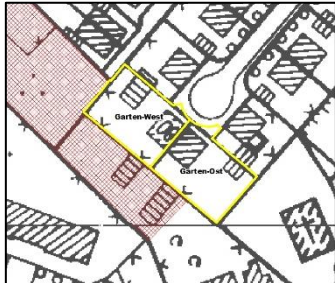
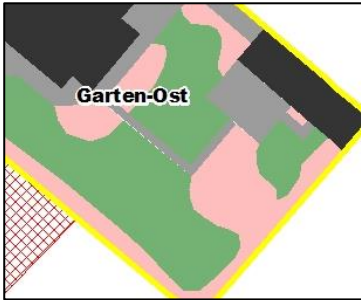
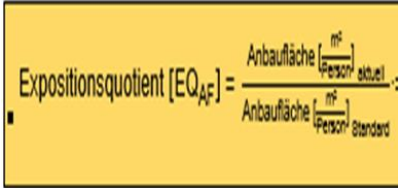
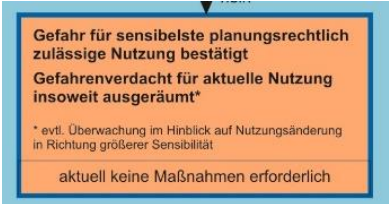


Fallbeispiel B: Hausgarten

1	<p>Verdachtsmomente -> Erfassung</p>	
2	<p>Orientierende Untersuchung -> Anhaltspunkte</p>	
	<p>-> Gefahrenverdacht (Boden-Mensch) (Boden-Nutzpflanze-Mensch)</p>	
3	<p>Detailuntersuchung -> Expositionsabschätzung (Boden-Mensch) (Boden-Nutzpflanze-Mensch)</p>	
4	<p>Abschließende Gefährdungsabschätzung (Boden-Mensch) (Boden-Nutzpflanze-Mensch)</p>	

Impressum

Die Fallbeispiele wurden frei erfunden. Ähnlichkeiten mit realen Projekten oder Gegebenheiten sind zufällig.

Auftraggeber: Altlastenausschusses ALA der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO)
Länderfinanzierungsprogramm „Wasser, Boden und Abfall“

Bearbeitung: Monika Machtolf (Dipl. Oec. troph.)
Dr. Dietmar Barkowski (Dipl.-Chem.)
Gerald Krüger (Dipl.-Geoökol)

Projekt-Nr.: P217057

Projekttitel: LABO-Arbeitshilfe - Expertenworkshop

Erstellungsdatum: 01.04.2019

Überarbeitung: 10.12.2019

Quellennachweis:

Fotos, Karten, Abbildungen: IFUA-Projekt-GmbH

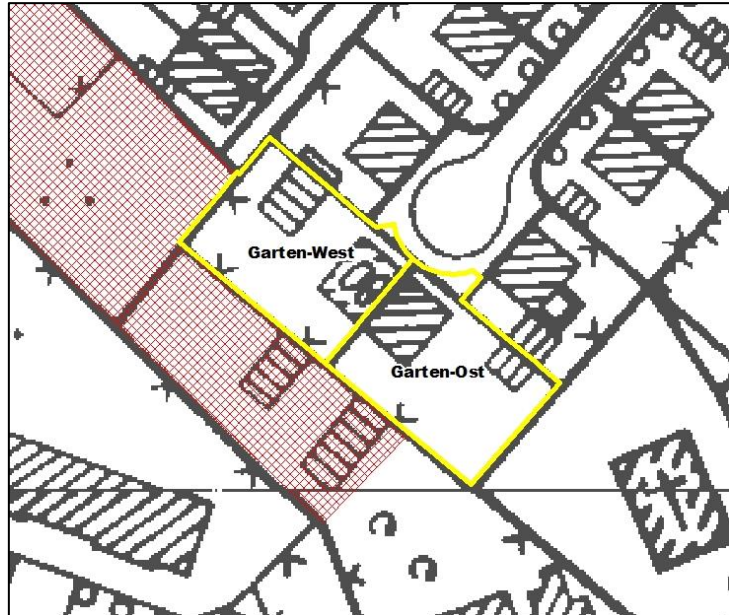
Anschrift:

IFUA-Projekt-GmbH
Milser Straße 37
33729 Bielefeld
Tel.: (0521) 977 10-0
Fax.: (0521) 977 10-20
info@ifua.de
www.ifua.de

1 Verdachtsmomente - Erfassung

Im Rahmen von Bodenuntersuchungen nach LAGA TR Boden (2004) bzw. DepV im Bereich eines gewerblich genutzten Grundstücks wurden erhöhte Gehalte an Antimon, Blei und Quecksilber festgestellt (Überschreitung der Zuordnungswerte Z 2 bzw. DK I). Die festgestellten Gehalte an flüchtigen Komponenten wie BTEX, LCKW waren dahingegen unauffällig.

Daraufhin stellte sich die Frage, ob auch eine Belastung der beiden nördlich angrenzenden, wohnbaulich genutzten Grundstücke gegeben ist.



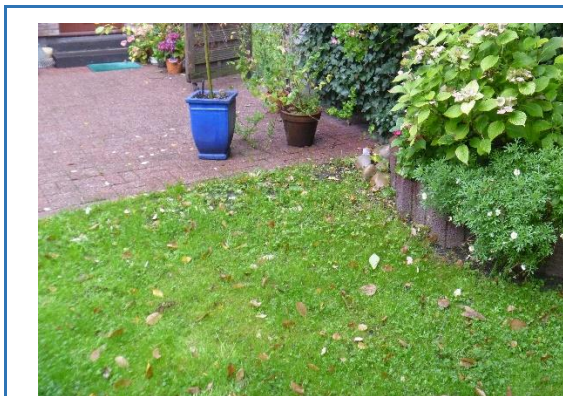
Standortbeschreibung

Bei den beiden betrachteten Grundstücken handelt es sich um Gärten mit jeweils einer Doppelhaushälfte. Das westliche Grundstück umfasst eine Fläche von ca. 650 m², das östliche Grundstück eine Fläche von ca. 700 m².

Neben den überbauten Flächen und weiteren versiegelten Flächen bestehen die Grundstücke im Wesentlichen aus Rasenflächen, Zier- und Nutzbeeten. Auf dem **westlichen Grundstück** lebt ein Paar mit Kind. Es werden Nutzpflanzen angebaut. Das **östliche Grundstück** bewohnt ein Rentnerpaar. Ein Nutzbeet fehlt dort.

Garten West



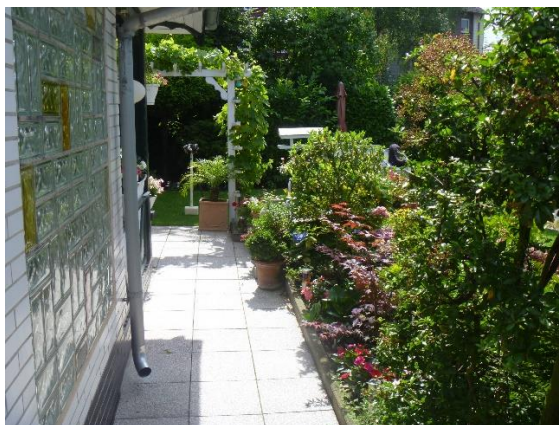


Rasen, Zierbeet, Pflasterung



Zierbeet, Rasen, Schaukel

Garten Ost



Pflasterung, Zierbeet



Rasen, Zierbeet



Rasen, Zierbeet



Rasen, Zierbeet

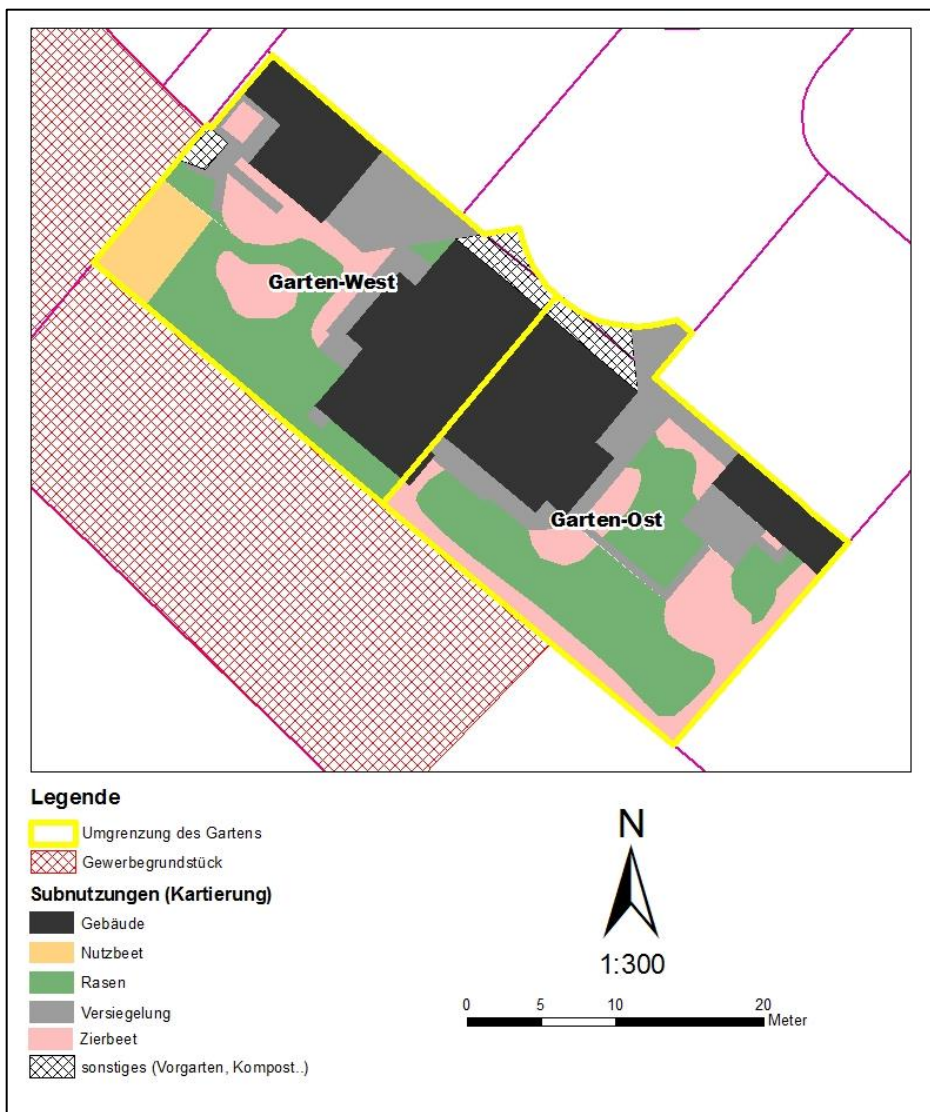
2 Orientierende Untersuchung

Aufgrund der vorliegenden Anhaltspunkte für schädliche Bodenveränderungen der benachbarten Fläche wurden die beiden Grundstücke zunächst einer orientierenden Untersuchung unterzogen.

Orientierende Untersuchung: Untersuchungskonzept

Abgesehen von den versiegelten und überbauten Flächen sowie den nur untergeordnet nutzbaren Vorgärten waren die übrigen Teilflächen des jeweiligen Gartens zu untersuchen. Da ein Anbau von Nutzpflanzen planungsrechtlich in beiden Gärten zulässig ist, war in beiden Gärten einheitlich eine Untersuchung bis in eine Tiefe von 60 cm vorgesehen.

Bei Auffälligkeiten im Bodenaufbau oder zusätzlichen Bodenhorizonten innerhalb eines Gartens wären die Gartenflächen in verschiedene Entnahmebereiche zu unterteilen bzw. zusätzliche Bodenhorizonte zu beproben gewesen.



Orientierende Untersuchung – Probennahme und Analytik

Die Beprobung erfolgte gemäß den methodischen Vorgaben der BBodSchV. Die Bodenproben wurden schichtbezogen mit der Schlitzsonde (Ø 36 mm) für die Tiefenstufen 0-10 cm, 10-35 cm und 35-60 cm gewonnen. Dabei wurde Material aus etwa 20 Einstichen zu jeweils einer Mischprobe vereinigt.

Eine Unterteilung des jeweiligen Gartens in verschiedene Entnahmebereiche wurde nicht vorgenommen, da planungsrechtlich in allen Gartenbereichen intensive Kinder-spielaktivitäten sowie Nutzpflanzenanbau zulässig sind.

Insgesamt sechs Mischproben (drei tiefenbezogene Mischproben jeweils für den westliche und den östlichen Garten) wurden im Labor auf die anorganischen Parameter Antimon, Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber und Zink sowie die organischen Parameter polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) - inklusive Benzo(a)pyren (BaP) - untersucht.

Weiterhin analysiert wurden die pflanzenverfügbaren Gehalte an Blei und Cadmium im Ammoniumnitratextrakt (AN) sowie der pH-Wert des Bodens. Die Analytik erfolgte dabei zusammenfassend für die Tiefenstufe 0-35 cm (Mischung des Probenmaterials der Probe_{0-10 cm} und Probe_{10-35 cm} im Verhältnis 1: 2,5).

Verwendet zur Analytik wurde die Feinkornfraktion des Bodens < 2 mm.

Ergebnisse für die Wirkungspfade Boden-Mensch und Boden-Nutzpflanze

Die folgende Tabelle enthält die im Rahmen der orientierenden Untersuchung ermittelten Gesamtgehalte und pflanzenverfügbaren Gehalte im Boden.

Tabelle 1: Analytik-Ergebnisse Garten West [mg/kg TM]

Parameter	W-1 0-10 cm	W-2 10-35 cm	W-3 35-60 cm
Antimon**	75	26	30
Arsen	18	13	12
Blei	260	180	190
Cadmium	3,5	1,9	0,5
Chrom	27	25	23
Kupfer	18	18	17
Nickel	21	20	20
Quecksilber	12	4,9	2,3
Zink	193	190	196
Benzo(a)pyren	0,10	0,09	0,20
Σ PAK-EPA	0,8	1,1	1,4
Blei_AN*	0,08		0,07
Cd_AN*	0,05		0,03
pH-Wert*	6,5		6,3

* bestimmt an der gewichteten Mischprobe 0-10 cm und 10-35 cm Tiefe

Tabelle 2: Analytik-Ergebnisse Garten Ost [mg/kg TM]

Parameter	O-1 0-10 cm	O-2 10-35 cm	O-3 35-60 cm
Antimon**	78	52	26
Arsen	21	18	17
Blei	360	280	195
Cadmium	1,2	0,9	0,6
Chrom	27	31	25
Kupfer	18	24	19
Nickel	20	20	19
Quecksilber	4,8	4,2	5,3
Zink	191	150	201
Benzo(a)pyren	0,10	0,30	0,20
Σ PAK-EPA	1,0	3,7	1,5
Blei_AN*	0,09		0,13
Cd_AN*	0,03		0,01
pH-Wert*	6,3		6,4

* bestimmt an der gewichteten Mischprobe 0-10 cm und 10-35 cm Tiefe

Auswahl der Nutzungsszenarien

Die im Rahmen der orientierenden Untersuchung ermittelten Gesamtgehalte und pflanzenverfügbaren Gehalte im Ammoniumnitratextrakt wurden den Prüf- und Maßnahmenwerten der BBodSchV gegenübergestellt. Im vorliegenden Szenario *Hausgarten* sind hierbei für die sensibelste Nutzung in Bezug auf den Direktpfad die Prüfwerte für *Kinderspielflächen* und für den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze-Mensch die Prüf- und Maßnahmenwerte für *Nutzgarten* maßgeblich. Da für den Parameter Antimon entsprechende Werte fehlen, wurde auf die in der MantelVO/BBodSchV genannten Prüfwerte zurückgegriffen.

Beurteilungsmaßstäbe für die Wirkungspfad Boden-Mensch und Boden-Nutzpflanze

In der folgenden Tabelle sind die im Rahmen der orientierenden Untersuchung ermittelten Gesamtgehalte den o.g. Beurteilungswerten gegenübergestellt.

Tabelle 3: Auswertung der Analytik-Ergebnisse [mg/kg TM]

Parameter	Prüfwerte Kinderspiel- flächen	Prüf- / Maßnah- menwerte ¹⁾ Nutzgarten	W-1 0-10 cm	W-2 10-35 cm	W-3 35-60 cm
Garten West					
Antimon**	50	---	75	26	30
Arsen	25	200	18	13	12
Blei	200	---	310	180	190
Cadmium	10/2***	---	3,5***	1,9	0,5
Chrom	200	---	27	25	23
Kupfer	---	---	18	18	17
Nickel	70	---	21	20	20
Quecksilber****	10	5	12	4,9	2,3
Zink	---	---	193	190	196
Benzo(a)pyren	2	1	0,10	0,09	0,20
PAK** mit Ben- zo(a)pyren als Bezugssub- stanz	0,50	---	0,10	0,09	0,20
Blei_AN	---	0,1	0,08*		0,07*
Cd_AN	---	0,04 / 0,1	0,05*		0,03*
Garten Ost					
Antimon**	50	---	78	52	26
Arsen	25	200	21	18	17
Blei	200	---	360	280	195
Cadmium	10/2***	---	1,2	0,9	0,6
Chrom	200	---	27	31	25
Kupfer	---	---	18	24	19
Nickel	70	---	20	20	19
Quecksilber****	10	5	4,8	4,2	5,3
Zink	---	---	191	150	201
Benzo(a)pyren	2	1	0,10	0,30	0,20
PAK** mit Ben- zo(a)pyren als Bezugssub- stanz	0,50	---	0,10	0,30	0,20
Blei_AN	---	0,1	0,09*		0,13*
Cd_AN	---	0,04 / 0,1	0,03*		0,01*
<p>¹⁾ Die Prüfwerte gelten für die Beurteilung der Schadstoffgehalte in Nutzgärten in der Bodentiefe 0-30 cm. Für größere Bodentiefen gelten nach BBodSchV, Anhang 2, Abs.2.2 (bzw. MantelVO/BBodSchV § 15) die 1,5-fachen Werte. --- kein Prüfwert definiert *: für Mischprobe 0-35 cm gemessen; **: gemäß MantelVO/BBodSchV ***: integrativ für Haus- und Kleingärten; ****: gesamt</p> <p>Gefahrenverdacht ausgeräumt Gefahrenverdacht für Wirkungspfad Boden-Mensch (integrativ***) bestätigt Gefahrenverdacht für Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze-Mensch bestätigt</p>					

Orientierende Untersuchung: Beurteilung der Ergebnisse

Im Fall des **Gartens West** ist der Gefahrenverdacht hinsichtlich Antimon, Blei und Quecksilber in Bezug auf das Nutzungsszenario *Kinderspielfläche* als bestätigt anzusehen. Für Quecksilber und Cadmium wurde der Gefahrenverdacht in Bezug auf den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze-Mensch bestätigt, für Cadmium wird darüber hinaus auch der integrativ zu betrachtende Prüfwert von 2 mg für Haus- und Kleingärten überschritten.

Für den **Garten Ost** ist der Gefahrenverdacht für das Nutzungsszenario *Kinderspielfläche* in Hinblick auf Antimon und Blei als bestätigt anzusehen. Für den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze-Mensch sind dahingegen keine Überschreitungen von Prüf- bzw. Maßnahmenwerten festzustellen.

3 Detailuntersuchung – Expositionsabschätzung

Charakterisierung der Nutzung

Aufgrund der im Rahmen der orientierenden Untersuchung festgestellten Prüfwertüberschreitungen sind weitergehende Sachverhaltsermittlungen im Rahmen der Detailuntersuchung inkl. einer Expositionsabschätzung notwendig. Soweit nicht bereits im Rahmen der orientierenden Untersuchungen berücksichtigt, wurden die zu betrachtenden Nutzungsszenarien festgelegt.

Im **Garten West** findet derzeit Kinderspiel und Nutzpflanzenanbau statt. Dieser ist dem Nutzungsszenario *Hausgarten* zuzuordnen.

Der **Garten Ost** wird derzeit nicht zum Zwecke des Kinderspiels und des Anbaus von Pflanzen zum Verzehr genutzt. Da es jedoch auch hier durchaus möglich ist, dass zukünftig Kinderspiel und Anbau von Nutzpflanzen stattfinden, ist unabhängig von der aktuellen Nutzung auch das Nutzungsszenario *Hausgarten* als sensibelste planungsrechtlich zulässige Nutzung zu berücksichtigen. Es sind daher im vorliegenden Fall folgende Szenarien und Wirkungspfade zu berücksichtigen:

Tabelle 4: Auswahl relevanten Szenarien und Wirkungspfade (vgl. Anhang 1: Checkliste)

	Wirkungspfad			
	Boden-Mensch (Direktpfad)	Boden-Bodenluft-Mensch	Boden-Nutzpflanze-Mensch	Boden-Futterpflanze-Nutztier-Mensch
Kinderspielfläche	-			
Wohngebiet	-	-		
Park- und Freizeitanlage	-			
Industrie- und Gewebegrundstück	-	-		
Nutzgarten	-		-	-
Haus- und Kleingarten	X	-	X	-
Sport- und Bolzplätze	-			
X: relevant am Standort		-: nicht relevant am Standort		
dunkelgrau: nicht relevant;		hellgrau: nur bei entsprechender Bebauung im Umfeld relevant		

Folgende Wirkungspfade und Aufnahmepfade sind schadstoffspezifisch relevant:

Tabelle 5: Beurteilungsbestimmende Aufnahmepfade für die relevanten Schadstoffe (vgl. Anhang 1, Checkliste)

		Aufnahmepfade			
		oral	inhalativ (Staub)	inhalativ (Gas)	dermal
Wirkungspfad	Boden-Mensch (Direktpfad)	Antimon (W, O) Blei (W, O) Cadmium (W) Quecksilber* (W)	-		-
	Boden-Bodenluft- Mensch			-	
	Boden-Nutzpflanze-Mensch	Cadmium (W) Quecksilber* (W)			
	<i>Boden-Futterpflanze-Nutztier-Mensch</i>	-			
* mit Beachtung der Bindungsform W = Garten West; O = Garten Ost dunkelgrau: Aufnahmepfad für Wirkungspfad nicht relevant - am Standort nicht relevant					

Im Fall des **Gartens West** ist der Wirkungspfad Boden-Mensch (Direktpfad) für die relevanten Parameter Antimon, Blei und Quecksilber in Bezug auf den oralen Aufnahmeweg zu prüfen. Untersuchungen zum Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze-Mensch sind hier für Cadmium und Quecksilber notwendig.

Bei Quecksilber ist zu beachten, dass hinsichtlich des Wirkungspfades Boden-Mensch die Bindungsform (anorganisch bzw. organisch) beurteilungsrelevant ist.

Für den **Garten Ost** ist eine Detailuntersuchung unter Berücksichtigung der **sensiblen planungsrechtlich zulässigen Nutzung** notwendig. Sie umfasst den Wirkungspfad Boden-Mensch (Direktpfad) für Antimon und Blei in Hinblick auf den oralen Aufnahmeweg. Untersuchungen in Bezug auf den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze-Mensch sind hier nicht erforderlich, da der Gefahrenverdacht bereits in der orientierenden Untersuchung ausgeräumt wurde.

Expositionsabschätzung für den Wirkungspfad Boden-Mensch

Prüfung der bodenabhängigen Expositionsbedingungen

Die zu betrachtenden Stoffe und Aufnahmepfade bestimmen die Verfahren zur Prüfung der bodenabhängigen Expositionsbedingungen.

Tabelle 6: angewendete Verfahren zur Abschätzung der bodenabhängigen Expositionsbedingungen

Probe	Parameter	Verfahren
Garten West		
W-1	Antimon, Blei, Cadmium	Resorptionsverfügbarkeit
W-1	Quecksilber	Bindungsform
Garten Ost		
O-1	Antimon, Blei	Resorptionsverfügbarkeit
O-2	Antimon, Blei	Resorptionsverfügbarkeit

Untersuchung ggf. verzichtbar (Untersuchung der höher belasteten Vergleichsprobe O-1)

Eine Probe des **westlichen Gartens** sowie eine Probe des **östlichen Gartens** wurden im Labor in Hinblick auf die Resorptionsverfügbarkeit untersucht. Zusätzlich wurden in einer Probe die Gehalte an organischem Quecksilber bestimmt. Sofern Quecksilber überwiegend anorganisch gebunden vorkommt, ist auch hier eine Überprüfung der Resorptionsverfügbarkeit möglich.

Tabelle 7: Analytik-Ergebnisse der Detailuntersuchung [mg/kg TM]

Probe	Parameter	Gesamtgehalt (< 2 mm)	resorptionsverfügbare Gehalt (< 2 mm)
Garten West			
W-1	Antimon	75	41
W-1	Blei	310	110
W-1	Cadmium	3,5	1,7
W-1	Quecksilber (gesamt)	12	n.b.
W-1	Quecksilber (organisch)	< 0,001	n.b.
Garten Ost			
O-1	Antimon	78	37
O-1	Blei	360	155

Bindungsform – Spezifizierte Prüfwerte (Bindungsformen)

Hinsichtlich der Quecksilberbelastung wurde die Bindungsform als bodenabhängige Expositionsbedingung untersucht. In der Probe (W-1) mit Prüfwertüberschreitung für Quecksilber wurden jedoch allenfalls geringe Gehalte an **organisch gebundenem Quecksilber** ermittelt (< 0,001 mg/kg).

Zur abschließenden Beurteilung der sensibelsten planungsrechtlich zulässigen Nutzung findet daher der „spezifizierte“ Prüfwert für **anorganisches Quecksilber** Anwendung (vgl. Arbeitshilfe Tabelle 6).

Tabelle 8: Beurteilungswert Quecksilber (anorganisch) [mg/kg TM]

	BWs = Spezifizierter Prüfwert Hausgarten / Kinderspielflächen
Quecksilber (anorganisch)	25

Der in der betreffenden Probe ermittelte Gesamtgehalt an (anorganischem) Quecksilber von 12 mg/kg liegt deutlich unter diesem Wert. Damit wurde der von Quecksilber ausgehende Gefahrenverdacht auch für die sensibelste planungsrechtlich zulässige Nutzung im Wirkungspfad Boden-Mensch für den **Garten-West** ausgeräumt.

Resorptionsverfügbarkeit – Beurteilungswerte BW_{RV}

Zur weiteren Ermittlung der bodenbedingten Expositionsbedingungen wurden Resorptionsverfügbarkeitsuntersuchungen gemäß DIN 19738 durchgeführt.

Für Antimon und Blei ermöglicht die Bestimmung der Resorptionsverfügbarkeit die weitergehende Gefahrenbeurteilung über den oralen Aufnahmepfad (Direktpfad). Für Cad-

mium dienen diese Untersuchungen dazu, eine integrative Betrachtung der Wirkungspfade Boden-Mensch und Boden-Nutzpflanze-Mensch zu ermöglichen.

Nach DIN 19738 im Boden (< 2 mm) **gemessene resorptionsverfügbare Gehalte** (RV) werden in der Regel unmittelbar anhand der Prüfwerte der BBodSchV beurteilt. Diese entsprechen dann in der Regel den Beurteilungswerten BW_{RV} . Das gilt allerdings nicht für Blei, da hier die Resorptionsverfügbarkeit in die abschließende Prüfwertableitung implizit eingeflossen ist.

Tabelle 9: Beurteilungswerte für die Resorptionsverfügbarkeit (RV) [mg/kg TM]

Parameter	BW_{RV} Hausgarten / Kinderspielflächen
Antimon	50
Blei	70
Cadmium	10

Die im Rahmen der Detailuntersuchung ermittelten resorptionsverfügbaren Gehalte wurden den Beurteilungswerten für die sensibelste planungsrechtlich zulässige Nutzung BW_{SRV} (*Hausgarten*) gegenübergestellt.

Tabelle 10: Auswertung der resorptionsverfügbaren Gehalte [mg/kg TM]

Probe	Parameter	Gesamtgehalt	RV-Gehalt	BW_{SRV}	f_{RV} [dimensionslos]
Garten West					
W-1	Antimon	75	41	50	0,55
W-1	Blei	310	110	70	0,35
W-1	Cadmium	3,5	1,7	10	0,49
Garten Ost					
O-1	Antimon	78	37	50	0,47
O-1	Blei	360	155	70	0,43

Unterschreitung Beurteilungswerte

Überschreitung Beurteilungswert

Für den **Garten West** werden die standortspezifisch abgeleiteten Beurteilungswerte für die **sensibelste planungsrechtlich zulässige Nutzung** für die Parameter Antimon und Cadmium unterschritten, so dass der Gefahrenverdacht für den Wirkungspfad Boden-Mensch für diese Stoffe ausgeräumt werden konnte. Für den Parameter Blei wurde für den Wirkungspfad Boden – Mensch / Direktkontakt dagegen eine Gefahr festgestellt.

Da im gesamten Garten mit (intensiven) Kinderspielaktivitäten zu rechnen ist, gilt dies sowohl für die **sensibelste planungsrechtlich zulässige als auch für die aktuelle Nutzung**. Weitere Prüfschritte zu aktuellen nutzungsabhängigen Expositionsbedingungen erübrigen sich damit.

Für den **Garten Ost** wurde ebenfalls eine Überschreitung des Beurteilungswertes BW_{SRV} für Blei festgestellt. Für das hier betrachtete Nutzungsszenario *Hausgarten* ist somit unter Berücksichtigung der **sensibelsten planungsrechtlich zulässigen Nutzung** eine Gefahr festzustellen. Sofern nicht (pauschal) Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen ausgesprochen werden sollen, werden weitere Schritte zur **Prüfung der aktuellen Nutzung** erforderlich.

Expositionsabschätzung für den Wirkungspfad Boden-Mensch

Prüfung der aktuellen nutzungsabhängigen Expositionsbedingungen

Für den **Garten West** entfällt die Prüfung nutzungsabhängiger Expositionsbedingungen.

Mit Hilfe von Untersuchungen zu nutzungsabhängigen Expositionsbedingungen war für den **Garten Ost** zu überprüfen, inwieweit der Gefahrenverdacht für die **aktuelle Nutzung** ausgeräumt werden kann oder eine Gefahr festzustellen ist.

Zur Überprüfung wurde das Verfahren zur Abschätzung der aktuellen Bodenaufnahmemenge (falls Kinder sich ggf. gelegentlich im Garten-Ost aufhalten) unter Berücksichtigung der Bodenbedeckung herangezogen. Dieses basiert auf der Erfahrung, dass Kinder beim Spielen weniger Boden aufnehmen, wenn der Boden dichter bewachsen oder gar versiegelt und somit weniger zugänglich ist. Auf Grundlage der Nutzungskartierung wurde der **Garten Ost** in Subnutzungen unterschiedlicher Exposition (Zugänglichkeit) differenziert und deren jeweiliger Anteil an der zugänglichen Fläche bestimmt und damit eine über die gesamte Freifläche gewichtet gemittelte Bodenaufnahmemenge berechnet (vgl. Arbeitshilfe Tabellen 7 und 8).

Tabelle: Berechnung der täglichen Bodenaufnahmemenge im Garten Ost

Subnutzung	Bodenaufnahmemenge [g/d]	Bemerkung	Intensität der Exposition	Fläche [m²]	Anteil an zugänglicher Fläche	gewichtete Bodenaufnahmemenge [g/d]
Versiegelung, Überbauung	---	i.d.R. kein Bodenkontakt	ohne	440		
Rasen	0,1	geschlossene Rasendecke, direkter Kontakt kaum möglich	gering	140	54%	0,054
Zierbeete (auch lockere Gehölzbestände)	0,25	offener Boden, direkter Kontakt eingeschränkt möglich	mittel	120	46%	0,115
Nutzbeete	0,25	offener Boden, direkter Kontakt eingeschränkt möglich	mittel	0	0 %	0
Summe (zugänglich)				260	100%	0,169

Mit Hilfe der ermittelten Bodenaufnahmemenge wurde nun der Expositionsquotient EQ_{BA} für den Garten Ost berechnet.

$$[EQ_{BA}] = \frac{\text{Bodenaufnahmemenge } \left[\frac{g}{d}\right]_{\text{aktuell}}}{\text{Bodenaufnahmemenge } \left[\frac{g}{d}\right]_{\text{Standardannahme Kinderspielfläche}}} = \frac{0,169 \frac{g}{d}}{0,5 \frac{g}{d}} = 0,338$$

Unter Berücksichtigung der aktuellen nutzungsabhängigen Expositionsbedingungen sowie des ermittelten **Expositionsquotienten (EQ_{BA})** wird für die **aktuelle Nutzung** der **Beurteilungswert BW_{RV}** für Blei abgeleitet. Dieser Wert bezieht sich auf resorptionsverfügbare Gehalte (s.o.):

$$BWa_{RV} = \frac{\text{Prüfwert BBodSchV}}{EQ} = \frac{BWs_{RV}}{EQ} = \frac{70 \frac{\text{mg}}{\text{kg}}}{0,338} = 207 \frac{\text{mg}}{\text{kg}}$$

Der für den **Garten Ost** im oberen Horizont ermittelte Gehalt an resorptionsverfügbarem Blei liegt mit 155 mg/kg unter dem entsprechenden Beurteilungswert für die **aktuelle Nutzung** von 207 mg/kg. Damit wird der Gefahrenverdacht für die aktuelle Nutzung insoweit ausgeräumt und es werden Schutz-/Beschränkungsmaßnahmen zur Festschreibung des Status Quo der aktuellen Nutzung notwendig.

4 Beurteilung des Wirkungspfades Boden-Mensch (Direktpfad)

Im **Garten West** wurde eine Gefahr für den Wirkungspfad Boden – Mensch / Direktkontakt sowohl für die sensibelste planungsrechtlich zulässige als auch für die aktuelle Nutzung (*Kinderspielfläche*) hinsichtlich des Parameters Blei festgestellt. Hier sind entsprechende Maßnahmen erforderlich.

Im **Garten Ost** konnte der nach der orientierenden Untersuchung bestätigte Gefahrenverdacht durch Verfahren der Expositionsabschätzung für die aktuelle Nutzung ausgeräumt werden. Deshalb sind derzeit keine Maßnahmen erforderlich. In Bezug auf die sensibelste planungsrechtlich zulässige Nutzung wurde in Bezug auf Blei für den Wirkungspfad Boden-Mensch allerdings eine Gefahr festgestellt. Es werden Schutz-/Beschränkungsmaßnahmen zur Festschreibung des Status Quo der aktuellen Nutzung notwendig. Bei einer (derzeit nicht erkennbaren) Umgestaltung des Hausgartens würde ggf. eine Neubewertung erforderlich. Dies sollte den zuständigen Fachämtern und -behörden entsprechend mitgeteilt werden.

3 Expositionsabschätzung für den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze-Mensch

Prüfung der bodenabhängigen Expositionsbedingungen

Da für beide Gärten bereits Untersuchungen zu den pflanzenverfügbaren Gehalten an Blei und Cadmium und ebenso Angaben zum pH-Wert vorlagen, wurden weitergehende Untersuchungen am Boden als nicht zielführend erachtet.

Die Ergebnisse der orientierenden Untersuchungen bestätigten für den **Garten West** den Gefahrenverdacht für Quecksilber in Bezug auf den Wirkungs-Boden-Nutzpflanze-Mensch sowie für Cadmium bei integrativer Betrachtung der Wirkungspfade Boden-Mensch und Boden-Nutzpflanze-Mensch. Zudem wurde eine geringe Überschreitung des Maßnahmenwertes für Cadmium für stark anreichernde Pflanzen in 0-35 cm Tiefe festgestellt. Hier sind ggf. Betrachtungen der pflanzenverfügbarkeitsbestimmenden Bodenfaktoren erforderlich sowie die integrative Betrachtung der Wirkungspfade Boden-Mensch und Boden-Nutzpflanze-Mensch. Der pH-Wert lag in der orientierenden Untersuchung im Oberboden der Fläche bei 5,8. Für Quecksilber sowie Cadmium ist beim Anbau stark anreichernder Pflanzen damit die Gefahr für die sensibelste planungsrechtlich zulässige Nutzung festzustellen. Zur Beurteilung der aktuellen Nutzung besteht die Möglichkeit, die nutzungsabhängigen Expositionsbedingungen näher abzuschätzen.

Für den **Garten Ost** wurden in den orientierenden Untersuchungen für diesen Wirkungspfad keine Prüf- oder Massnahmenwertüberschreitungen festgestellt, so dass weitere Prüfungen hierzu entfallen.

Expositionsabschätzung für den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze-Mensch

Prüfung der aktuellen nutzungsabhängigen Expositionsbedingungen

Mit Hilfe von Untersuchungen zu nutzungsabhängigen Expositionsbedingungen war für den **Garten West** zu überprüfen, inwieweit der Gefahrenverdacht für die **aktuelle Nutzung** ausgeräumt werden kann oder eine Gefahr festzustellen ist.

Zur Überprüfung wurde eine Abschätzung der Schadstoffzufuhr durch den Verzehr selbst angebauter Nutzpflanzen über die Größe der jeder Person zur Verfügung stehenden Anbaufläche durchgeführt. Dieses Verfahren geht davon aus, dass zur Ableitung der Prüfwerte der BBodSchV standardmäßig eine Anbaufläche von 40 m² pro Person zugrunde gelegt wird. Konkret wurde also überprüft, inwieweit die aktuelle Nutzung von derjenigen des Standards abweicht.

Im betreffenden Garten existieren Nutzbeete mit einer Fläche von insgesamt 35 m². Die Ernte wird dabei von drei Personen verzehrt, wie eine Befragung der Bewohnenden ergeben hat. Besondere Vorlieben für bestimmte Gemüsearten waren nicht festzustellen.

Für die Abschätzung der Expositionsbedingungen für den **Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze-Mensch** ergibt sich folgender Expositionsquotient:

$$\text{Expositionsquotient } [EQ_{AF}] = \frac{\text{Anbaufläche } \left[\frac{\text{m}^2}{\text{Person}} \right]_{\text{aktuell}}}{\text{Anbaufläche } \left[\frac{\text{m}^2}{\text{Person}} \right]_{\text{Standard}}} = \frac{35 \frac{\text{m}^2}{3 \text{ Personen aktuell}}}{40 \frac{\text{m}^2}{\text{Person}}} = 0,30$$

Mit Hilfe der Formel 13 (*Arbeitshilfe Kapitel 7.5*) können damit die Beurteilungswerte für die aktuelle Nutzung (BW_{aPfl}) für die relevanten Parameter abgeleitet werden. Dabei sind auch die für den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze-Mensch geltenden Prüfwerte zu beachten:

$$BW_{aPfl} = \frac{\text{Prüfwert BBodSchV}}{EQ_{AF}} = \frac{BWs_{Pfl}}{EQ_{AF}} = \frac{5 \frac{\text{mg Hg}}{\text{kg}}}{0,3} = 16,7 \frac{\text{mg Hg}}{\text{kg}} \quad \text{und} \quad \frac{0,04 \frac{\text{mg Cd (AN)}}{\text{kg}}}{0,3} = 0,13 \frac{\text{mg Cd (AN)}}{\text{kg}}$$

Damit liegt sowohl der Gehalt an Quecksilber mit 12 mg Hg/kg als auch der gemessene Cadmiumgehalt von 0,05 mg Cd/kg (Ammoniumnitrat-Extrakt) unter den Beurteilungswerten BW_{aPfl} für die aktuelle Nutzung in Höhe von 16,7 mg Hg/kg bzw. 0,13 mg Cd/kg (AN).

4 Beurteilung des Wirkungspfades Boden-Nutzpflanze-Mensch

Im **Garten West** konnte der nach der orientierenden Untersuchung bestätigte Gefahrenverdacht für den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze-Mensch ausgehend von **Quecksilber** und **Cadmium** durch Verfahren der Expositionsabschätzung in Hinblick auf die aktuelle Nutzung ausgeräumt werden. Hier sind derzeit keine Maßnahmen erforderlich. Unter Berücksichtigung der **sensibelsten planungsrechtlich zulässigen Nutzung** wäre allerdings eine Gefahr **festzustellen**. Bei Änderungen der Nutzung in Richtung größerer Sensibilität (insbesondere deutliche Vergrößerung der Anbauflächen pro Person) sind ggf. Maßnahmen erforderlich.

Im Falle der gemessenen Cadmiumgehalte ist jedoch eine integrative Betrachtung der Wirkungspfade Boden-Nutzpflanze-Mensch und Boden-Mensch in Hausgärten obligat, so dass hier die Ermittlung der Schadstoffzufuhrmenge notwendig wird.

Im **Garten Ost** ist der Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze-Mensch in Hinblick auf die aktuelle Nutzung nicht relevant. Auch in Bezug auf die sensibelste planungsrechtlich zulässige Nutzung konnte der Gefahrenverdacht diesbezüglich bereits in der Phase der orientierenden Untersuchung ausgeräumt werden.

Integrative Betrachtung der Wirkungspfade Boden-Mensch und Boden-Nutzpflanze-Mensch

Da Cadmium über den Direktpfad sowie insbesondere auch über den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze-Mensch aufgenommen wird, ist bei Überschreitung des Prüfwertes für Haus- und Kleingärten auch eine integrative Betrachtung der Wirkungspfade erforderlich.

Für den **Garten West** wurden die Schadstoffzufuhrmengen über die beiden Wirkungspfade ermittelt.

Wirkungspfad Boden-Mensch:

$$\text{Schadstoffzufuhr}_{\text{Direkt}} \left[\frac{\mu\text{g}}{\text{kg KG} \cdot \text{d}} \right] = \text{Schadstoffgehalt}_{\text{RV}} \left[\frac{\text{mg}}{\text{kg Boden}} \right] \cdot \text{Bodenaufnahme} \left[\frac{\text{g}}{\text{kg KG} \cdot \text{d}} \right]$$

Mit

$f_{\text{RV}} = 0,49$ (ermittelt, Resorptionsverfügbarkeitsuntersuchungen, s.o. Tab. 11)

Bodenaufnahmemenge_{aktuell} = 0,50 g Boden pro Spieltag (Standard Kinderspiel, s.o.)

Die Bodenaufnahmerate_{aktuell} pro kg Körpergewicht und Tag ergibt sich wie folgt:

$$\text{Bodenaufnahmerate} \left[\frac{\text{mg Boden}}{\text{kg KG} \cdot \text{d}} \right] = \frac{0,5 \frac{\text{g Boden}}{\text{d}} \cdot 240 \frac{\text{d}}{\text{a}}}{365 \text{ Tage} \cdot 10 \text{ kg KG}} = 0,033 \frac{\text{g Boden}}{\text{kg KG} \cdot \text{d}}$$

$$\text{Schadstoffzufuhr}_{\text{Direktpfad}} = 3,5 \frac{\text{mg Cd}}{\text{kg Boden}} \cdot 0,49 [f_{\text{RV}}] \cdot 0,033 \frac{\text{g Boden}}{\text{kg KG} \cdot \text{d}} = 0,056 \frac{\mu\text{g Cd}}{\text{kg KG} \cdot \text{d}}$$

Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze-Mensch:

$$\text{Verzehrmenge}_{\text{aktuell}} \left[\frac{\text{g}}{\text{kg KG} \cdot \text{d}} \right] = \text{Verzehrmenge}_{\text{Standard}} \left[\frac{\text{g}}{\text{kg KG} \cdot \text{d}} \right] \cdot \text{EQ}_{\text{AF}}$$

Mit

$\text{EQ}_{\text{AF}} = 0,3$ (s.o.)

Nach Tabelle A11 und Gleichung A10 und A14 (Anhang 3) ergibt sich für die Schadstoffzufuhr für Cadmium für ungünstige Annahmen (Präferenzgruppen):

$$\text{Schadstoffzufuhr}_{\text{Pfl}} = V_{\text{hoch}} \cdot C_{\text{p}_{\text{hoch}}} + V_{\text{mittel}} \cdot C_{\text{p}_{\text{mittel}}} + V_{\text{niedrig}} \cdot C_{\text{p}_{\text{niedrig}}}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,36 \frac{\text{g FM}}{\text{kg KG} \cdot \text{d}} * 0,1 * 0,3 [\text{EQ}_{\text{AF}}] * 10^{1,791+0,842 * \log 0,05 \frac{\text{mg}}{\text{kg}}_{\text{Boden}}} + \\
 &1,14 \frac{\text{g FM}}{\text{kg KG} \cdot \text{d}} * 0,1 * 0,3 [\text{EQ}_{\text{AF}}] * 0^{1,128+0,857 * \log 0,05 \frac{\text{mg}}{\text{kg}}_{\text{Boden}}} + \\
 &2,11 \frac{\text{g FM}}{\text{kg KG} \cdot \text{d}} * 0,1 * 0,3 [\text{EQ}_{\text{AF}}] * 10^{-0,35+0,208 * \log 0,05 \frac{\text{mg}}{\text{kg}}_{\text{Boden}}} \\
 &= 0,0536 \frac{\mu\text{g Cd}}{\text{kg KG} \cdot \text{d}} + 0,0352 \frac{\mu\text{g Cd}}{\text{kg KG} \cdot \text{d}} + 0,0152 \frac{\mu\text{g Cd}}{\text{kg KG} \cdot \text{d}} = 0,104 \frac{\mu\text{g Cd}}{\text{kg KG} \cdot \text{d}}
 \end{aligned}$$

Wirkungspfad Boden-Mensch und Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze-Mensch (integrativ):

$$\text{Schadstoffzufuhr}_{\text{integrativ}} = \text{Schadstoffzufuhr}_{\text{Direktpfad}} + \text{Schadstoffzufuhr}_{\text{Pflanzenpfad}}$$

$$\text{Schadstoffzufuhr}_{\text{integrativ}} = 0,056 \frac{\mu\text{g Cd}}{\text{kg KG} \cdot \text{d}} + 0,104 \frac{\mu\text{g Cd}}{\text{kg KG} \cdot \text{d}} = 0,160 \frac{\mu\text{g Cd}}{\text{kg KG} \cdot \text{d}}$$

Zur integrativen Beurteilung der Schadstoffaufnahme von Cadmium wurde zur Prüfwertableitung eine Körperdosis von 0,33 µg/kg KG*d herangezogen. Diese Körperdosis wird für die Annahmen zur aktuellen Nutzung mit 0,16 µg/kg KG*d nicht überschritten.

Abschließende Gefährdungsabschätzung

Für den **Garten West** ist die Gefahr für den Wirkungspfad **Boden – Mensch (Direktkontakt)** sowohl für die sensibelste planungsrechtlich zulässige als auch für die aktuelle Nutzung (*Kinderspielfläche*) hinsichtlich des Parameters Blei festgestellt. Hier sind entsprechende Maßnahmen erforderlich.

Für den **Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze-Mensch** ist durch Überschreitungen des Maßnahmenwertes für Cadmium sowie des Prüfwertes für Quecksilber eine Gefahr festzustellen. Die aktuelle Nutzung der Fläche mit einem Nutzpflanzenanbau in geringem Umfang ist jedoch ohne Gefahr möglich. Bezüglich Cadmium sind Empfehlungen zur Anhebung des pH-Wertes sinnvoll. Die integrative Betrachtung der Wirkungspfade für Cadmium hat ebenfalls den Gefahrenverdacht für die aktuelle Nutzung ausgeräumt.

Da bei Änderungen der Nutzung in Richtung größerer Sensibilität wie beispielsweise größeren Anbauflächen oder der Auswahl spezifischer Nahrungspflanzen ggf. weitere Maßnahmen erforderlich werden, sind Schutz-/Beschränkungsmaßnahmen zur Festbeschreibung des Status Quo der aktuellen Nutzung notwendig.

Für den **Garten Ost** wurde eine Gefahr für den **Wirkungspfad Boden-Mensch** für Blei für die sensibelste planungsrechtlich zulässige Nutzung als *Hausgarten* festgestellt. Unter aktuellen Nutzungsbedingungen wurde der Gefahrenverdacht ausgeräumt. Es werden Schutz-/Beschränkungsmaßnahmen zur Festbeschreibung des Status Quo der aktuellen Nutzung notwendig, da bei Änderungen der Nutzung in Richtung größerer Sensibilität ggf. Maßnahmen erforderlich werden.

Für den **Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze-Mensch** konnte der Gefahrenverdacht sowohl für die sensibelste planungsrechtliche Nutzung als auch für die aktuelle Nutzung ausgeräumt werden.

Verwendete Quellen

BBodSchG (1998): Bundes-Bodenschutzgesetz; Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten. BGBl, I G 5702 Nr. 6 vom 24.03.98, S.502-510

BBodSchV (1999): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung. BGBl I 1999, 1554