissionen an Schwefeldioxid und Schwefeltrioxid im Abgas, angegeben als Schwefeldioxid und bezogen auf ein Volumengehalt an Sauerstoff im Abgas von 5 vom Hundert, eine Massenkonzentration von 400 Milligramm je Kubikmeter Abgas nicht überschreiten und ein Schwefelemissionsgrad von 15 vom Hundert nicht übertreten wird.

#### **Grenzwerte für Halogenverbindungen**

1. Feuerungsanlagen mit Rostfeuerungen oder Staubfeuerungen für feste Brennstoffe sind so zu errichten und zu betreiben, dass die Emissionen an anorganischen gasförmigen Halogenverbindungen im Abgas, bezogen auf ein Volumengehalt an Sauerstoff im Abgas von 5 vom Hundert,
  - a) bei einer Feuerungswärmeleistung von mehr als 300 Megawatt Massenkonzentrationen von 100 Milligramm anorganische gasförmige Chlorverbindungen, angegeben als Chlorwasserstoff, und 15 Milligramm anorganische gasförmige Fluorverbindungen, angegeben als Fluorwasserstoff, je Kubikmeter Abgas,
  - b) bei einer Feuerungswärmeleistung bis einschließlich 300 Megawatt Massenkonzentrationen von 200 Milligramm anorganische gasförmige Chlorverbindungen, angegeben als Chlorwasserstoff, und 30 Milligramm anorganische gasförmige Fluorverbindungen, angegeben als Fluorwasserstoff, je Kubikmeter Abgas nicht überschreiten.

Feuerungsanlagen für flüssige Brennstoffe

### **Grenzwerte für staubförmige Emissionen**

1. Feuerungsanlagen für flüssige Brennstoffe sind so zu errichten und zu betreiben, dass die staubförmigen Emissionen im Abgas, bezogen auf einen Volumengehalt an Sauerstoff im Abgas von 3 vom Hundert und nach Abzug der adsorbierten Schwefelsäure, eine Massenkonzentration von 50 Milligramm je Kubikmeter Abgas nicht überschreiten.
2. Werden Heizöle nach DIN 51603 Teil 1 (Ausgabe Dezember 1981) oder DIN 51603 Teil 2 (Ausgabe Oktober 1976) mit einem Nickelgehalt von mehr als 12 Milligramm je Kilogramm Brennstoff oder andere flüssige Brennstoffe als Heizöle nach DIN 51603 eingesetzt, so dürfen die staubförmigen Emissionen an Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Kobalt, Nickel und deren Verbindungen, angegeben als Elemente, im Abgas eine Massenkonzentration von insgesamt 2 Milligramm je Kubikmeter Abgas, bezogen auf einen Volumengehalt an Sauerstoff im Abgas von 3 vom Hundert, nicht überschreiten. Die Normblätter, erschienen in der Beuth-Vertrieb GmbH, Berlin und Köln, sind beim Deutschen Patentamt archivmäßig gesichert niedergelegt.
3. Die Emissionsgrenzwerte nach den Absätzen 1 und 2 sind auch bei der Heizflächenreinigung einzuhalten.

### **Grenzwerte für Kohlenmonoxid**

Feuerungsanlagen für flüssige Brennstoffe sind so zu errichten und zu betreiben, dass die Emissionen an Kohlenmonoxid im Abgas, bezogen auf einen Volumengehalt an Sauerstoff im Abgas von 3 vom Hundert, eine Massenkonzentration von 175 Milligramm je Kubikmeter Abgas nicht überschreiten.

### **Grenzwerte für Stickstoffoxide**

Feuerungsanlagen für flüssige Brennstoffe sind so zu errichten und zu betreiben, dass die Emissionen an Stickstoffmonoxid und Stickstoffdioxid im Abgas eine Massenkonzentration von höchstens 450 Milligramm je Kubikmeter Abgas, angegeben als Stickstoffdioxid und bezogen auf einen



Volumengehalt an Sauerstoff im Abgas von 3 vom Hundert, nicht überschreiten. Die Möglichkeiten, die Emissionen durch feuerungstechnische oder andere dem Stand der Technik entsprechende Maßnahmen weiter zu vermindern, sind auszuschöpfen.

### **Grenzwerte für Schwefeloxide**

1. Feuerungsanlagen für flüssige Brennstoffe sind so zu errichten und zu betreiben, dass die Emissionen an Schwefeldioxid und Schwefeltrioxid im Abgas, angegeben als Schwefeldioxid und bezogen auf einen Volumengehalt an Sauerstoff im Abgas von 3 vom Hundert, eine Massenkonzentration von 400 Milligramm je Kubikmeter Abgas nicht überschreiten und ein Schwefelemissionsgrad von 15 vom Hundert nicht überschritten wird. Können die Anforderungen nach Satz 1 bei Einsatz von Brennstoffen mit besonders hohem oder stark schwankendem Schwefelgehalt nach dem Stand der Technik nicht erfüllt werden, so ist die Entschwefelungseinrichtung ständig mit der höchstmöglichen Abscheideleistung zu betreiben; eine Massenkonzentration von höchstens 650 Milligramm je Kubikmeter Abgas darf nicht überschritten werden.
2. Abweichend von Absatz 1 sind Feuerungsanlagen für flüssige Brennstoffe mit einer Feuerungswärmeleistung von mehr als 100 Megawatt bis einschließlich 300 Megawatt so zu errichten und zu betreiben, dass die Emissionen an Schwefeldioxid und Schwefeltrioxid im Abgas, angegeben als Schwefeldioxid und bezogen auf einen Volumengehalt an Sauerstoff im Abgas von 3 vom Hundert, eine Massenkonzentration von 1 700 Milligramm je Kubikmeter Abgas nicht überschreiten und ein Schwefelemissionsgrad von 40 vom Hundert nicht überschritten wird.

### **Grenzwerte für Halogenverbindungen**

Werden in Feuerungsanlagen für flüssige Brennstoffe andere flüssige Brennstoffe als Heizöle nach DIN 51603 Teil 1 (Ausgabe Dezember 1981) oder DIN 51603 Teil 2 (Ausgabe Oktober 1976) eingesetzt, so dürfen die Emissionen an anorganischen gasförmigen Chlorverbindungen, angegeben als Chlorwasserstoff, eine Massenkonzentration von 30 Milligramm je Kubikmeter Abgas und die Emissionen an anorganischen gasförmigen

Fluorverbindungen, angegeben als Fluorwasserstoff, eine Massenkonzentration von 5 Milligramm je Kubikmeter Abgas, bezogen auf einen Volumengehalt an Sauerstoff im Abgas von 3 vom Hundert, nicht überschreiten. Die Normblätter, erschienen in der Beuth-Vertrieb GmbH, Berlin und Köln, sind beim Deutschen Patentamt archivmäßig gesichert niedergelegt.

Feuerungsanlagen für gasförmige Brennstoffe

### **Grenzwerte für staubförmige Emissionen**

1. Feuerungsanlagen für gasförmige Brennstoffe sind so zu errichten und zu betreiben, dass die staubförmigen Emissionen im Abgas, bezogen auf einen Volumengehalt an Sauerstoff im Abgas von 3 vom Hundert, eine Massenkonzentration von 5 Milligramm je Kubikmeter Abgas nicht überschreiten.
2. Abweichend von Absatz 1 dürfen die staubförmigen Emissionen im Abgas, bezogen auf einen Volumengehalt an Sauerstoff im Abgas von 3 vom Hundert, bei Verwendung

von Gichtgas (Hochofengas)	10 mg/m <sup>3</sup> ,
von Industriegasen der Stahlerzeugung	100 mg/m <sup>3</sup>

nicht übersteigen.

### **Grenzwerte für Kohlenmonoxid**

Feuerungsanlagen für gasförmige Brennstoffe sind so zu errichten und zu betreiben, dass die Emissionen an Kohlenmonoxid im Abgas, bezogen auf einen Volumengehalt an Sauerstoff im Abgas von 3 vom Hundert, eine Massenkonzentration von 100 Milligramm je Kubikmeter Abgas nicht überschreiten.

### **Grenzwerte für Stickstoffoxide**

Feuerungsanlagen für gasförmige Brennstoffe sind so zu errichten und zu betreiben, dass die Emissionen an Stickstoffmonoxid und Stickstoffdioxid im Abgas eine Massenkonzentration von höchstens 350 Milligramm je Kubikmeter Abgas, angegeben als Stickstoffdioxid und bezogen auf einen Volumengehalt an Sauerstoff im Abgas von 3 vom Hundert, nicht überschreiten. Die Möglichkeiten, die Emissionen durch feuerungstechnische

oder andere dem Stand der Technik entsprechende Maßnahmen weiter zu vermindern, sind auszuschöpfen.

### **Grenzwerte für Schwefeloxide**

1. Feuerungsanlagen für gasförmige Brennstoffe sind so zu errichten und zu betreiben, dass die Emissionen an Schwefeldioxid und Schwefeltrioxid im Abgas, angegeben als Schwefeldioxid und bezogen auf einen Volumengehalt an Sauerstoff im Abgas von 3 vom Hundert, eine Massenkonzentration von 35 Milligramm je Kubikmeter Abgas nicht überschreiten.
2. Abweichend von Absatz 1 dürfen die Emissionen an Schwefeldioxid und Schwefeltrioxid im Abgas, angegeben als Schwefeldioxid und bezogen auf einen Volumengehalt an Sauerstoff im Abgas von 3 vom Hundert, bei Verwendung
  - a) von Kokereigas 100 mg/m<sup>3</sup>,
  - b) von Flüssiggas 5 mg/m<sup>3</sup>nicht überschreiten.

### **Verbrennungsmotoren (Kfz)**

Die Grenzwerte für Verbrennungsmotoren wurden aus der 28. BImSchV, Verordnung über Emissionsgrenzwerte für Verbrennungsmotoren vom 11. November 1998, entnommen.

Motoren nach dieser Verordnung dürfen gewerbsmäßig oder im Rahmen wirtschaftlicher Unternehmungen nur in den Verkehr gebracht werden, wenn sie

1. bei einer Nutzleistung von
  - a) 130 kW bis 560 kW ab dem 1. Januar 1999,
  - b) 75 kW bis 130 kW ab dem 1. Januar 1999,
  - c) 37 kW bis 75 kW ab dem 1. April 1999die zulässigen Emissionsgrenzwerte nach der Tabelle der Richtlinie 97/68/EG (Tab. 20.1) und
2. bei einer Nutzleistung von

## Möglichkeiten eines Schadstoffeintrags in den Boden

- d) 18 kW bis 37 kW ab dem 1. Januar 2001,
  - e) 130 kW bis 560 kW ab dem 1. Januar 2002,
  - f) 75 kW bis 130 kW ab dem 1. Januar 2003,
  - g) 37 kW bis 75 kW ab dem 1. Januar 2004
- die zulässigen Emissionsgrenzwerte nach der Tabelle der Richtlinie 97/68/EG (Tab. 20.2) einhalten.

**Tab. 20.1:** Die für Punkt 1 ermittelten Emissionen von Kohlenstoffmonoxid, Kohlenwasserstoffen, Stickstoffoxiden und Partikeln dürfen die angegebenen Werte nicht übersteigen

Nutzleistung (P) (kW)	Kohlenstoffmonoxid (CO) (g/kWh)	Kohlenwasserstoffe (HC) (g/kWh)	Stickstoffoxide (NO <sub>x</sub> ) (g/kWh)	Partikel (PT) (g/kWh)
130–560	5,0	1,3	9,2	0,54
75–130	5,0	1,3	9,2	0,70
37–75	6,5	1,3	9,2	0,85

Die hier angegebenen Emissionsgrenzwerte sind die Grenzwerte bei Austritt aus dem Motor und müssen vor einer Nachbehandlungseinrichtung für das Abgas erreicht worden sein.

**Tab. 20.2:** Die für Punkt 2 ermittelten Emissionen von Kohlenstoffmonoxid, Kohlenwasserstoffen, Stickstoffoxiden und Partikeln dürfen die angegebenen Werte nicht übersteigen

Nutzleistung (P) (kW)	Kohlenstoffmonoxid (CO) (g/kWh)	Kohlenwasserstoffe (HC) (g/kWh)	Stickstoffoxide (NO <sub>x</sub> ) (g/kWh)	Partikel (PT) (g/kWh)
130–560	3,5	1,0	6,0	0,2
75–130	5,0	1,0	6,0	0,3
37–75	5,0	1,3	7,0	0,4
18–37	5,5	1,5	8,0	0,8

Umfasst eine Motorenfamilie mehr als einen Leistungsbereich, so müssen die Emissionswerte des Stamm-Motors (Typgenehmigung) und aller Motortypen innerhalb dieser Familie (Übereinstimmung der Produktion) den strengeren Vorschriften für den höheren Leistungsbereich entsprechen. Dem Antragsteller steht es frei, sich bei der Festlegung von Motorenfamilien auf einzelne Leistungsbereiche zu beschränken und den Antrag auf Erteilung der Genehmigung entsprechend zu stellen.

### 2.5.2 Stoffeintrag über Gewässer

Hierzu gehören Einträge kontaminierter Oberflächenwässer, vorwiegend als **Uferfiltrat**. Die Intensität des Eintrags ist dabei stark von der Wasserdurchlässigkeit des jeweiligen Untergrundes abhängig. Beispielsweise kann kontaminiertes Oberflächenwasser, das in einem sandig-kiesigen Flussbett fließt, sehr schnell in den Untergrund infiltrieren, während dies bei einem tonig-schluffigen Untergrund nicht bzw. nur sehr langsam möglich ist.

Ein erhöhter Schadstoffeintrag findet bei **Überschwemmungen** statt. Hier können je nach geographischen Gegebenheiten große Flächen betroffen sein. Gerade bei großen Überschwemmungsereignissen wie z. B. am Rhein, an der Mosel, der Elbe und auch der Donau, der Iller, an Lech und Inn werden Flusswässer in kürzester Zeit mit Schadstoffen aus den angrenzenden Siedlungs- und Gewerbegebieten belastet. Die Schadstoffe werden zügig mit dem Flusswasser verfrachtet und können große Flächen schnellstens verunreinigen.

Hinzu kommen **Kanalisations- und Industrierwässer**, die direkt in die Oberflächenwässer eingeleitet werden. Nicht zuletzt entwässert man landwirtschaftlich genutzte Gebiete großräumig mit Drainagegräben, wodurch die überschüssigen Dünge- und Pflanzenschutzmittel in die Oberflächenwässer gelangen, mit diesen verfrachtet und andernorts wieder abgelagert werden.

Das Einleiten von Abwasser in ein Gewässer wird im **Abwasserabgabengesetz** vom 3. November 1994 (zuletzt geändert am 25. August 1998) geregelt.

**Abwasser** im Sinne dieses Gesetzes sind das durch häuslichen, gewerblichen, landwirtschaftlichen oder sonstigen Gebrauch in seinen Eigenschaften veränderte und das bei Trockenwetter damit zusammen abfließende Wasser (**Schmutzwasser**) sowie das von Niederschlägen aus dem Bereich von bebauten oder befestigten Flächen abfließende und gesammelte Wasser (**Niederschlagswasser**). Als Schmutzwasser gelten auch die aus Anlagen zum Behandeln, Lagern und Ablagern von Abfällen austretenden und gesammelten Flüssigkeiten.

**Einleiten** im Sinne dieses Gesetzes ist das unmittelbare Verbringen des Abwassers in ein Gewässer; das Verbringen in den Untergrund gilt als Einleiten in ein Gewässer, ausgenommen hiervon ist das Verbringen im Rahmen landbaulicher Bodenbehandlung.

Die Abwasserabgabe richtet sich nach der Schädlichkeit des Abwassers, die unter Zugrundelegung der oxidierbaren Stoffe, des Phosphors, des Stickstoffs, der organischen Halogenverbindungen, der Metalle Quecksilber, Cadmium, Chrom, Nickel, Blei, Kupfer und ihren Verbindungen sowie der Giftigkeit des Abwassers gegenüber Fischen nach der Anlage zu diesem Gesetz in Schadeinheiten bestimmt wird. Eine Bewertung der Schädlichkeit entfällt außer bei Niederschlagswasser und Kleineinleitungen, wenn die der Ermittlung der Zahl der Schadeinheiten zugrunde zu legende Schadstoffkonzentration oder Jahresmenge die in Tabelle 21 angegebenen Schwellenwerte nicht überschreitet oder der Verdünnungsfaktor GF nicht mehr als 2 beträgt.

Wird Abwasser in Küstengewässer eingeleitet, bleibt die Giftigkeit gegenüber Fischen insoweit unberücksichtigt, als sie auf dem Gehalt an solchen Salzen beruht, die den Hauptbestandteilen des Meerwassers gleichen. Das Gleiche gilt für die Einleitung von Abwasser in Mündungsstrecken oberirdischer Gewässer in das Meer, die einen ähnlichen natürlichen Salzgehalt wie die Küstengewässer aufweisen.

**Tab. 21:** Bewertungen der Schadstoffe und Schadstoffgruppen sowie Schwellenwerte für die Einleitung von Abwasser

<b>Bewertete Schadstoffe und Schadstoffgruppen</b>	<b>Einer Schadeinheit entsprechen jeweils folgende volle Messeinheiten</b>	<b>Schwellenwerte nach Konzentration und Jahresmenge</b>
Oxidierbare Stoffe in chemischem Sauerstoffbedarf (CSB)	50 kg Sauerstoff	20 mg/l und 250 kg Jahresmenge
Phosphor	3 kg	0,1 mg/l und 15 kg Jahresmenge
Stickstoff	25 kg	5 mg/l und 125 kg Jahresmenge
Organische Halogenverbindungen als AOX	2 kg Halogen, berechnet als organisch gebundenes Chlor	100 µg/l und 10 kg Jahresmenge
<b>Metalle und ihre Verbindungen:</b>		
Quecksilber	20 g	1 µg/l und 100 g Jahresmenge
Cadmium	100 g	5 µg/l und 500 g Jahresmenge
Chrom	500 g	50 µg/l und 2,5 kg Jahresmenge
Nickel	500 g	50 µg/l und 2,5 kg Jahresmenge
Blei	500 g	50 µg/l und 2,5 kg Jahresmenge
Kupfer	1 000 g Metall	100 µg/l und 5 kg Jahresmenge
Giftigkeit gegenüber Fischen	3 000 m <sup>3</sup> Abwasser geteilt durch GF	GF = 2

GF ist der Verdünnungsfaktor, bei dem Abwasser im Fischtest nicht mehr giftig ist.

### 2.5.3 Unmittelbarer Stoffeintrag

Schadstoffeinträge können auch anthropogen direkt in den Boden erfolgen. Bei land- und forstwirtschaftlicher Nutzung sind Dünge- und Pflanzenschutzmittel sowie Klärschlamm von Bedeutung. Im Straßenverkehr wird durch die Verbrennungsabgase, den Abrieb von Reifen, Straßen und Bremsen, durch Korrosion und Tropfverlust eine große Menge an Schadstoffen emittiert. Ein Teil dieser Stoffe wird mit dem Spritzwasser, dem Straßenabwasser und durch Deposition in die straßennahen Böden eingetragen und führt dort zu hohen Belastungen.

**Mineralische Düngemittel** können in Abhängigkeit von der Herkunft ihrer Rohstoffe oder aufgrund der Herstellungsverfahren in unterschiedlichem Ausmaß mit Schadstoffen belastet sein, die durch die Düngemittelanwendung je nach Nutzungs- und Düngungssystem auf land- und forstwirtschaftlich genutzte Böden gelangen. Die folgende Tabelle gibt durchschnittliche Arsen- und Schwermetallgehalte [mg/kg] von Düngemitteln wider (Boysen, 1992):

**Tab. 22.1:** Durchschnittliche Arsen- und Schwermetallgehalte [mg/kg] von mineralischen Düngemitteln (Boysen, 1992)

Düngemitteltyp	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Kalkammonsalpeter	n. b.	0,24	17,3	2,9	6,8	11,3	46
Harnstoff	n. b.	< 0,1	< 1	0,8	< 1	< 1	0,8
Triplesuper, Superphosphat	3,7	25	273	22,9	27,2	< 1	378
Thomasphosphat	3,2	< 0,1	1 759	33	6	5,6	67
diverse Rohphosphate	3,6	7,8	168	15,6	15,6	1,3	199
Kalirohsalz	n. b.	< 0,1	17,4	3,7	8,8	< 1	3,5
Kaliumchlorid	n. b.	< 0,1	7,2	3,2	3,1	< 1	5,4
Kaliumsulfat	n. b.	< 0,1	7,8	3,5	3,4	< 1	3,1
NPK-Dünger	4,6	4,9	55	13,4	10,9	2,1	100
PK-Dünger	2,5	3,6	517	20,8	22,8	2,3	107
NP-Dünger	3,1	11,8	141	22	25,4	< 1	202



Über die mineralischen Düngemittel werden vor allem Cadmium und Chrom, in geringerem Ausmaß Blei, Nickel und Arsen eingetragen. Der größte Anteil der Schwermetallfracht stammt aus Rohphosphaten oder aus auf Rohphosphatbasis hergestellten P-Düngern (Triplesuper- und Superphosphat), aus Thomasphosphaten sowie phosphathaltigen Mehrnährstoffdüngern. P-Dünger auf Rohphosphatbasis können in Abhängigkeit von der Herkunft der Rohphosphate erhöhte Cadmiumgehalte und erhöhte Anteile an radioaktiven Elementen enthalten. Thomasphosphate weisen vor allem hohe Chromgehalte aus dem Herstellungsprozess auf.

Als **organische Düngemittel** verwendet man Wirtschaftsdünger (Gülle und Mist) sowie Klärschlamm. In der folgenden Tabelle sind die Schwermetallgehalte der vier mengenmäßig wichtigsten Wirtschaftsdünger angegeben:

In Gülle und Mist sind insbesondere die Elemente Kupfer und Zink überdurchschnittlich hoch. Gülle ist grundsätzlich ein wertvolles wirtschaftseigenes Düngemittel. In zu hohen Mengen ausgebracht, kann sie jedoch das Bodenleben und den Bewuchs beeinträchtigen. Der Einsatz von Gülle in zu hohen Mengen, auf Flächen ohne Pflanzenbewuchs oder während der Vegetationsruhe kann zu erhöhtem Nitratgehalt im Grundwasser sowie zu erheblichen Ammoniakemissionen in die Luft führen. So übersteigen die Nitratgehalte von oberflächennahen Grundwässern in nicht standortgerecht landwirtschaftlich genutzten Gebieten oft sogar die Grenzwerte der Trinkwasserverordnung.

**Tab. 22.2:** Schwermetallgehalte von Wirtschaftsdüngern [mg/kg] (Bachmann, 1998)

Düngemittel	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Rindergülle	0,41	8	38	6	7	230
Schweinegülle	0,64	10	59,5	12	7	1 187
Rindermist	0,44	20	39	10	7	213
Schweinemist	0,43	11	740	13	n. b.	1 200

Maßgeblichen Einfluss auf die spezifischen Schwermetalleinträge haben die verschiedenen Nutzungs- und Düngungssysteme, wie folgende Tabelle zeigt:

**Tab. 22.3:** Arsen- und Schwermetallfrachten auf landwirtschaftlich genutzten Böden in Abhängigkeit unterschiedlicher Nutzungs- und Düngungssysteme [g/ha a] (Boysen, 1992)

Nutzungs-system	Düngungs-system	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Acker (k)	(A)	2,6	4,17	52,6	5,7	9,4	7,9	91,3
Acker (k)	(B)	2,9	2,26	29,3	6,8	6,7	3,85	57
Acker (k)	(C)	2,3	0,9	16,2	372	39,5	12,8	1 173
Grünland (k)	(D)	3,1	4,8	62,5	7,3	11,7	9,2	107
Grünland (k)	(E)	5,1	4	51,4	11,9	11,6	6,6	99,8
Grünland (k)	(F)	2,1	0,69	12,7	79,1	11,5	16,2	395
Acker (ö)	(G)	0,89	0,4	128	54,8	6,9	8,4	257
Acker (ö)	(H)	0,7	0,9	12,2	52,9	7,1	8,1	262
Acker (ö)	(I)	1,7	0,6	12,1	249	26,9	8	781

**Abkürzungen:** (k) = konventioneller Landbau  
(ö) = ökologischer Anbau

**Düngungssysteme** (Mengenangaben pro ha im Jahr):

- A 700 kg Kalkammonsalpeter, 130 kg Triplesuperphosphat, 40 kg Kaliumchlorid
- B 450 kg NPK-Dünger, 260 kg Kalkammonsalpeter
- C 30 m<sup>3</sup> Schweinegülle (k), 70 kg Kalkammonsalpeter
- D 810 kg Kalkammonsalpeter, 150 kg Triplesuperphosphat, 480 kg Kaliumchlorid
- E 800 kg NPK-Dünger, 430 kg Kalkammonsalpeter
- F 30 m<sup>3</sup> Rindergülle (k), 370 kg Kalkammonsalpeter
- G 20 m<sup>3</sup> Rindergülle (k), 70 kg Thomasphosphat, 130 kg Kalimagnesia
- H 20 m<sup>3</sup> Rindergülle (k), 45 kg weicherdiges Rohphosphat, 330 kg Kalirohsalz
- I 20 m<sup>3</sup> Schweinegülle (k), 270 kg Kalimagnesia

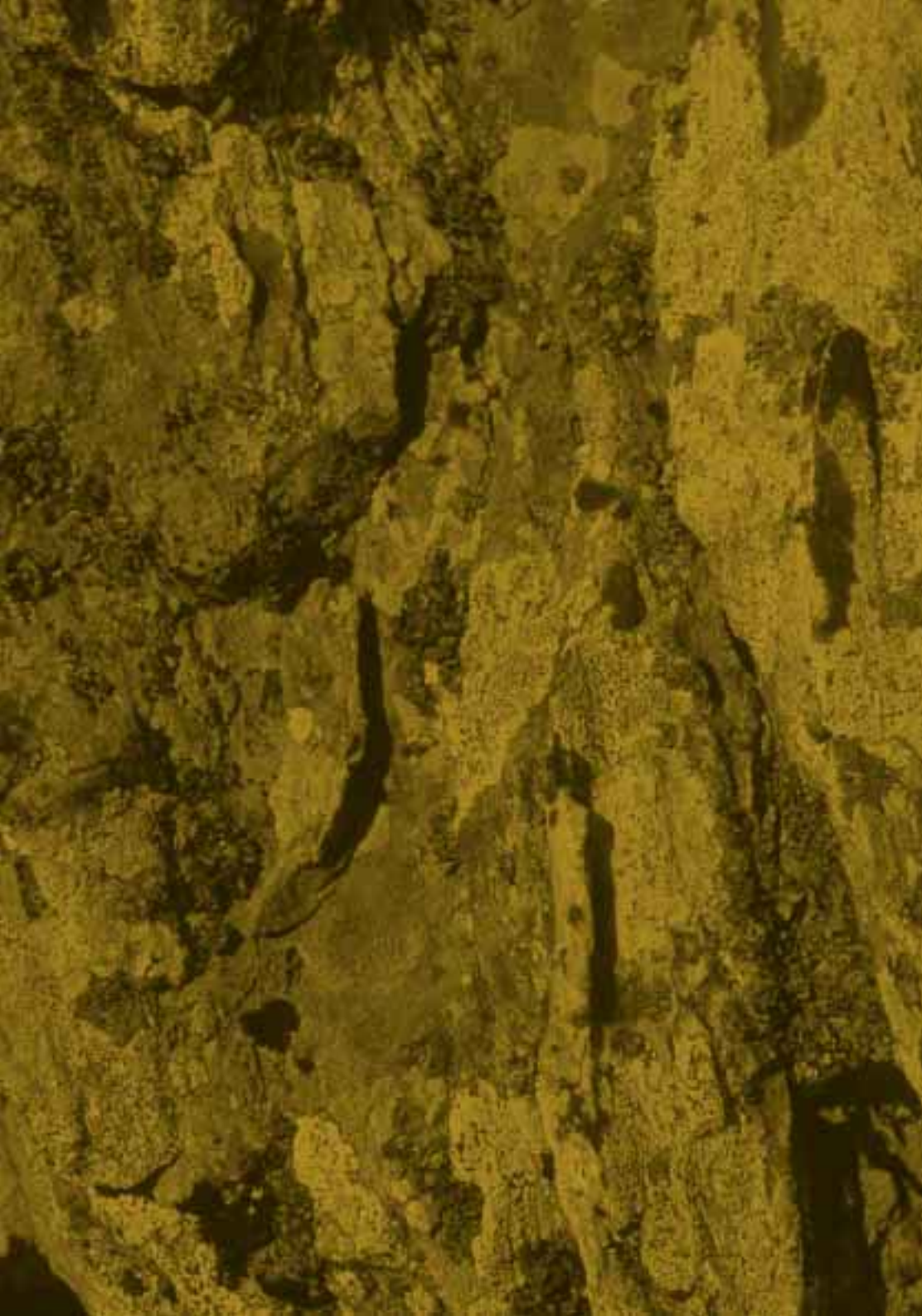
**Pflanzenschutzmittel** (PSM) werden ihrem Anwendungsbereich entsprechend als *Fungizide* (gegen Pilze), *Herbizide* (gegen unerwünschte Konkurrenzpflanzen), *Insektizide* (gegen Insekten), *Akarizide* (gegen Milben), *Nematizide* (gegen Fadenwürmer), Rodentizide (gegen Nagetiere) oder als Molluskizide (gegen Schnecken) eingesetzt. Deren Ab- und Umbauprodukte werden als **Metaboliten** bezeichnet. Die Gefahr der Akkumulation im Boden ist besonders bei nicht oder nur langsam abbaubaren (persistenten) xenobiotischen (in der Natur nicht vorkommenden) Verbindungen (z.B. DDT, Lindan, Heptachlor) gegeben. Chlorierte Kohlenwasserstoffe können von Pflanzen aufgenommen werden und in die Nahrungskette gelangen.

**Klärschlamm** ist wegen seines hohen Gehaltes an Nährstoffen grundsätzlich zur Düngung und Bodenverbesserung geeignet. Die Anforderungen für das Aufbringen von Klärschlamm in der Land- und Forstwirtschaft ist in der Klärschlammverordnung (s. 2.2.9) im Einzelnen geregelt. Sie gibt Grenzwerte für Schwermetalle und einige organische Schadstoffe in Klärschlamm und für Schwermetalle in Böden an.

Mit dem Klärschlamm können neben Schwermetallen auch organische Schadstoffe in die Böden eingebracht werden. Von besonderer Bedeutung sind hier die polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK), Phtalate und Tenside, aber auch die Gruppe der Chlorkohlenwasserstoffe mit den polychlorierten Biphenylen (PCB), Dibenzodioxinen (PCDD) oder Dibenzofuranen (PCDF).

Durch den **Straßenverkehr** werden vor allem die Schadstoffe Blei, Zink, Cadmium, PAK und PCDD/F emittiert, die mit dem Spritzwasser, dem Straßenabwasser und durch Deposition in die straßennahen Böden eingetragen werden. Des Weiteren müssen noch die Salzfrachten durch den Streudienst, Mineralöle und deren Verunreinigungen aus Tropfverlusten, Platin und Palladium aus Katalysatoren und diverse andere Schwermetalle, die durch den Abrieb der Bremsbeläge emittiert werden, beachtet werden.

Die Forschung zeigt, dass die Böden bis zu einer Entfernung von 50 m von der Straße in stärkerem Maße mit Schwermetallen belastet sind.



The background of the slide is an aerial photograph of a dry, cracked, yellowish-brown soil surface. The cracks are irregular and form a complex network across the entire frame. The lighting is somewhat uneven, with darker shadows in the crevices and lighter areas on the raised ridges of the soil.

**3**

**Bodeninformationssysteme  
(B. I. S.) der Behörden**

# 3 Bodeninformationssysteme

Bodeninformationssysteme werden in erster Linie auf Länderebene geführt. Ihr Einsatzbereich reicht von geologischen Fragestellungen über landwirtschaftliche Ertragsnachweise bis hin zur Dokumentation von Schadstoffbelastungen im Boden.

Um rechtzeitig und sicher Entscheidungen zur Vermeidung und Minimierung von Belastungen des Bodens beziehungsweise zur Sanierung bereits eingetretener Schäden treffen zu können, müssen die Informationsgrundlagen möglichst vollständig, zeitgerecht und kostengünstig bereitgestellt werden. Die notwendigen Voraussetzungen für eine zeitnahe Bereitstellung der Informationen von der Landesebene bis zur einzelnen Parzelle sollen durch den Aufbau digitaler Informationssysteme geschaffen werden. Wesentliches Merkmal dieser Systeme sollen die Nutzerorientierung und Einsatzflexibilität sein. Die Informationsbereitstellung soll ständig an den fachlichen Notwendigkeiten ausgerichtet sein.

Derzeit verfügen die Bundesländer Niedersachsen (NIBIS), Hessen (HESBIS) und Bayern (BIS) über ein Bodeninformationssystem. Teilweise befinden sie sich noch im Aufbau, was Probleme mit der Datenverfügbarkeit nach sich ziehen kann.

Die notwendigen Inhalte eines Bodeninformationssystems lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Flächenhafte Darstellung der Böden hinsichtlich
  - Profilaufbau
  - Stoffbestand
  - Standort- und Umwelteigenschaften
  - Empfindlichkeit und Belastbarkeit
  - Belastungszustand
  - Veränderungen im Bodenhaushalt

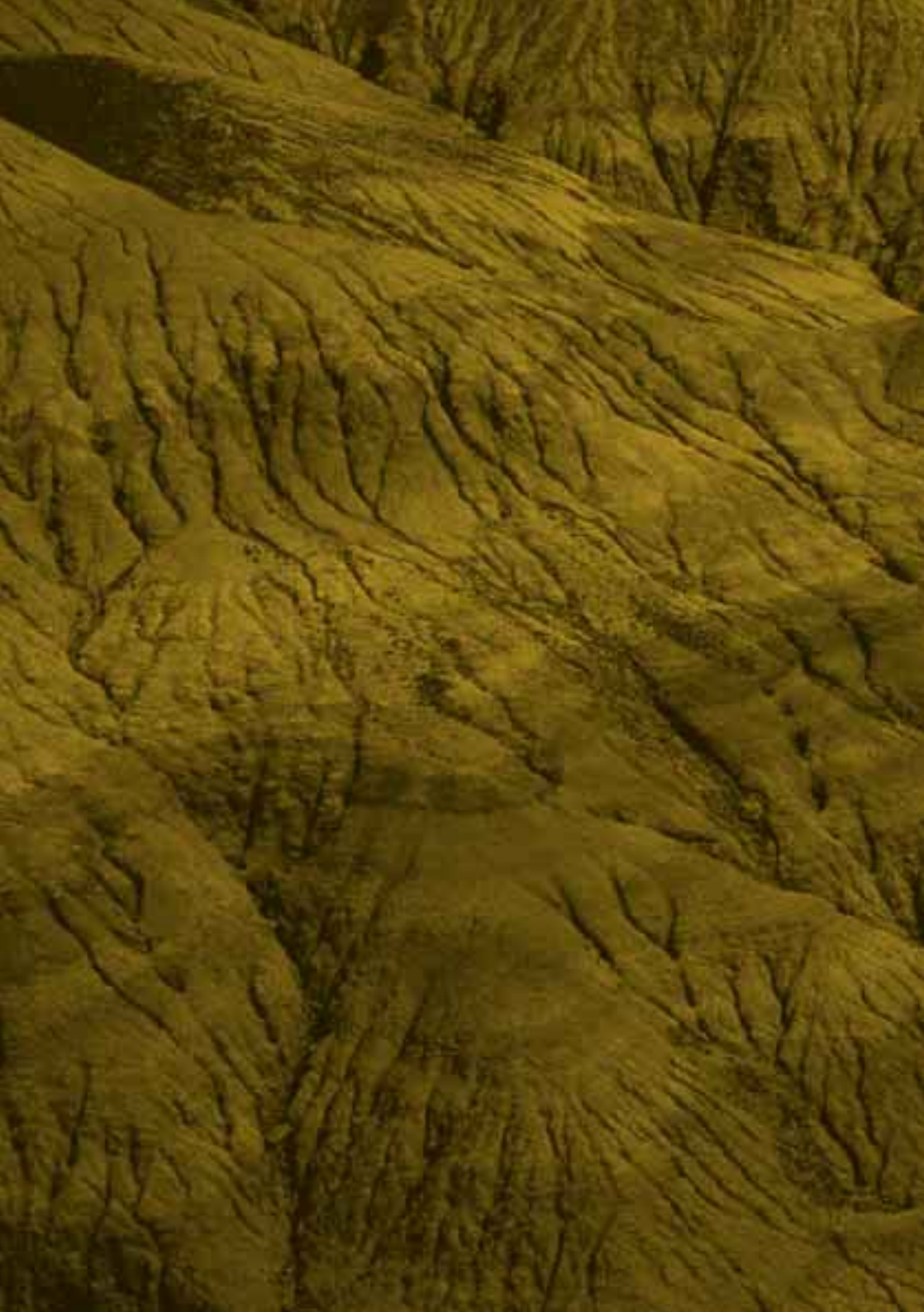
# (B. I. S.) der Behörden

- Weitere geowissenschaftliche Informationen
  - geologische Daten sowie Daten zum Aspekt „Schutz des tieferen Untergrunds“
  - hydrogeologische und hydrologische Daten
  - lagerstättenkundliche Daten
  - ingenieurgeologische Daten
  - geomorphologische Daten
  - Klimadaten (da auch das Klima beeinflussender Faktor für die Bodeneigenschaften und die Bodenentwicklung ist, z. B. sind Schadstoffdepositionen aus der Luft witterungsabhängig)
- Informationen über die Bodenbelastung
  - Stoffeinträge
  - Substanzverluste, Strukturschädigungen
  - Flächeninanspruchnahme
- Informationen zu Naturschutz und Landschaftspflege

Kernpunkt der aus dem Bodeninformationssystem gewonnenen Aussagen soll die Vorhersage von Gefahren und Risiken sein, die durch bestimmte Nutzungen und Belastungen für die Böden entstehen können. Vor allem auf den Gebieten

- Schadstoffanreicherung und -verlagerung,
- Bodenversauerung,
- Nitratauswaschung,
- Verdichtung,
- Erosion,
- Humusschwund und
- Flächeninanspruchnahme

müssen, ausgehend von den jeweiligen Bodeneigenschaften, den bereits festgestellten Schäden und dem Ausmaß der Belastung, Risikobeurteilung und -vorhersagen durchgeführt werden.







# 4

## Vergleich bestehender Tabellenwerke/ Vorbelastungen

## 4 Vergleich bestehender Tab

In der BBodSchV vom 16. Juni 1999 wurden Prüfwerte nach § 8 Abs. 1 Satz 2 Nr. 1 des BBodSchG festgelegt, bei deren Überschreiten unter Berücksichtigung der Bodennutzung eine einzelfallbezogene Prüfung durchzuführen und festzustellen ist, ob eine schädliche Bodenveränderung oder Altlast vorliegt. Die Maßnahmenwerte nach § 8 Abs. 1 Satz 2 Nr 2 des BBodSchG zeigen an, dass bei Überschreiten unter Berücksichtigung der jeweiligen Bodennutzung in der Regel von einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast auszugehen ist und Maßnahmen erforderlich sind.

Grundsätzlich muss darauf geachtet werden, dass die Prüf- und Maßnahmenwerte nicht ohne weiteres mit den Bodenwerten wie Richt-, Orientierungs- oder Risikowerten bestehender Richtlinien verglichen werden können, da sie oft unterschiedlich hergeleitet sind.

In den Tabellen 23–25 sind die Prüf- und Maßnahmenwerte der BBodSchV (s. 2.1.2) zusammen mit den Bodenwerten bestehender Richtlinien aufgelistet und für jeden einzelnen Parameter grafisch dargestellt. Dabei sind nur vergleichbare Bodenwerte berücksichtigt, die nach dem gleichen Verfahren hergeleitet sind und somit das gleiche Bezugssystem besitzen. Die Tabellen sind nach den drei Wirkungspfaden Boden–Mensch, Boden–Nutzpflanze und Boden–Grundwasser gegliedert.

In die Grafiken wurden Hintergrundwerte ausgewählter Böden oder Gesteine mit aufgenommen. Die ausgewählten Böden oder Gesteine weisen die höchsten in Deutschland bekannten Hintergrundwerte auf.

Sofern nichts anderes angegeben ist, handelt es sich bei den Hintergrundwerten jeweils um das 90. Perzentil (90. P) als statistische Kenngröße. Das 90. Perzentil wird zur Kennzeichnung der Obergrenze des für das Datenkollektiv repräsentativen Wertebereichs und damit als Hintergrundwert zur Abgrenzung von merklicher anthropogener Belastung vorgeschlagen (Labo, 1995). Hintergrundwerte, die die Bodenwerte der jeweiligen Richtlinien weit überschreiten und den Rahmen der Grafik sprengen würden, sind als Textfeld im Diagramm vermerkt.

# ellenwerke/Vorbelastung

Im Folgenden werden die ausgewerteten Vergleichsdarstellungen einzeln behandelt, wobei für jedes Diagramm eine Beschreibung erfolgt. Darin werden die Prüf- und Maßnahmenwerte der BBodSchV mit den bisherigen Werten gängiger Richtlinien sowie mit Hintergrundwerten ausgewählter Böden und Gesteine verglichen.

## **4.1 Vergleichsdarstellungen für den Wirkungspfad Boden–Mensch**

In den Tabellen 23.1 bis 23.4 sind für die anorganischen, in den Tabellen 23.5 bis 23.8 für die organischen Parameter die Prüfwerte der BBodSchV für die oben angeführten vier Nutzungskategorien im Vergleich zu den bisherigen Bodenwerten gängiger Richtlinien aufgelistet. In den Diagrammen 1. A bis 1. M sind die Werte der Richtlinien sowie Hintergrundwerte ausgewählter Böden oder Gesteine grafisch dargestellt.

Tab. 23.1: Wirkungspfad Boden–Mensch: Vergleich der Bodenwerte für Kinderspielflächen (anorganische Parameter); Angaben in mg/kg

Regelwerk	BBodSchG (1999)	Baden-Württemberg (1998)	Berlin (1996)	Brandenburg (1993)
Bezeichnung des Wertes	Prüfwert	Orientierungswert	Risikowert	Ib-Prüfwerte
As	25	20	40	7
Pb	200	100	200	100
Cd	10	3	3	1,5
CN ges.	50	50	60	25
CN leicht freisetzbar	/	/	/	1
Cr ges.	200	100	150	100
Chromat	/	/	/	5
Ni	70	100	/	50
Hg	10	2	2	0,5
Tl	/	1	/	/
Cu	/	/	/	100
Zn	/	/	/	300
Sb	/	/	/	/
Co	/	/	/	100
Mo	/	/	/	/
Se	/	/	/	/
Sn	/	/	/	100
F	/	750	400	100

Hamburg (1990)	Hessen (1992)	Sachsen (1999)	Holland-Liste (1994)		
			D	N-Wert	Prüfwerte
100	30	20	29	55	42
500	100	200	85	530	307,5
40	1	6	0,8	12	6,4
/	10	40	5	50	27,5
/	1	/	/	/	/
200	100	100	100	380	240
/	/	/	/	/	/
400	50	60	35	210	122,5
10	1	4	0,3	10	5,15
/	/	0,5	/	/	/
500	60	300	36	190	113
2 000	150	500	140	720	430
/	/	2	/	/	/
/	/	50	20	240	/
/	/	10	10	200	/
/	/	40	/	/	/
/	/	/	/	/	/
/	/	300	/	/	/

Tab. 23.2: Wirkungspfad Boden–Mensch: Vergleich der Bodenwerte für Wohngebiete (anorganische Parameter); Angaben in mg/kg

Regelwerk	BBodSchG (1999)	Baden-Württemberg (1998)	Berlin (1996)	Brandenburg (1993)	Bremen (1993)
Bezeichnung des Wertes	Prüfwerte	Orientierungswerte	Risikowerte	Ib-Prüfwerte	W1-Werte
As	50	30	80	7	40
Pb	400	500	600	100	500
Cd	20	15	9	1,5	10
CN ges.	50	150	/	25	/
CN leicht freisetzbar	/	/	/	1	/
Cr ges.	400	500	300	100	200
Chromat	/	/	/	5	/
Ni	140	100	/	50	200
Hg	20	10	6	0,5	5
Tl	/	4	/	/	/
Cu	/	/	/	100	500
Zn	/	/	/	300	2 000
Sb	/	/	/	/	/
Co	/	/	/	100	/
Mo	/	/	/	/	/
Se	/	/	/	/	/
Sn	/	/	/	100	/
F	/	3 750	/	100	/

Hamburg (1990)	Hessen (1992)	Sachsen (1999)	Holland-Liste (1994)		
D	N-Wert	Prüfwerte	S-Werte	I-Werte	(S + I)/2
100	30	40	29	55	42
500	100	400	85	530	307,5
40	1	12	0,8	12	6,4
/	10	80	5	50	27,5
/	1	/	/	/	/
200	100	200	100	380	240
/	/	/	/	/	/
400	50	120	35	210	122,5
10	1	8	0,3	10	5,15
/	/	1	/	/	/
500	60	600	36	190	113
2 000	150	500	140	720	430
/	/	4	/	/	/
/	/	100	20	240	/
/	/	20	10	200	/
/	/	80	/	/	/
/	/	/	/	/	/
/	/	600	/	/	/

Tab. 23.3: Wirkungspfad Boden–Mensch: Vergleich der Bodenwerte für Park- und Freizeitanlagen (anorganische Parameter); Angaben in mg/kg

Regelwerk	BBodSchG (1999)	Baden-Württemberg (1998)	Brandenburg (1993)	Hamburg (1990)
Bezeichnung des Wertes	Prüfwerte	Orientierungswerte	II-Prüfwerte	D
As	125	30	20	100
Pb	1 000	500	500	500
Cd	50	15	10	40
CN ges.	50	150	50	/
CN leicht freisetzbar	/	/	5	/
Cr ges.	1 000	500	400	200
Chromat	/	/	25	/
Ni	350	100	250	400
Hg	50	10	1	10
Tl	/	4	/	/
Cu	/	/	500	500
Zn	/	/	2 000	2 000
Sb	/	/	/	/
Co	/	/	200	/
Mo	/	/	/	/
Se	/	/	/	/
Sn	/	/	300	/
F	/	3 750	1 000	/



Hessen	Sachsen (1999)	Holland-Liste (1994)		
N-Wert	Prüfwerte	S-Werte	I-Werte	(S + I)/2
30	100	29	55	42
100	1 000	85	530	307,5
1	30	0,8	12	6,4
10	200	5	50	27,5
1	/	/	/	/
100	300	100	380	240
/	/	/	/	/
50	300	35	210	122,5
1	20	0,3	10	5,15
/	2,5	/	/	/
60	1 500	36	190	113
150	1 000	140	720	430
/	10	/	/	/
/	250	20	240	/
/	50	10	200	/
/	200	/	/	/
/	/	/	/	/
/	1 500	/	/	/

Tab. 23.4: Wirkungspfad Boden–Mensch: Vergleich der Bodenwerte für Industrie- und Gewerbegrundstücke (anorganische Parameter); Angaben in mg/kg

Regelwerk	BBodSchG (1999)	Baden-Württemberg (1998)	Brandenburg (1993)	Bremen (1993)
Bezeichnung des Wertes	Prüfwerte	Orientierungswerte	II-Prüfwerte	G1-Werte
As	140	130	20	60
Pb	2 000	4 000	500	1 500
Cd	60	60	10	20
CN ges.	100	150	50	/
CN leicht freisetzbar	/	/	5	/
Cr ges.	1 000	/	400	350
Chromat	/	/	25	/
Ni	900	300	250	500
Hg	80	40	1	10
Tl	/	15	/	/
Cu	/	/	500	1 000
Zn	/	/	2 000	4 000
Sb	/	/	/	/
Co	/	/	200	/
Mo	/	/	/	/
Se	/	/	/	/
Sn	/	/	300	/
F	/	15 000	1 000	/

Hamburg (1990)	Hessen	Sachsen (1999)	Holland-Liste (1994)		
	N-Wert	Prüfwerte	S-Werte	I-Werte	(S + I)/2
/	30	200	29	55	42
/	100	2 000	85	530	307,5
/	1	60	0,8	12	6,4
/	10	400	5	50	27,5
/	1	/	/	/	/
/	100	1 000	100	380	240
/	/	/	/	/	/
/	50	600	35	210	122,5
/	1	40	0,3	10	5,15
/	/	5	/	/	/
/	60	3 000	36	190	113
/	150	2 500	140	720	430
/	/	20	/	/	/
/	/	500	20	240	/
/	/	100	10	200	/
/	/	400	/	/	/
/	/	/	/	/	/
/	/	3 000	/	/	/

Diagramm 1. A

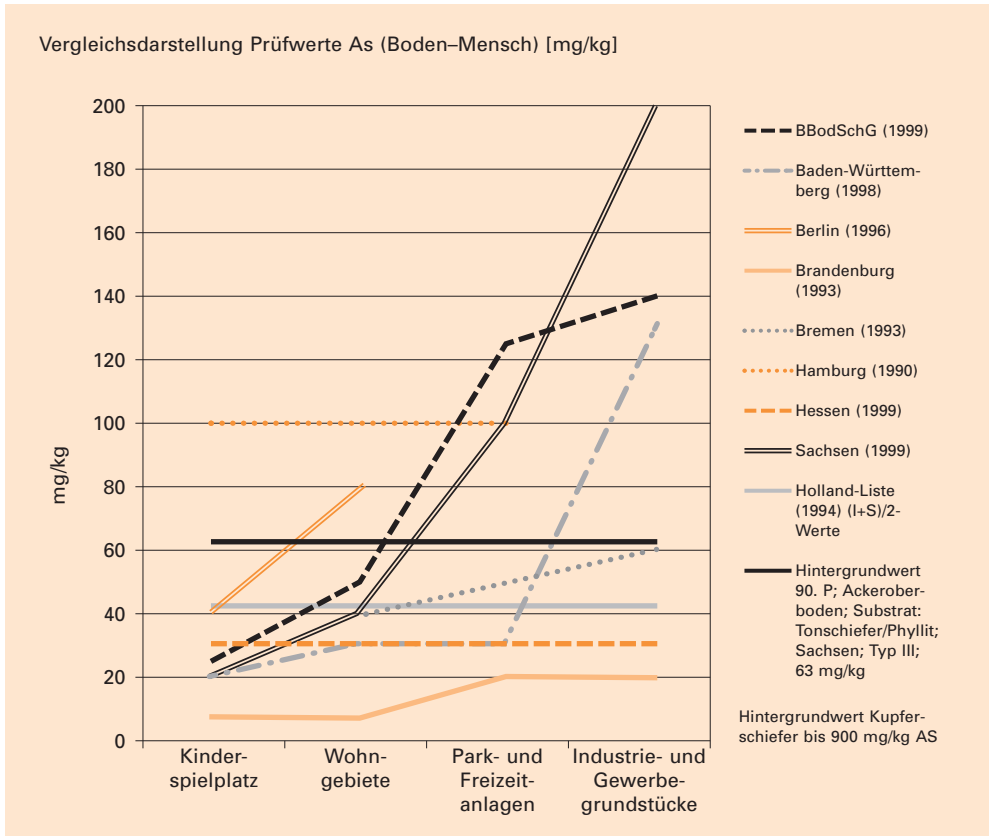


Diagramm 1. B

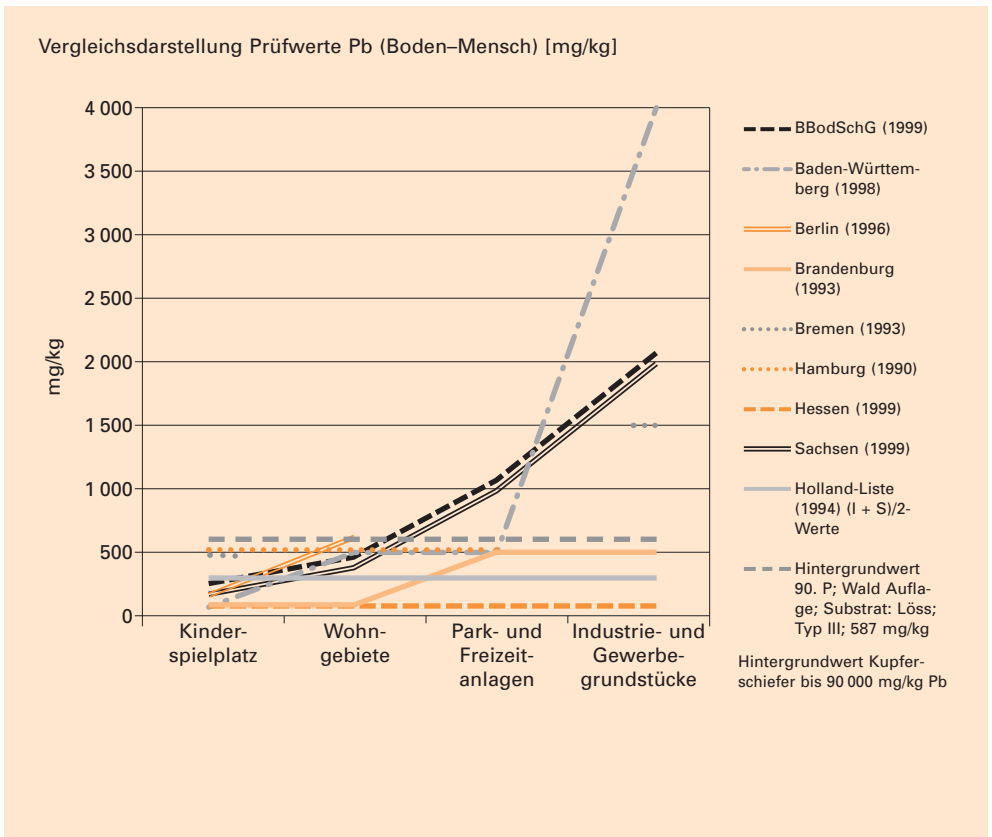


Diagramm 1.C

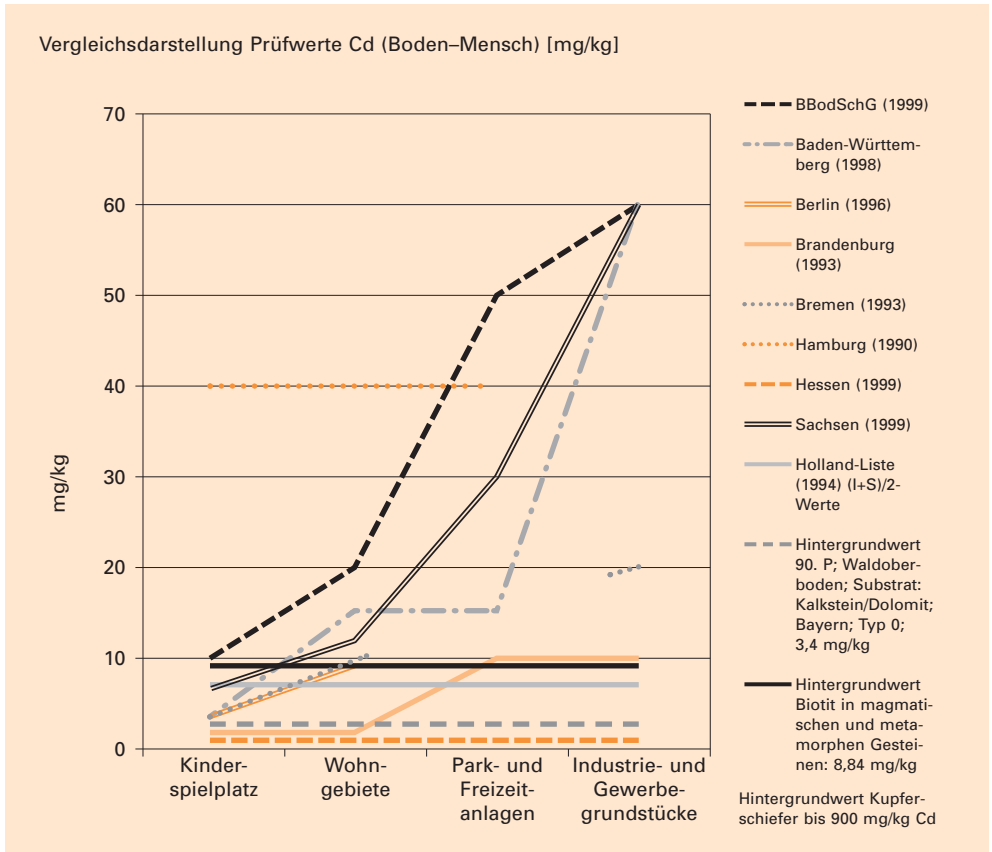
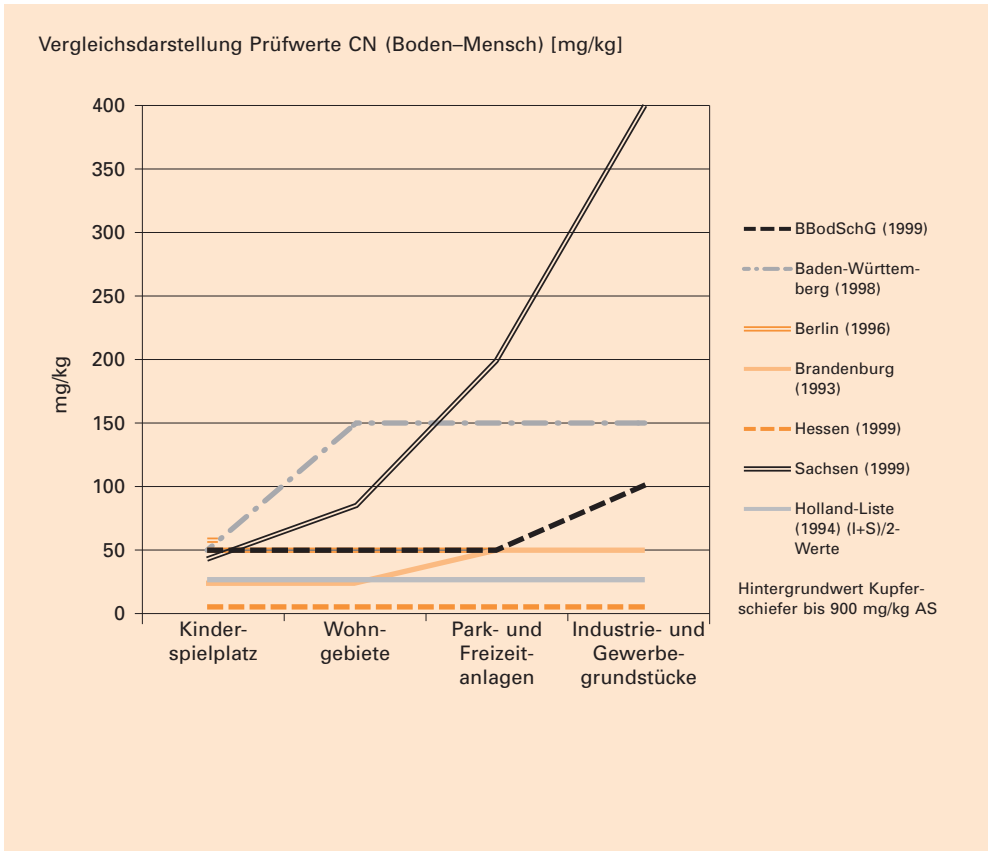


Diagramm 1.D



### – Anorganische Parameter (Boden–Mensch)

**As (1. A):** Für Kinderspielplätze liegt der Wert der BBodSchV unter dem analogen Wert von Hessen, Berlin, Hamburg und der Holland-Liste sowie für Wohngebiete unter dem Wert von Berlin und Hamburg. Für Industrie- und Gewerbegrundstücke liegt der Wert nur unter dem von Sachsen. Ansonsten liegen die Werte der BBodSchV über den bisherigen Werten.

Der in das Diagramm eingetragene Hintergrundwert stammt aus Sachsen und repräsentiert einen Ackeroberboden im industriefernen ländlichen Raum. Das Substrat besteht aus Tonschiefer/Phyllit. Der Hintergrundwert überschreitet die Prüfwerte der BBodSchV für Kinderspielplätze und Wohngebiete, liegt aber unter den Werten für Park- und Freizeitanlagen sowie Industrie- und Gewerbegrundstücke. Kupferschiefer kann über As-Werte bis 900 mg/kg verfügen und somit die Prüfwerte der BBodSchV weit überschreiten.

**Pb (1. B):** Die Werte der BBodSchV entsprechen den vergleichbaren Werten von Sachsen. Der Wert der BBodSchV für Kinderspielplätze liegt unter dem analogen Wert von Hamburg und der Holland-Liste, aber über dem von Baden-Württemberg, Hessen und Brandenburg. Für Wohngebiete liegt er unter dem von Baden-Württemberg, Hamburg und Berlin, aber über dem von Hessen und Bremen. Für Park- und Freizeitanlagen sowie Industrie- und Gewerbegrundstücke liegen die Prüfwerte der BBodSchV über den bisherigen Werten. Lediglich für Industrie- und Gewerbegrundstücke liegt der Wert der BBodSchV unter dem Wert von Baden-Württemberg. Der hohe Wert für Industrie- und Gewerbegrundstücke von Baden-Württemberg (4 000 mg/kg) wird dadurch begründet, dass Gewerbeflächen abgegrenzt und nicht jedermann zugänglich sind, sich nur Personen im erwerbsfähigen Alter regelmäßig dort aufhalten und die Flächen durch Gebäude, Zufahrtswege, Produktionshallen, Parkplätze, Grünanlagen u. a. befestigt bzw. versiegelt sind. Daher wird der direkte Kontakt zum Boden als nicht erheblich eingestuft.

Der in das Diagramm eingetragene Hintergrundwert stammt aus dem länderübergreifenden Datenkollektiv und repräsentiert eine Waldauflage



im industriefernen ländlichen Raum. Das Substrat ist Löss. Der Hintergrundwert überschreitet die Prüfwerte der BBodSchV für Kinderspielplätze und Wohngebiete, liegt aber unter den Werten für Park- und Freizeitanlagen sowie Industrie- und Gewerbegrundstücke. Kupferschiefer kann über Pb-Werte bis 90 000 mg/kg verfügen, die somit die Prüfwerte der BBodSchV um das 45fache überschreiten.

**Cd (1. C):** Die Prüfwerte der BBodSchV liegen meist über den bisherigen Werten für Cadmium. Lediglich für Kinderspielplätze und Wohngebiete liegen sie unter dem Wert von Hamburg. Für Industrie- und Gewerbegrundstücke entspricht der Wert der BBodSchV den Werten von Baden-Württemberg und Sachsen.

Die in das Diagramm eingetragenen Hintergrundwerte überschreiten die Prüfwerte der BBodSchV nicht. Allerdings kann Kupferschiefer Cd-Werte bis 900 mg/kg haben, die somit die Prüfwerte um das 18fache überschreiten.

**CN (1. D):** Die Prüfwerte der BBodSchV liegen über den Werten von Hessen, Brandenburg und der Holland-Liste und unter den Werten von Berlin, Baden-Württemberg und Sachsen. Für Kinderspielplätze entspricht der Prüfwert der BBodSchV dem Wert von Baden-Württemberg und für Park- und Freizeitanlagen dem Wert von Brandenburg. Der Prüfwert der BBodSchV für Kinderspielplätze liegt über dem Wert von Sachsen.

Für Cyanide sind keine Hintergrundwerte verfügbar bzw. keine Vorbelastungen bekannt.

Diagramm 1.E

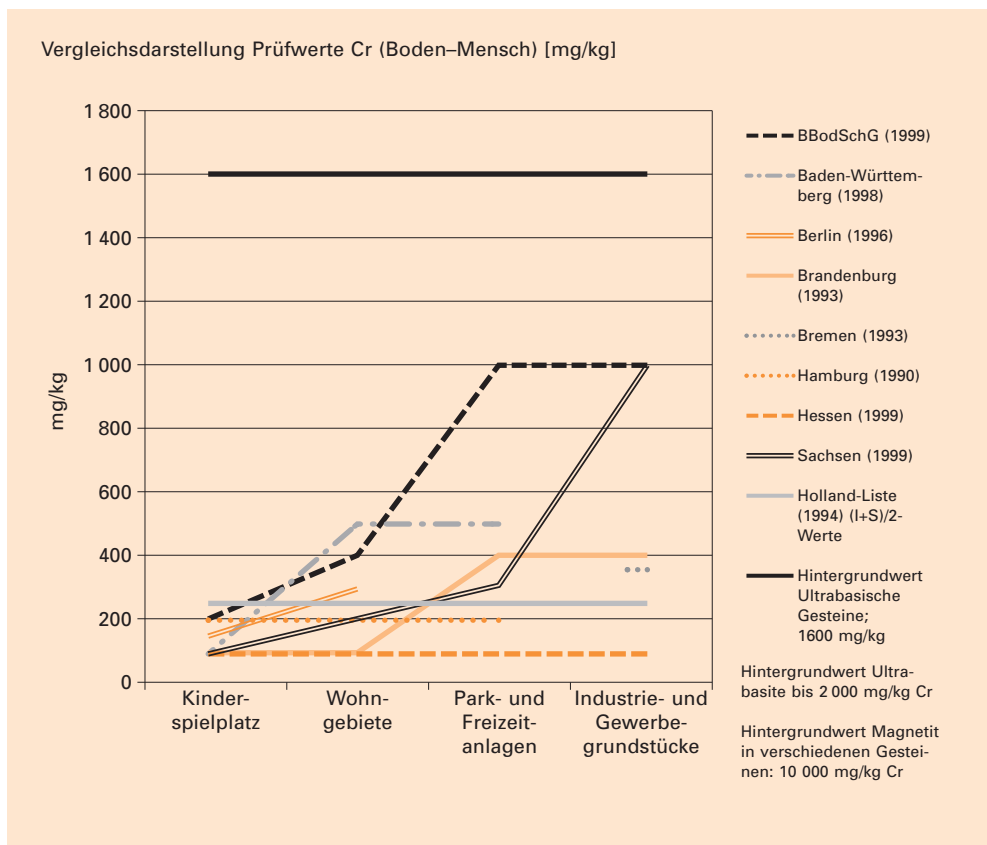


Diagramm 1. F

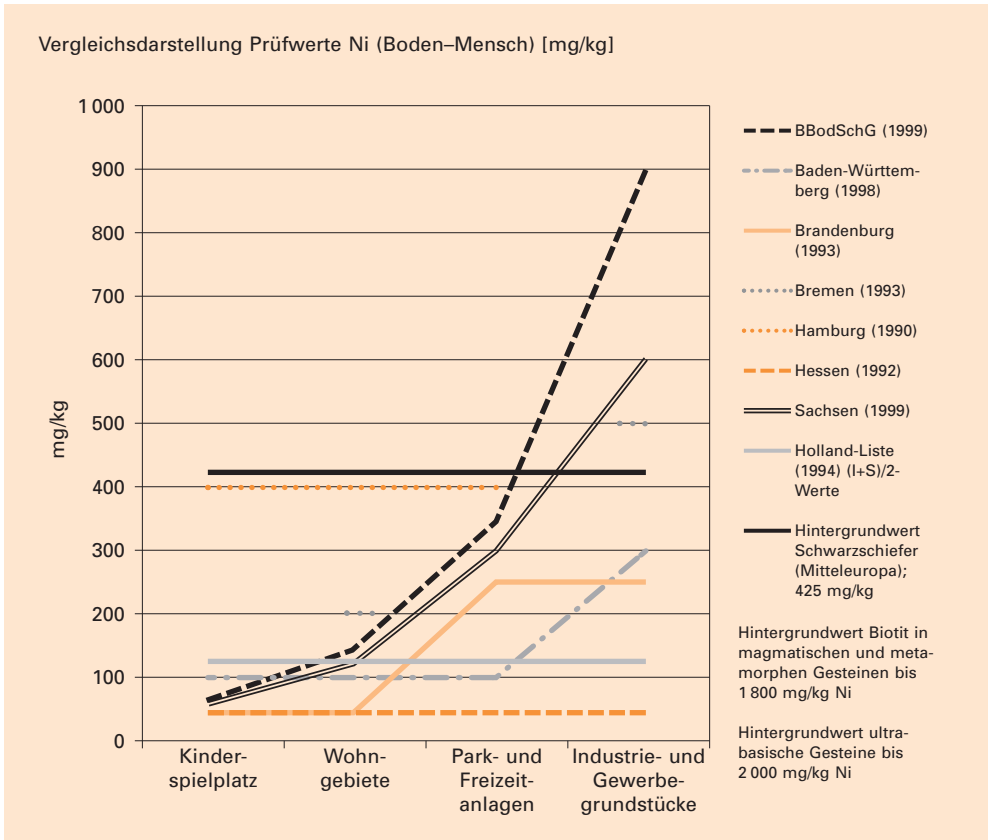
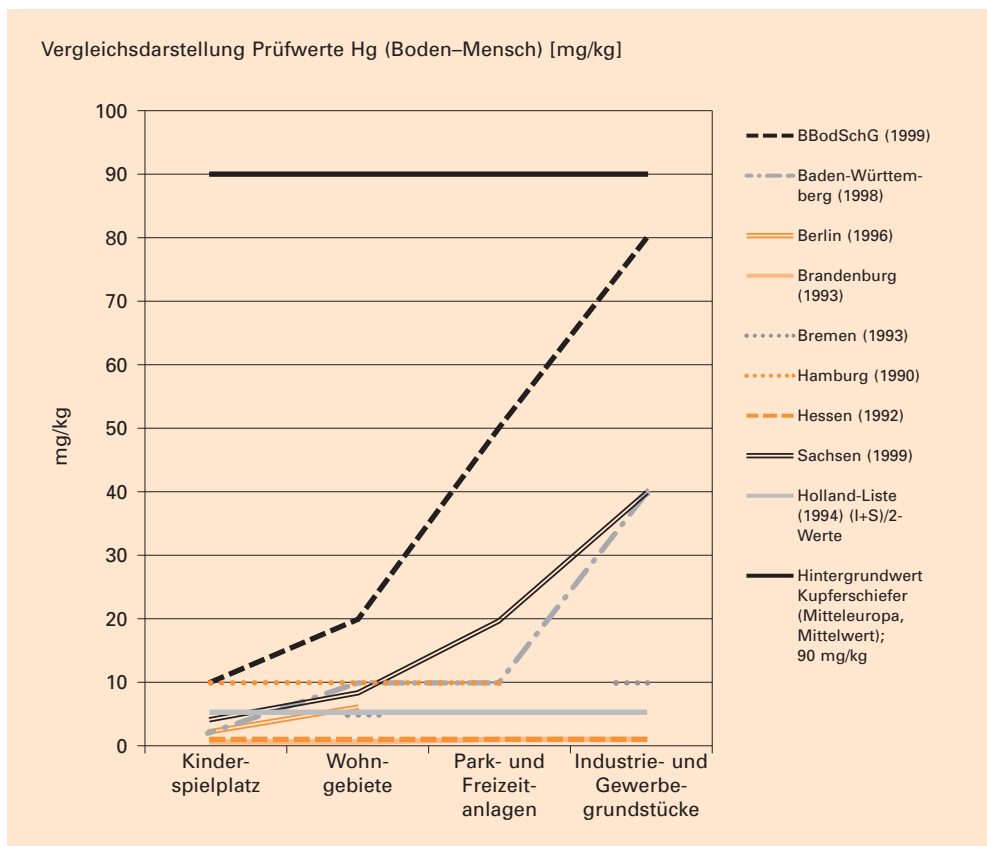


Diagramm 1. G



**Cr (1. E):** Die Prüfwerte der BBodSchV liegen meist über den bisherigen Werten für Chrom. Lediglich für Kinderspielplätze liegt der Wert der BBodSchV unter dem Wert der Holland-Liste und für Wohngebiete unter dem Wert von Baden-Württemberg. Für Industrie- und Gewerbegrundstücke entspricht der Wert der BBodSchV dem Wert von Sachsen.

Der Hintergrundwert für ultrabasische Gesteine überschreitet die Prüfwerte der BBodSchV um das 0,6- bis 8fache. Das Mineral Magnetit, das in verschiedenen Gesteinen zu finden ist, weist einen natürlichen Chromgehalt von 10 000 mg/kg auf und überschreitet alle Bodenwerte um ein Vielfaches. Auch das Mineral Biotit in magmatischen und metamorphen Gesteinen sowie Pyroxene und Amphibole können 5 000–6 400 mg/kg Chrom enthalten. Löss enthält viele Minerale mit hohen Chromgehalten. Hier sind vor allem Hornblende, Epidot, Granat und Hämatit zu nennen, die bis zu 3 000 mg/kg Chrom enthalten können.

**Ni (1. F):** Die Prüfwerte der BBodSchV liegen meist über den bisherigen Werten für Nickel. Lediglich für Kinderspielplätze liegt der Prüfwert der BBodSchV unter dem Wert von Baden-Württemberg, Hamburg und der Holland-Liste, für Wohngebiete unter dem Wert von Bremen und Hamburg sowie für Park- und Freizeitanlagen unter dem Wert von Hamburg.

Der Hintergrundwert für Schwarzschiefer überschreitet die Prüfwerte der BBodSchV für Kinderspielplätze, Wohngebiete, Park- und Freizeitanlagen, liegt aber unter den Werten für Industrie- und Gewerbegrundstücke. Im Ackeroberboden mit dem Substrat Basalt, Schalstein, Diabas usw. wurde in Deutschland ein Hintergrundwert bis zu 339 mg/kg nachgewiesen. Dieser Hintergrundwert liegt für Kinderspielplätze und Wohngebiete über den Werten der BBodSchV. Ultrabasische Gesteine können über natürliche Nickelgehalte von 2 000 mg/kg verfügen, die die Bodenwerte um ein Vielfaches übersteigen. Das Mineral Biotit in magmatischen und metamorphen Gesteinen kann bis 1 800 mg/kg Ni enthalten (Tab. 12).

**Hg (1. G):** Die Prüfwerte der BBodSchV liegen über den bisherigen Werten für Quecksilber. Der Wert für Kinderspielplätze entspricht dem Wert von Hamburg. Der Hintergrundwert für Kupferschiefer überschreitet die Prüfwerte der BBodSchV. In Waldauflagen mit dem Substrat Löss wurde in Deutschland ein Hintergrundwert bis zu 1,58 mg/kg Hg nachgewiesen. Dieser Gehalt liegt allerdings unter den Prüfwerten der BBodSchV.

Tab. 23.5: Wirkungspfad Boden–Mensch: Vergleich der Bodenwerte für Kinderspielflächen (organische Parameter); Angaben in mg/kg

Regelwerk	BBodSchG (1999)	Baden-Württemberg (1998)	Berlin (1996)	Brandenburg (1993)
Bezeichnung des Wertes	Prüfwert	Orientierungswert	Risikowert	Ib-Prüfwerte
Aldrin	2	/	/	/
Benzo(a)pyren	2	0,5	0,1	/
DDT	40	/	/	/
Hexachlorbenzol	4	/	/	/
Hexachlorcyclohexan	5	15	/	/
Pentachlorphenol	50	9	/	/
PCB	0,4	3	3	1
Dioxine/Furane <sup>1</sup>	/	/	100	/
MKW	/	/	/	300
BTEX	/	/	/	/
Benzol	/	0,01	/	0,5
LHKW	/	/	/	5
PAK	/	5	1	1
Naphtalin	/	/	/	/
Phenole	/	/	30	10

<sup>1</sup> In ng/kg.

Bremen (1993)	Hessen (1992)	Sachsen (1999)	Holland-Liste (1994)		
Prüfwerte	N-Wert	Prüfwerte	S-Werte	I-Werte	(S + I)/2
/	/	/	0,0025	/	/
0,1	/	1	/	/	/
/	/	0,4	0,0025	4	2,00125
/	/	0,3	0,0025	/	/
/	/	0,2	/	2	/
/	/	3	0,002	5	2,501
/	/	0,3	0,02	1	0,51
/	5	30	/	/	/
/	300	/	50	5 000	2 525
/	5	/	/	/	/
/	/	/	0,05	1	0,525
/	/	/	/	/	/
2	5	/	1	40	20,5
/	/	/	/	/	/
/	/	20	0,05	40	20,025

Tab. 23.6: Wirkungspfad Boden–Mensch: Vergleich der Bodenwerte für Wohngebiete (organische Parameter); Angaben in mg/kg

Regelwerk	BBodSchG (1999)	Baden-Württemberg (1998)	Berlin (1996)	Brandenburg (1993)
Bezeichnung des Wertes	Prüfwert	Orientierungswert	Risikowert	Ib-Prüfwerte
Aldrin	4	/	/	/
Benzo(a)pyren	4	2,5	5	/
DDT	80	/	/	/
Hexachlorbenzol	8	/	/	/
Hexachlorcyclohexan	10	/	/	/
Pentachlorphenol	100	/	/	/
PCB	0,8	/	9	1
Dioxine/Furane <sup>1</sup>	/	/	1 000	/
MKW	/	/	/	300
BTEX	/	/	/	/
Benzol	/	0,01	/	0,5
LHKW	/	/	/	5
PAK	/	25	50	1
Naphtalin	/	/	/	/
Phenole	/	/	2	10

<sup>1</sup> In ng/kg.



Bremen (1993)	Hessen (1992)	Sachsen (1999)	Holland-Liste (1994)		
Prüfwerte	N-Wert	Prüfwerte	S-Werte	I-Werte	(S + I)/2
/	/	/	0,0025	/	/
0,1	/	2	/	/	/
/	/	0,8	0,0025	4	2,00125
/	/	0,6	0,0025	/	/
/	/	0,4	/	2	/
/	/	6	0,002	5	2,501
/	/	0,5	0,02	1	0,51
/	5	60	/	/	/
/	300	/	50	5 000	2 525
/	5	7	/	/	/
/	/	0,2	0,05	1	0,525
/	/	/	/	/	/
2	5	/	1	40	20,5
/	/	/	/	/	/
/	/	40	0,05	40	20,025

Tab. 23.7: Wirkungspfad Boden–Mensch: Vergleich der Bodenwerte für Park- und Freizeitanlagen (organische Parameter); Angaben in mg/kg

Regelwerk	BBodSchG (1999)	Baden-Württemberg (1998)	Brandenburg (1993)	Bremen (1993)
Bezeichnung des Wertes	Prüfwert	Orientierungswerte	II-Prüfwerte	Prüfwerte
Aldrin	10	/	/	/
Benzo(a)pyren	10	2,5	/	0,1
DDT	200	/	/	/
Hexachlorbenzol	20	/	/	/
Hexachlorcyclohexan	25	/	/	/
Pentachlorphenol	250	/	/	/
PCB	2	/	3	/
Dioxine/Furane <sup>1</sup>	/	/	/	/
MKW	/	/	1 000	/
BTEX	/	/	/	/
Benzol	/	0,01	3	/
LHKW	/	/	25	/
PAK	/	25	50	2
Naphtalin	/	/	/	/
Phenole	/	/	25	/

<sup>1</sup> In ng/kg.

Hessen (1992)	Sachsen (1999)	Holland-Liste (1994)		
		N-Wert	Prüfwerte	S-Werte
/	/	0,0025	/	/
/	5	/	/	/
/	2	0,0025	4	2,00125
/	1,5	0,0025	/	/
/	1	/	2	/
/	15	0,002	5	2,501
/	1	0,02	1	0,51
5	150	/	/	/
300	/	50	5 000	2 525
5	/	/	/	/
/	/	0,05	1	0,525
/	/	/	/	/
5	/	1	40	20,5
/	/	/	/	/
/	100	0,05	40	20,025

Tab. 23.8: Wirkungspfad Boden–Mensch: Vergleich der Bodenwerte für Industrie- und Gewerbe- grundstücke (organische Parameter); Angaben in mg/kg

Regelwerk	BBodSchG (1999)	Baden-Württem- berg (1998)	Brandenburg (1993)	Bremen (1993)
Bezeichnung des Wertes	Prüfwert	Orientierungs- werte	II-Prüfwerte	Prüfwerte
Aldrin	/	/	/	/
Benzo(a)pyren	12	10	/	0,1
DDT	/	/	/	/
Hexachlorbenzol	200	/	/	/
Hexachlor- cyclohexan	400	/	/	/
Pentachlorphenol	250	/	/	/
PCB	40	/	3	/
Dioxine/Furane <sup>1</sup>	/	/	/	/
MKW	/	/	1 000	/
BTEX	/	/	/	/
Benzol	/	0,01	3	/
LHKW	/	/	25	/
PAK	/	100	50	2
Naphtalin	/	/	/	/
Phenole	/	/	25	/

<sup>1</sup> In ng/kg.

Hessen (1992)	Sachsen (1999)	Holland-Liste (1994)		
N-Wert	Prüfwerte	S-Werte	I-Werte	(S + I)/2
/	/	0,0025	/	/
/	10	/	/	/
/	4	0,0025	4	2,00125
/	3	0,0025	/	/
/	2	/	2	/
/	30	0,002	5	2,501
/	3	0,02	1	0,51
5	300	/	/	/
300	/	50	5 000	2 525
5	25	/	/	/
/	1	0,05	1	0,525
/	/	/	/	/
5	/	1	40	20,5
/	/	/	/	/
/	200	0,05	40	20,025

Diagramm 1.H

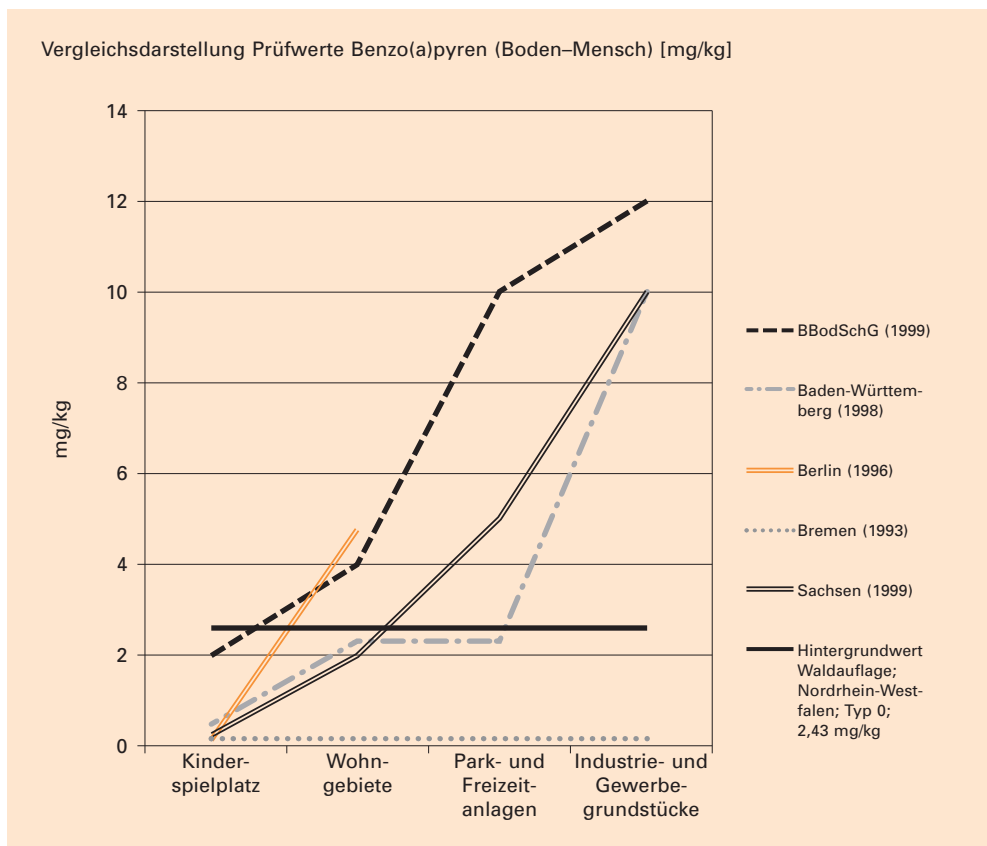


Diagramm 1.1

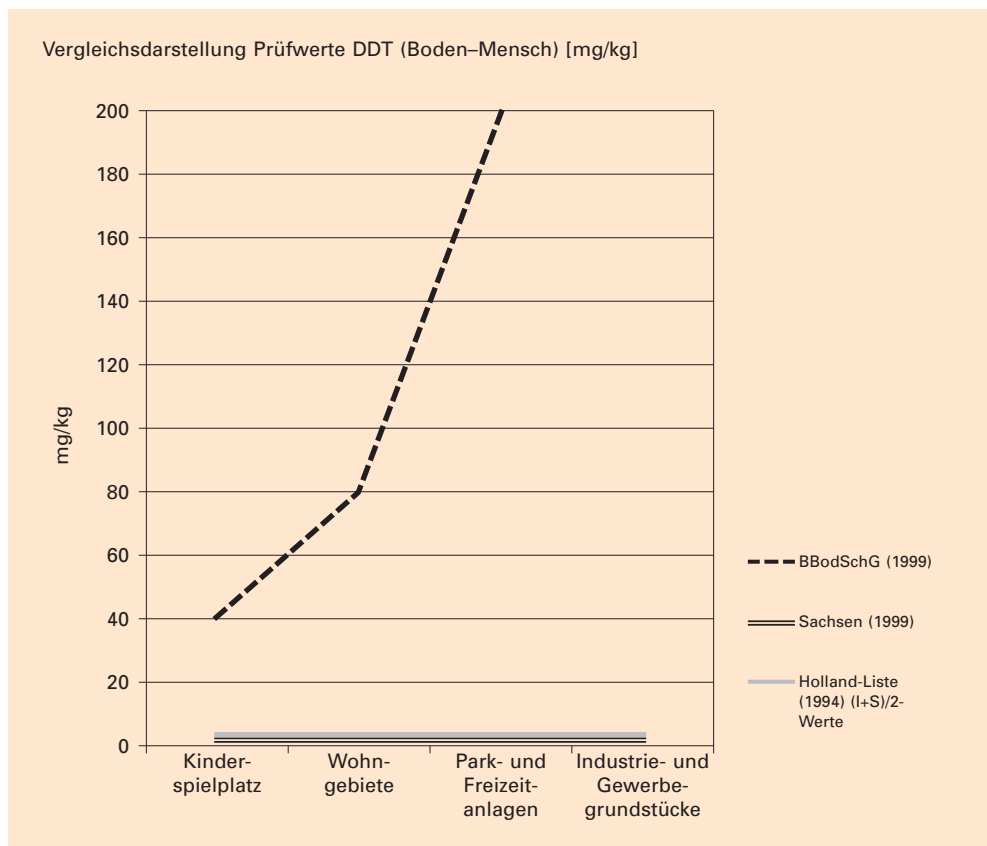


Diagramm 1. J

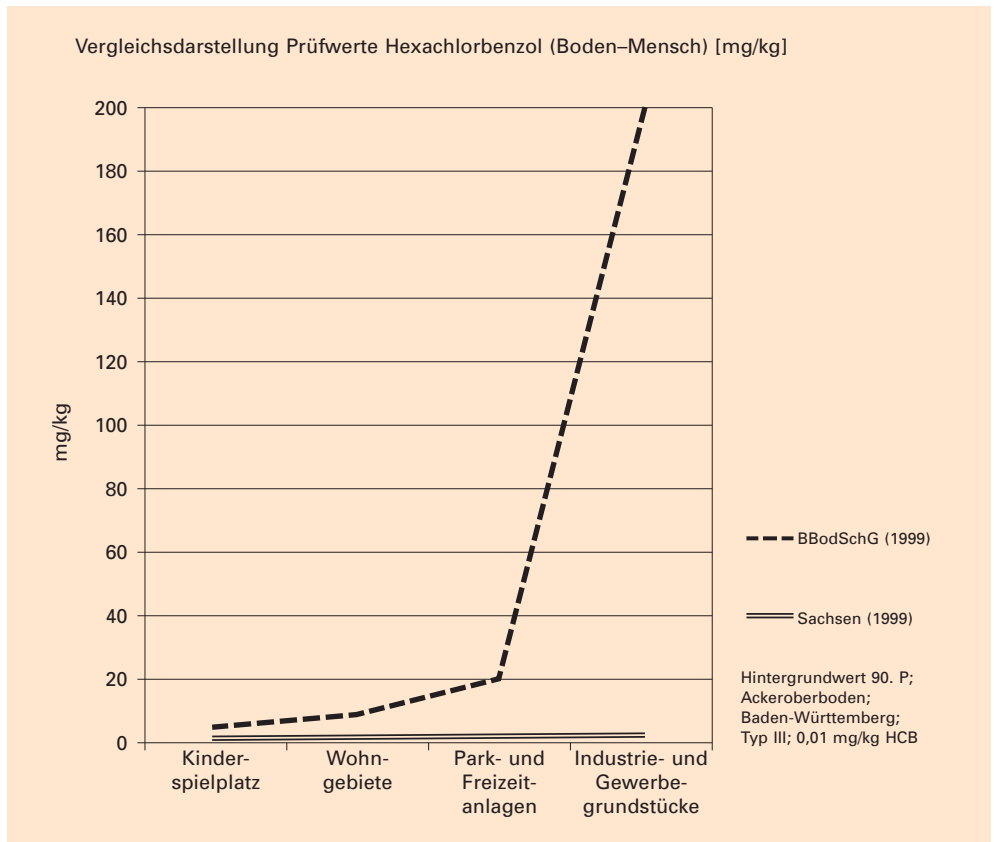




Diagramm 1.K

Vergleichsdarstellung Prüfwerte Hexachlorcyclohexan (Boden-Mensch) [mg/kg]

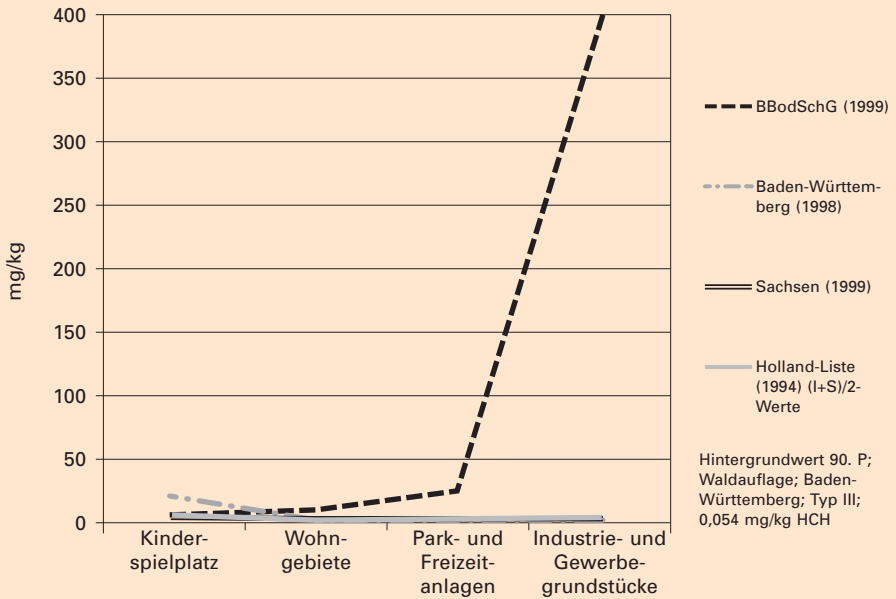
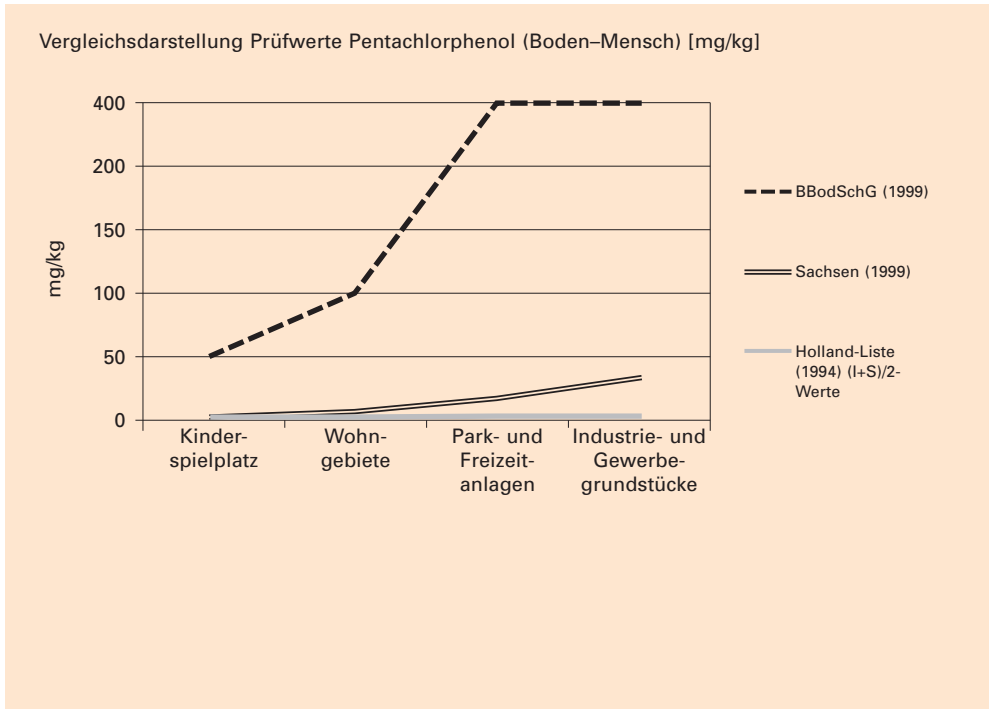


Diagramm 1.L

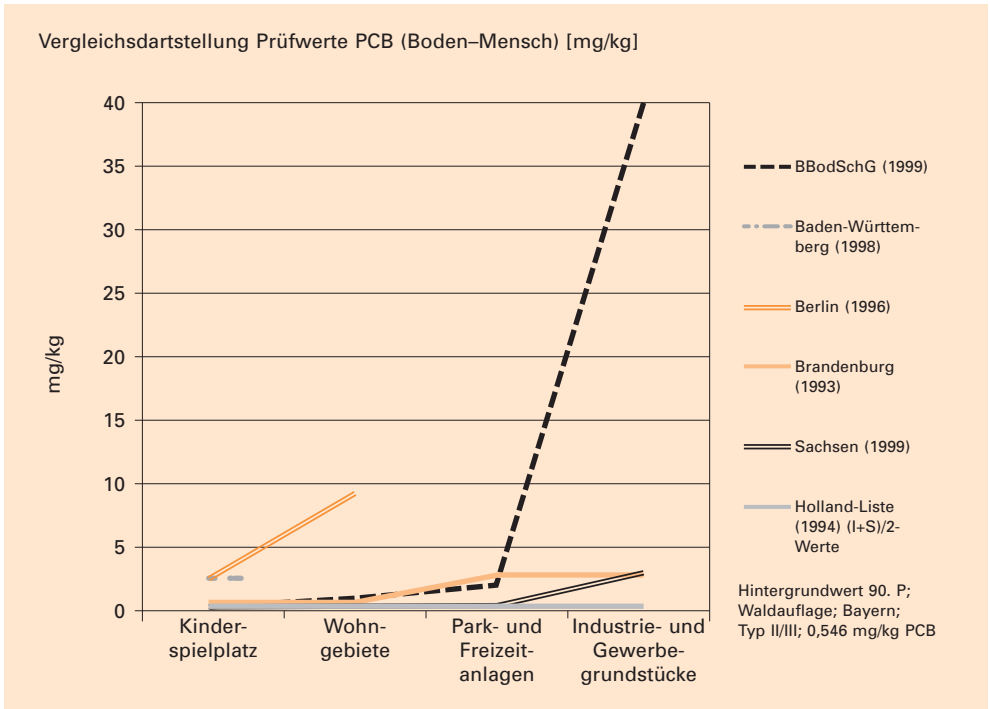


– Organische Parameter (Boden–Mensch)

**Benzo(a)pyren (1.H):** Die Prüfwerte der BBodSchV liegen über den bisherigen Werten für Benzo(a)pyren. Lediglich für Wohngebiete liegt der Wert der BBodSchV unter dem Wert von Berlin.

Der in das Diagramm eingetragene Hintergrundwert stammt aus Nordrhein-Westfalen und repräsentiert eine Waldaufgabe unabhängig von der Räumlichkeit. Der Hintergrundwert überschreitet den Prüfwert der BBodSchV für Kinderspielplätze, liegt aber unter den Werten für Wohngebiete, Park- und Freizeitanlagen sowie Industrie- und Gewerbegrundstücke.

Diagramm 1.M



**DDT, Hexachlorbenzol, Hexachlorcyclohexan und Pentachlorphenol (1.I-1.L):**

Die Bodenwerte der BBodSchV liegen z.T. weit über den bisherigen Werten für DDT, HCB und PCP. Nur für HCH liegt der Wert der BBodSchV für Kinderspielplätze unter dem Wert von Baden-Württemberg.

Hintergrundwerte sind nur für HCB und HCH verfügbar. Diese liegen weit unter den Prüfwerten der BBodSchV und sind so gering, dass sie im Diagramm lediglich als Textfeld vermerkt werden konnten.

**PCB (1. M):** Für Kinderspielplätze liegt der Prüfwert der BBodSchV unter den analogen Werten von Baden-Württemberg, Berlin, Brandenburg und der Holland-Liste, aber über dem Wert von Sachsen sowie für Wohngebiete unter dem Wert von Berlin und Brandenburg, jedoch über dem Wert von Sachsen und der Holland-Liste. Für Park- und Freizeitanlagen liegt der Prüfwert der BBodSchV unter dem Wert von Brandenburg und über den Werten von Sachsen und der Holland-Liste. Für Industrie- und Gewerbegrundstücke liegt der Prüfwert der BBodSchV weit über den bisherigen Werten.

Der in das Diagramm eingetragene Hintergrundwert stammt aus Bayern und repräsentiert eine Waldaufgabe im industriefernen Raum bzw. Raum mit Industrieansätzen. Der Hintergrundwert überschreitet den Prüfwert der BBodSchV für Kinderspielplätze, liegt aber unter den Werten für Wohngebiete, Park- und Freizeitanlagen sowie Industrie- und Gewerbegrundstücke.

## **4.2 Vergleichsdarstellungen für den Wirkungspfad Boden–Nutzpflanze**

In Tabelle 24.1 sind für die anorganischen, in Tabelle 24.2 für die organischen Parameter die Prüf- und Maßnahmenwerte der BBodSchV für Ackerbau und Nutzgarten im Vergleich zu den bisherigen Bodenwerten gängiger Richtlinien aufgelistet. In den Diagrammen 2. A bis 2. J sind die Werte der Richtlinien sowie Hintergrundwerte ausgewählter Böden oder Gesteine grafisch dargestellt.

Tab. 24.1: Wirkungspfad Boden–Nutzpflanze: Vergleich der Bodenwerte für Ackerbau und Nutzgarten (anorganische Parameter); Angaben in mg/kg

Regelwerk	BBodSchG (1999)				Baden-Württemberg (1998)
	Prüfwerte <sup>1</sup>	Prüfwerte <sup>2</sup>	Maßnahmenwerte <sup>1</sup>	Maßnahmenwerte (M <sup>1,5</sup> )	Prüfwerte
As	200 <sup>3</sup>	0,4	/	50	40
Pb	/	0,1	/	1 200	100
Cd	/	/	0,1 <sup>4</sup>	20	1–1,5
CN ges.	/	/	/	/	/
CN leicht freisetzbar	/	/	/	/	/
Cr Ges.	/	/	/	/	100
Chromat	/	/	/	/	/
Ni	/	1,5	/	1 900	50
Hg	5	/	/	2	1
Tl	0,1	/	/	15	0,5–1
Cu	/	1	/	1 300	60
Zn	/	2	/	/	150–200
Sb	/	/	/	/	/
Co	/	/	/	/	/
Mo	/	/	/	/	/
Se	/	/	/	/	/
Sn	/	/	/	/	50
F	/	/	/	/	250

<sup>1</sup> Im Hinblick auf Pflanzenqualität.

<sup>2</sup> Im Hinblick auf Wachstumsbeeinträchtigungen.

<sup>3</sup> Bei zeitweise reduzierenden Verhältnissen gilt 50 mg/kg.

<sup>4</sup> Auf Flächen mit Brotweizenanbau oder bei Anbau stark Cd anreichernder Gemüsearten gilt 0,04.

<sup>5</sup> Maßnahmenwerte für Grünland.

Bremen (1993)	Hamburg (1990)	Sachsen (1999)		Kloke-Liste (1987)	AbfklärV (1992)
N-Werte	N <sup>7</sup>	Prüfwerte	Maßnahmenwerte (M)	Richtwerte tolerierbar	
40	50	40	50	20	/
300	300	300	1 000	100	100
2/1 <sup>6</sup>	2 <sup>8</sup>	2 <sup>1</sup>	5	3	1,5
/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/
100	100	200	500	100	100
/	/	/	/	/	/
100	100	100	200	50	50
2	2	2	20	2	1
/	/	1	20	1	/
100	100	100	200	100	60
500	500	500	1 000	300	200
/	/	/	/	5	/
/	/	200	1 000	50	/
/	/	20	100	5	/
/	/	5	10	10	/
/	/	/	/	50	/
/	/	/	/	/	/

<sup>6</sup> Bei pH < 6,5 und/oder sandigem Boden: 1 mg/kg TS.

<sup>7</sup> Für sandige Böden mit normalen Humusgehalten und pH-Werten im schwach sauren bis schwach alkalischen Bereich; bei noch sorptionsschwächeren Böden sind insbesondere bei Cadmium niedrigere Prüfwerte vorzusehen.

<sup>8</sup> Bei Böden mit einem pH-Wert unter 6,5 oder Sand bzw. schwach schluffigem Sand gegebenenfalls niedrigerer Wert.

Diagramm 2. A

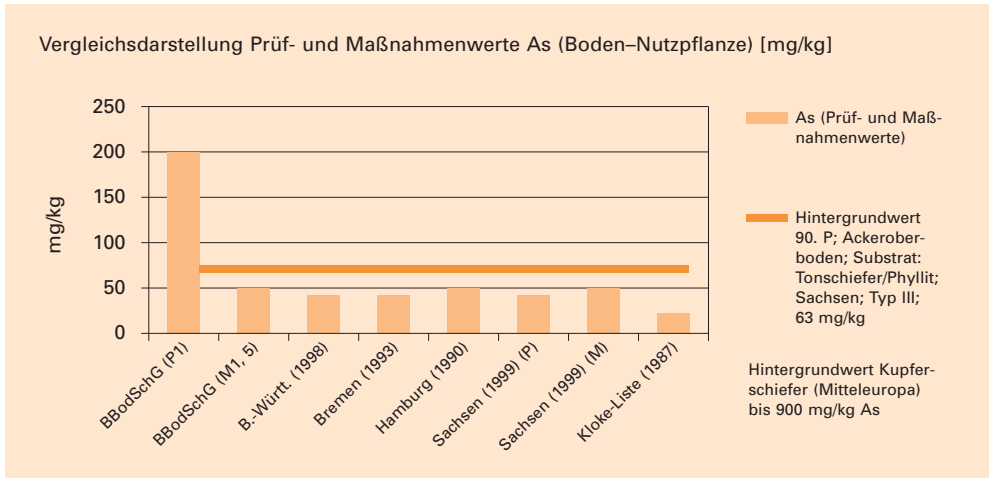


Diagramm 2. B

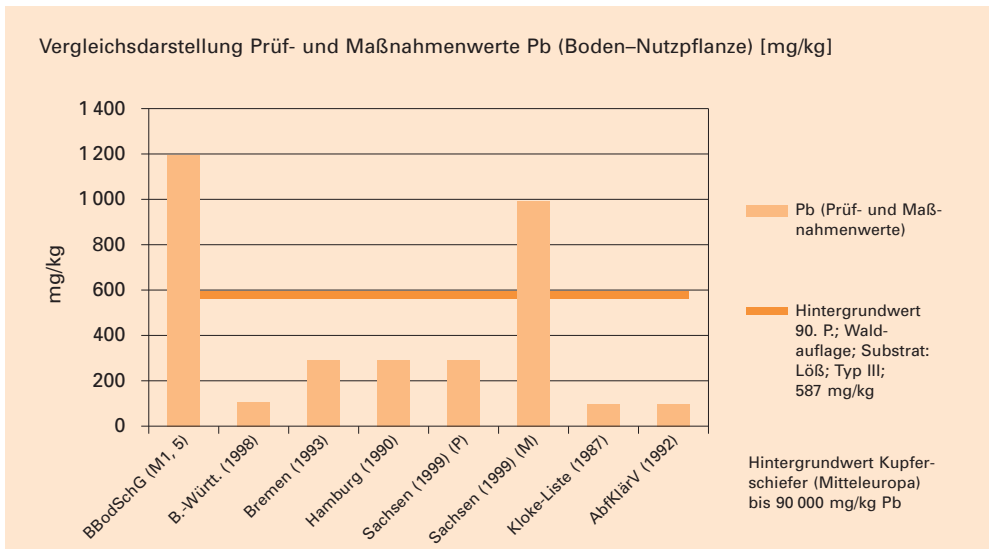




Diagramm 2. C

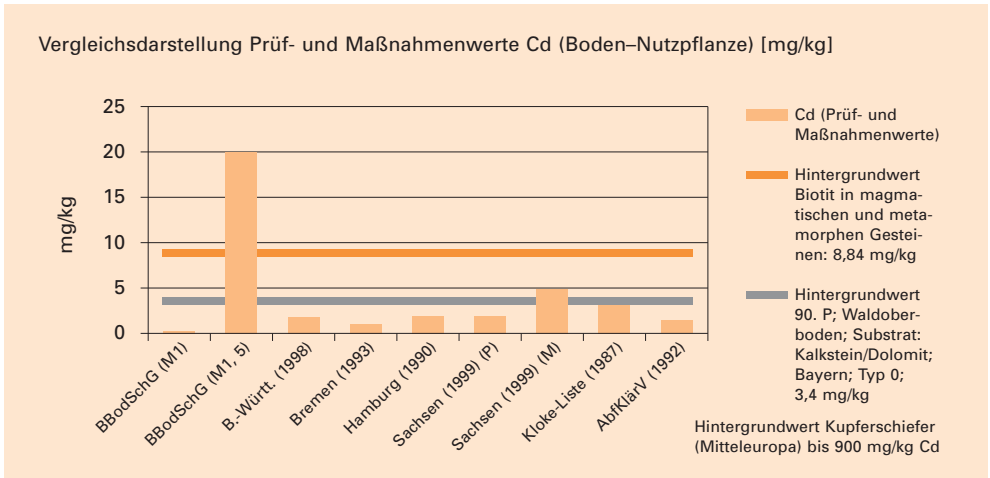
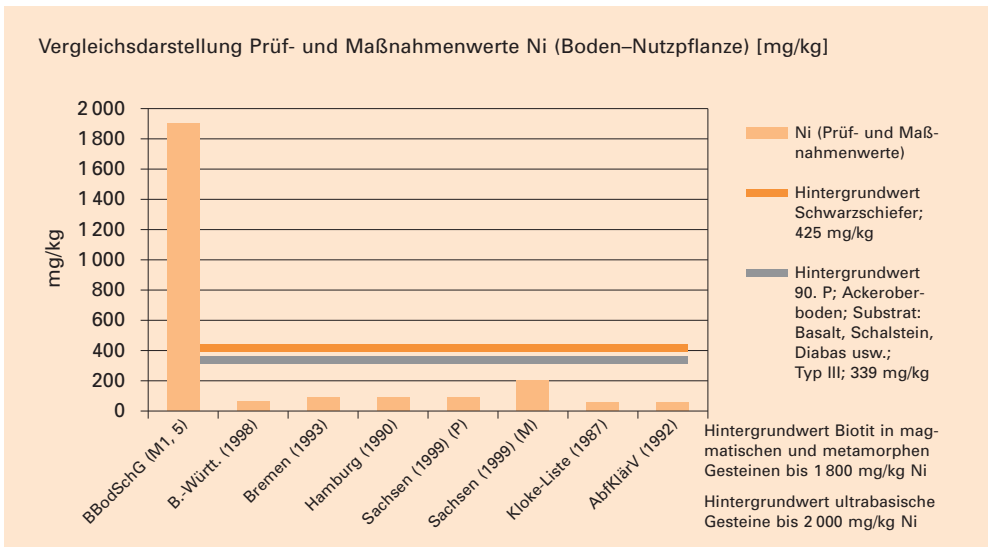


Diagramm 2. D



### – Anorganische Parameter (Boden–Nutzpflanze)

In der BBodSchV Anhang 2 Punkt 2 werden die Prüfwerte im Hinblick auf Pflanzenqualität und im Hinblick auf Wachstumsbeeinträchtigungen unterschieden (Tab. 24.1). Bei letzteren handelt es sich um äußerst niedrige Werte, für die keine vergleichbaren Bodenwerte vorhanden sind, da sie ein anderes Bezugssystem besitzen als die bisherigen Werte für den Wirkungspfad Boden–Nutzpflanze. Deshalb wurden sie in den Diagrammen nicht berücksichtigt. Die Prüfwerte im Hinblick auf Pflanzenqualität können dagegen mit den bisherigen Werten gängiger Richtlinien verglichen werden.

Die Maßnahmenwerte der BBodSchV für Grünland können nur mit den Maßnahmenwerten von Sachsen verglichen werden.

Die Prüfwerte der BBodSchV im Hinblick auf Wachstumsbeeinträchtigungen werden von den angegebenen Hintergrundwerten bis um das 5 800fache überschritten (Beispiel Blei). Der Cd-Maßnahmenwert für Ackerbau und Nutzgarten wird von dem im Diagramm angegebenen Hintergrundwert eines Waldoberbodens in Bayern um das 34fache überschritten. Auf Flächen mit Brotweizenanbau oder bei Anbau stark Cd anreichernder Gemüsearten wird der Maßnahmenwert in diesem Fall sogar um das 85fache überschritten.

**As (2. A):** Der Prüfwert der BBodSchV im Hinblick auf Pflanzenqualität von 200 mg/kg liegt etwa um das 4fache höher als die vergleichbaren bisherigen Werte. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass bei zeitweise reduzierenden Verhältnissen im Boden ein Prüfwert von 50 mg/kg gilt, der den bisherigen Werten ähnlich ist.

Der Maßnahmenwert der BBodSchV entspricht dem vergleichbaren Wert von Sachsen.

Der in das Diagramm eingetragene Hintergrundwert von 63 mg/kg stammt aus Sachsen und repräsentiert einen Ackeroberboden im industriiefernen ländlichen Raum. Das Substrat besteht aus Tonschiefer/Phyllit. Bei reduzierenden Verhältnissen im Boden überschreitet der Hintergrundwert den oben

angegebenen Prüfwert der BBodSchV um etwa ein Viertel. Der Prüfwert im Hinblick auf Wachstumsbeeinträchtigungen von 0,4 mg/kg wird von dem oben genannten Hintergrundwert jedoch um den Faktor 158 überschritten. Kupferschiefer kann As-Werte bis zu 900 mg/kg enthalten, die die Prüfwerte um ein Vielfaches übersteigen.

**Pb (2. B):** Der Maßnahmenwert der BBodSchV für Grünland liegt ein Fünftel über dem bisherigen Wert von Sachsen.

Der in das Diagramm eingetragene Hintergrundwert stammt aus dem länderübergreifenden Datenkollektiv und repräsentiert eine Waldaufgabe im industriefernen ländlichen Raum. Das Substrat ist Löss. Der Hintergrundwert überschreitet den Maßnahmenwert der BBodSchV für Grünflächen nicht. Allerdings wird der in der BBodSchV angegebene Prüfwert im Hinblick auf Wachstumsbeeinträchtigungen von diesem Hintergrundwert um den Faktor 226 überschritten. Kupferschiefer kann über Pb-Werte bis zu 90 000 mg/kg verfügen, die somit den Maßnahmenwert der BBodSchV um das 75fache übersteigen.

**Cd (2. C):** Der Maßnahmenwert der BBodSchV für Grünland ist um das 4fache höher als der bisherige Wert von Sachsen.

Die in das Diagramm eingetragenen Hintergrundwerte liegen unter dem Maßnahmenwert für Grünland. Dagegen wird der Maßnahmenwert für Ackerbau und Nutzgarten um das 34fache überschritten. Auf Flächen mit Brotweizenanbau oder Anbau stark Cd anreichernder Gemüsearten wird der Wert in diesem Fall sogar um das 85fache überschritten.

**Ni (2. D):** Der Maßnahmenwert der BBodSchV für Grünland ist um den Faktor 9,5 höher als der bisherige Wert von Sachsen.

Die in das Diagramm eingetragenen Hintergrundwerte liegen weit unter dem Maßnahmenwert für Grünland. Allerdings wird der in der BBodSchV angegebene Prüfwert im Hinblick auf Wachstumsbeeinträchtigungen von dem Hintergrundwert eines Ackeroberbodens mit basaltischem Substrat um den Faktor 226 überschritten.

Diagramm 2. E

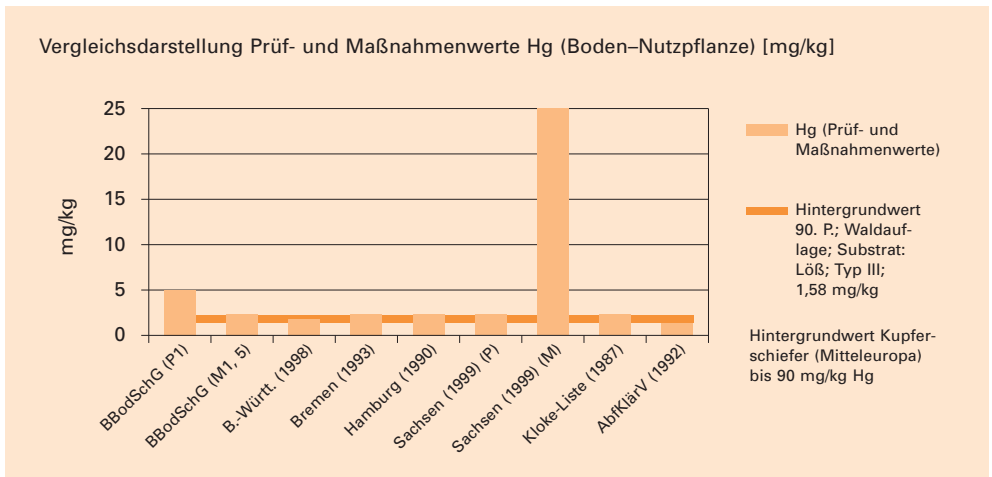


Diagramm 2. F

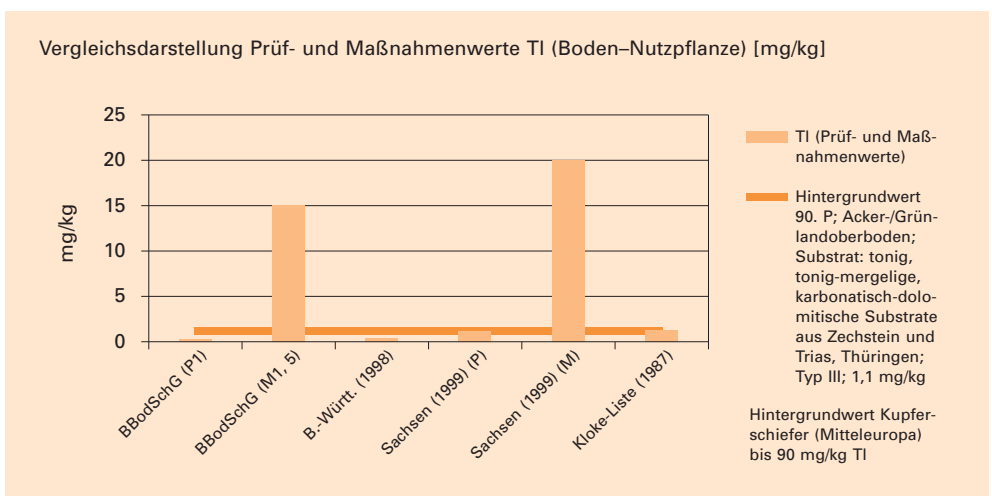


Diagramm 2. G

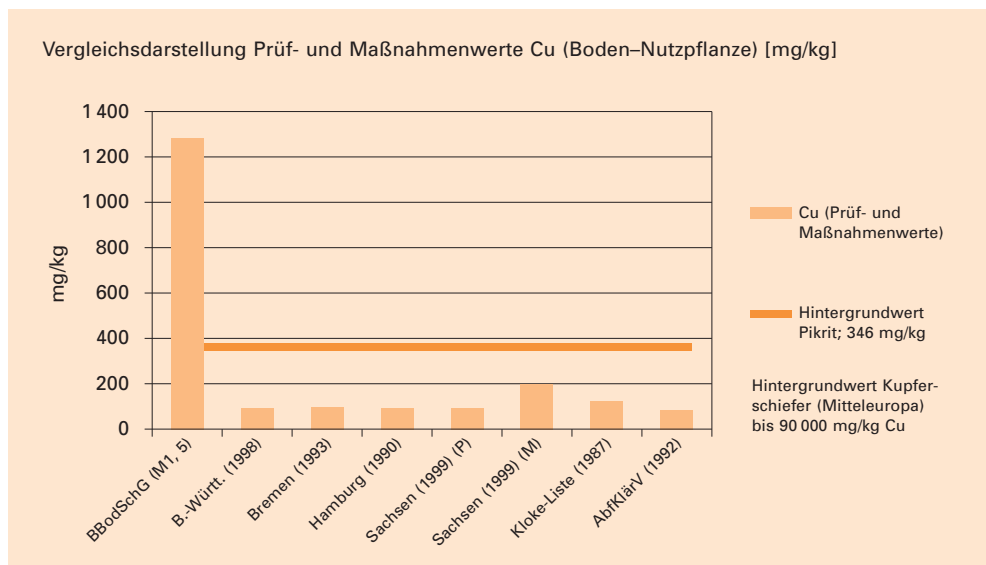
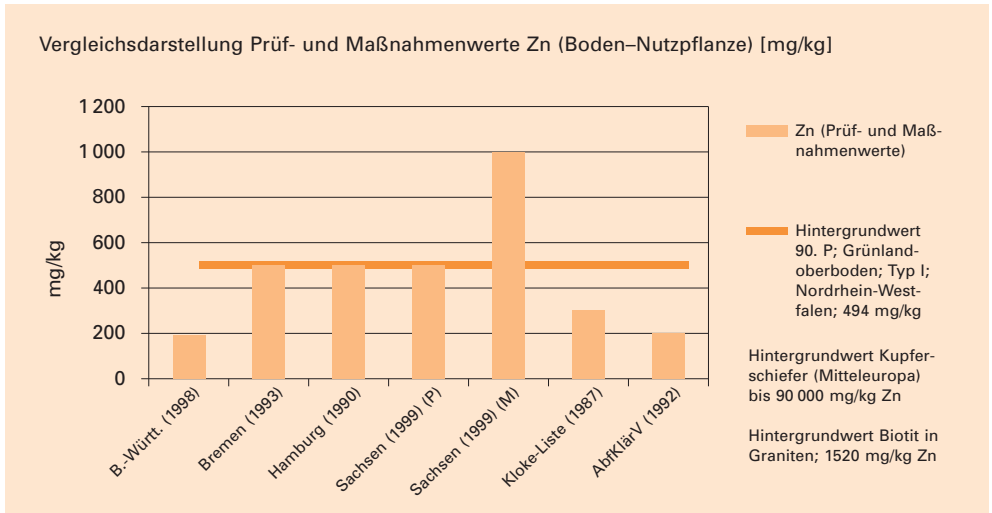


Diagramm 2. H



**Hg (2. E):** Der Prüfwert der BBodSchV im Hinblick auf Pflanzenqualität ist etwa um den Faktor 2 höher als die vergleichbaren Werte der gängigen Richtlinien. Der Maßnahmenwert für Grünland liegt um den Faktor 10 unter dem Wert von Sachsen.

In Waldauflagen mit dem Substrat Löss wurde in Deutschland ein Hintergrundwert bis zu 1,58 mg/kg Hg nachgewiesen. Dieser Gehalt liegt unter den in der BBodSchV angegebenen Prüf- und Maßnahmenwerten für den Wirkungspfad Boden–Nutzpflanze. Kupferschiefer kann Hg-Werte von bis zu 90 mg/kg besitzen, die somit den Prüfwert um das 18fache und den Maßnahmenwert um das 45fache überschreiten.

**TI (2. F):** Der Prüfwert der BBodSchV im Hinblick auf Pflanzenqualität liegt um den Faktor 5 bis 10 unter den bisherigen vergleichbaren Werten. Auch der Maßnahmenwert für Grünland ist um ein Viertel niedriger als der Wert in Sachsen.

Der in das Diagramm eingetragene Hintergrundwert stammt aus Thüringen und repräsentiert einen Acker-/Grünlandoberboden mit tonigen, tonig-mergeligen, karbonatisch-dolomitischen Substraten aus Zechstein und Trias. Das beprobte Gebiet liegt industriefern in einem ländlichen Raum.

**Cu (2. G):** Der Maßnahmenwert für Grünland ist um den Faktor 6,5 höher als der vergleichbare Wert aus Sachsen.

Der in das Diagramm eingetragene Hintergrundwert für Prikrit liegt etwa um das 4fache unter dem oben angeführten Maßnahmenwert. Allerdings wird der Prüfwert im Hinblick auf Wachstumsbeeinträchtigung (1 mg/kg) von diesem Hintergrundwert um das 346fache überschritten.

**Zn (2. H):** Für Zink sieht die BBodSchV für den Wirkungspfad Boden–Nutzpflanze nur einen Prüfwert im Hinblick auf Wachstumsbeeinträchtigungen vor. Wie bereits erwähnt, stehen hierfür keine vergleichbaren Werte gängiger Richtlinien zur Verfügung. Dieser Prüfwert von 2 mg/kg wird von dem Hintergrundgehalt eines industrienahen Grünlandoberbodens aus Nordrhein-Westfalen um das 250fache überschritten.

Tab. 24.2: Wirkungspfad Boden–Nutzpflanze: Vergleich der Bodenwerte für Ackerbau und Nutzgarten bzw. Grünland (organische Parameter); Angaben in mg/kg

Regelwerk	BBodSchG (1999)		Baden-Württemberg (1998)	Sachsen (1999)		Berlin (1996)
	Prüfwerte <sup>1</sup>	Maßnahmenwerte <sup>1,5</sup>	Orientierungswerte	Prüfwerte	Maßnahmenwerte	Risikowerte
Aldrin	/	/	/	/	/	/
Benzo(a)pyren	1	/	/	2	2–10 <sup>3</sup>	2–10 <sup>3</sup>
DDT	/	/	/	/	/	/
Hexachlorbenzol	/	/	/	/	/	/
Hexachlorcyclohexan	/	/	0,1	/	/	/
Pentachlorphenol	/	/	0,2	/	/	/
PCB	/	0,2	1,5	0,2	/	/
Dioxine/Furane <sup>2</sup>	/	/	5	5	40	/
MKW	/	/	400	/	/	/
BTEX	/	/	/	2	/	/
Benzol	/	/	/	0,5	/	/
LHKW	/	/	/	/	/	/
PAK	/	/	10	/	/	/
Naphtalin	/	/	/	/	/	/
Phenole	/	/	/	/	/	/

<sup>1</sup> Im Hinblick auf Pflanzenqualität.

<sup>2</sup> In ng/kg.

<sup>3</sup> Im Bereich von 2–10 mg BaP/kg Boden werden folgende abgestufte Nutzungseinschränkungen empfohlen:

- bis 2 mg/kg Boden: uneingeschränkter Anbau von Nahrungs- und Futterpflanzen
- ab 2 mg/kg Boden: Verzicht auf Anbau von Möhren, Schwarzwurzeln (Spargel) und Erdbeeren (Verschmutzungsrisiko)
- ab 5 mg/kg Boden: zusätzlicher Verzicht auf Anbau von diversen Blattgemüsearten, Petersilie, Sellerie, Radieschen, Rettich, Roten Beeten, Kartoffeln, Buschbohnen sowie Futterraps, Stoppelrüben, Futterrüben und Rübennblatt (Verschmutzungsgefahr)
- ab 10 mg/kg Boden: allgemeiner Verzicht auf den Anbau von Gemüsepflanzen und Ackerfutterpflanzen sowie von Obst.

<sup>4</sup> Maßnahmenwerte für Grünland.



Diagramm 2. I

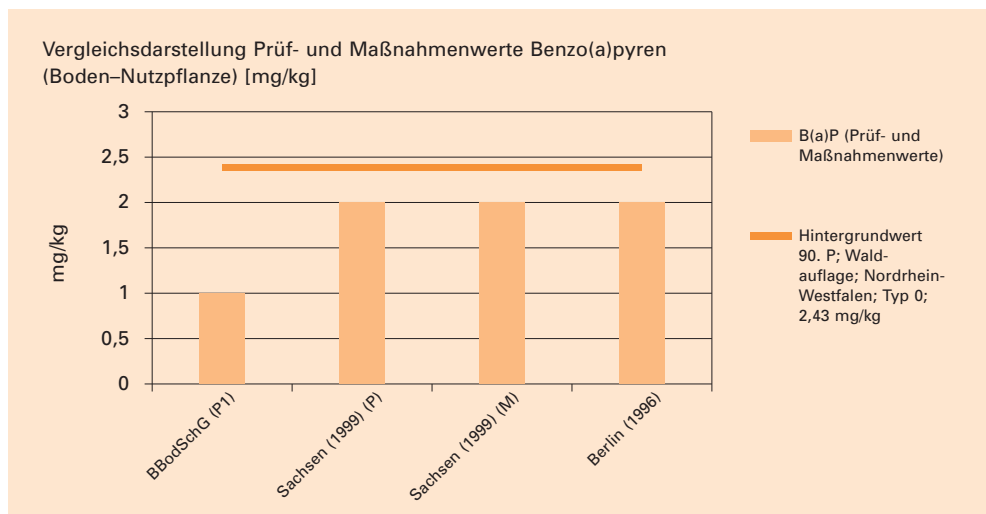
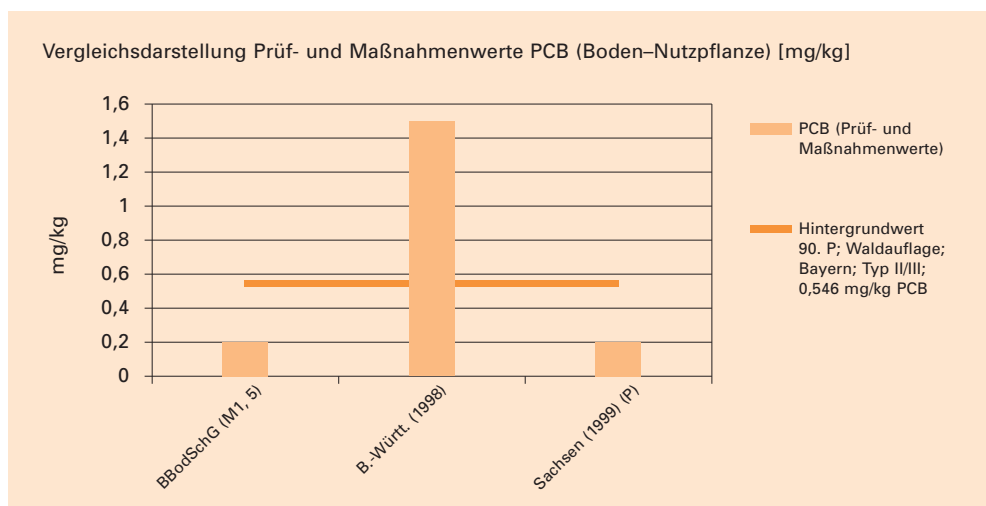


Diagramm 2. J



### – Organische Parameter (Boden–Nutzpflanze)

In der BBodSchV wurden für den Wirkungspfad Boden–Nutzpflanze nur für zwei organische Parameter Bodenwerte festgelegt. Für Benzo(a)pyren existiert ein Prüfwert im Hinblick auf Pflanzenqualität von 1 mg/kg und für polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe ein Maßnahmenwert für Grünland von 0,2 mg/kg.

**BaP (2. I):** Der oben angeführte Prüfwert kann mit den bisherigen Werten von Berlin und Sachsen verglichen werden. Er ist genau um die Hälfte niedriger.

Der in das Diagramm eingetragene Hintergrundwert einer Waldaufgabe in Nordrhein-Westfalen überschreitet den Prüfwert etwa um den Faktor 2,5.

**PCB (2. J):** Für den oben angeführten Maßnahmenwert steht kein vergleichbarer Wert der gängigen Richtlinien zur Verfügung.

Der in das Diagramm eingetragene Hintergrundwert einer Waldaufgabe in Bayern beträgt 0,546 mg/kg PCB und überschreitet den genannten Maßnahmenwert um den Faktor 2,7.

### 4.3 Vergleichsdarstellungen für den Wirkungspfad Boden–Grundwasser

In Tabelle 25.1 sind für die anorganischen, in Tabelle 25.2 für die organischen Parameter die Prüfwerte der BBodSchV für Sickerwasser im Hinblick auf den Schutz des Grundwassers (ohne Nutzungsdifferenzierung) im Vergleich zu den bisherigen Werten gängiger Richtlinien aufgelistet. In den Diagrammen 3. A bis 3. AA sind die Werte der Richtlinien grafisch dargestellt. Hintergrundwerte wurden hier nicht berücksichtigt. Die Zusammensetzung des Grund- bzw. Sickerwassers hängt stark von dem jeweiligen Gestein ab, das es durchfließt. Daher können die Hintergrundwerte lokal sehr unterschiedlich sein. Es ist durchaus möglich, dass die in den Diagrammen dargestellten Bodenwerte von lokal hohen Hintergrundwerten überschritten werden. Neben der Zusammensetzung des Untergrundes können hierfür auch Schadstoffeinträge über Luft oder Gewässer sowie unmittelbare Schadstoffeinträge verantwortlich sein.

Die Prüfwerte der BBodSchV gelten für den Übergangsbereich von der ungesättigten zur wassergesättigten Bodenzone (Ort der Beurteilung). Damit vergleichbar sind die Werte des Altlastenleitfadens und des Merkblattes 3.8–10 (beide von Bayern) sowie die analogen Werte von Baden-Württemberg, Berlin, Brandenburg, Hamburg und der Holland-Liste. Die Trinkwasserschutzverordnung (TrinkwV, 1990) bezieht sich ausschließlich auf das Grundwasser. Sie enthält Grenzwerte für chemische Stoffe sowie Kenngrößen und Grenzwerte zur Beurteilung der Trinkwasserbeschaffenheit.

Tab. 25.1: Wirkungspfad Boden–Grundwasser: Vergleich der Werte (anorganische Parameter); Angaben in µg/l

Regelwerk	BBodSchG (1999)	Altlastenleitfaden (1991)	B.-Württ. (1998)	Bayern (1998)	Berlin (1996)
Bezeichnung des Wertes	Prüfwerte	Stufe-2-Werte	Orientierungswerte	Stufe-2-Werte	S
As	10	40	10	30	20
Pb	25	160	10 <sup>1</sup>	500	80
Cd	5	20	3	15	10
CN ges.	50	200	40	150	100
CN leicht freisetzbar	10	/	/	/	20
Cr ges.	50	200	40	500	100
Chromat	8	/	8	/	30
Ni	50	200	50	100	100
Hg	1	4	0,7	10	2
Tl	/	/	8	4	/
Cu	50	/	100	/	100
Zn	500	800	1 500	/	500
Sb	10	40	/	/	20
Co	50	200	/	/	100
Mo	50	100	/	/	100
Se	10	40	8	/	20
Sn	40	150	10	/	80
F	750	6 000	750	3 750	2 000

<sup>1</sup> In Anlehnung an die Übergangsregelung in der revidierten EU-Trinkwasserrichtlinie (80/778/EWG) können für einen Zeitraum von 20 Jahren höhere Bleikonzentrationen bis zu 25 µg/l akzeptiert werden.

<sup>2</sup> Grenzwerte für chemische Stoffe sowie Kenngrößen und Grenzwerte zur Beurteilung der Trinkwasserbeschaffenheit.

<sup>3</sup> Richtwert (gilt nach Stagnation von 12 Stunden, innerhalb von 2 Jahren nach Installation ohne Berücksichtigung der Stagnation).

Brandenburg (1993)	Hamburg (1990)	Holland-Liste (1994)			TrinkwV (1990)
I	G	S-Werte	I-Werte	(S + I)/2	Grenzwerte <sup>2</sup>
40	50	10	60	35	10
40	300	15	75	45	40
5	5	0,4	6	3,2	5
50	/	10	1 500	755	50
5	/	/	/	/	/
50	200	1	30	15,5	50
20	/	/	/	/	/
50	200	15	75	45	50
1	5	0,05	0,3	0,175	1
/	/	/	/	/	/
40	300	15	75	45	3 000 <sup>3</sup>
1 000	1 000	65	800	432,5	5 000 <sup>3</sup>
/	/	/	/	/	10
50	/	20	100	60	/
/	/	5	300	152,5	/
/	/	/	/	/	10
40	/	/	/	/	/
1 500	/	/	/	/	1 050

Tab. 25.2: Wirkungspfad Boden–Grundwasser: Vergleich der Bodenwerte (organische Parameter); Angaben in µg/l

Regelwerk	BBodSchG (1999)	Altlastenleitfaden (1991)	B-Württ. (1998)	Bayern (1998)
Bezeichnung des Wertes	Prüfwerte	Stufe-2-Werte	Orientierungswerte	Stufe-2-Werte
Aldrin	0,1	0,5	/	/
Benzo(a)pyren	/	/	/	/
DDT	0,1	0,5	/	/
Hexachlorbenzol	/	/	/	/
Hexachlorcyclohexan	/	/	0,1	/
Pentachlorphenol	/	/	0,1	/
PCB	0,05	2	0,05	0,5
Dioxine/Furane	/	/	5	/
MKW	200	600	50	/
BTEX	20	100	/	100
Benzol	1	40	1	10
LHKW	10	40	/	40
PAK	0,2	2	0,15	1
Naphtalin	2	/	2	8
Phenole	20	50	30	80

Berlin (1996)	Brandenburg (1993)	Holland-Liste (1994)			TrinkwV (1990)
S	I	S-Werte	I-Werte	(S + I)/2	Grenzwerte 2
/	/	/	0,01	/	/
/	/	0,001	0,05	0,0255	/
/	/	/	0,01	/	0,1
/	/	0,01	0,5	0,255	/
/	/	/	1	/	/
/	/	0,02	3	1,51	/
1	0,5	0,01	0,01	0,01	/
/	/	/	/	/	/
400	500	50	600	325	10
/	/	/	/	/	/
5	5	0,2	30	15,1	/
20	25	/	/	/	/
0,4	5	/	/	/	0,2
4	/	0,1	70	35,05	/
/	10	0,2	2 000	1 000,1	0,5

Diagramm 3. A

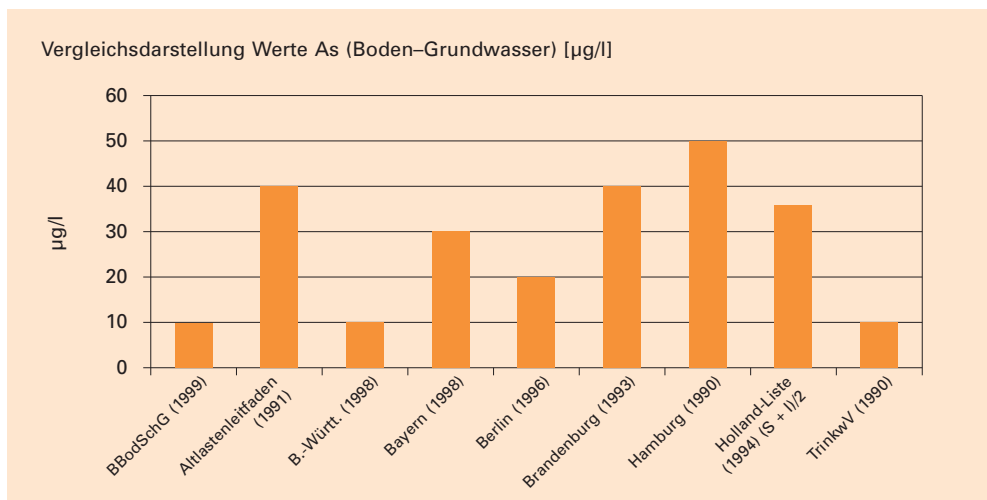


Diagramm 3. B

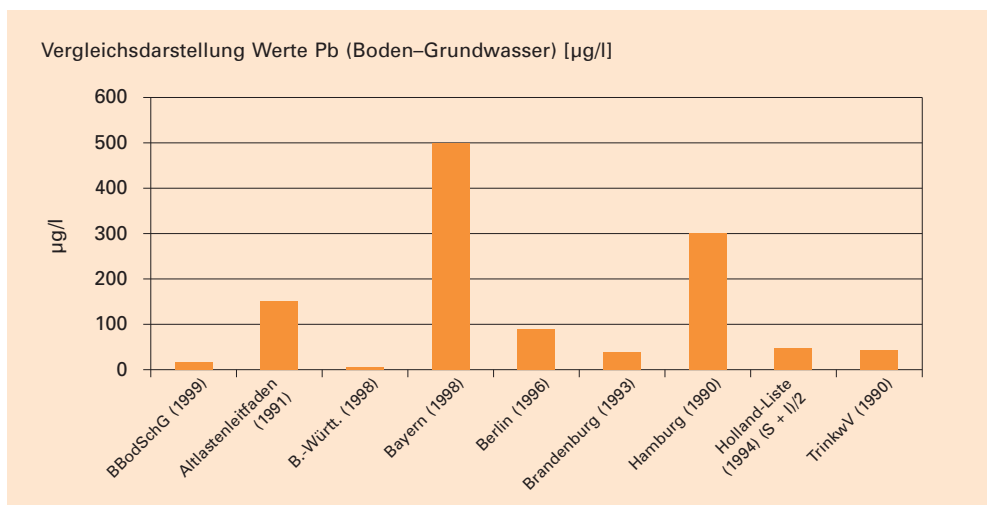




Diagramm 3. C

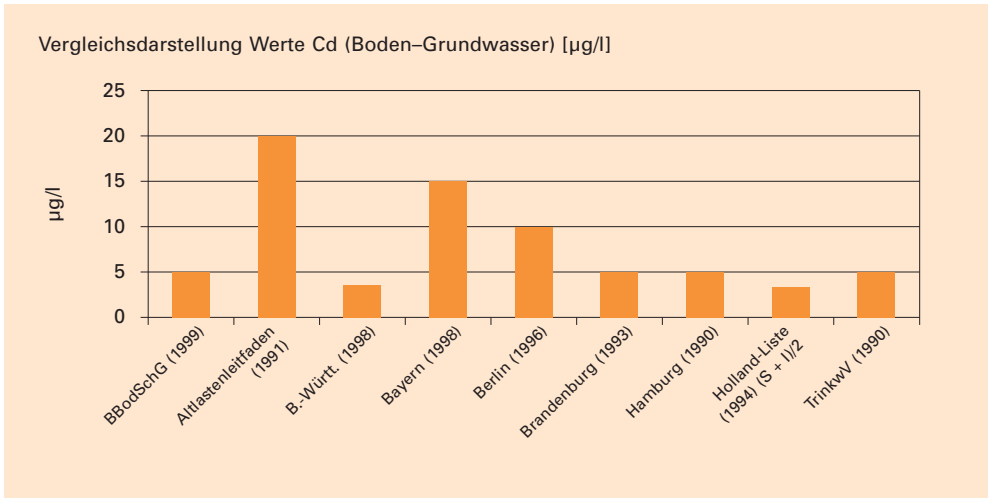


Diagramm 3. D

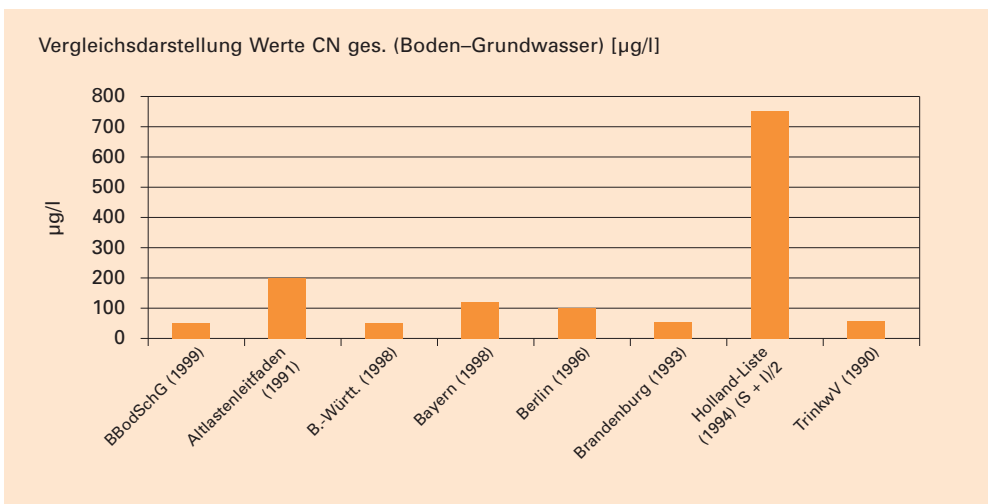


Diagramm 3. E

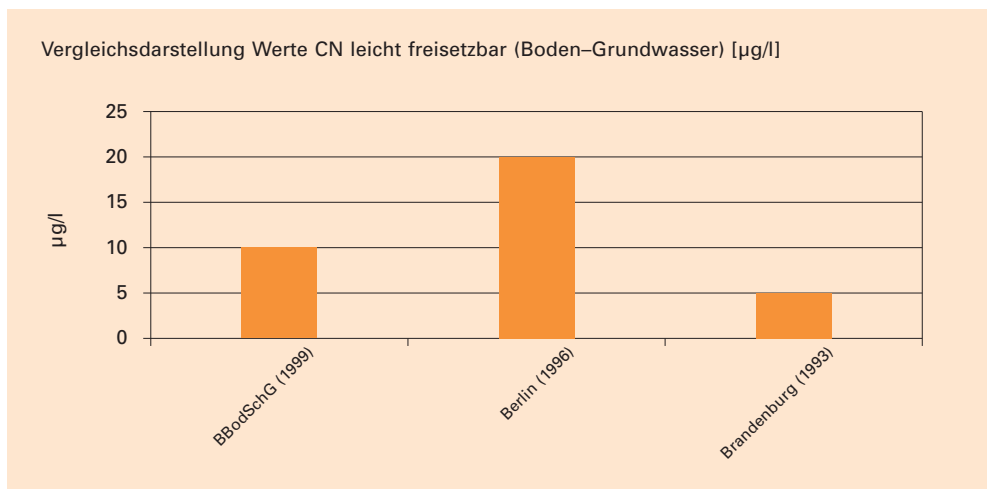


Diagramm 3. F

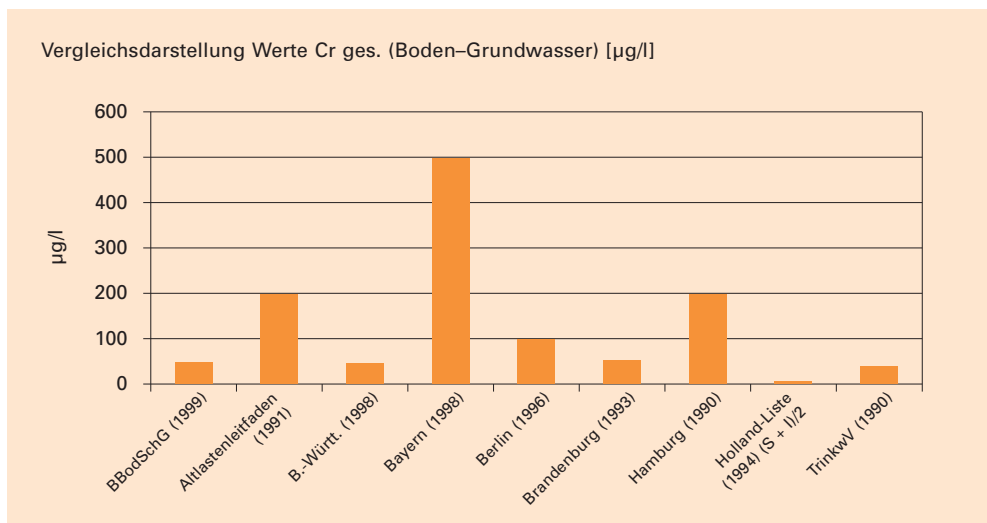


Diagramm 3. G:

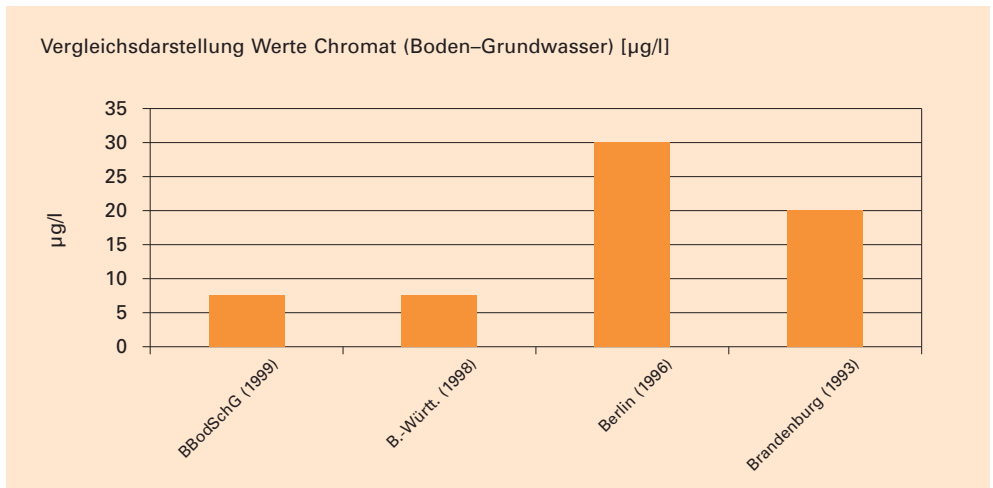


Diagramm 3. H

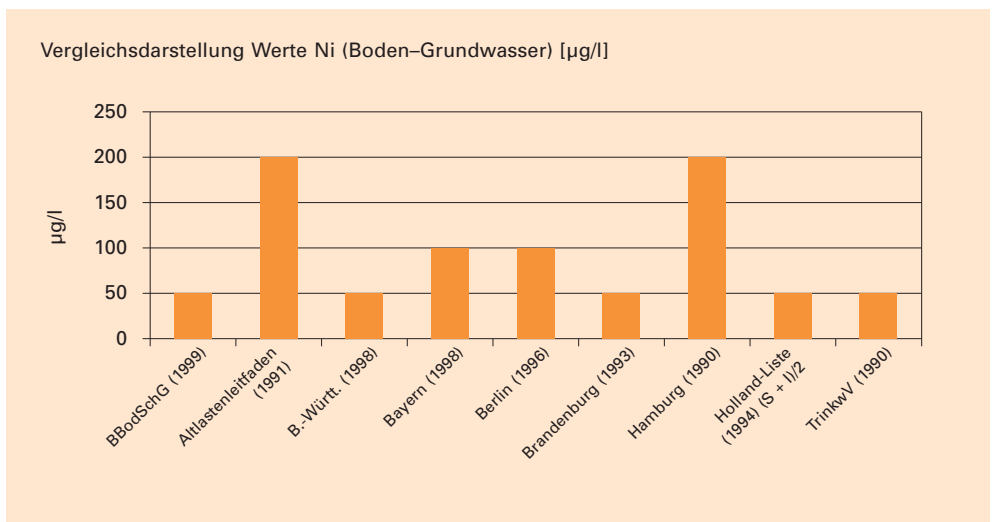


Diagramm 3. I

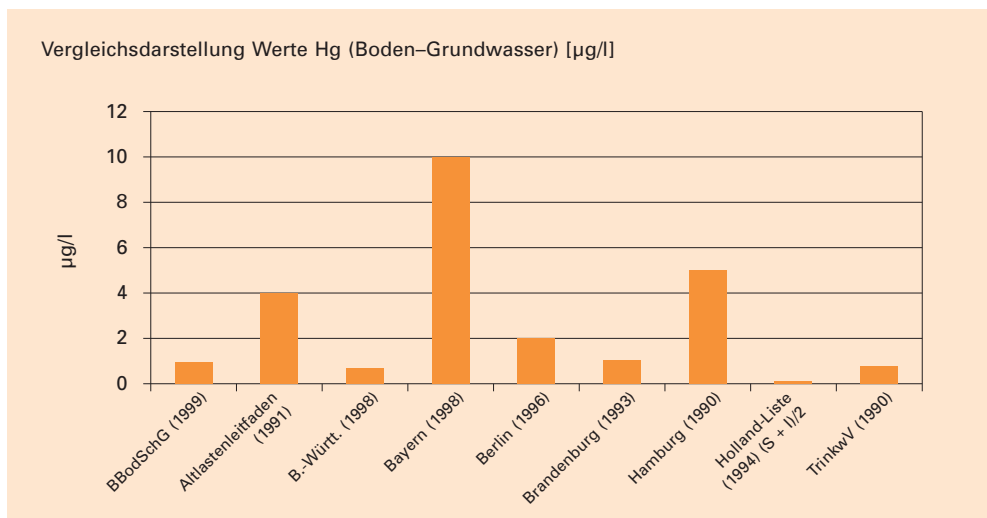


Diagramm 3. J

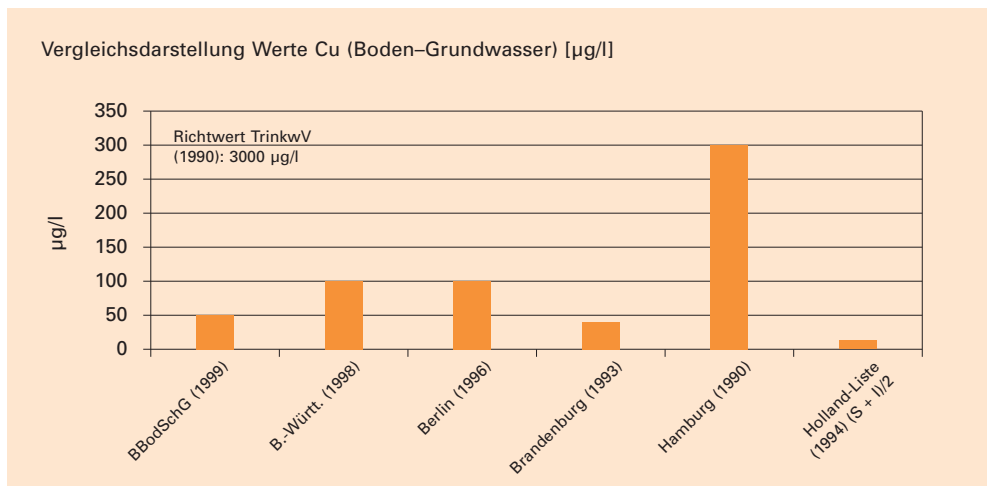


Diagramm 3. K

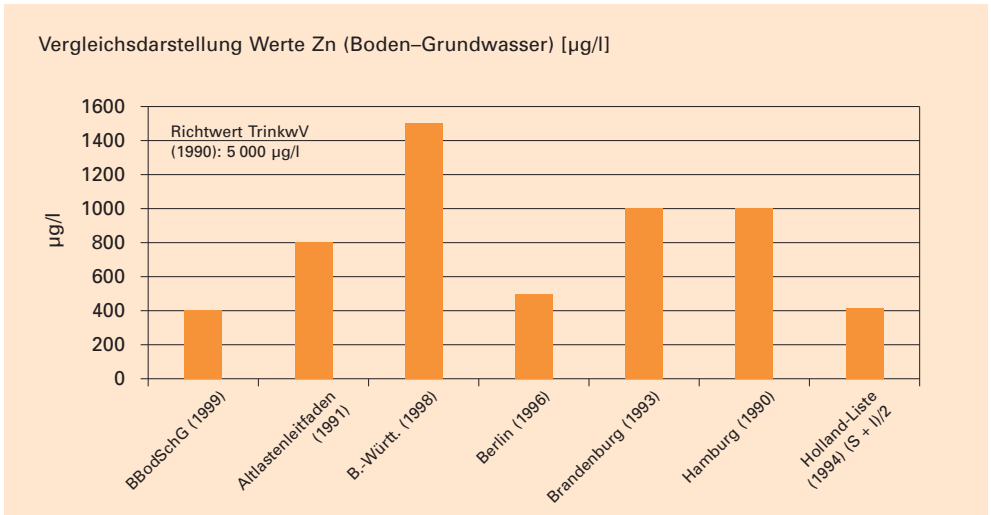


Diagramm 3. L

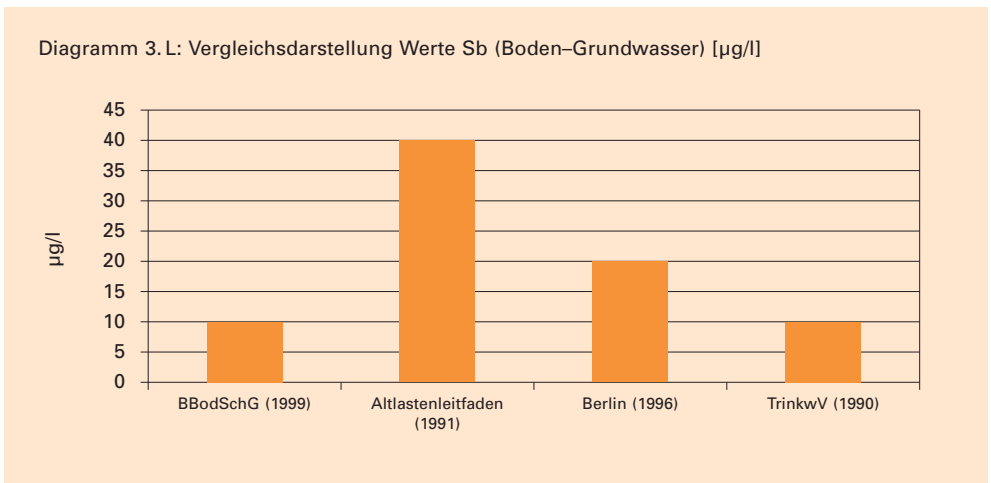


Diagramm 3. M

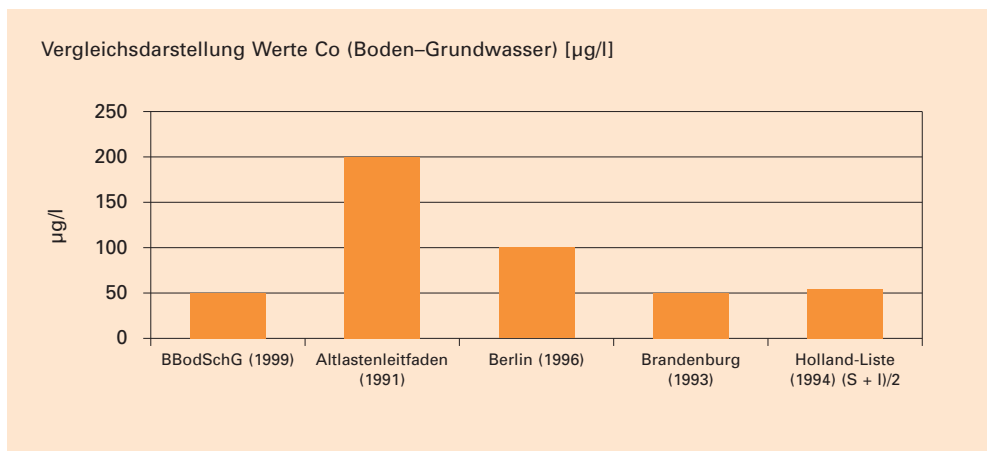


Diagramm 3. N

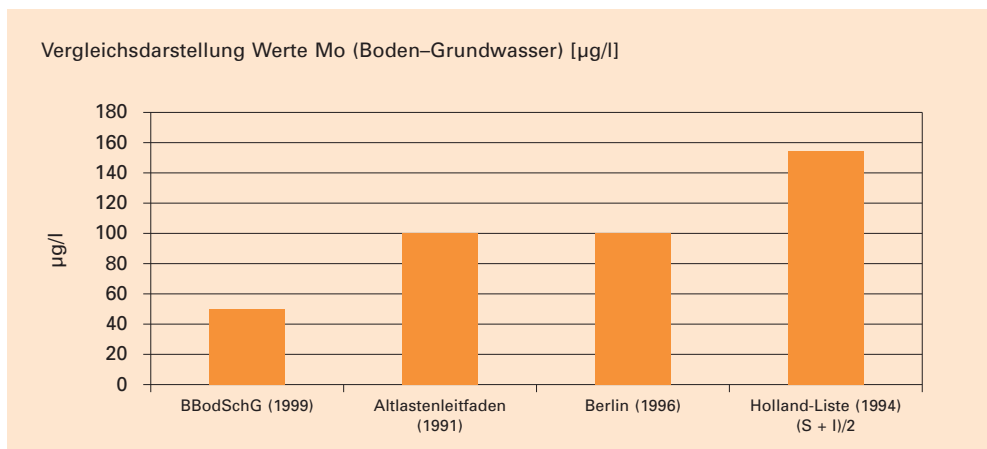


Diagramm 3. O

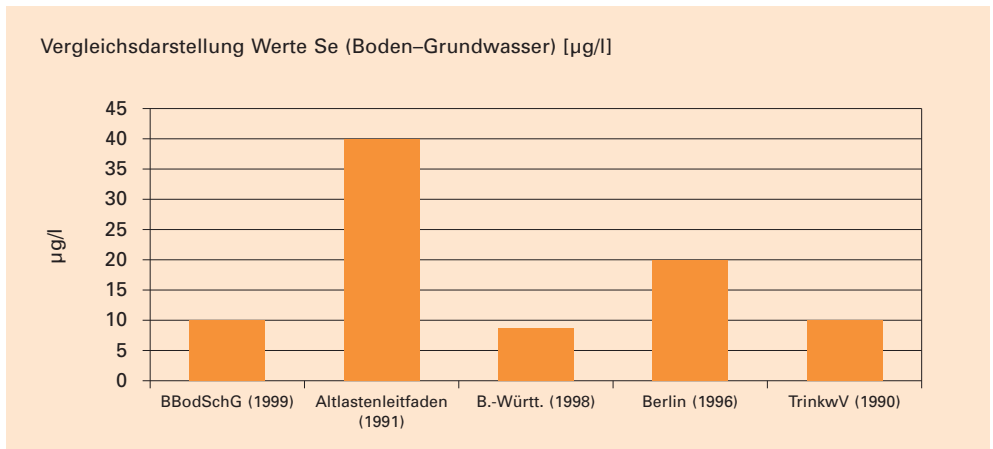


Diagramm 3. P

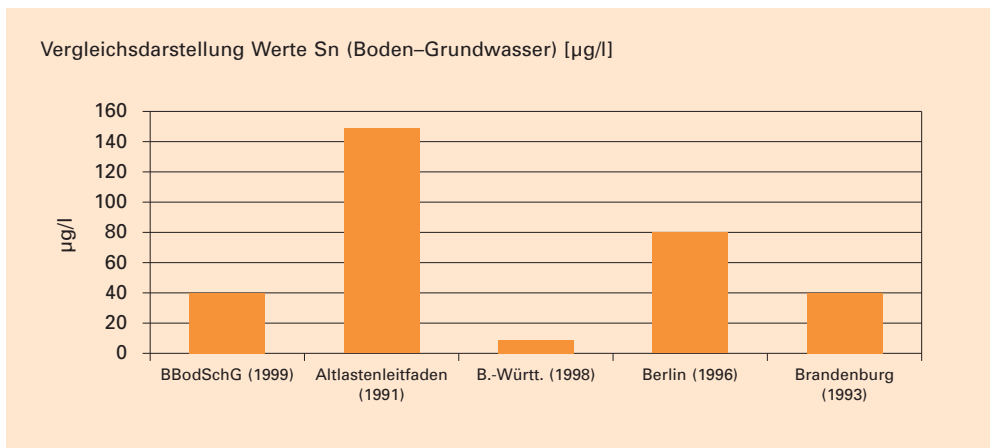


Diagramm 3. Q

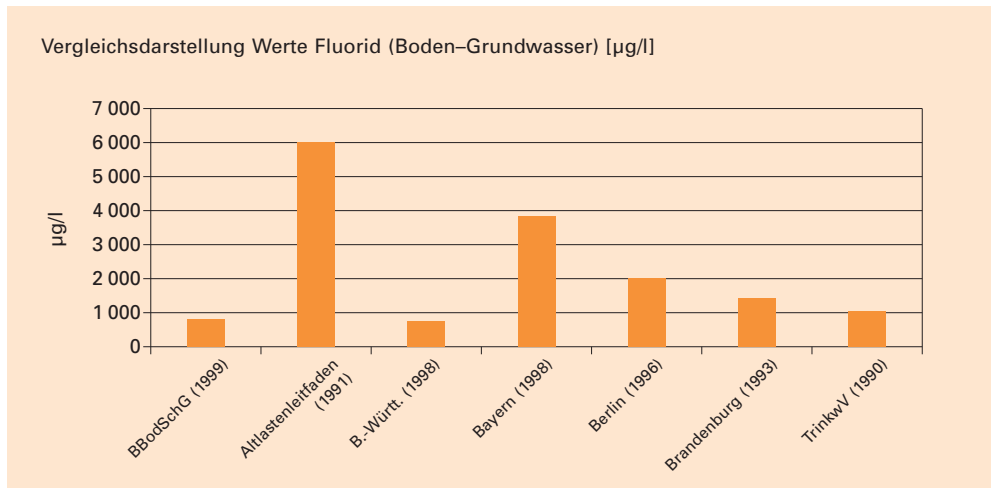


Diagramm 3. R

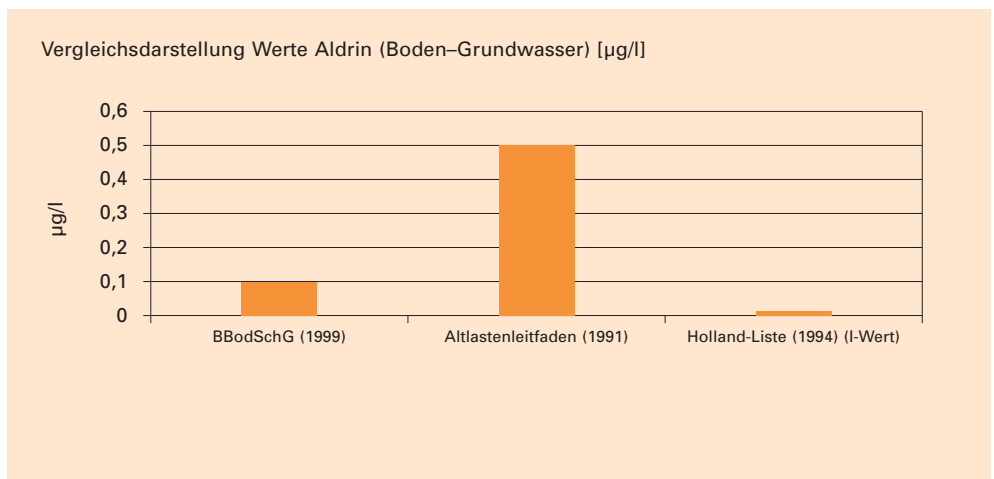




Diagramm 3. S

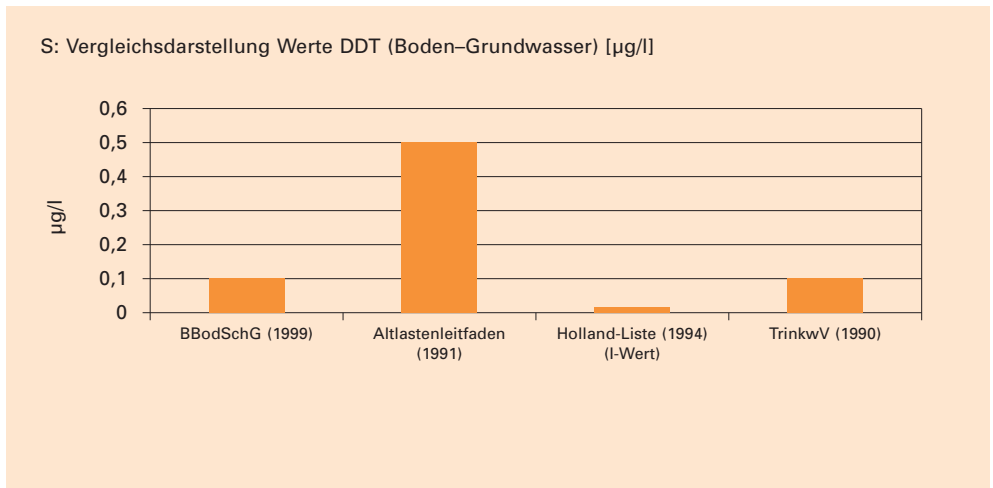


Diagramm 3. T

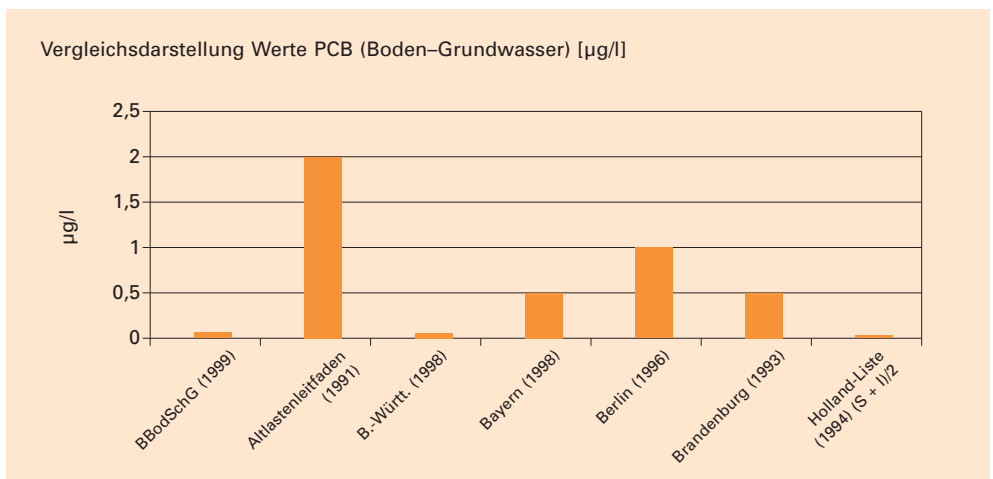


Diagramm 3. U

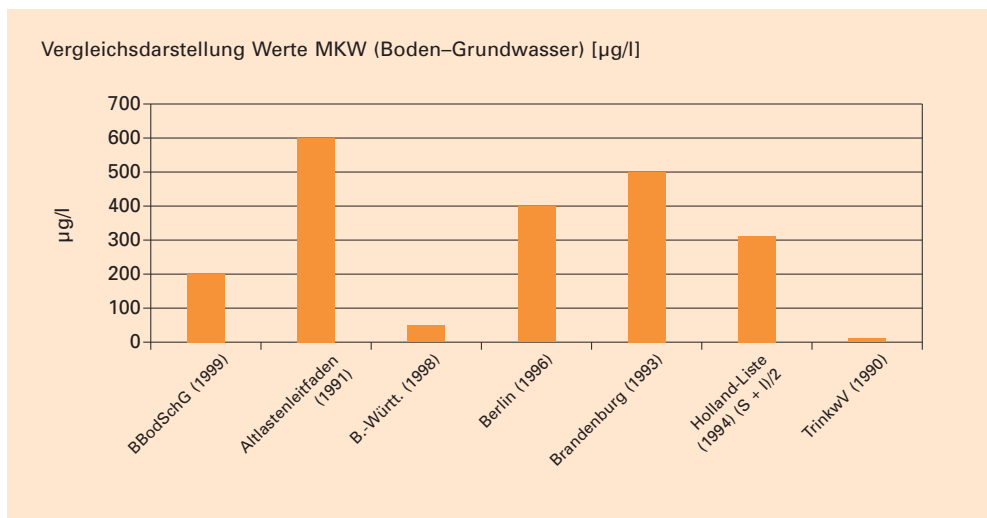
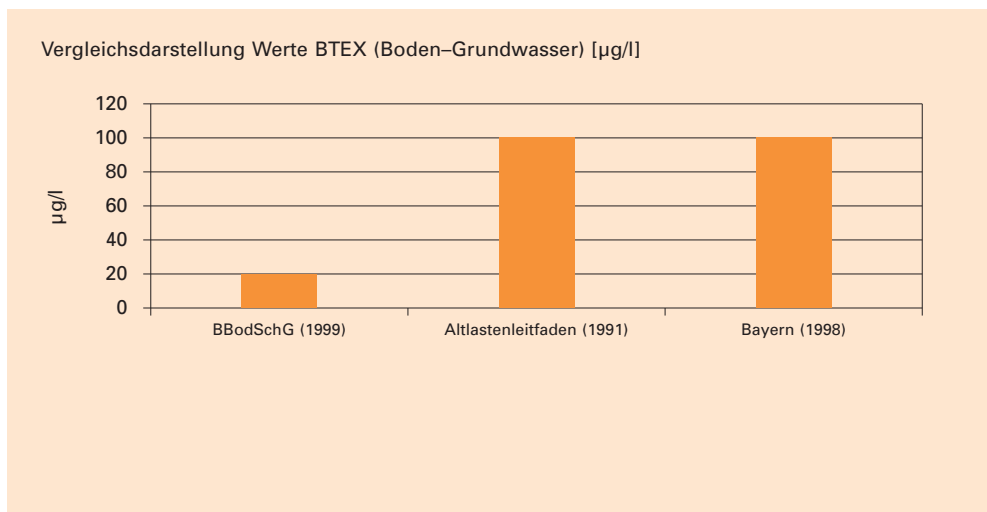
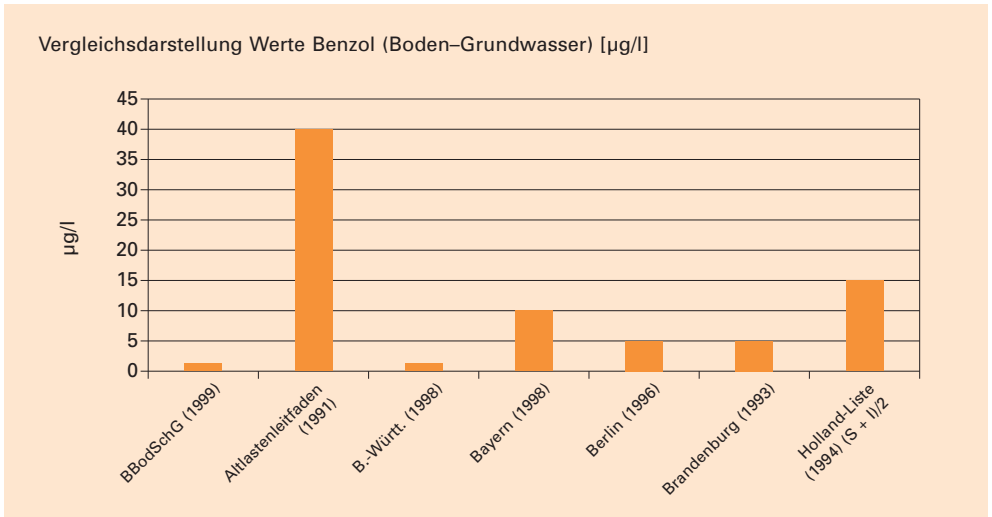


Diagramm 3. V



**Diagramm 3. W**



**Diagramm 3. X**

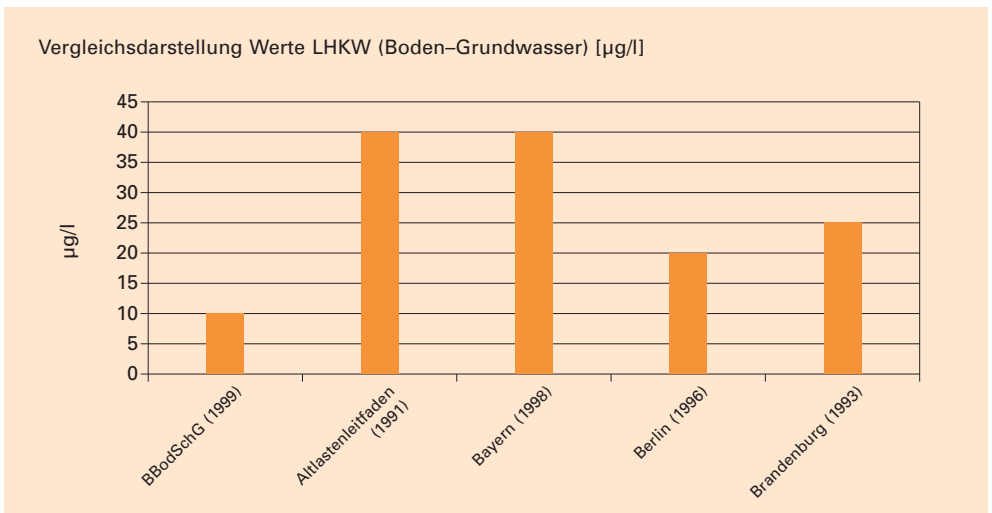


Diagramm 3.Y

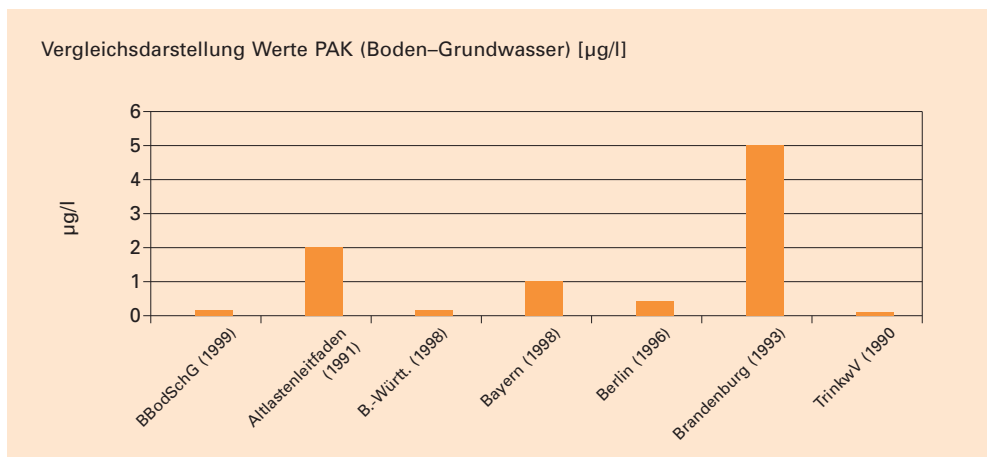


Diagramm 3.Z

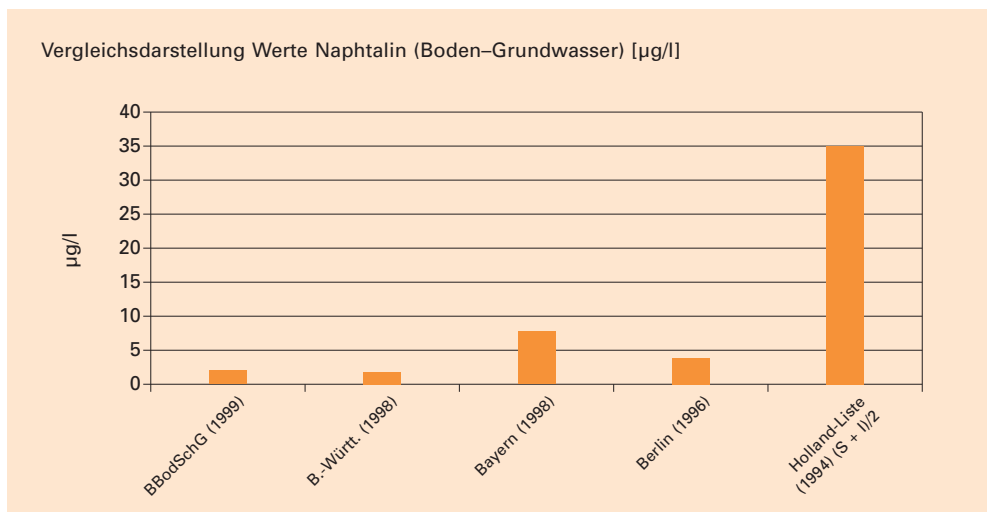
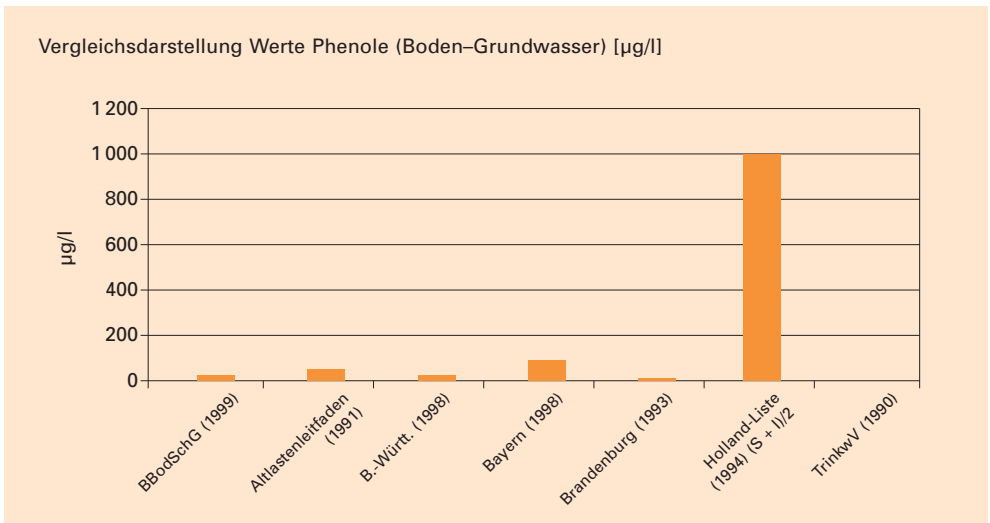


Diagramm 3. AA



Es folgt die Auswertung der Diagramme 3. A bis 3. Q für anorganische und der Diagramme 3. R bis 3. AA für organische Parameter, gegliedert nach den einzelnen Richtlinien:

Die Prüfwerte der BBodSchV liegen für die anorganischen Parameter im Durchschnitt um den Faktor 4 unter den Werten des Altlastenleitfadens und für die organischen Parameter um den Faktor 13 unter den Werten des Altlastenleitfadens.

Die Prüfwerte der BBodSchV liegen meistens um das 2fache über den vergleichbaren Werten von Baden-Württemberg. Für As, Chromat, Ni, Fluorid, PCB, Benzol und Naphtalin sind sie identisch. Lediglich für Cu, Zn und Phenole liegen die Prüfwerte der BBodSchV um das 2fache unter den analogen Werten von Baden-Württemberg.

Die Prüfwerte der BBodSchV liegen für die anorganischen Parameter im Durchschnitt um den Faktor 7 unter den Werten des Merkblattes 3.8–10 (Bayern) und für die organischen Parameter um den Faktor 6 unter den Werten des Merkblattes 3.8–10 (Bayern).

Die Prüfwerte der BBodSchV liegen im Durchschnitt um den Faktor 2 unter den Werten von Berlin. Lediglich für Zink sind die Werte identisch.

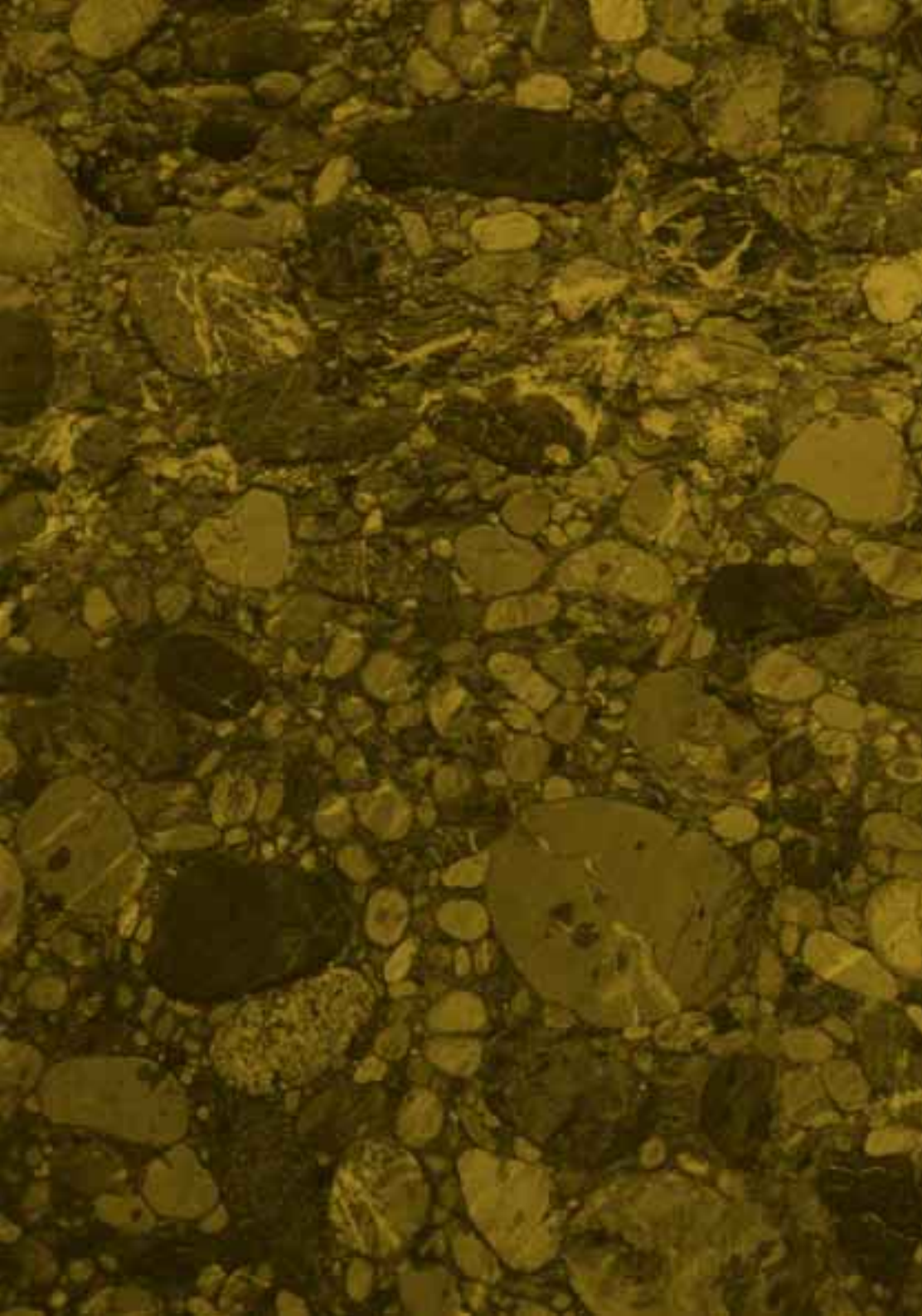
Die meisten Prüfwerte der BBodSchV liegen für die anorganischen Parameter um den Faktor 3 unter den vergleichbaren Werten von Brandenburg. Für Cd, CN ges., Cr ges., Ni, Hg, Co und Sn sind sie identisch. Lediglich für Cu und Zn liegen die Prüfwerte der BBodSchV um das 2fache über den analogen Werten von Brandenburg. Für die organischen Parameter liegen die Prüfwerte um den Faktor 9 unter den Werten von Brandenburg. Lediglich für Phenol liegt der Prüfwert um das 2fache darüber.

Die Prüfwerte der BBodSchV liegen im Durchschnitt um den Faktor 5,4 unter den Werten von Hamburg. Lediglich für Cadmium sind die Werte identisch.

Die Prüfwerte der BBodSchV liegen zur Hälfte unter den Werten der Holland-Liste und zur Hälfte darüber. Für Aldrin sind die Werte identisch.

Die Prüfwerte der BBodSchV entsprechen sehr häufig den Werten der TrinkwV. Für As, Cd, CN ges., Cr ges., Ni, Hg, Sb, Se, DDT und PAK weisen beide Verordnungen identische Werte auf. Lediglich für Pb und Fluorid liegen die Prüfwerte der BBodSchV unter und für MKW über den Werten der TrinkwV.









**5**

**Beurteilung**

# 5 Beurteilung

Bei der Auswertung der Grafiken lassen sich folgende Punkte feststellen:

- Die Prüf- und Maßnahmenwerte der BBodSchV für die Bodenbelastung liegen teils unter, teils aber auch über den bisher üblichen Werten. Bei dem Wirkungspfad Boden–Mensch ist eindeutig die Tendenz zu erkennen, dass die Werte der neuen Verordnung insgesamt etwas höher angesetzt sind als in den bisherigen Richtlinien. Besonders bei der Nutzungskategorie Industrie- und Gewerbegrundstücke liegen die neuen Werte häufig um ein Vielfaches höher als die bisherigen.

Dagegen sind bei dem Wirkungspfad Boden–Grundwasser die Prüfwerte der neuen Verordnung insgesamt niedriger angesetzt. Hier liegen mehr als drei viertel der neuen Prüfwerte unter den bisherigen Werten. Auffallend ist, dass die Prüfwerte gemäß Anhang 2 Nr. 3.1 der BBodSchV teilweise niedriger angesetzt sind als die Grenzwerte der TrinkwV (1990).

- Die Hintergrundwerte ausgewählter Böden und Gesteine überschreiten häufig die in den Richtlinien festgelegten Werte. Vor allem bei Kupferschiefer oder ultrabasischen Gesteinen können die festgelegten Prüfwerte um mehr als das 1000fache überschritten werden. Die in den Gesteinen auftretenden Schwermetallgehalte sind ausschließlich geogenen, also natürlichen Ursprungs. Auch Wald- und Ackerböden weisen hohe Hintergrundgehalte auf, die im Gegensatz zu den Gesteinen jedoch anthropogen bedingt sein dürften. Böden in Verdichtungsräumen weisen generell höhere Schadstoffgehalte auf als Böden in ländlichen Regionen.
- Die beabsichtigte Vereinheitlichung des Vollzugs durch die Vergabe einheitlicher Beurteilungsmaßstäbe wird durch die BBodSchV nicht vollständig erreicht. Die Zusammenstellung der Bodenwerte ist lückenhaft. In Bezug auf den Wirkungspfad Boden–Mensch fehlen die Maßnahmenwerte mit Ausnahme des Wertes für Dioxine/Furane. Die Prüfwerte liegen nur vor für einige Schwermetalle, Benzo(a)pyren, DDT, Hexachlorbenzol, Cyanide, Pentachlorphenol, HCH und PCB. Wesentliche Parameter wie EOX, KW, Kresole, Phenole (Index und Einzelstoffe), CKW, BTX, Antimon, Thallium, Vanadium und Sprengstoffe fehlen. Des Weiteren wird keine Unterteilung in verschiedene Bodenarten vorgenommen. Dasselbe gilt

für den Nutzungspfad Boden–Nutzpflanze. Für die meisten Parameter wurden auch hier keine Werte festgelegt (s. Tab 1). Soweit keine entsprechenden Werte erlassen worden sind, sollen sie nach § 5 Abs. 1 Satz 2 im Einzelfall nach den Grundsätzen der Ermittlung der vorhandenen Werte abgeleitet werden. Die Ableitung erfordert jedoch genaue human-toxikologische Kenntnisse und wird für die tägliche Bearbeitungspraxis nicht einfach anzuwenden sein.

- In Bezug auf den Wirkungspfad Boden–Grundwasser werden zur Beurteilung des Sickerwassers Vorschläge gemacht, die „vorzugsweise als Sickerwasser-Prognosewert auf der Grundlage von Eluatanalysen der Bodenproben“ basieren. Die Vergleichsdarstellungen (s. 4.3) zeigen, dass hier die Grenzwerte der TrinkwV herangezogen wurden. Dies erscheint für die Beurteilung des Sickerwassers als hoher Maßstab. Bei einem inhomogen zusammengesetzten Altlastkörper wird die Aussagekraft der Sickerwasserprognose auch dadurch eingeschränkt, dass die Prüfwerte für den Ort der Gefahrenbeurteilung (Übergang wasserungesättigte/wassergesättigte Bodenzone) gelten und nicht notwendigerweise mit der Probenahmestelle übereinstimmen müssen. Auch beim Wirkungspfad Boden–Grundwasser fehlen Prüfwerte für wesentliche Parameter wie Chlorid, Sulfat, Ammonium, Nitrat, Nitrit, AOX, TOC.

Aus versicherungstechnischer Sicht spielen nur diejenigen Grenzwerte eine Rolle, bei deren Überschreiten Kosten verursacht werden. Kosten entstehen nur dann, wenn man eine Maßnahme ergreifen muss, um eine eingetretene schädliche Bodenveränderung zu prüfen oder zu beheben.

Bei Überschreitung der Vorsorgewerte ist nach § 8 Abs. 2 Satz 1 Nr. 1 des BBodSchG unter Berücksichtigung von geogenen oder großflächig siedlungsbedingten Schadstoffgehalten in der Regel davon auszugehen, dass eine schädliche Bodenveränderung zu befürchten ist. Das Überschreiten der Vorsorgewerte löst zwar eine Handlungspflicht aus; diese greift aber erst dann, wenn die jährlichen Zusatzbelastungen überschritten wurden. Das bedeutet: Auch wenn die Vorsorgewerte überschritten sind, werden keine Maßnahmen erforderlich und es entstehen somit keine Kosten, sofern die maximale jährliche Zusatzbelastung nicht überschritten wird. Aus diesem Grund wurden die Vorsorgewerte in dieser Arbeit nicht berücksichtigt.

Anders verhält es sich mit den Prüf- und Maßnahmenwerten, da hier im Falle der Überschreitung dieser Werte Handlungen ergriffen werden müssen, um eine eingetretene schädliche Bodenveränderung zu prüfen bzw. zu beheben. Im Einzelnen sind dies bei Überschreitung der Prüfwerte Detailuntersuchungen und bei Überschreitung der Maßnahmenwerte Sanierungsmaßnahmen, die erhebliche Kosten verursachen können. Beispielsweise werden im Bereich der Eisen schaffenden Industrien die Prüfwerte anorganischer Parameter für den Wirkungspfad Boden–Mensch sehr leicht überschritten, sodass für viele Standorte der Stahlindustrie Detailuntersuchungen auf Kosten der Unternehmen durchzuführen sind.

Ebenfalls sehr leicht ist die Überschreitung der niedrig angesetzten Prüfwerte für das Sickerwasser (vgl. oben). Eine solche Bewertungsgrundlage könnte bei den zuständigen Behörden dazu führen, dass grundsätzliche Standorte für wirtschaftliche und öffentliche Nutzung in Deutschland Verdachtsflächen im Sinne des § 2 Abs. 4 BBodSchV sind. Dies hätte gleichfalls zur Folge, dass umfangreiche Detailuntersuchungen durchzuführen sind, die sowohl die Industrie als auch die öffentlichen Haushalte stark belasten würden.







**6**

**Literaturverzeichnis**

## 6 Literaturverzeichnis

**Arbeitsgemeinschaft Alpenländer (1989):** Expertentagung Bodenkataster. Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen: Materialien, 59: 111 Seiten; München.

**Bachmann, J. (1998):** Fachliche Ableitung von Bodenwerten im Rahmen des Bundes-Bodenschutzgesetzes. 121 Seiten, 6 Abbildungen, 20 Tabellen; Berlin (Erich Schmidt-Verl.).

**Baumann, J., Wagner, W. (1995):** Geogene Grundwasserbeschaffenheit als Bemessungsgrundlage für den Grundwasserschutz. In: Texte (Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit), 27: getrennte Seitenzählung; Berlin (Umweltbundesamt).

**Bayer. Geologisches Landesamt [Hrsg.] (1996):** Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:500 000. 329 Seiten; München (Bayer. Geol. L.-Amt).

**Bayerische Staatsregierung (1991):** Bodenschutzprogramm. 159 Seiten, 10 Anlagen, 16 Abbildungen; München (Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen [Hrsg.]).

**Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen,**

**Bayerisches Staatsministerium des Innern (1991):** Altlasten-Leitfaden für die Behandlung von Ablagerungen und kontaminierten Standorten in Bayern. 69 Seiten, 9 Tabellen, 21 Anhänge; München.

**Beck, C. H. (1994):** Bundesimmissionsschutzgesetz. 431 Seiten, München (Beck'scher Verl.).

**Beese, F., Frielinghaus, M. (1999):** Schutz des Bodens. 157 Seiten, 5 Abbildungen, 5 Tabellen; Bonn (Economica-Verl.).

**Bickel, Ch. (1999):** Bundes-Bodenschutzgesetz. 190 Seiten; Köln, Berlin, Bonn, München (Carl Heymanns-Verl. KG).

**Birkmann, S. (1996):** Die Sanierung von Altlasten. Dissertation der Ludwig-Maximilians-Universität München. In: Verbraucherschutz, Produktsicherheit, Umweltschutz, 6: 297 Seiten; Karlsruhe (Verlag Versicherungswirtschaft e. V., Karlsruhe).

**Bombien, H., Eckelmann, W., Heineke, H. J., Hennings, V. (1993):** Wissenschaftliche Berichte zum Niedersächsischen Bodeninformationssystem (NIBIS). Geol. Jb., F 27: 256 Seiten, 55 Abbildungen, 14 Tabellen, 3 Tafeln; Hannover (Schweizerbart-Verl.).



**Boysen, P. (1992):** Schwermetalle und andere Schadstoffe in Düngemitteln, Literatursauswertung und Analysen. Umweltbundesamt, FB 107016/01; Berlin (Umweltbundesamt).

**Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (1999):** Verordnung zur Durchführung des Bundes-Bodenschutzgesetzes. UB MEDIA Fachdatenbank: Bodenschutz und Altlastensanierung; Markt Schwaben (UB MEDIA-Verl.).

**Bundes-Bodenschutzgesetz (1998):** Gesetz zum Schutz des Bodens, Artikel 1: Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten. UB MEDIA Fachdatenbank: Bodenschutz und Altlastensanierung; Markt Schwaben (UB MEDIA-Verl.).

**Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung (1985):** Boden – das dritte Umweltmedium. 356 Seiten; Bonn.

**Bundesministerium der Justiz [Hrsg.] (1999):** Bekanntmachung über Methoden und Maßstäbe für die Ableitung der Prüf- und Maßnahmenwerte nach der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV). Bundesanzeiger, Jg. 51, Nr. 161 a: 43 Seiten, 12 Tabellen; Bonn.

**Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit [Hrsg.] (1999):** Informationen zur neuen Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung. In: Umwelt (Sonderenteil), 7–8: 8 Seiten; Bonn.

**Correns, C. W. (1968):** Einführung in die Mineralogie. 2. Aufl., 458 Seiten, 391 Abbildungen, 74 Tabellen, 1 Tafel; Berlin, Heidelberg, New York (Springer-Verl.).

**Eberhardt, J. (1988):** Geogene und anthropogene Schwermetallgehalte in Aueböden. Dissertation der Fakultät Geo- und Biowissenschaften der Universität Stuttgart, 200 Seiten, 40 Abbildungen, 26 Tabellen; Universität Stuttgart.

**Gemeinsame Arbeitsgruppe Bodenschutz (1989):** Bodenkataster – Bodeninformationssysteme. Kurzfassung der Referate anlässlich der Expertentagung der Gemeinsamen Arbeitsgruppe Bodenschutz am 16. und 17. November 1989 in Rotholz/Tirol, 150 Seiten; München (Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen [Hrsg.]).

**Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. (1999):** Gesetzliche Sanierungspflichten bei Umweltschäden auf eigenem Grund und Boden und die entsprechenden Versicherungsdeckungen in den europäischen Ländern. 49 Seiten; Berlin.

**Grothmann, T. (1998):** Der Altlasten-Berater. 124 Seiten; Hamburg (Storck-Verl.).

**Hindel, R., Fleige, H. (1991):** Schwermetalle in Böden der Bundesrepublik Deutschland – geogene und anthropogene Anteile. 137 Seiten, 25 Abbildungen, 28 Tabellen; Berlin (Umweltbundesamt).

**Hindel, R., Gerth, E., Kantor, W., Weidner, E. (1998):** Spurenelementgehalte in Böden Deutschlands: Geowissenschaftliche Grundlagen und Daten. In: Rosenkranz, D. [Hrsg.]: Bodenschutz, ergänzbares Handbuch, 1520: 75 Seiten; Berlin (Erich Schmidt-Verl.).

**Hölting, B. (1996):** Hydrogeologie. – 5. Aufl., 441 Seiten, 114 Abbildungen, 46 Tabellen; Stuttgart (Enke-Verl.).

**Joneck, M., Prinz, R. (1991):** Dioxine in Böden Bayerns. Gehalte polychlorierter Dibenzodioxine (PCDD) und polychlorierter Dibenzofurane (PCDF) in Auflage- und Oberbodenhorizonten von Böden unterschiedlicher Nutzung und Immissionssituation. GLA Fachberichte, 7: 60 Seiten; München (Bayer. Geol. L.-Amt).

**Joneck, M., Prinz, R. (1993):** Hintergrundbelastung bayerischer Böden mit organischen Problemstoffen. GLA Fachberichte, 12: 55 Seiten; München (Bayer. Geol. L.-Amt).

**Joneck, M., Prinz, R. (1993):** Inventur organischer Schadstoffe in Böden Bayerns. Chlorierte Kohlenwasserstoffe, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe und N-Herbizide in Böden unterschiedlicher Nutzung und Immissionssituation. GLA-Fachberichte, 9: 155 Seiten; Bayerisches Geologisches Landesamt, München.

**Joneck, M., Prinz, R. (1993):** Schwermetallgehalte in Böden des Maintales und angrenzender Nebentäler. GLA Fachberichte, 10: 87 Seiten; München (Bayer. Geol. L.-Amt).

**Joneck, M., Prinz, R.:** Hintergrundbelastung bayerischer Böden mit organischen Problemstoffen. GLA Fachberichte, 14: 91 Seiten; München (Bayer. Geol. L.-Amt).

**Kahl, W. (1990):** Umweltatlas München, Textteil. Umweltschutzreferat der Landeshauptstadt München [Hrsg.]; München.

**Kloke, A. (1980):** Orientierungsdaten für tolerierbare Gesamtgehalte einiger Elemente in Kulturböden. Mitt. VDLUFA, Heft 1–3: 9–11.

**Kuntze, H. (1991):** Geogene und anthropogene Schwermetalle in Böden. 99 Seiten; Berlin (Umweltbundesamt).

- LABO (Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz) (1995):** Hintergrund- und Referenzwerte für Böden. Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen [Hrsg.]: 151 Seiten; München.
- Lante, D.-W., Fuchs, A. (1999):** Bodenschutz und Altlasten. Tagungsband zum Seminar am 23. Juni 1999, Schriftenreihe der Fachhochschule Neubrandenburg, Reihe B, 2: 99 Seiten; Neubrandenburg (Rektor der Fachhochschule Neubrandenburg[Hrsg.]).
- Liebisch, A., Deppe, M., Dyck, A. (1992):** Einsatz von Schädlingsbekämpfungsmitteln im nicht-agrarischen Bereich. In: Texte (Umweltforschungsplan des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit), 44/92: 122 Seiten, 18 Tabellen, 7 Anhänge; Berlin (Umweltbundesamt [Hrsg.]).
- Martin, W., Ruppert, H., Fried, G. (1991):** Veränderungen von Elementgehalten, pH-Wert und potentieller Kationenaustauschkapazität in ausgewählten Böden Bayerns. Untersuchungen an 203 Profilen im Zeitraum 1964 bis 1986.-GLA Fachberichte, 6: 61 Seiten; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- Mason, B., Moore, C. B. (1985):** Grundzüge der Geochemie. 340 Seiten, 97 Abbildungen, 66 Tabellen, Stuttgart (Enke-Verl.).
- Murawski, H. (1992):** Geologisches Wörterbuch. 9. Aufl., 254 Seiten; Stuttgart (Enke-Verl.).
- Oldiges, M. (1996):** Das neue Bundesbodenschutzgesetz – Fragen und Erwartungen. 210 Seiten; Leipzig (Univ.-Verl.).
- Ruppert, H., & Schmidt, F. (1987):** Natürliche Grundgehalte und anthropogene Anreicherungen von Schwermetallen in Böden Bayerns. GLA Fachberichte, 2: 97 Seiten; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- Ruppert, H., Joneck, M. (1988):** Anthropogene Schwermetallanreicherungen in bayerischen Böden vor dem Hintergrund der natürlichen Grundgehalte. Materialienband, 54: 60 Seiten; München (Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen [Hrsg.]).
- Ruppert, H., Schmidt, F., Joneck, M., Jerz, H., Drexler, O. (1988):** Schwermetallgehalte in Böden des Donautales. GLA Fachberichte, 4: 41 Seiten; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- Scheffer, F., Schachtschabel, P. (1989):** Lehrbuch der Bodenkunde. 2. Aufl., 491 Seiten, 220 Abbildungen, 102 Tabellen, 1 Farbtafel; Stuttgart (Enke-Verl.).

**Schmid, G.; Patzies, M.; Sibich, K. (1996):** Umwelttechnisches Lexikon. 452 Seiten; Würzburg (Vogel-Verl.).

**Schneider, S. (1989):** Altlastensanierung zwischen Verursacher- und Gemeinlastenprinzip. Dissertation der Universität Köln, 208 Seiten; Köln.

**Schreiner, A. (1997):** Einführung in die Quartärgeologie. 2. Aufl., 257 Seiten, 104 Abbildungen., 9 Fotos, 14 Tabellen; Stuttgart (Schweizerbart-Verl.).

**Suttner, Th., Außendorf, M., Martin, W. (1998):** Hintergrundwerte anorganischer Problemstoffe in Böden Bayerns. GLA Fachberichte, 16: 158 Seiten, 20 Abbildungen, 162 Tabellen, 1 Karte; München (Bayer. Geol. L.-Amt).

**UB MEDIA Fachdatenbank (1999):** Bodenschutz und Altlastensanierung. Gunnar Behrens [Hrsg.]; Markt Schwaben (UB MEDIA-Verl.).

**UB MEDIA Fachdatenbank (2000):** Abfallrecht und Entsorgungspraxis. Prof. Dr. Peter M. Kunz [Hrsg.]; St. Wolfgang (UB MEDIA-Verl.).

**UB MEDIA Fachdatenbank (2000):** Immissionschutzrecht und Luftreinhaltung. Prof. Erdwin Lahmann [Hrsg.]; Markt Schwaben (UB MEDIA-Ver. AG)

**UB MEDIA Fachdatenbank (2000):** Wasserrecht und betriebliche Abwasserentsorgung. Prof. Dr. Hans-Peter Lühr [Hrsg.]; Markt Schwaben (UB MEDIA AG).



© 2002

Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft  
Zentralbereich Unternehmenskommunikation  
Königinstraße 107  
80802 München  
Telefon: +49 (0) 89/38 91-0  
Telefax: +49 (0) 89/39 90 56  
<http://www.munichre.com>

Verantwortlich für den Inhalt:  
Ressort Corporate Underwriting/Global Clients/CRC

Ihr Ansprechpartner:  
Dr. Gerhard Schmid  
Telefon: +49 (0) 89/38 91-98 69  
Telefax: +49 (0) 89/38 91-7 98 69  
E-Mail: [GSchmid@munichre.com](mailto:GSchmid@munichre.com)

Bestellnummer 302-03117

Bildnachweis: Alle Photos VEP, München

