



HANDBUCH

Gefährdungsabschätzung und Massnahmen bei schadstoffbelasteten Böden



**Bundesamt für
Umwelt, Wald und
Landschaft
BUWAL**

HANDBUCH

Gefährdungsabschätzung und Massnahmen bei schadstoffbelasteten Böden

Gefährdungsabschätzung Boden

**Herausgegeben vom Bundesamt
für Umwelt, Wald und Landschaft
BUWAL
Bern, 2005**

Rechtlicher Stellenwert dieser Publikation

Diese Publikation ist eine Vollzugshilfe des BUWAL als Aufsichtsbehörde und richtet sich primär an die Vollzugsbehörden. Sie konkretisiert unbestimmte Rechtsbegriffe von Gesetzen und Verordnungen und soll eine einheitliche Vollzugspraxis fördern. Berücksichtigen die Vollzugsbehörden diese Vollzugshilfen, so können sie davon ausgehen, dass sie das Bundesrecht rechtskonform vollziehen; andere Lösungen sind aber auch zulässig, sofern sie rechtskonform sind. Das BUWAL veröffentlicht solche Vollzugshilfen (oft auch als Richtlinien, Wegleitungen, Empfehlungen, Handbücher, Praxishilfen u.ä. bezeichnet) in seiner Reihe «Vollzug Umwelt».

Herausgeber

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL)

Das BUWAL ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK)

Autoren

Reiner A. Mailänder,
Geotechnisches Institut AG, Zürich
Markus Hämmann,
Geotechnisches Institut AG, Zürich

Expertengruppe

Jürg Zihler, BUWAL, Bern
Johannes Dettwiler, BUWAL, Bern
Franz Borer, Amt für Umwelt, Solothurn
Anton Candinas, Bundesamt für Landwirtschaft, Bern
Frédi Celardin, Ecole d'Ingénieurs de Lullier, Jussy
André Desaulles, Agroscope FAL Reckenholz
Ursin Ginsig, Amt für Umwelt, Frauenfeld
Rolf Gsponer, Amt für Landschaft und Natur, Zürich
Armin Keller, Agroscope FAL Reckenholz
Elmar Kuhn, Kantonales Labor Aargau, Aarau
Daniel W. Müller, Amt für Umwelt, Frauenfeld
Guido Schmid, Amt für Umweltschutz, St. Gallen
Rainer Schulin, Institut für Terrestrische Ökologie (ITÖ), ETH Zürich, Schlieren
Urs Ziegler, BUWAL, Bern

Zitierung

MAILÄNDER R.A., HÄMMANN M. 2005: *Handbuch – Gefährdungsabschätzung und Massnahmen bei schadstoffbelasteten Böden – Gefährdungsabschätzung Boden*. Vollzug Umwelt. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern. 104 S.

Begleitung BUWAL

Jürg Zihler, Chef Sektion Boden
Johannes Dettwiler, Sektion Boden
Christoph Zäch, Chef Abteilung Recht

Sprachliche Bearbeitung

Deutschlektorat: Jacqueline Dougoud, Zürich

Gestaltung

Ursula Nöthiger-Koch, Uerkheim

Fotos Titelblatt

BUWAL/AURA und BUWAL/Docuphot

Bezug

BUWAL
Dokumentation
CH-3003 Bern
Fax + 41 (0) 31 324 02 16
docu@buwal.admin.ch
<http://www.umwelt-schweiz.ch/publikationen>

Bestellnummer:

VU-4817-D

Diese Publikation ist auch in französischer, italienischer und englischer Sprache erhältlich (VU-4817-F/VU-4817-I/VU-4817-E).

© BUWAL 2005

Inhaltsverzeichnis

Abstracts	5		
Vorwort	7		
1 Einleitung	9		
1.1 Zielsetzung	9		
1.2 Inhalt und Aufbau	9		
2 Rechtliche Grundlagen	10		
2.1 Geltungsbereich dieses Handbuchs	10		
2.2 Definitionen	10		
2.3 Richtwerte und Massnahmen	11		
2.4 Prüfwerte und Massnahmen	12		
2.5 Sanierungswerte und Massnahmen	12		
2.6 Vollzugszuständigkeit	13		
3 Vorgehen	14		
3.1 Vorgehen bei freiwilliger Nutzungseinschränkung	15		
3.2 Feststellen der Nutzung	15		
3.3 Bedeutung des Schadstoffs	15		
3.3.1 <i>Bedeutung des Schadstoffs beim Nahrungspflanzenanbau</i>	15		
3.3.2 <i>Bedeutung des Schadstoffs beim Futterpflanzenanbau</i>	16		
3.3.3 <i>Bedeutung des Schadstoffs bei Nutzungen mit möglicher direkter Bodenaufnahme</i>	17		
3.4 Räumliche Abgrenzung und Analyse der Bodenbelastung	18		
3.5 Gefährdungsabschätzung	19		
3.5.1 <i>Allgemeines Vorgehen</i>	19		
3.5.2 <i>Gefährdungsabschätzung mit Hilfe eines Expertensystems</i>	19		
3.5.3 <i>Gefährdungsabschätzung mit Hilfe einer detaillierteren Untersuchung</i>	20		
3.6 Festlegung von Massnahmen	21		
3.7 Ergebnis – Unsicherheit	21		
3.7.1 <i>Vorbemerkungen</i>	21		
3.7.2 <i>Belastungsanalyse</i>	22		
3.7.3 <i>Belastungsbewertung</i>	23		
4 Gefährdungsabschätzung beim Nahrungspflanzenanbau	24		
4.1 Expertensystem «Nahrungspflanzenanbau»	24		
4.1.1 <i>Grundlagen</i>	24		
4.1.2 <i>Belastungsanalyse</i>	25		
4.1.3 <i>Belastungsbewertung</i>	28		
		4.2	Detailliertere Gefährdungsabschätzung beim Nahrungspflanzenanbau
			29
		4.2.1	<i>Belastungsanalyse</i>
			29
		4.2.2	<i>Belastungsbewertung</i>
			30
		5 Gefährdungsabschätzung beim Futterpflanzenanbau	33
		5.1	Expertensystem «Futterpflanzenanbau»
			33
		5.1.1	<i>Grundlagen</i>
			33
		5.1.2	<i>Belastungsanalyse</i>
			35
		5.1.3	<i>Belastungsbewertung</i>
			39
		5.2	Detailliertere Gefährdungsabschätzung beim Futterpflanzenanbau
			39
		5.2.1	<i>Belastungsanalyse</i>
			39
		5.2.2	<i>Belastungsbewertung</i>
			40
		6 Gefährdungsabschätzung bei Nutzungen mit möglicher direkter Bodenaufnahme	42
		6.1	Expertensystem «Nutzungen mit möglicher direkter Bodenaufnahme»
			43
		6.1.1	<i>Grundlagen</i>
			43
		6.1.2	<i>Belastungsanalyse</i>
			43
		6.1.3	<i>Belastungsbewertung</i>
			45
		6.2	Detailliertere Gefährdungsabschätzung bei Nutzungen mit möglicher direkter Bodenaufnahme
			46
		7 Vorgehen bei fehlenden Regelungswerten	47
		8 Massnahmen	48
		8.1	Grundsätze bei der Festlegung von Massnahmen
			48
		8.1.1	<i>Massnahmenart und -schärfe</i>
			48
		8.1.2	<i>Randbedingungen</i>
			49
		8.1.3	<i>Vorgehen bei der Festlegung von Massnahmen</i>
			50
		8.2	Einzelne Massnahmen zur Verringerung oder Beseitigung der Gefährdung
			51
		8.2.1	<i>Massnahmen bei Nahrungs- und Futterpflanzenanbau</i>
			51
		8.2.2	<i>Massnahmen bei Nutzungen mit möglicher direkter Bodenaufnahme</i>
			51
		8.2.3	<i>Weitergehende Massnahmen bei allen Nutzungen</i>
			52
		8.3	Überwachung
			52
		8.4	Massnahmen bei Bodenbelastungen in grösserer Bodentiefe
			53

8.5	Verantwortlichkeiten und Fristen	53
8.5.1	<i>Zuständigkeit und Verfahren</i>	53
8.5.2	<i>Massnahmenanlastung</i>	54
8.5.3	<i>Kostenanlastung</i>	54
8.5.4	<i>Entschädigungspflicht</i>	54
8.5.5	<i>Fristen</i>	54

Anhänge		55
A1	Fallbeispiele zur Gefährdungsabschätzung	56
A2	Schadstoffe	64
A3	Anbauversuch	71
A4	Belastungsbewertung beim Futterpflanzenanbau mit Hilfe von Schwellenwerten	72
A5	Berücksichtigung der Messunsicherheit beim Vergleich von Messergebnissen mit Höchstwerten	74
A6	Vergleichstabeln für Deckungsgrade	76
A7	Erhebungsformular für Nutzungen mit möglicher direkter Bodenaufnahme	77
A8	Orientierungswerte nach Eikmann & Kloke	79
A9	Erklärungen zur Kalibrierung der Expertensysteme	80
A10	Tabellen für Richt-, Prüf- und Sanierungswerte	89

Verzeichnisse		91
1	Abkürzungen	91
2	Abbildungen	93
3	Tabellen	94
4	Literatur	97

Abstracts

E

Keywords:

Soil protection,
risk assessment,
health risks,
trigger values,
soil pollutants

The Manual provides a methodology for assessing the risk to humans, animals or plants (subjects of protection) resulting from levels of soil pollution lying between the trigger and clean-up values. A distinction is made between three categories of land use: (a) cultivation of plants for human consumption; (b) cultivation of plants for animal consumption, and (c) uses with possible direct soil ingestion. The procedure is divided into two steps: impact analysis (pollutant transfer to subject of protection), and impact evaluation (assignment of a risk category). In general, a so-called expert system is employed, permitting simplified risk assessment and impact evaluation based on a point scale. In special cases in which the expert system does not provide adequate assessment, more detailed methods are presented. The Manual also covers risk reduction measures.

D

Stichwörter:

Bodenschutz,
Gefährdungs-
abschätzung,
Gesundheits-
gefährdung,
Prüfwerte,
Bodenschadstoffe

Für Schadstoffbelastungen des Bodens zwischen Prüf- und Sanierungswerten zeigt dieses Handbuch auf, wie eine mögliche Gefährdung für Menschen, Tiere oder Pflanzen (Schutzgüter) abzuschätzen ist. Dabei wird unterschieden zwischen den drei Nutzungsarten Nahrungspflanzenanbau, Futterpflanzenanbau und Nutzungen mit möglicher direkter Bodenaufnahme. Das Vorgehen umfasst immer zwei Schritte, nämlich die Belastungsanalyse (Transfer von Schadstoffen zu den Schutzgütern Mensch, Tiere oder Pflanzen) und die Belastungsbewertung (Zuweisung der Gefährdungskategorie). Im Regelfall kann für Belastungsanalyse und -bewertung jeweils ein so genanntes Expertensystem verwendet werden, das eine vereinfachte Gefährdungsabschätzung mit Hilfe eines Punktesystems erlaubt. Für Einzelfälle, in denen die Beurteilung durch das Expertensystem nicht ausreicht, werden Möglichkeiten für eine detailliertere Gefährdungsabschätzung dargestellt. Das Handbuch beschreibt zudem Massnahmen zur Gefährdungsabwehr.

F

Mots-clés :

protection du sol,
évaluation de la
menace,
risque pour la santé,
seuil d'investigation,
polluants du sol

Le présent manuel montre comment évaluer une menace potentielle pour l'homme, les animaux ou les plantes (biens à protéger) lorsque des sols sont pollués à des teneurs comprises entre seuil d'investigation et valeur d'assainissement. Trois utilisations du sol sont considérées: cultures pour l'alimentation humaine (cultures alimentaires), cultures pour l'alimentation animale (cultures fourragères), et utilisation avec risque par ingestion (sol). La procédure comporte toujours deux étapes, à savoir l'analyse des atteintes au sol (transfert du polluant au bien à protéger – homme, animaux ou plantes) et l'évaluation du degré de pollution (attribution à une catégorie de risque). En règle générale, un système expert est utilisé pour l'analyse et l'évaluation, système qui permet une estimation simplifiée de la menace à l'aide d'indices. Pour les cas particuliers pour lesquels le système expert n'est pas suffisant, le manuel propose des solutions permettant une évaluation plus détaillée. Il décrit enfin les mesures à prendre pour éliminer la menace.

I

Il manuale illustra come valutare i potenziali pericoli per l'uomo, la flora o la fauna (beni da proteggere) quando il tenore delle sostanze nocive nel suolo si situa tra i valori di guardia e quelli di risanamento. Si distinguono tre forme di utilizzazione del suolo: colture alimentari, colture foraggere e utilizzazioni con possibile assunzione diretta di terra. La valutazione comprende sempre due fasi: l'analisi dell'inquinamento (trasferimento delle sostanze nocive al bene da proteggere – uomo, animali o piante) e la valutazione dell'inquinamento (attribuzione a una categoria di rischio). Di norma, dette fasi possono essere eseguite applicando un cosiddetto sistema esperto, il quale permette di effettuare una stima semplificata del potenziale rischio con l'aiuto di un modello a punti. In casi particolari per i quali l'applicazione del sistema esperto è insufficiente, il manuale offre delle soluzioni che permettono di valutare in maniera dettagliata il potenziale rischio. Infine, vengono descritte delle misure idonee a prevenire il pericolo.

Parole chiave:
protezione del suolo,
valutazione del
pericolo, pericolo per
la salute, valori di
guardia, sostanze
nocive nel suolo

Vorwort

Wenn Böden stark mit Schadstoffen verschmutzt sind, können sie eine Gefahr für Menschen und Umwelt darstellen. In besonderem Mass gilt dies immer dann, wenn Kinder auf ihnen spielen oder Tiere auf ihnen weiden, oder auch wenn auf ihnen erzeugte Nahrungs- und Futtermittel konsumiert werden. Deshalb sind die Kantone nach Bodenschutzrecht – hauptsächlich die *Verordnung über Belastungen des Bodens von 1998 (VBBo)* – in solchen Fällen verpflichtet abzuklären, ob eine vermutete Gefährdung tatsächlich vorliegt. Wenn ja, müssen sie die jeweilige Bodennutzung entsprechend einschränken oder gar verbieten.

Dieses Handbuch zeigt Wege auf, wie eine solche Gefährdungsabschätzung vorgenommen werden kann. Seine Ausarbeitung wurde von einer breit abgestützten Expertengruppe begleitet. Es stützt sich überdies auf gefestigtes in- und ausländisches Fachwissen und umfangreiche Datensätze chemischer Bodenuntersuchungen ab. Ein besonderer Dank gilt dabei dem deutschen Umweltbundesamt in Dessau und den deutschen Bundesländern, die wertvolle Unterlagen zur wissenschaftlichen Absicherung massnahmenbezogener Beurteilungs- und Bewertungsgrundlagen zur Verfügung gestellt haben.

Die Gesundheit von Menschen, Tieren und Pflanzen ist ein hohes Schutzgut. Dieses Handbuch ist ein Beitrag zu dessen Erhaltung. Es stellt auf den derzeitigen Stand des Wissens und der Erfahrung ab. Kommende Anwendungen werden zweifellos neue Erkenntnisse und Erfahrungen bringen, die seinem Umsetzungszweck im chemischen Bodenschutz förderlich sind.

Wir stellen dieses Handbuch, das bei einer Bodenverschmutzung im Umfeld eines Metall verarbeitenden Betriebs erfolgreich getestet werden konnte, allen Interessierten zur Verfügung. Ich danke allen, die zum guten Gelingen dieser Publikation beigetragen haben, ganz herzlich.

Bundesamt für Umwelt,
Wald und Landschaft

Georg Karlaganis
Chef Abteilung Stoffe,
Boden, Biotechnologie

1 Einleitung

1.1 Zielsetzung

Schadstoffbelastete Böden können für Menschen, Tiere oder Pflanzen eine gesundheitliche Gefährdung darstellen. Um diese zu beurteilen, sind in der *Verordnung vom 1. Juli 1998 über Belastungen des Bodens (VBBo; SR 814.12)* Prüfwerte und Sanierungswerte vorgeschrieben. Überschreitungen der Prüfwerte können nach dem Stand des Wissens und der Erfahrung Menschen, Tiere oder Pflanzen konkret gefährden. In diesem Fall müssen die Vollzugsbehörden abklären, ob die Schadstoffbelastung des Bodens tatsächlich eine konkrete Gefährdung darstellt. Ist dies der Fall, so müssen sie die Nutzung so weit einschränken, dass diese Gefährdung nicht mehr besteht. Sind Sanierungswerte überschritten, so muss die entsprechende Nutzung verboten oder der Boden saniert werden.

Das vorliegende Handbuch zeigt das Vorgehen zur Beurteilung eines schadstoffbelasteten Bodens auf, namentlich:

- was untersucht werden muss, um die Gefährdung abzuklären;
- wie im Einzelfall beurteilt wird, ob eine konkrete Gefährdung besteht oder nicht;
- welche Massnahmen zu treffen sind, wenn eine konkrete Gefährdung besteht.

Das Handbuch dient der Harmonisierung des Vollzugs der VBBo und leistet damit einen Beitrag zur Rechtssicherheit. Es richtet sich an die Fachleute der Vollzugsbehörden sowie an Ingenieur- und Umweltbüros.

1.2 Inhalt und Aufbau

Das Handbuch ist wie folgt aufgebaut:

- **Kapitel 2** geht auf die rechtlichen Grundlagen und das Verhältnis zur Altlasten-Verordnung ein.
- **Kapitel 3** erläutert das allgemeine Vorgehen bei der Gefährdungsabschätzung.
- **Kapitel 4–6** zeigen, wie die Gefährdungsabschätzung beim Nahrungspflanzenanbau, beim Futterpflanzenanbau und bei Nutzungen mit möglicher direkter Bodenaufnahme durchgeführt wird.
- **Kapitel 7** gibt das Vorgehen bei fehlenden Regelungswerten an.
- **Kapitel 8** beschreibt die Massnahmen, welche zur Abwehr einer Gefährdung zu treffen sind.
- Im **Anhang** sind weitere Basisdaten und Hilfsmittel enthalten, welche zur Gefährdungsabschätzung benötigt werden. Besonders hilfreich sind die **Anhänge 1** und **2**. Die Fallbeispiele in **Anhang 1** sollen den Anwenderinnen und Anwendern das Vorgehen bei der Gefährdungsabschätzung anhand typischer Fälle verdeutlichen. **Anhang 2** enthält grundlegende Angaben in Bezug auf die Gefährdung von Menschen, Tieren oder Pflanzen für die in der VBBo geregelten Schadstoffe.
- Vorgefertigte **Tabellenkalkulationen** zur vereinfachten Durchführung der Gefährdungsabschätzung ergänzen das Handbuch.¹

¹ vgl. Excel-Format: www.umwelt-schweiz.ch/themen/boden/vollzug_bodenschutz/vollzug_der_vbbo/handbuch_gefaehrungsabschaetzung_boden.

2 Rechtliche Grundlagen

2.1 Geltungsbereich dieses Handbuchs

Dieses Handbuch gilt für alle Böden im Sinn von Artikel 7 Absatz 4^{bis} *Bundesgesetz vom 7. Oktober 1983 über den Umweltschutz – Umweltschutzgesetz (USG; SR 814.01)*. Nach der auf das USG gestützten VBBo handelt es sich um die Untersuchung und Beurteilung von Flächen, auf welchen eine Überschreitung eines Prüfwerts entweder feststeht oder erhärtete Hinweise darauf vorliegen. In diesen Fällen handelt es sich um Bodenbelastungen, die Menschen, Tiere oder Pflanzen konkret gefährden können. Ist sogar der Sanierungswert für eine bestimmte Nutzung überschritten, so ist diese Nutzung ohne Gefährdung nicht mehr möglich (vgl. Kap. 2.4) und deshalb im Hinblick darauf keine Gefährdungsabschätzung erforderlich.

Verhältnis zur AltIV

Belastete Standorte sind nach Artikel 2 der *Verordnung vom 26. August 1998 über die Sanierung belasteter Standorte (Altlasten-Verordnung – AltIV; SR 814.680)* Orte, deren Belastung von Abfällen stammt und die eine beschränkte Ausdehnung aufweisen. Sie umfassen Ablagerungs-, Betriebs- und Unfallstandorte. Bei belasteten Standorten ist zur Ermittlung der Sanierungsbedürftigkeit und für die Bestimmung der erforderlichen Massnahmen das Bodenschutzrecht (vgl. Art. 34 und 35 USG; konkretisiert in der VBBo) und damit dieses Handbuch lediglich dann anzuwenden, wenn es um folgenden Sachverhalt geht (vgl. Art. 12 und 16 Bst. c AltIV):

- Einwirkungen von Böden, die belastete Standorte sind, auf Menschen, Tiere und Pflanzen.

Das Verfahren richtet sich jedoch nach der AltIV.

Dementsprechend gilt dieses Handbuch nicht für die Untersuchung und Beurteilung anderer Arten von Einwirkungen, die von belasteten Standorten im Sinne der AltIV ausgehen (Einwirkungen auf unter- und oberirdische Gewässer, auf Raum- oder Umgebungsluft). In diesen Fällen richtet sich das Vorgehen allein nach den Vorschriften der AltIV sowie deren konkretisierenden Richtlinien.

Entscheidend für diese Differenzierung nach AltIV und VBBo ist demnach nicht, wo ein Boden liegt, sondern bezüglich welchem Schutzgut er untersucht wird, nämlich: Schutz von Grundwasser, von oberirdischen Gewässern und vor Luftverunreinigungen (vgl. AltIV), sodann Schutz des Bodens, d.h. langfristige Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit u.a mit Blick auf die Vermeidung der Gefährdung von Menschen, Tieren oder Pflanzen (vgl. VBBo).

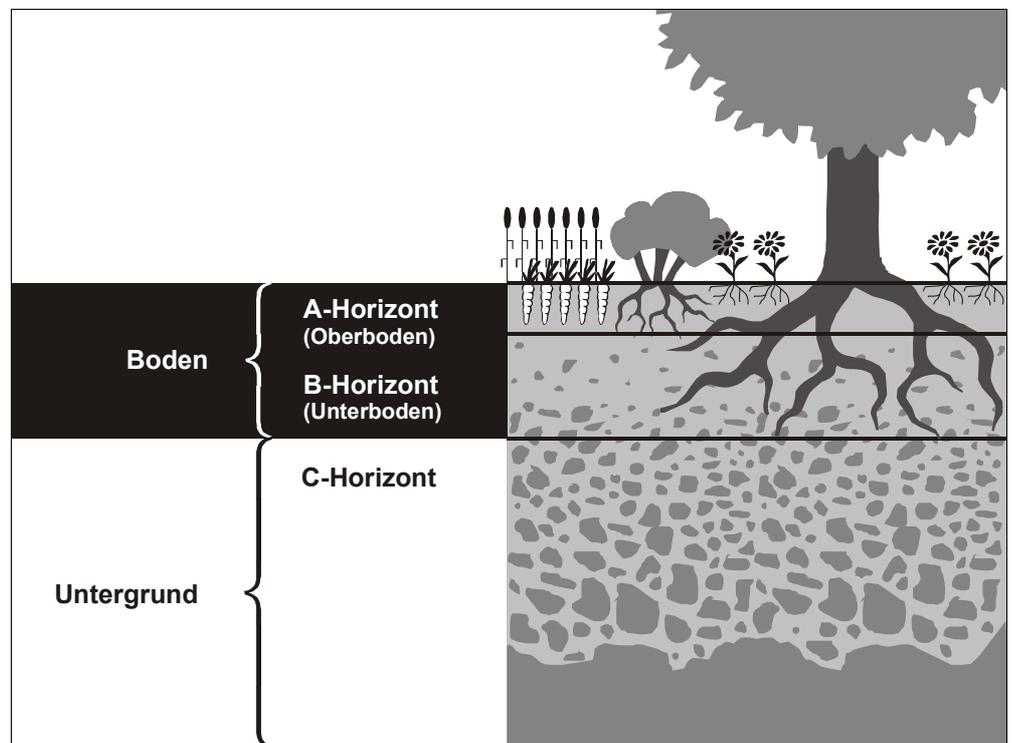
2.2 Definitionen

Als Boden gilt die **oberste, unversiegelte Erdschicht, in der Pflanzen wachsen können** (Legaldefinition des Bodens nach USG (vgl. Abb.1). Chemische Bodenbelastungen sind Belastungen des Bodens durch natürliche oder künstliche Stoffe (Schadstoffe; vgl. Art. 2 Abs. 2 VBBo). Sie werden nach der VBBo anhand von Richt-, Prüf- und Sanierungswerten beurteilt.

2.3 Richtwerte und Massnahmen

Richtwerte geben die Belastung an, bei deren Überschreitung die Fruchtbarkeit des Bodens nach dem Stand der Wissenschaft oder der Erfahrung langfristig nicht mehr gewährleistet ist (vgl. Art. 35 Abs. 2 USG). Steht fest oder ist zu erwarten, dass in bestimmten Gebieten Belastungen des Bodens die Bodenfruchtbarkeit gefährden, so sorgen die Kantone dort für eine Überwachung der Bodenbelastung. Ausserdem ermitteln die Kantone die Ursachen der Belastung und prüfen Massnahmen zur Verhinderung des weiteren Anstiegs der Belastung (Quellenstopp; vgl. Art. 8 VBBo).

Abb. 1: Gegenstand des Handbuchs ist der mit «Boden» bezeichnete Bereich.



Oberboden = A-Horizont (umgangssprachlich meist «Humus» genannt):

verwitterte mineralische, mit organischer Substanz angereicherte, intensiv belebte und durchwuzelte, meist dunkelbraun gefärbte lockere Schicht.

Unterboden = B-Horizont:

meist weniger stark verwitterte, deutlich weniger belebte, weniger dicht durchwuzelte Schicht mit nur wenig organischer Substanz und meist hellerer (rost- bis hellbrauner) Farbe und mit meist höherer Raumdichte als im A-Horizont.

Untergrund = C-Horizont:

kaum oder nicht verwittertes, kaum belebtes und durchwuzeltes mineralisches Ausgangsmaterial ohne organische Substanz; gilt nicht mehr als Boden.

2.4 Prüfwerte und Massnahmen

Prüfwerte geben für bestimmte Nutzungsarten Belastungen des Bodens an, bei deren Überschreitung nach dem Stand der Wissenschaft und der Erfahrung Menschen, Tiere oder Pflanzen konkret gefährdet werden können (vgl. Art. 2 Abs. 5 VBBo). Sie dienen der Beurteilung, ob Einschränkungen der Nutzung des Bodens notwendig sind. Eine Gefährdung ist immer dann konkret, wenn sie sich nach gewöhnlichem Lauf der Dinge früher oder später tatsächlich verwirklicht, d.h., wenn ein Schaden an Gesundheit und Umwelt eintritt.

Sind in einem Gebiet die Prüfwerte überschritten, so prüfen die Kantone, ob die Belastung des Bodens Menschen, Tiere oder Pflanzen konkret gefährdet; bei konkreter Gefährdung schränken sie die Nutzung des Bodens so weit ein, dass diese Gefährdung nicht mehr besteht (vgl. Art. 9 VBBo). Bei einer Belastung oberhalb der Prüfwerte liegt in jedem Fall eine deutliche Überschreitung der Richtwerte vor. Deshalb sind ausserdem Massnahmen nach Artikel 8 VBBo zu treffen, nämlich Ursachenermittlung und Massnahmen zur Verhinderung des weiteren Anstiegs der Belastung.

Prüfwerte bestehen für die Nutzungsarten «*Nahrungspflanzenanbau*», «*Futterpflanzenanbau*» sowie Nutzungen mit «*möglicher direkter Bodenaufnahme*» (vgl. Anh. 1 Ziff. 12 VBBo). Fehlen für bestimmte Nutzungsarten Prüfwerte, so wird im Einzelfall beurteilt, ob die Bodenbelastung die Gesundheit von Menschen, Tieren oder Pflanzen konkret gefährdet (vgl. Art. 5 Abs. 2 VBBo).

2.5 Sanierungswerte und Massnahmen

Sanierungswerte geben die Belastung an, bei deren Überschreitung nach dem Stand der Wissenschaft oder der Erfahrung bestimmte Nutzungen ohne Gefährdung von Menschen, Tieren oder Pflanzen nicht möglich sind (vgl. Art. 35 Abs. 3 USG).

Sind in einem Gebiet die Sanierungswerte überschritten, so verbieten die Kantone die davon betroffenen Nutzungen. In Gebieten mit raumplanerisch festgelegter gartenbaulicher, land- oder forstwirtschaftlicher Nutzung ordnen sie Massnahmen an, mit denen die Bodenbelastung so weit unter die Sanierungswerte gesenkt wird, dass die beabsichtigte standortübliche Bewirtschaftungsart ohne Gefährdung von Menschen, Tieren und Pflanzen möglich ist (vgl. Art. 10 VBBo).

Sanierungswerte bestehen für die Nutzungskategorien Landwirtschaft und Gartenbau, Haus- und Familiengärten und Kinderspielplätze (vgl. Anh. 1 Ziff. 13 VBBo). Fehlen für bestimmte Nutzungskategorien Sanierungswerte, so wird im Einzelfall beurteilt, ob die Bodenbelastung die Gesundheit von Menschen, Tieren oder Pflanzen konkret gefährdet (vgl. Art. 5 Abs. 3 VBBo).

2.6 Vollzugszuständigkeit

Artikel 36 USG weist die Vollzugskompetenz auch im Bodenschutz – unter Vorbehalt von Artikel 41 USG – den Kantonen zu. Wird jedoch nach Artikel 41 Abs. 2 USG ein anderes Bundesgesetz durch eine Bundesbehörde vollzogen (z.B. VBS, BAZL, BAV), ist diese auch für den Vollzug des USG zuständig.

Aus diesem Grund muss der Bodenschutz nach USG auf Schiessplätzen und Schiessanlagen von der für den Vollzug des *Bundesgesetzes vom 3. Februar 1995 über die Armee und die Militärverwaltung (Militärgesetz, MG; SR 510.10)* zuständigen Fachstelle des VBS vollzogen werden.

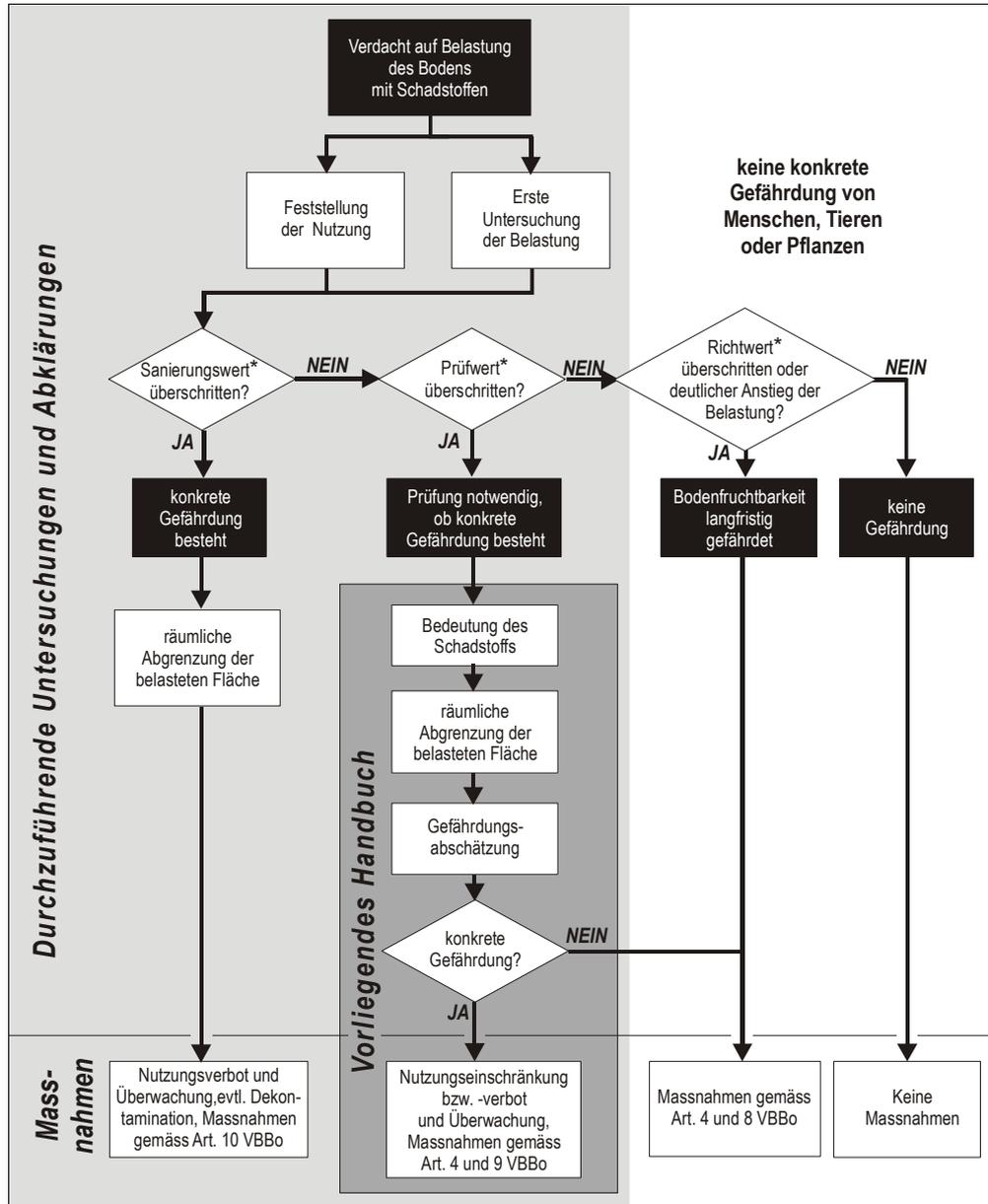
Dies trifft auch auf die Gefährdungsabschätzung nach Artikel 9 VBBo zu. Überall dort, wo in diesem Handbuch Bezug auf die kantonale Zuständigkeit genommen wird, gilt dies deshalb im Anwendungsbereich des MG sinngemäss auch für die VBS-Vollzugsbehörde (vgl. Art. 126 MG).

Der bodenschützerische Vollzugsauftrag des VBS geht erst dann an die Kantone über, wenn ein fraglicher Schiessplatz aus der militärischen Nutzung und der Rechtsanwendung nach MG entlassen und das Gelände somit freigegeben wird.

Gemäss Artikel 41 USG arbeiten die Bundesbehörden bei ihrer USG-Vollzugstätigkeit mit den kantonalen Instanzen zusammen.

3 Vorgehen

Abb. 2: Das Vorgehen bei schadstoffbelastetem Boden nach Bodenschutzrecht und die Funktion des vorliegenden Handbuchs. [*Bei fehlenden Regelungswerten nach VBBo vgl. Kap. 7].



3.1 Vorgehen bei freiwilliger Nutzungseinschränkung

Bei freiwilliger Nutzungseinschränkung seitens Betroffener kann auf eine Gefährdungsabschätzung verzichtet werden, sofern dabei die Schutzziele erreicht werden. Für diesen Zweck wird die Einhaltung von Nutzungseinschränkungen durch die betroffenen Grundstückinhaber verbindlich zugesagt. Die konkrete Form der Zusage wird im Einzelfall festgelegt.

3.2 Feststellen der Nutzung

Nutzungsarten

Die Nutzung einer Fläche bestimmt, über welche Wirkungspfade Menschen, Tiere oder Pflanzen durch Schadstoffe konkret gefährdet werden können. Anhang 1 und 2 VBBo nennen für Prüfwerte die Nutzungsarten:

- Nahrungspflanzenanbau (Acker-, Gemüse-, Obst- und Rebbau, Haus- und Familiengarten);
- Futterpflanzenanbau (Futterbau, Mähwiese, Weide, Mähweide);
- Nutzungen mit möglicher direkter Bodenaufnahme (Haus- und Familiengarten, Kinderspielplatz, Kindergarten, Schulgelände, Grünfläche, Sportplatz).

aktuelle und zukünftige Nutzungen

Bei belasteten Böden sind zu erfassen:

- die aktuelle Nutzung zur Beurteilung der Gefährdung;
- die raumplanerisch festgelegten, geplanten oder weiteren in Frage kommenden Nutzungen. Sie sind wichtig für die Beurteilung möglicher zukünftiger Gefährdungen und für die Anforderungen an die Überwachung des Bodens. Ein Beispiel dafür ist eine belastete Landwirtschaftsfläche, die als Siedlungsgebiet genutzt werden soll (Einzonung).

3.3 Bedeutung des Schadstoffs

Wirkungspfade und Schutzgüter

Die Bedeutung eines Schadstoffs in Bezug auf die Gefährdung der jeweiligen Schutzgüter einschliesslich des Menschen muss bestimmt werden. Je nach Nutzungsart und Schadstoff sind dabei unterschiedliche Wirkungspfade von Bedeutung (Angaben zu häufigen Schadstoffen vgl. Anh. 2). Die Gefährdungsabschätzung erfolgt je nach Nutzungsart unterschiedlich (vgl. Anh. Kap. 4–6).

3.3.1 Bedeutung des Schadstoffs beim Nahrungspflanzenanbau

Die Nutzungsart Nahrungspflanzenanbau umfasst die Erzeugung pflanzlicher Produkte für die menschliche Ernährung. Dabei spielt nur ein einziger Wirkungspfad eine Rolle (vgl. Tab. 1).

Tabelle 1: Wirkungspfad beim Nahrungspflanzenanbau.

Wirkungspfad	Schadstofftransfer
Aufnahme durch Nahrungspflanzen (über Wurzeln oder Blätter)	Boden → [Bodenlösung →] Pflanze → Mensch

Ein Schadstoff ist in Bezug auf die Gefährdung von Menschen durch Konsum von Nahrungspflanzen von Bedeutung, wenn die beiden folgenden Bedingungen erfüllt sind (vgl. Anh. 2):

- Die Nahrungspflanze nimmt Schadstoffe auf, adsorbiert sie oder ist mit belastetem Boden verunreinigt.
- Der Schadstoff oder allfällige Umwandlungsprodukte des Schadstoffs sind für den Menschen toxisch (Humantoxizität).

3.3.2 Bedeutung des Schadstoffs beim Futterpflanzenanbau

Die Nutzungsart Futterpflanzenanbau betrifft die Erzeugung pflanzlicher Produkte für die Ernährung von Nutztieren und umfasst sowohl ackerbauliche Nutzungen (z.B. Mais, Futtergetreide, Futterrüben) als auch Grünland (z.B. Weide, Mähwiese). Dabei können sowohl die Nutztiere selbst durch Schadstoffe gefährdet sein als auch der Mensch, wenn er tierische Produkte verzehrt. Um zu beurteilen, ob beim Futterpflanzenanbau ein Schadstoff von Bedeutung ist, müssen deshalb die Wirkungspfade nach Tabelle 2 und die Schutzgüter Mensch und Tiere unterschieden werden.

Tabelle 2: Wirkungspfade beim Futterpflanzenanbau.

Wirkungspfad	Schadstofftransfer
Wurzelaufnahme	Boden→Bodenlösung→Pflanze→Tier→Mensch Boden→Bodenlösung→Pflanze→Tier
Verunreinigungen mit Boden (sog. erdige Verunreinigungen)	Boden→Pflanze→Tier→Mensch Boden→Pflanze→Tier
Direkte orale Aufnahme	Boden→Tier→Mensch Boden→Tier

Gefährdung von Tieren

Der Schadstofftransfer zum Tier erfolgt durch Abweiden von Pflanzen und durch direkte orale Bodenaufnahme oder durch Verunreinigungen mit Boden. Je nach Nutztier und Futter beträgt der Anteil der direkten oralen Bodenaufnahme 0–30% der Futtermenge (vgl. Tab. 13).

Ein Schadstoff gefährdet Tiere durch Wurzelaufnahme, wenn die Bedingungen **1** und **2** erfüllt sind:

- 1** Die Futterpflanze nimmt den Schadstoff auf.
- 2** Der Schadstoff oder allfällige Umwandlungsprodukte des Schadstoffs sind für das Tier toxisch (Zootoxizität).

Ein Schadstoff gefährdet Tiere durch direkte orale Bodenaufnahme oder durch Verunreinigungen des Futters mit Boden, wenn die Bedingungen **3** und **4** erfüllt sind:

- 3** Der Schadstoff wird durch das betroffene Tier durch direkte orale Bodenaufnahme oder durch Verunreinigungen des Futters mit Boden aufgenommen.
- 4** Der Schadstoff oder allfällige Umwandlungsprodukte des Schadstoffs sind für das Tier toxisch (Zootoxizität).

**Gefährdung
von Menschen**

Ein Schadstoff gefährdet Menschen durch Konsum von belasteten tierischen Produkten, wenn die Bedingungen **1, 5 und 6** oder die Bedingungen **3, 5 und 6** erfüllt sind:

- 5** Der Schadstoff wird im Tierprodukt angereichert.
- 6** Der Schadstoff oder allfällige Umwandlungsprodukte des Schadstoffs sind für den Menschen toxisch (Humantoxizität).

Wichtig sind daher folgende Informationen:

- Betroffene Nutztierarten: z.B. Rinder, Schafe, Schweine;
- Fütterungsart für jede betroffene Nutztierart:
z.B. Weiden, Heuverfütterung sowie Futtergetreide und anderes Kraftfutter.

**3.3.3 Bedeutung des Schadstoffs bei Nutzungen
mit möglicher direkter Bodenaufnahme**

Bei Nutzungen mit möglicher direkter Bodenaufnahme erfolgt der Transfer von Schadstoffen nur über einen einzigen Wirkungspfad (vgl. Tab. 3).

Tabelle 3: Wirkungspfad bei Nutzungen mit möglicher direkter Bodenaufnahme.

Wirkungspfad	Schadstofftransfer
Direkte orale Aufnahme	Boden→Mensch

**Gefährdung durch
direkte Bodenaufnahme**

Ein Schadstoff ist in Bezug auf die Gefährdung von Menschen durch direkte Bodenaufnahme relevant, wenn

- der Mensch den Schadstoff auf Grund von Bodenkontakt direkt aufnimmt;
- der Schadstoff für den Menschen toxisch ist (Humantoxizität).

3.4 Räumliche Abgrenzung und Analyse der Bodenbelastung

Horizontale und vertikale Ausdehnung

Die horizontale und vertikale Ausdehnung der Bodenbelastung muss bestimmt werden. Die Probenahme richtet sich nach dem *Handbuch Probenahme und Probenvorbereitung für Schadstoffuntersuchungen in Böden* (BUWAL 2003). Sie muss durch bodenkundlich qualifiziertes Personal ausgeführt werden. Es sind an ausgewählten Stellen Bohrproben zu entnehmen. Die Beprobung erfolgt in festen Tiefenstufen, welche wegen der Reproduzierbarkeit nicht geringer als 5 cm sein sollten. Diese werden festgelegt in Abhängigkeit der zu erwartenden Belastung (Belastungshypothese), des Wirkungspfads und der betroffenen Schutzgüter Mensch, Tiere oder Pflanzen (Anhänge 1 und 2 VBBo).

Analysen des Bodens

Die notwendigen Analysen des Bodens hängen von der betroffenen Nutzungsart ab (vgl. Kap. 3.2 sowie Anhänge 1 und 2 VBBo). Für die Gefährdungsabschätzung müssen zusätzlich zu den Schadstoffgehalten weitere Kenngrößen des Bodens ermittelt werden. Dies ist bei der Planung der Probenahme zu berücksichtigen.

Als Bodenuntersuchungsmethode sind alle Methoden anwendbar, die an der ordentlichen VBBo-Methode (vgl. Anhänge 1 und 2 VBBo) geeicht worden sind und jederzeit mit dieser vergleichbare und reproduzierbare Ergebnisse liefern. Dazu gehören beispielsweise dem Stand der Technik entsprechende physikalische Analysemethoden (z.B. Röntgenfluoreszenz).

Die folgenden Daten sind bei allen Nutzungsarten relevant:

- bei anorganischen Schadstoffen der Totalgehalt und allenfalls der lösliche Gehalt nach Anhang 1 VBBo; im Regelfall sind nur die Totalgehalte nach VBBo erforderlich (Expertensysteme, vgl. Kap. 3.5.2);
- bei organischen Schadstoffen der Totalgehalt nach Anhang 2 VBBo.

Bei den Nutzungsarten Nahrungspflanzenanbau und Futterpflanzenanbau sind ausserdem folgende Daten zu den Bodeneigenschaften zu ermitteln:

- pH-Wert;
- Gehalt an *organischer Substanz* («Humusgehalt»); bei organischen Schadstoffen wird eine analytische Bestimmung, andernfalls zumindest eine Schätzung in den Kategorien 0–2, 2–8, 8–15 und >15% empfohlen (vgl. AGROSCOPE FAL 1997, AG BODEN 1994);
- Korngrößenverteilung; dazu mindestens grobe Einschätzung des Tongehalts der Feinerde mittels Fingerprobe (vgl. AGROSCOPE FAL 1997, AG BODEN 1994);
- eventuell zusätzlich Bestimmung des Kalkgehalts und der effektiven Kationenaustauschkapazität (KAK_{eff}). Diese Parameter können die Beurteilung der jetzigen Verfügbarkeit des Schadstoffs und ihrer zukünftigen Entwicklung verbessern.

3.5 Gefährdungsabschätzung

3.5.1 Allgemeines Vorgehen

Bestätigen die Untersuchungen der Bodenbelastung, dass in einem Gebiet Prüfwerte überschritten sind und somit vom belasteten Boden eine konkrete Gefährdung für Mensch, Tiere oder Pflanzen ausgehen kann, so muss eine Gefährdungsabschätzung durchgeführt werden (Ausnahme vgl. Kap. 3.1). Das Vorgehen richtet sich für die einzelnen Nutzungsarten nach den Kapiteln 4–6. Die für alle Nutzungsarten geltenden Prinzipien und Vorgehensweisen werden nachfolgend kurz erläutert.

Gefährdungsabschätzung immer in zwei Schritten

Die Gefährdungsabschätzung besteht aus der **Belastungsanalyse** und der **Belastungsbewertung**:

- Die **Belastungsanalyse** dient der Erfassung der Belastung von Mensch, Tieren oder Pflanzen durch einen Schadstoff (Transfer zu diesen Schutzgütern).
- Bei der **Belastungsbewertung** wird mit Hilfe von Kriterien beurteilt, ob die Belastung eine Gefährdung darstellt.

Die Bewertungskriterien des Handbuchs orientieren sich an gesetzlichen Höchstgehalten und wissenschaftlich anerkannten, toxikologisch begründeten Schwellenwerten (Höchstgehalte von Nahrungs- und Futtermitteln, maximal tolerierbare Aufnahmeleistungen durch Mensch und Tiere). Die Bewertung erfolgt so, dass den Belastungen in folgender Weise Gefährdungskategorien zugeordnet werden (vgl. Tab. 4).

Tabelle 4: Zuordnung von Gefährdungskategorien zu Belastungen.

Belastung	Gefährdungskategorie
Es werden keine deutlich erhöhten Schadstoffgehalte (Nahrung/Futter) bzw. Schadstoffaufnahmen (Mensch und Tiere) festgestellt.	→ keine konkrete Gefährdung
Es liegen deutlich erhöhte Schadstoffgehalte (Nahrung/Futter) bzw. Schadstoffaufnahmen (Mensch und Tiere) vor. Eine Überschreitung von gesetzlichen Höchstgehalten oder wissenschaftlich anerkannten, toxikologisch begründeten Schwellenwerten wird jedoch nicht festgestellt.	→ konkrete Gefährdung möglich
Gesetzliche Höchstgehalte oder wissenschaftlich anerkannte, toxikologisch begründete Schwellenwerte (Nahrung/Futter bzw. Schadstoffaufnahmen durch Mensch und Tiere) werden überschritten.	→ konkrete Gefährdung

3.5.2 Gefährdungsabschätzung mit Hilfe eines Expertensystems

Für jede Nutzungsart gibt das Handbuch ein so genanntes Expertensystem vor, das eine mit geringem Aufwand durchführbare Gefährdungsabschätzung erlaubt (vgl. Kap. 4.1, 5.1, 6.1). Bei den Expertensystemen werden einzelnen Einflussgrößen Punkte zugewiesen, die aufsummiert die Gefährdungspunkte ergeben. Diesen werden daraufhin die Gefährdungskategorien zugeordnet.

**Wann sind die
Expertensysteme
geeignet?**

Die Expertensysteme sind ausgelegt auf Schadstoffkonzentrationen zwischen Prüf- und Sanierungswert und nur für diesen Bereich anzuwenden. Sie gehen von Totalgehalten des Schadstoffs im Boden aus, weil zum einen diese Werte in den meisten Fällen nach bereits durchgeführten Untersuchungen vorliegen. Zum anderen sind lösliche Gehalte nicht bei allen Schadstoffen aussagekräftig (z.B. beim Blei). Deshalb schreibt die VBBo in solchen Fällen keine Regelungswerte für lösliche Gehalte vor. Sind dagegen in einem Gebiet nur die Prüfwerte für den löslichen Gehalt überschritten oder liegen nur Daten zum löslichen Gehalt vor, so sind detailliertere Untersuchungen erforderlich (vgl. Kap. 3.5.3 sowie Kap. 4.2, 5.2, 6.2).

Im Regelfall ist eine Gefährdungsabschätzung mittels Expertensystemen angebracht. Die Zuweisung von Massnahmen wird nach Anwendung eines Expertensystems in derselben Weise vorgenommen wie beim detaillierteren Vorgehen (Kap. 3.5.3), weil beiden Verfahren dieselben Bewertungskriterien zu Grunde liegen. Die Expertensysteme sind aber durch die Verwendung eines Punktesystems vereinfacht, was bei einem so komplexen System wie dem Boden zwangsläufig höhere Unsicherheiten verursacht (vgl. Kap. 3.7 und Anh. 9). Deshalb können im Einzelfall bei Verwendung der Expertensysteme, trotz Erreichen der Gefährdungskategorie «*konkrete Gefährdung*», Höchstgehalte oder Schwellenwerte noch nicht überschritten sein.

Schliesslich erlauben die Expertensysteme neben der Gefährdungsabschätzung eine erste (grobe) Beurteilung darüber, welche Bedeutung die Unsicherheit einzelner Faktoren haben kann. Dazu können die einzelnen Faktoren variiert und die Auswirkung auf die Gefährdungsabschätzung bestimmt werden (Sensitivität). Ausserdem kann so herausgefunden werden, mit welchen Mitteln der aktuellen Gefährdungslage am ehesten zu begegnen ist (Szenarien für Massnahmen).

Zur vereinfachten Durchführung der Gefährdungsabschätzung mit Hilfe der Expertensysteme stehen vorgefertigte **Tabellenkalkulationen** zur Verfügung.²

3.5.3 Gefährdungsabschätzung mit Hilfe einer detaillierteren Untersuchung

Eine detailliertere Untersuchung ist besonders dann angezeigt, wenn grosse Unsicherheiten bestehen (z.B. unzuverlässige Eingangsgrössen). Sie ist ausserdem eine Möglichkeit für jene Betroffenen, die mit behördlich festgelegten Massnahmen (vgl. Kap. 3.6 und 8) nicht einverstanden sind, und mit einer detaillierteren Untersuchung eine Überprüfung selbst vornehmen wollen.

Es gilt der folgende Grundsatz:

Eine aus den Expertensystemen abgeleitete Beurteilung ist gültig, solange allfällige detailliertere Untersuchungen keine andere Beurteilung erfordern.

² vgl. Excel-Format: www.umwelt-schweiz.ch/themen/boden/vollzug_bodenschutz/vollzug_der_vbbo/handbuch_gefaehrungsabschaetzung_boden.

3.6 Festlegung von Massnahmen

Welche Massnahme bei welcher Gefährdung?

Wenn in einem Gebiet Prüfwerte überschritten sind, so müssen Massnahmen getroffen werden. Besteht nach Gefährdungsabschätzung (möglicherweise) eine konkrete Gefährdung, so handelt es sich um Massnahmen zur Gefährdungsabwehr. Besteht auf Grund der Gefährdungsabschätzung keine konkrete Gefährdung, so ist die betroffene Fläche dennoch im Rahmen von Artikel 4 Absatz 1 VBBo zu überwachen, da bei festgestellter Prüfwert-Überschreitung mindestens langfristig von einer Gefährdung der Bodenfruchtbarkeit auszugehen ist (deutliche Überschreitung der Richtwerte). Es ist dabei zu berücksichtigen, dass eine Nutzungsänderung auch eine Änderung der Gefährdungslage mit sich bringen kann.

Die Festlegung von Massnahmen wird detailliert in Kapitel 8 behandelt. Grundsätzlich erfolgt die Zuordnung von Massnahmen zur Gefährdungskategorie nach der Tabelle 5.

Für die Festlegung der Massnahmen sind überdies jene Randbedingungen des konkreten Falls einzubeziehen, welche nicht schon Eingang in die Gefährdungsabschätzung gefunden haben. Diese können eine Modifizierung der Massnahmen begründen (vgl. Kap. 8.1.2).

Tabelle 5: Zuordnung von Massnahmen zu Gefährdungskategorien.

Gefährdungskategorie	Massnahmen
Keine konkrete Gefährdung	→ Überwachung (Art. 4 Abs. 1 VBBo) sowie Quellenstopp (Art. 8 VBBo)
Konkrete Gefährdung möglich	→ Nutzungsempfehlungen; zusätzlich Überwachung (Art. 4 Abs. 1 VBBo) sowie Quellenstopp (Art. 8 VBBo)
Konkrete Gefährdung	→ Nutzungseinschränkungen und Nutzungsverbote, evtl. Dekontamination; zusätzlich Überwachung (Art. 4 Abs. 1 VBBo) sowie Quellenstopp (Art. 8 VBBo)

3.7 Ergebnis – Unsicherheit

3.7.1 Vorbemerkungen

Zweck der Gefährdungsabschätzung ist es, die Auswirkungen einer Schadstoffbelastung des Bodens auf die Schutzgüter Menschen, Tiere oder Pflanzen so gut wie möglich zu beurteilen. Sie erfolgt in den zwei Schritten *Belastungsanalyse* und *Belastungsbewertung* (vgl. Kap. 3.5.1).

Dem gesamten Verfahren bei der Gefährdungsabschätzung liegt der Stand des Wissens und der Erfahrung zu Grunde. Dies gilt sowohl für die Auswirkungen von Schadstoffen auf Mensch und Tiere (gesundheitliche Wirkungen) als auch für die Prozesse beim Schadstofftransfer zu den Schutzgütern Mensch, Tiere oder Pflanzen. Der Wissensstand ist dabei je nach Prozess und Schadstoff unterschiedlich, und

demzufolge enthalten auch die Bewertungssysteme Unsicherheiten (vgl. Anh. 5). Das gilt in besonderem Masse für die stark vereinfachten Expertensysteme. Diese wurden daher so ausgelegt, dass sie dem im schweizerischen Umweltrecht verankerten Vorsorgeprinzip Rechnung tragen und insofern auf der «sicheren Seite» bleiben.

Bei der Abschätzung numerisch nicht oder nur schwer messbarer Faktoren und beim Einbezug der Randbedingungen spielt das Ermessen des Bearbeiters und seine fachliche Qualifikation eine wesentliche Rolle. Besonders schwer einzuschätzen ist die Gewichtung von Randbedingungen. Wichtig ist deshalb, dass Randbedingungen, die eine Modifizierung der Bewertung zur Folge haben, zweifelsfrei eine wesentliche Änderung der Gefährdungslage bewirken (siehe dazu das Fallbeispiel der Kinderspielplätze, Anh. 1C).

Der Einfluss von Unsicherheiten auf das Ergebnis der Gefährdungsabschätzung sollte in seiner Grössenordnung beurteilt werden können. Dem steht entgegen, dass die Unsicherheiten schwer quantifizierbar sind. Eine Möglichkeit dafür bieten Modelle, welche die Streubreiten von Faktoren einbeziehen (Monte-Carlo-Methoden, Fuzzy-Methoden) und damit deren Einfluss deutlich machen (z.B. MOSCH-ANDREAS & KARUCHIT 2002, GUYONNET *et al.* 2003).

3.7.2 Belastungsanalyse

Grössere Schwierigkeiten sind mit der Abschätzung des Schadstofftransfers Boden–Tiere–Mensch oder Boden–Pflanzen verbunden (Belastungsanalyse). Der Transfer hängt von einer Vielzahl von Faktoren und deren oft komplexem Zusammenspiel ab. In das Ergebnis der Gefährdungsabschätzung gehen daher zahlreiche Faktoren und Methoden ein, die naturgemäss mit Unsicherheiten behaftet sind. Dazu zählen besonders:

Natürliche Unsicherheitsfaktoren

- Räumliche und zeitliche Variation der Messgrössen.

Datenunsicherheiten (Messgrössen)

- Probenahme und Probenvorbereitung (vgl. Kap. 3.4);
- Laboranalysen (Boden, Pflanzen, vgl. Kap. 3.4).

Unsicherheiten der Berücksichtigung und Beschreibung von Prozessen

- Abschätzung numerisch nicht oder nur schwer messbarer Faktoren, z.B. Nutzungshäufigkeit eines Spielplatzes (vgl. Kap. 6.1);
- Bewertungssysteme, namentlich die Expertensysteme (vgl. Kap. 4.1, 5.1, 6.1);
- Gewichtung von Randbedingungen für die Festlegung von Massnahmen (vgl. Kap. 8.1.2).

Zur Probenahme: Bei der Ermittlung der Bodenbelastung als Voraussetzung der Gefährdungsabschätzung enthalten Probenahme, Probenvorbereitung und Laboranalysen Unsicherheiten. Die mit der Probenahme und Probenvorbereitung verbundenen Probleme sind im Handbuch Probenahme (BUWAL 2003) dargestellt. Dabei ist die räumliche Variabilität der Schadstoffbelastung (Untersuchungsgebiet, Probe) der bedeutendste Unsicherheitsfaktor. Die Unsicherheiten von Laboranalysen sind in der Regel gestützt auf die VBBo-Ringanalysenberichte (AGROSCOPE FAL RECKENHOLZ, jährlich) gut abschätzbar. Über die Unsicherheit beim Vergleich von Messresultaten mit Höchstgehalten bzw. Regelungswerten informieren Anhang 5 und DESAULES (2004).

3.7.3 Belastungsbewertung

Die Belastungsbewertung erfolgt mit Hilfe gesetzlicher Höchstgehalte und wissenschaftlich anerkannter, toxikologisch begründeter Schwellenwerte. Sie verursacht im Verfahren der Gefährdungsabschätzung die geringeren Unsicherheiten.

Vorsorgeprinzip und Tendenz nach der «sicheren Seite» können im Einzelfall eine zu hohe Gefährdung ergeben. Aus diesem Grund ist eine Bewertung mittels Expertensystemen nicht als endgültig zu betrachten (vgl. Kap. 3.5.2). Auf der anderen Seite ist zu bedenken, dass bei der Gefährdungsabschätzung immer einzelne Schadstoffe betrachtet werden. In der Realität treten dagegen meist Belastungen durch mehrere Schadstoffe auf, die in ihrer Gesamtwirkung schwer einschätzbar sind. Zudem kann die Belastung des Menschen aus weiteren Quellen variieren (Aufnahme unterschiedlicher vermischter Nahrungsmittel, menschliches Verhalten wie z.B. Rauchen).

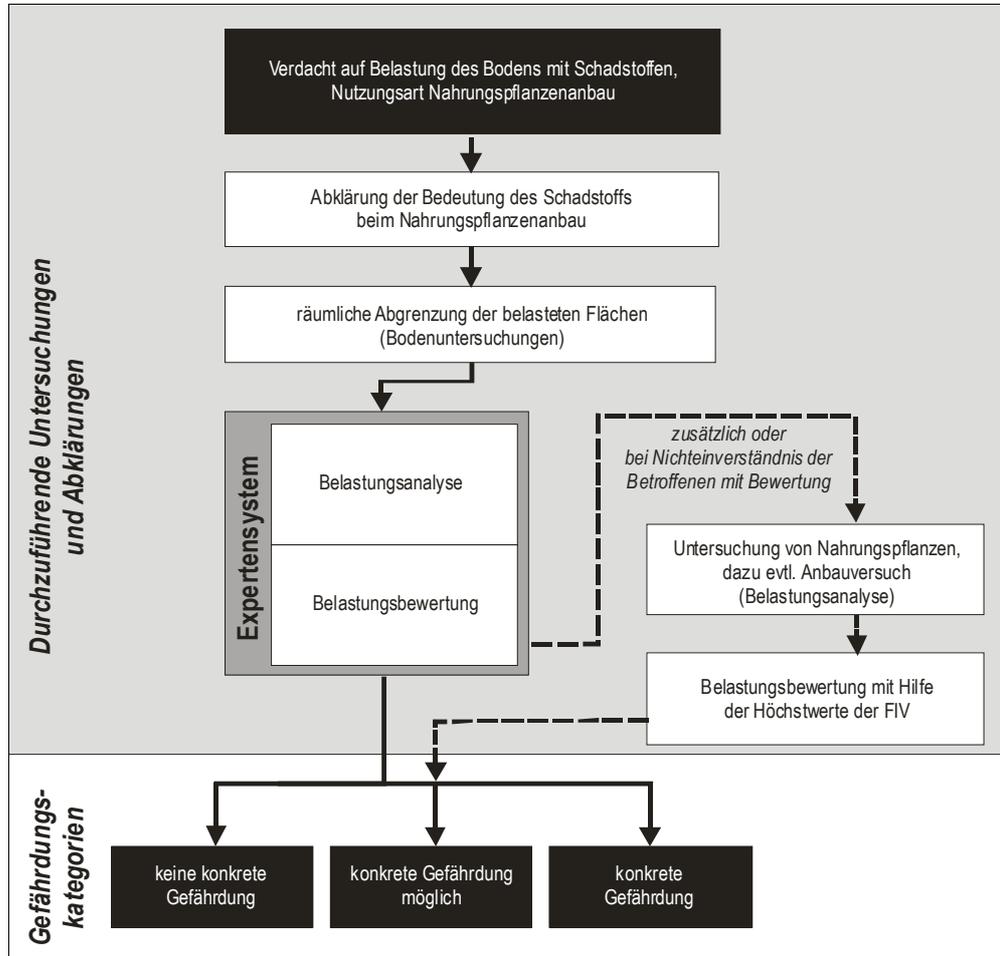
Konsequenzen für das Vorgehen

Bei der Gefährdungsabschätzung müssen die Unsicherheiten von Anfang an so klein wie möglich gehalten und das gesamte Vorgehen nachvollziehbar gemacht werden. Die wichtigsten Massnahmen dafür sind:

- Dokumentation der gesamten Gefährdungsabschätzung von der Feststellung der Nutzung und der Planung der Probenahme bis zur Festlegung von Massnahmen, einschliesslich aller getroffenen Annahmen bei der Bewertung;
- Bearbeitung durch Fachleute, die sowohl bei den Feldarbeiten (Probenahme, Abschätzungen vor Ort) als auch bei der Belastungsanalyse und -bewertung die relevanten Unsicherheiten einordnen und Fehlerquellen vermeiden können;
- Laborarbeiten: Teilnahme des Labors an Ringversuchen, allenfalls Akkreditierung.

4 Gefährdungsabschätzung beim Nahrungspflanzenanbau

Abb. 3: Das Vorgehen in der Gefährdungsabschätzung beim Nahrungspflanzenanbau [FIV: Fremd- und Inhaltsstoffverordnung; SR 817.021.23].



4.1 Expertensystem «Nahrungspflanzenanbau»

4.1.1 Grundlagen

Expertensystem: Grundlagen

Das Expertensystem «Nahrungspflanzenanbau» ermöglicht eine vereinfachte Analyse der Gefährdung im Nahrungspflanzenanbau. Es ist ausgelegt auf Schadstoffkonzentrationen zwischen Prüf- und Sanierungswert (Prüfwertbereich) und nur dort anzuwenden.

Das Expertensystem berücksichtigt folgende Faktoren, welche auf den Schadstofftransfer Boden–Pflanze einwirken:

- stoffspezifische Eigenschaften des Schadstoffs;
- Bodeneigenschaften, nämlich pH-Wert, Gehalt an organischer Substanz und Ton;
- unterschiedliches Aufnahmeverhalten von Nahrungspflanzenarten.

Weil bei organischen Schadstoffen die Belastung von Pflanzen oft zu einem erheblichen Teil über atmosphärische Deposition erfolgt (BLUME 1992, BUWAL 1997b, DELSCHEN *et al.* 1999, SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2002), und weil die Datenlage zum Transfer Boden–Pflanze nicht ausreicht, ist das Expertensystem auf anorganische Schadstoffe beschränkt. Von den organischen Schadstoffen sind PAK beim Nahrungspflanzenanbau am häufigsten relevant (Empfehlungen vgl. Anh. 2E).

Grundlage für die Bewertung der Schadstoffgehalte von Nahrungspflanzen sind die Höchstgehalte der FIV (vgl. Kap. 4.2.2).

4.1.2 Belastungsanalyse

Das Expertensystem verwendet ein Punktesystem zur Bewertung. Den einzelnen Einflussfaktoren (Belastung, Mobilität, Pflanzenart und Toxizität) werden dabei Punkte zugewiesen, welche zu einer Gesamtpunktzahl (Gefährdungspunkte *G*) addiert werden. Die Gefährdung steigt mit der Punktzahl an.

Gefährdungspunkte *G*

Berechnung der Gefährdungspunkte:

$$G = B + M + P + T \quad (\text{N4.1})$$

<i>G</i>	Gefährdungspunkte
<i>B</i>	Belastungsfaktor (zwischen 0 und 5 Punkten);
<i>M</i>	Mobilitätsfaktor (zwischen 0 und 6 Punkten);
<i>P</i>	Pflanzenartfaktor (zwischen 0 und 2 Punkten);
<i>T</i>	Korrekturfaktor für Toxizität (zwischen –1.5 und +1.5 Punkten).

Belastungsfaktor *B*

Der Belastungsfaktor *B* wird wie folgt berechnet:

$$B = 5 \times \frac{C_{\text{Boden}} - PW}{SW - PW} \quad (\text{N4.2})$$

<i>B</i>	Belastungsfaktor (Punkte);
<i>C_{Boden}</i>	Schadstoffbelastung des Bodens ([mg/kg]; «Totalgehalt» nach VBBo);
<i>PW</i>	Prüfwert für Nahrungspflanzenanbau nach VBBo [mg/kg];
<i>SW</i>	Sanierungswert für Landwirtschaft und Gartenbau bzw. Haus- und Familiengärten nach VBBo [mg/kg].

Entspricht die Schadstoffbelastung dem Prüfwert, so ist *B* = 0. Beim Sanierungswert ist *B* = 5. Dazwischen steigt der Belastungsfaktor linear an.

**Bindungsstärke
des Schadstoffs**

Mobilitätsfaktor M

Zur Ermittlung des Mobilitätsfaktors dient Abbildung 4. Mit Hilfe der Bodenkennwerte (pH, Gehalt an organischer Substanz und an Ton) wird dabei zunächst die relative Bindungsstärke des Schadstoffs im Boden bestimmt. Dazu werden die jeweils zutreffenden Werte aus den Listen A, B und C aufsummiert. Anschliessend wird aus der relativen Bindungsstärke der Mobilitätsfaktor abgeleitet.

Abb. 4: Ermittlung des Mobilitätsfaktors. Die Werte der Listen A–C wurden aus DVWK (1988) übernommen, ergänzt durch Angaben zu Fluor aus KELLER & DESAULES (2001) und BUWAL (1997c). Laut SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL (2002; vgl. S. 369) kann die Mobilität von TI mit jener von Zn und die Mobilität von As mit jener von Cr in etwa verglichen werden.

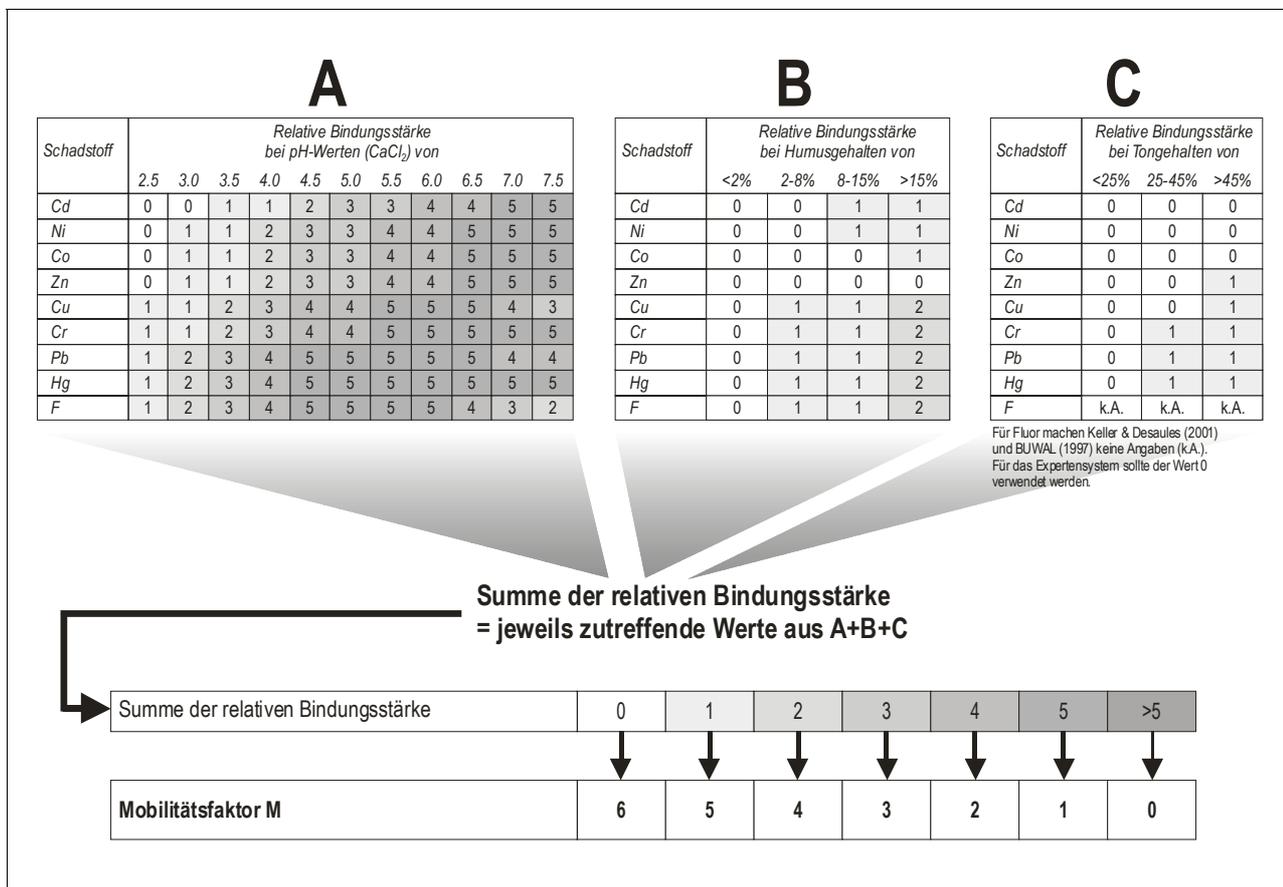


Tabelle 6: Pflanzenartfaktoren für Nutzpflanzenarten und anorganische Schadstoffe.

Nahrungspflanze	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Tl	Zn
Getreide										
Gerste (Korn)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hafer (Korn)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Mais (Körner)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Roggen (Korn)	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
Weizen (Korn)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Gemüse										
<i>Wurzel- und Knollengemüse</i>										
Karotte (Möhre, Karotte)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Kartoffel	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Knollensellerie	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Kohlrabi	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Retlich	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1
Radieschen	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1
Rote Rübe (Rande)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Schwarzwurzel	-	1	-	-	-	-	-	1	1	-
<i>Zwiebelgewächse</i>										
Lauch (Porree)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Zwiebel	-	0	-	-	-	-	-	1	0	-
<i>Fruchtgemüse</i>										
Aubergine	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Gurke	-	0	-	-	-	-	-	0	0	-
Kürbis	-	0	-	-	-	-	-	-	0	-
Paprikafrüchte (Peperoni)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tomate	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zucchini (Zucchetti)	-	0	-	-	-	-	-	0	0	-
Zuckermais (Speisemais)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Blattgemüse</i>										
Blumenkohl	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Broccoli	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0
Brunnenkresse	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Chinakohl	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Endivie	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Feldsalat (Nüsslisalat)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Gartenkresse	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Grünkohl (Braunkohl)	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1
Kopfsalat	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Lollo rosso	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Mangold	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Rosenkohl	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Rotkohl (Blaukraut)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Spinat	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Weisskohl (Weisskraut)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Wirsingkohl (Savoyerkohl)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Stängelgemüse</i>										
Stangensellerie (Bleichsellerie)	0	2	0	0	0	0	0	1	1	0
<i>Hülsen-/ Schotenfrüchte</i>										
Bohnen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Erbsen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Raps	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
Obst										
Beerenobst allgemein	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kernobst allgemein	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Steinobst allgemein	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

0 = Aufnahme niedrig 1 = Aufnahme mittel 2 = Aufnahme hoch - = keine Angaben
 Daten zusammengestellt mit Hilfe von Blume (1992), IPE (1994), Wenk et al. (1997), Delschen & König (1998). Bei unterschiedlichen Angaben in der genannten Literatur wurde jeweils der höhere Wert eingesetzt. Für Fluor (F) stehen keine ausreichenden Daten zur Verfügung.

Korrekturfaktor T (für Toxizität)

Die Gefährdung durch einen Stoff hängt nicht nur von seinem Transfer in die Pflanzen ab, sondern auch von seiner Toxizität für den Menschen. Aus diesem Grund wird durch den Korrekturfaktor T (für Toxizität) ein Bezug hergestellt zwischen der von den Pflanzen aufgenommenen Schadstoffmenge und den Höchstgehalten der FIV (vgl. Kap. 4.2.2). Die Höchstgehalten sind ein Mass für die Toxizität von Stoffen. Die FIV schreibt jedoch nur bei den Schwermetallen Cd, Pb und Tl Höchstgehalten für Nahrungspflanzen vor, und auch im internationalen Rahmen wurden bisher nur für Cd und Pb Grenzwerte in Nahrungspflanzen festgelegt (BERG & LICHT 2002). Für Cd, Pb und Tl wurde der Korrekturfaktor T anhand einer grossen Zahl gemessener Schadstoffkonzentrationen in Böden und Pflanzen mit Hilfe statistischer Verfahren ermittelt (vgl. Anh. 9A).

Bei Cu und Zn wurden die Sanierungswerte der VBBo bei Gärten im Hinblick auf die Schädigung von Pflanzen (Ertragsminderung) festgelegt und nicht wegen der Gefährdung von Menschen (BUWAL 1997a; vgl. auch die Anhänge 2C und 2D). Aus diesem Grund wurden die Korrekturfaktoren T dieser beiden Stoffe herabgesetzt. Bei allen anderen Schadstoffen, für welche die FIV keine Höchstgehalten vorschreibt, wurde der Korrekturfaktor T = 0 gesetzt im Sinne von «nicht bestimmbar».

Tabelle 7: Korrekturfaktoren T für anorganische Schadstoffe (Nahrungspflanzenanbau).

Element	As	Cd	Co	Cr	Cu	F	Hg	Ni	Pb	Tl	Zn
Korrekturfaktor T	0	0.5	0	0	-1.5	0	0	0	0	0	-1.5

fett = Korrekturfaktor T mit statistischen Verfahren ermittelt.

4.1.3 Belastungsbewertung

Gefährdungskategorien

Den mit Hilfe von *Gleichung (N4.1)* ermittelten Gefährdungspunkten werden nach Tabelle 8 Gefährdungskategorien zugeordnet.

Tabelle 8: Gefährdungskategorien des Expertensystems für Nahrungspflanzenanbau.

Gefährdungspunkte $G = B + M + P + T$	<3	3-<5	≥5
Gefährdungskategorie für Cd, Pb, Tl*	keine konkrete Gefährdung	konkrete Gefährdung möglich	konkrete Gefährdung
Gefährdungskategorie für As, Co, Cr, Cu, F, Hg, Ni, Zn	keine konkrete Gefährdung	konkrete Gefährdung möglich	konkrete Gefährdung möglich

* Unsicherheiten der Gefährdungsabschätzung als grösser einzuschätzen als bei Cd und Pb, weil die Aufnahme von Tl durch Pflanzen weniger gut untersucht ist.

Grund für die unterschiedliche Zuweisung der Gefährdungskategorien sind fehlende Höchstgehalte in Lebensmitteln bei allen anorganischen Schadstoffen ausser Cd, Pb und Tl (vgl. Kap. 4.1.2, Korrekturfaktor T, und Anh. 9). Bei den übrigen Schwermetallen kann daher die Schwelle zur konkreten Gefährdung zwischen Prüf- und Sanierungswert nicht klar bestimmt werden. Die erreichten Gefährdungspunkte sind hier allenfalls als Massstab der Wahrscheinlichkeit zu werten, dass eine konkrete Gefährdung vorliegt.

Fallbeispiele zur Anwendung dieses Expertensystems finden sich für Landwirtschaft und Gartenbau in Anhang 1A sowie für Gärten in Anhang 1D. Zur erleichterten Handhabung stehen für die Nutzungen «Landwirtschaft und Gartenbau» sowie «Hausgärten» vorgefertigte Tabellenkalkulationen zur Verfügung.³

4.2 Detailliertere Gefährdungsabschätzung beim Nahrungspflanzenanbau

4.2.1 Belastungsanalyse

Eine detailliertere Gefährdungsabschätzung ist durch die Untersuchung von Nahrungspflanzen möglich, die auf der belasteten Fläche angebaut werden. Dazu sind mindestens zwei Nahrungspflanzenarten auf ihren Schadstoffgehalt zu untersuchen. Es sind Arten auszuwählen, welche den Schadstoff in unterschiedlich starkem Masse anreichern (vgl. Tab. 6).

Anbauversuch und Probenahme

Ist auf der betroffenen Fläche keine repräsentative Auswahl an Nahrungspflanzen vorhanden, so kann ein Anbauversuch durchgeführt werden. Dabei gilt: Je höher das Ausmass der Schadstoffbelastung, je grösser die Fläche und je höher die mögliche Belastung von Menschen oder Tieren auf Grund der Nutzung, desto notwendiger ist ein Anbauversuch. Genauere Angaben zum Anbauversuch wie auch zur Probenahme finden sich in Anhang 3.

Analyse und Rückstellproben

Zu analysieren ist jeweils eine Mischprobe pro Pflanzenart. Die restlichen Proben werden nach der Probenaufbereitung zurückgestellt und bei Bedarf untersucht. Die Analyse der Pflanzen erfolgt küchenfertig, d.h., die verzehrbaren Teile werden vor der Analyse gewaschen bzw. gereinigt, so dass Verunreinigungen mit Boden ausgeschlossen sind. Die Analysenmethoden richten sich nach der Lebensmittelgesetzgebung.

³ vgl. Excel-Format: www.umwelt-schweiz.ch/themen/boden/vollzug_bodenschutz/vollzug_der_vbbo/handbuch_gefaehrungsabschaetzung_boden.

**Höchstgehalte
der FIV**

4.2.2 Belastungsbewertung

Zur Beurteilung des Schadstoffgehalts von Nahrungspflanzen gelten die Höchstgehalte der FIV für Lebensmittel (vgl. Tab. 9). Sie sind festgelegt für Nahrungspflanzen, die in Verkehr gebracht werden, können aber auch zur Beurteilung von nicht in Verkehr gebrachten Nahrungspflanzen herangezogen werden:

- **Toleranzwerte** sind Höchstkonzentrationen von Stoffen, bei deren Überschreitung das Lebensmittel als verunreinigt oder sonst im Wert vermindert gilt.
- **Grenzwerte** sind Höchstkonzentrationen, bei deren Überschreitung das Lebensmittel für die menschliche Ernährung als ungeeignet gilt.

Tabelle 9: Ausgewählte FIV-Höchstgehalte mit Bezug zur VBBo (Stand Juli 2004).

Stoff	FIV-Höchstgehalt [mg/kg Frischgewicht]	Lebensmittel	Art des Höchstgehalts
Cd	0.2	Blattgemüse, Knollensellerie, Küchenkräuter frisch, Weizen	Grenzwert
Cd	0.1	übriges Getreide, Knollen- und Wurzelgemüse, Stängelgemüse	Grenzwert
Cd	0.05	übriges Gemüse, Obst	Grenzwert
Pb	0.3	Blattgemüse, Kohlarten	Grenzwert
Pb	0.2	Getreide, Hülsenfrüchte, Beerenobst	Grenzwert
Pb	0.1	übriges Gemüse, übriges Obst	Grenzwert
Tl	0.1	Gemüse, Beerenobst, Kernobst, Steinobst	Toleranzwert
Benzo(a)pyren (aus Umweltkontaminationen stammend)	0.001	Gemüse, Beerenobst, Kernobst, Steinobst	Toleranzwert
Polychlorierte Biphenyle	0.1	pflanzliche Lebensmittel	Grenzwert

Es sind jeweils die Angaben in der aktuellsten Fassung der FIV zu beachten.

Meist gibt die FIV für die bei Gefährdungsabschätzungen relevanten Schadstoffe nur einen der beiden Werte an. Höchstgehalte beziehen sich, wenn nicht anders vermerkt, auf das Frischgewicht der gut gewaschenen oder gereinigten verzehrbaren Anteile des Lebensmittels (ohne Erde und Staub). Als Gemüse gelten nach Artikel 188 der *Lebensmittelverordnung vom 1. März 1995 (LMV; SR 817.02)* Pflanzen oder Pflanzenteile, die der menschlichen Ernährung dienen.

Sofern die FIV für den gleichen Schadstoff sowohl einen Toleranzwert als auch einen Grenzwert aufführt, wird zur Belastungsbewertung der Grenzwert angewendet, weil erst ab diesem Wert von einer Gesundheitsgefährdung durch Nahrungsmittel auszugehen ist. Sind für Schadstoffe in der FIV keine Höchstgehalte vorgeschrieben, so kann grundsätzlich auf ähnliche Regelungswerte im Ausland zurückgegriffen werden, so z.B. die Höchstgehalte der EU (vgl. Kap. 9, zusätzliche Hinweise). Im internationalen Rahmen wurden allerdings bei den anorganischen

Schadstoffen bisher nur für Cd und Pb Grenzwerte in Nahrungspflanzen festgelegt (vgl. Kap. 4.1.2; Korrekturfaktor T, und Anh. 9). Weitere Auskunft erteilen die Kantonschemiker.

**Gefährdungs-
kategorien**

Die Einordnung in eine Gefährdungskategorie erfolgt nach Tabelle 10. Eine Überschreitung des Höchstgehalts der FIV bewirkt dabei die Einteilung in die Kategorie «konkrete Gefährdung». Die Kategorie «konkrete Gefährdung möglich» wird ab jenem Wert zugewiesen, welcher den Mittelwert zwischen einer unbelasteten Nahrungspflanze ($c_{unbelastet}$) und dem Höchstgehalt überschreitet (deutlich erhöhte Konzentration). Schadstoffgehalte von Pflanzen in unbelasteten Gebieten sind in Tabelle 11 aufgelistet. Angaben zu weiteren Schadstoffen bzw. Nahrungspflanzen können bei Bedarf vom Bundesamt für Gesundheit (BAG, Sektion Lebensmitteltoxikologie) bezogen werden.

Die Gefährdung ist für jede untersuchte Pflanzenart und jeden relevanten Schadstoff zu beurteilen. Werte von Pflanzenarten, welche den Schadstoff unterschiedlich stark akkumulieren, sind hilfreich für die Festlegung von Massnahmen, wie z.B. Nutzungsempfehlungen (vgl. Kap. 8.2).

Hinweis zur Gefährdung nach Lebensmittelrecht

Eine Gefährdung nach bodenrechtlichen Belangen ist immer dann konkret, wenn sie sich nach gewöhnlichem Lauf der Dinge früher oder später tatsächlich verwirklicht, d.h. ein Schaden an Gesundheit und Umwelt eintritt.

Der Begriff Gefährdung wird im Lebensmittelrecht in analoger Weise für den Gesundheitsbereich gehandhabt; so kann beispielsweise von einer Gefährdung beim Vorliegen einer Grenzwertüberschreitung gesprochen werden (vgl. Art. 10 und Art. 47 Lebensmittelgesetz). Eine Grenzwertüberschreitung bedeutet nach Art. 2 FIV in jedem Fall, dass das fragliche Lebensmittel für den Verzehr nicht geeignet ist.

Werden Toleranzwerte überschritten, so besteht allerdings keine Gesundheitsgefährdung. Der Begriff «Gefährdung» nach diesem Handbuch bedeutet dann, dass auf dem fraglichen Boden keine rechtskonformen Lebensmittel der diesbezüglichen Kultur erzeugt werden können.

Tabelle 10: Gefährdungskategorien für den Nahrungspflanzenanbau.

Belastung	Gefährdungskategorie
$c_{gemessen} < \frac{c_{unbelastet} + c_{Höchstwert}}{2}$	keine Gefährdung
$\frac{c_{unbelastet} + c_{Höchstwert}}{2} \leq c_{gemessen} < c_{Höchstwert}$	konkrete Gefährdung möglich
$c_{gemessen} \geq c_{Höchstwert}$	konkrete Gefährdung

c = Konzentration, Bezug auf Frischgewicht. Angaben zu $c_{unbelastet}$ finden sich in Tabelle 11.

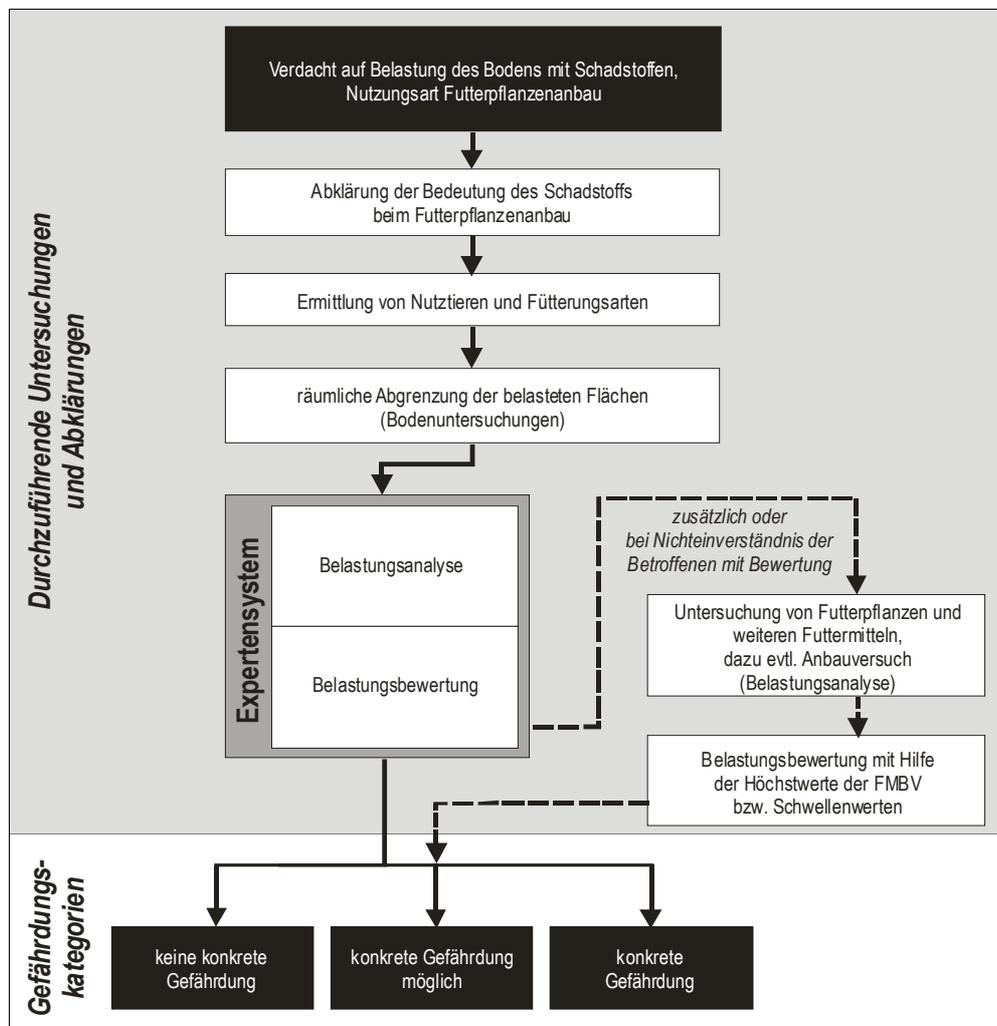
Tabelle 11: Stoffgehalte von unbelasteten Nahrungspflanzen (mg/kg Frischgewicht).

Nahrungspflanze	As	Cd	Co	Cr	Cu	F	Hg	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	Tl	Zn
<i>Getreide</i>															
Gerste (Korn)	0.07	0.04	0.05	0.26	4.4	2.6	0.02	0.5	0.4	0.08	0.02	0.04	0.2	0.04	35
Hafer (Korn)	0.10	0.05	0.08	0.39	6.5	2.6	0.03	0.8	0.7	0.16	0.03	0.05	0.3	0.05	52
Roggen (Korn)	0.03	0.03	0.03	0.13	2.2	2.6	0.01	0.3	0.2	0.08	0.01	0.02	0.1	0.02	17
Weizen (Korn)	0.10	0.05	0.08	0.39	6.5	2.6	0.03	0.8	0.7	0.16	0.03	0.05	0.3	0.05	52
<i>Wurzel- und Knollengemüse</i>															
Karotte (Möhre, Karotte)	0.01	0.01	0.010	0.05	0.9	0.4	0.004	0.1	0.09	0.02	0.004	0.007	0.04	0.007	7
Kartoffel	0.02	0.009	0.010	0.07	1.1	0.7	0.004	0.1	0.1	0.03	0.004	0.009	0.04	0.009	9
Knollensellerie	0.01	0.007	0.010	0.05	0.8	0.3	0.003	0.1	0.08	0.02	0.003	0.007	0.03	0.007	7
Kohlrabi	0.01	0.003	0.005	0.02	0.4	0.2	0.002	0.05	0.04	0.01	0.002	0.003	0.02	0.003	3
Rettich	0.01	0.003	0.004	0.02	0.4	0.2	0.001	0.04	0.04	0.01	0.001	0.003	0.01	0.003	3
Radieschen	0.01	0.002	0.004	0.02	0.3	0.2	0.001	0.04	0.03	0.01	0.001	0.002	0.01	0.002	3
Rote Rübe (Rande)	0.01	0.004	0.007	0.03	0.6	0.3	0.002	0.07	0.06	0.01	0.002	0.004	0.02	0.004	4
Schwarzwurzel	0.01	0.008	0.006	0.03	0.5	0.6	0.002	0.06	0.05	0.03	0.002	0.004	0.02	0.008	4
<i>Zwiebelgewächse</i>															
Lauch (Porree)	0.01	0.007	0.010	0.05	0.8	0.3	0.003	0.1	0.08	0.02	0.003	0.007	0.03	0.007	7
Zwiebel	0.01	0.002	0.004	0.02	0.3	0.4	0.001	0.04	0.03	0.01	0.001	0.002	0.01	0.002	2
<i>Fruchtgemüse</i>															
Aubergine	0.01	0.001	0.002	0.02	0.2	0.2	0.001	0.04	0.02	0.01	0.001	0.001	0.01	0.001	1
Gurke	0.01	0.001	0.001	0.01	0.1	0.1	0.001	0.01	0.01	0.01	0.001	0.001	0.01	0.001	1
Kürbis	0.01	0.002	0.003	0.01	0.2	0.3	0.001	0.03	0.02	0.01	0.001	0.002	0.01	0.002	2
Paprikafrüchte (Peperoni)	0.01	0.002	0.003	0.01	0.2	0.3	0.001	0.03	0.02	0.01	0.001	0.002	0.01	0.002	2
Tomate	0.01	0.001	0.002	0.01	0.2	0.2	0.001	0.02	0.02	0.01	0.001	0.001	0.01	0.001	2
Zucchini (Zucchetti)	0.01	0.001	0.002	0.01	0.1	0.2	0.001	0.02	0.01	0.01	0.001	0.001	0.01	0.001	1
Zuckermais (Speisemais)	0.01	0.005	0.008	0.04	0.6	0.8	0.003	0.08	0.06	0.02	0.003	0.005	0.03	0.005	5
<i>Blattgemüse</i>															
Blumenkohl	0.01	0.003	0.005	0.02	0.4	0.2	0.002	0.05	0.04	0.01	0.002	0.003	0.02	0.003	3
Broccoli	0.01	0.004	0.003	0.02	0.3	0.3	0.001	0.03	0.03	0.01	0.001	0.002	0.01	0.004	2
Brunnenkresse	0.01	0.004	0.006	0.03	0.5	0.2	0.002	0.06	0.05	0.01	0.002	0.004	0.02	0.004	4
Chinakohl	0.01	0.002	0.003	0.02	0.3	0.2	0.001	0.03	0.03	0.01	0.001	0.002	0.01	0.002	2
Endivie	0.01	0.004	0.005	0.03	0.5	0.2	0.002	0.05	0.05	0.01	0.002	0.004	0.02	0.004	4
Feldsalat (Nüsslisalat)	0.01	0.004	0.006	0.03	0.5	0.2	0.002	0.06	0.05	0.01	0.002	0.004	0.02	0.004	4
Gartenkresse	0.02	0.008	0.010	0.06	1.0	0.4	0.004	0.2	0.1	0.02	0.004	0.008	0.04	0.008	8
Grünkohl (Braunkohl)	0.01	0.006	0.008	0.04	0.7	0.4	0.003	0.08	0.07	0.02	0.003	0.006	0.03	0.008	6
Kopfsalat	0.01	0.003	0.005	0.02	0.4	0.2	0.002	0.05	0.04	0.01	0.002	0.003	0.02	0.003	3
Lollo rosso	0.01	0.006	0.009	0.05	0.8	0.3	0.003	0.09	0.08	0.02	0.003	0.006	0.03	0.006	6
Mangold	0.01	0.005	0.007	0.04	0.6	0.2	0.002	0.07	0.06	0.01	0.002	0.005	0.02	0.005	5
Rosenkohl	0.01	0.003	0.005	0.02	0.4	0.5	0.002	0.05	0.04	0.02	0.002	0.003	0.02	0.003	3
Rotkohl (Blaukraut)	0.01	0.003	0.005	0.02	0.4	0.2	0.002	0.05	0.04	0.01	0.002	0.003	0.02	0.003	3
Spinat	0.01	0.005	0.007	0.04	0.6	0.2	0.002	0.07	0.06	0.01	0.002	0.005	0.02	0.005	5
Weisskohl (Weisskraut)	0.01	0.003	0.005	0.02	0.4	0.2	0.002	0.05	0.04	0.01	0.002	0.003	0.02	0.003	3
Wirsingkohl (Savoyerkohl)	0.01	0.004	0.006	0.03	0.5	0.3	0.002	0.06	0.05	0.01	0.002	0.004	0.02	0.004	4
<i>Stängelgemüse</i>															
Stangensellerie (Bleichsellerie)	0.01	0.004	0.002	0.01	0.2	0.2	0.001	0.02	0.02	0.01	0.001	0.001	0.01	0.003	1
<i>Hülsen-/Schotenfrüchte</i>															
Bohnen	0.01	0.002	0.003	0.02	0.3	0.3	0.001	0.03	0.03	0.01	0.001	0.002	0.01	0.002	2
Erbсен	0.01	0.005	0.007	0.04	0.6	0.7	0.002	0.07	0.06	0.01	0.002	0.005	0.02	0.005	5
Raps	0.01	0.002	0.003	0.02	0.3	0.3	0.001	0.03	0.03	0.01	0.001	0.002	0.01	0.006	2
<i>Obst</i>															
Beerenobst allgem.	0.01	0.003	0.004	0.02	0.3	0.4	0.001	0.04	0.03	0.01	0.001	0.003	0.01	0.003	3
Kernobst allgemein	0.01	0.003	0.005	0.02	0.4	0.5	0.002	0.05	0.04	0.01	0.002	0.003	0.02	0.003	3
Steinobst allgemein	0.01	0.003	0.005	0.02	0.4	0.5	0.002	0.05	0.04	0.01	0.002	0.003	0.02	0.003	3

Angaben zusammengestellt aus IPE 1994, BLUME 1992, WENK et al. 1997, DELSCHEN & KÖNIG 1998, GISI et al. 1990; Umrechnung von Trockensubstanz auf Frischgewicht unter Verwendung der Wassergehalte von Nutzpflanzen in BUWAL 1997a, S. 95 ff.

5 Gefährdungsabschätzung beim Futterpflanzenanbau

Abb. 5: Das Vorgehen in der Gefährdungsabschätzung beim Futterpflanzenanbau. [FMBV: Futtermittelbuch-Verordnung; SR 916.307.1].



5.1 Expertensystem «Futterpflanzenanbau»

5.1.1 Grundlagen

Das Expertensystem «Futterpflanzenanbau» ermöglicht eine vereinfachte Analyse der Gefährdung in diesem Bereich. Es ist ausgelegt auf Schadstoffkonzentrationen zwischen Prüf- und Sanierungswert (Prüfwertbereich) und ist nur dort anzuwenden.

Das Expertensystem berücksichtigt folgende Faktoren, welche auf den Schadstofftransfer Boden (→ Pflanze) → Nutztier einwirken:

- Anteil der direkten oralen Aufnahme bzw. Verunreinigungen je nach Futter mit Boden;
- stoffspezifische Eigenschaften des Schadstoffs;

- Bodeneigenschaften, d.h pH-Wert, Gehalt an organischer Substanz und Ton;
- unterschiedliches Aufnahmeverhalten von Futterpflanzenarten;
- unterschiedliche Empfindlichkeit von Nutztieren.

FMBV-Höchstgehalte

Grundlage für die Bewertung der Schadstoffgehalte in Futterpflanzen sind die Höchstgehalte nach FMBV (vgl. Tab. 12 und Kap. 5.2.2). Zusätzlich können kritische Werte für Tierfutter nach BLUME (1992) als Orientierung bei Elementen herangezogen werden, für welche die FMBV keine Höchstgehalte vorschreibt. Dasselbe gilt für Einzelfuttermittel bei Elementen, für welche die FMBV nur Höchstgehalte für das gesamte Futter vorschreibt.

Tabelle 12: Ausgewählte FMBV-Höchstgehalte (Stand: Juli 2004) und kritische Werte für Tierfutter (vgl. BLUME 1992).

Stoff	FMBV-Höchstgehalt	Kritische Werte für Tierfutter nach BLUME (1992)
	[mg/kg bei 88% Trockensubstanz]	[mg/kg Trockensubstanz]
As	2	–
Cd	1	–
Cr	–	50–3000
Co	2*	10–50
Cu	• Rinder (raufutterverzehrend): 35* • Schafe: 15*	30–100
F	150	–
Hg	0.1	–
Mo	2.5*	10–58
Ni	–	50–60
Pb	40 (Grünfutter)	–
Se	0.5*	4–5
Tl	–	1–5
Zn	150*	300–1000
Summe PCDD/F [ng TEQ nach WHO]	0.75	–

* Höchstgehalt für das gesamte Futter. TEQ = Toxizitätsäquivalente, vgl. Anhang 2G. Bei den FMBV-Werten wurden – wenn vorhanden – die Werte für Einzelfuttermittel eingesetzt, die am häufigsten relevant sein dürften. Es sind jeweils die Angaben in der aktuellsten Fassung der FMBV zu beachten. Wenn die kritischen Werte nach BLUME (1992) zur Orientierung herangezogen werden, so ist in der Regel der untere Wert der angegebenen Spannweite zu verwenden.

Weil bei organischen Schadstoffen die Belastung von Pflanzen oft zu einem erheblichen Teil über atmosphärische Deposition erfolgt (BLUME 1992, BUWAL 1997b, DELSCHEN *et al.* 1999, SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2002) und die Datenlage zum Transfer Boden–Pflanze nicht ausreicht, ist das Expertensystem in seiner Gesamtheit auf anorganische Schadstoffe beschränkt. Die Gefährdung, welche von der direkten oralen Aufnahme bzw. von Verunreinigungen mit Boden ausgeht, kann jedoch auch für organische Schadstoffe berechnet werden, wenn die FMBV für den betreffenden Stoff Höchstgehalte vorschreibt. Dieser Anteil ist unabhängig vom Transfer Boden–Pflanze und dürfte in den meisten Fällen den grösseren Teil der Schadstoffaufnahme von Nutztieren ausmachen.

5.1.2 Belastungsanalyse

Das Expertensystem verwendet ein Punktesystem zur Bewertung. Den einzelnen Einflussfaktoren (Bodenanteil, Belastung, Mobilität, Pflanzenart und Toxizität) werden dabei Punkte zugewiesen, welche zu einer Gesamtpunktzahl (*Gefährdungspunkte G*) addiert werden. Die Gefährdung steigt mit der Punktzahl an.

Gefährdungspunkte G

Berechnung der Gefährdungspunkte:

$$G = E + B + M + P + T \quad (\text{F5.1})$$

<i>G</i>	<i>Gefährdungspunkte;</i>
<i>E</i>	<i>Bodenanteilfaktor;</i>
<i>B</i>	<i>Belastungsfaktor für Transfer Boden–Pflanze (Wurzelaufnahme; zwischen 0 und 8 Punkten);</i>
<i>M</i>	<i>Mobilitätsfaktor (zwischen 0 und 6 Punkten);</i>
<i>P</i>	<i>Pflanzenartfaktor (zwischen 0 und 2 Punkten);</i>
<i>T</i>	<i>Korrekturfaktor (zwischen 0 und 4 Punkten).</i>

Der Bodenanteilfaktor E berücksichtigt die Belastung, welche bei der betreffenden Fütterung durch die direkte orale Bodenaufnahme bzw. durch Verunreinigungen mit Boden verursacht wird. Die Faktoren B, M, P und T beziehen sich auf den Transfer Boden–Pflanze (Wurzelaufnahme).

Der Anteil der Wurzelaufnahme ist im Vergleich zur direkten oralen Bodenaufnahme bzw. zu Verunreinigungen mit Boden bei den Elementen Cd, Cu und Zn relevant bzw. überwiegt sogar (vgl. Anh. 9B).

Bei den Elementen As, Pb, Cr, Ni und Hg ist der Anteil der Wurzelaufnahme dagegen in aller Regel vernachlässigbar. Für die Gefährdungsabschätzung ist deshalb nur der Bodenanteilfaktor E zu berechnen. Die anderen Faktoren werden in diesen Fällen gleich 0 gesetzt.

Bei weiteren Elementen (z.B. F, Co, Mo, Se) ist der Transfer Boden–Pflanze weniger gut untersucht. Bei ihnen werden die Gefährdungspunkte mit einem vereinfachten Verfahren berechnet (vgl. Gleichung F5.4).

Die einzelnen Faktoren werden wie folgt bestimmt:

Bodenanteilfaktor E

Berechnung des Bodenanteilfaktors E:

$$E = 8 \times \frac{C_{\text{Boden}}}{HG} \times \frac{d}{100} \quad (\text{F5.2})$$

<i>E</i>	<i>Bodenanteilfaktor (Punkte);</i>
<i>C_{Boden}</i>	<i>Schadstoffbelastung des Bodens ([mg/kg]; «Totalgehalt» nach VBBö);</i>
<i>HG</i>	<i>Höchstgehalt des Futtermittels (in der Regel Wert für Einzelfuttermittel) für das betreffende Nutztier nach FMBV ([mg/kg]; vgl. Tab. 12);</i>
<i>d</i>	<i>Anteil an direkter oraler Bodenaufnahme/Verunreinigung mit Boden der betreffenden Fütterung, in Prozent des Gesamtverzehrs (vgl. Tab. 13).</i>

Wo die FMBV sowohl für Alleinfuttermittel als auch für Einzelfuttermittel Höchstgehalte angibt, ist in der Regel der Höchstgehalt für Einzelfuttermittel zu verwenden. Das Futter von der belasteten Fläche macht nämlich im Normalfall nur einen Teil des Gesamtfutters aus, womit die Anforderungen jenen an ein Einzelfuttermittel entsprechen.

Im Expertensystem sollte für den Faktor d (Bodenaufnahme, vgl. Tab. 13) der Mittelwert bei der Bedingung «Boden trocken» eingesetzt werden, weil dies der Normalfall ist. Die Höchstgehalte der FMBV sind auf die langfristige Stoffaufnahme ausgelegt, und eine kurzfristig höhere Aufnahme bei nassen Bedingungen stellt kein unmittelbares Problem dar. Berechnungen der Gefährdung mit der Bedingung «Boden nass» sollten aber durchgeführt werden, um dem Landwirt allenfalls Empfehlungen zum Zeitpunkt der Ernte bzw. des Weidens von Nutztieren geben zu können.

Tabelle 13: Anteil der Bodenaufnahme durch Nutztiere (d) – direkt beim Weiden bzw. durch Verunreinigungen des Ernteguts mit Boden.*

Kultur	Bodenaufnahme (d) direkt bzw. durch Verunreinigungen mit Bodenpartikeln [in % des Verzehrs; TS]				Maximaler Anteil der Futterpflanzen an Gesamtnahrung über längere Zeit [%]	
	Rind		Schaf		Rind	Schwein
	Bedingungen beim Weiden / bei Ernte					
	Boden trocken	Boden nass	Boden trocken	Boden nass		
Direktverzehr (Weiden, Wiesenfutter)	0–5	5–10	10–15	20–30	100	–
Mähgut/Grassilage	0–5	10–15	0–5	10–15	–	–
Heu	0–3	5–10	0–3	5–10	100	–
	Verunreinigung der Ernte mit Bodenpartikeln: Anteil Boden (d) [% der Ernte-TS]					
Futtergetreide (ohne Ackerbohnen):	0				40	80
• Gerste	0				–	40
• Hafer	0				–	–
• Weizen	0				–	40
• Körnermais	0				–	30
Ackerbohnen Eiweisserbsen	gering (ca. 0–2)				15	20
Futterrüben	10				30	40
Kartoffeln	gering (ca. 0–2)				20	30
Mais ganze Pflanze	gering (ca. 0–2)				80	15

* Zusammengestellt auf Grund von Angaben der Forschungsanstalt für Nutztiere (AGROSCOPE ALP POSIEUX). Die Zahlen beziehen sich auf den tatsächlich durch Nutztiere aufgenommenen Anteil. Der Anteil im Futter kann in Einzelfällen höher sein. Futteranteile mit besonders hoher Verunreinigung werden dann aber von den Nutztieren oft nicht verzehrt, sondern liegen gelassen. Hinweise auf die Bodenaufnahme von Schafen geben auch ABRAHAMS & STEIGMAJER (2003). Die beiden rechten Spalten sind für die detaillierte Gefährdungsabschätzung bei der Verwendung von Schwellenwerten wichtig (vgl. Anh. 4).

Belastungsfaktor B für Transfer Boden–Pflanze (Wurzelaufnahme)

Der Belastungsfaktor B wird wie folgt berechnet:

$$B = 8 \times \frac{C_{\text{Boden}} - PW}{SW - PW} \quad (\text{F5.3})$$

- B* Belastungsfaktor für Transfer Boden–Pflanze (Wurzelaufnahme);
- C_{Boden}* Schadstoffbelastung des Bodens ([mg/kg]; «Totalgehalt» nach VBBo);
- PW* Prüfwert für Futterpflanzenanbau nach VBBo [mg/kg];
- SW* Sanierungswert Landwirtschaft und Gartenbau nach VBBo [mg/kg].

In den meisten Fällen stammt die Belastung der Nutztiere überwiegend von der direkten oralen Bodenaufnahme bzw. von Verunreinigungen mit Boden. Dieser Anteil allein bewirkt bei einem Bodenanteilmfaktor von ≥ 8 , dass das Futter von der belasteten Fläche einen höheren Schadstoffgehalt aufweist als nach Höchstgehalt der FMBV noch zulässig wäre. Eine Zuordnung zur Gefährungskategorie «konkrete Gefährdung» ist dann unvermeidlich (vgl. Belastungsbewertung).

Entspricht die Schadstoffbelastung dem Prüfwert, so ist $B = 0$. Beim Sanierungswert ist $B = 8$. Dazwischen steigt der Belastungsfaktor linear an.

Mobilitätsfaktor M

Der Mobilitätsfaktor wird in derselben Weise ermittelt wie beim Expertensystem für Nahrungspflanzenanbau (vgl. Kap. 4.1.2).

Pflanzenartfaktor P

Aus Tabelle 14 können die Pflanzenartfaktoren für verschiedene Futterpflanzenarten entnommen werden. Sind in dieser Tabelle keine Angaben zur betreffenden Pflanzenart enthalten und können keine Daten aus anderen Quellen ermittelt werden, so ist eine mittlere Schadstoffaufnahme durch Pflanzen anzunehmen. Zusätzlich sollte dann die Auswirkung einer hohen Pflanzenaufnahme auf das Resultat der Gefährdungsabschätzung überprüft werden.

Schadstoffaufnahme durch Pflanzen

Tabelle 14: Pflanzenartfaktoren für Futterpflanzenarten und anorganische Schadstoffe.

Futterpflanze	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	Tl	Zn
Gerste (Korn)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Gras allgemein	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hafer (Korn)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Kartoffel	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Luzerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Mais (Körner)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Roggen (Korn)	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Weizen (Korn)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Zuckerrübe (Blatt)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

0 = Aufnahme niedrig 1 = Aufnahme mittel 2 = Aufnahme hoch
 Daten zusammengestellt aus BLUME (1992), IPE (1994), WENK *et al.* (1997), DELSCHEN & KÖNIG (1998).
 Bei unterschiedlichen Angaben in der genannten Literatur wurde jeweils der höhere Wert eingesetzt.

Korrekturfaktor T

Die Gefährdung durch einen Stoff hängt nicht nur von seinem Transfer in die Pflanzen ab, sondern auch von seiner Toxizität für das Nutztier. Aus diesem Grund wird durch den Korrekturfaktor T ein Bezug hergestellt zwischen der von den Pflanzen aufgenommenen Schadstoffmenge und den Höchstgehalten der FMBV (vgl. Kap. 4.2.2). Die Höchstgehalten sind ein Mass für die Toxizität von Stoffen. Für Cd, Cu und Zn wurde der Korrekturfaktor T anhand einer grossen Zahl gemessener Schadstoffkonzentrationen in Böden und Pflanzen mit Hilfe statistischer Verfahren ermittelt (vgl. Anh. 9B).

Tabelle 15: Korrekturfaktoren T für anorganische Schadstoffe (Futterpflanzenanbau).

Element	Cd	Cu	Zn
Korrekturfaktor T*	3	0	1

* Korrekturfaktor T mit Hilfe statistischer Verfahren ermittelt.

Vereinfachte Belastungsanalyse für weitere Schadstoffe

**Vereinfachtes Verfahren
für F, Co, Mo, Se**

Wo die FMBV zwar Höchstgehalten vorschreibt, der Transfer Boden–Pflanze aber weniger gut untersucht ist (z.B. F, Co, Mo, Se), können die Gefährdungspunkte G mit Hilfe der folgenden Gleichung berechnet werden:

$$G = E + \left[8 \times \frac{C_{\text{Boden}}}{HG} \times TK \right] \quad (\text{F5.4})$$

- G* Gefährdungspunkte;
E Bodenanteilfaktor (Punkte), berechnet nach Gleichung (F5.2);
C_{Boden} Schadstoffbelastung des Bodens ([mg/kg]; «Totalgehalt» nach VBBo);
HG Höchstgehalt des Futtermittels nach FMBV (in der Regel Wert für Einzelfuttermittel) für das betreffende Nutztier ([mg/kg]; vgl. Tab. 12);
TK Transferkoeffizient Boden–Pflanze (Beispiele in Tab. 16).

Der Transferkoeffizient Boden–Pflanze kann lediglich als relativ breite Spanne angegeben werden (vgl. Tab. 16). Für eine grobe Abschätzung der Belastung ist zunächst ein mittlerer Wert für den Transferkoeffizienten in Gleichung (F5.4) einzusetzen. Zusätzlich sind die Auswirkungen eines hohen Transferkoeffizienten zu prüfen.

Tabelle 16: Transferkoeffizienten Boden–Pflanze bei F, Co, Mo und Se.

Element	F	Co	Mo	Se
Transferkoeffizient Boden–Pflanze	0.01–0.1	0.01–0.1	0.1–10	0.1–10

Angaben nach BLUME (1992).

5.1.3 Belastungsbewertung

**Gefährdungs-
kategorien**

Den mit Hilfe von Gleichung (F5.1) bzw. (F5.4) ermittelten Gefährdungspunkten werden nach Tabelle 17 Gefährdungskategorien zugeordnet.

Tabelle 17: Gefährdungskategorien des Expertensystems für Futterpflanzenanbau.

Gefährdungspunkte $G = E + B + M + P + T$	<5	5–8	≥8
Gefährdungskategorien für: As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, Co*, F*, Mo*, Se*	keine Gefährdung	konkrete Gefährdung möglich	konkrete Gefährdung

* Unsicherheiten der Gefährdungsabschätzung sind grösser einzuschätzen als bei den anderen Elementen, weil die Aufnahme dieser Elemente durch Pflanzen weniger gut untersucht bzw. das Verhalten der Elemente im Boden sehr komplex ist (v.a. bei Mo und Se durch verschiedene Oxidationsstufen).

Ein Fallbeispiel zur Anwendung dieses Expertensystems findet sich in Anhang 1B. Zur erleichterten Handhabung steht für die Nutzungsart «Futterpflanzenanbau» eine vorgefertigte Tabellenkalkulation zur Verfügung.⁴

5.2 Detailliertere Gefährdungsabschätzung beim Futterpflanzenanbau

Für detailliertere Untersuchungen beim Futterpflanzenanbau wird grundsätzlich empfohlen, eine landwirtschaftliche Fachperson beizuziehen.

5.2.1 Belastungsanalyse

**Untersuchung
der Futterpflanzen**

Der Schadstoffgehalt der Futterpflanzen, welche von den belasteten Flächen stammen, muss ermittelt werden. Auf Mähwiesen, Weiden und Mähweiden kann der Schadstoffgehalt der dort gewachsenen Futterpflanzen analysiert werden. Bei Ackerflächen, die der Futtermittelproduktion dienen, muss die Fruchtfolge berücksichtigt werden. Dies kann die Durchführung eines Anbauversuchs mit Futterpflanzen erfordern, welche auf der betroffenen Fläche kultiviert werden (vgl. Anh. 3).

Bei Futterpflanzen, welche in Verkehr gebracht werden, muss die Probenahme nach den gesetzlichen Vorgaben in Anhang 9 FMBV erfolgen. Dasselbe wird auch für andere Fälle empfohlen.

Für die Analyse von Futterpflanzen werden folgende Methoden angewendet:

- Referenzmethoden der landw. Forschungsanstalten (AGROSCOPE FAL 1995);
- Methodenbuch für Untersuchungen von Boden, Pflanzen und Lysimeterwasser (AGROSCOPE FAL 1998).

⁴ vgl. Excel-Format: www.umwelt-schweiz.ch/themen/boden/vollzug_bodenschutz/vollzug_der_vbbo/handbuch_gefaehrungsabschaetzung_boden.

**Belastung durch
eine Futterpflanze**

Berechnungen der Belastung einzelner Schadstoffe

Ausgehend vom Schadstoffgehalt des Bodens und der Futterpflanzen wird die Belastung der betroffenen Nutztierarten ermittelt. Dies erfordert eine Zusammenführung der Wirkungspfade beim Futterpflanzenanbau (vgl. Tab. 2, Kap. 3.3.2) nach folgender Vorschrift (vereinfacht nach BUWAL 1997a; 1998):

$$B_i = d_i * C_{\text{Boden}} + C_{\text{Futterpflanze}} \quad (\text{F5.5})$$

- B_i Belastung der Nutztierart durch die Futterpflanze i [mg/kg TS];
 d_i Anteil an direkter oraler Bodenaufnahme/Verunreinigung mit Boden der Futterpflanze i (vgl. Tab. 13).
 C_{Boden} Schadstoffbelastung des Bodens ([mg/kg]; «Totalgehalt» nach VBBo).
Übliche Probenahmetiefe: 0–5 cm, bei Verunreinigungen mit Boden von tiefer wurzelnden Pflanzen (Erntegut wie Rüben): 0–20 cm;
 $C_{\text{Futterpflanze}}$ Schadstoffgehalt der Futterpflanze [mg/kg TS].

Diese Berechnungen werden für jede betroffene Nutztierart und jeden einzelnen Schadstoff durchgeführt.

Wurzelaufnahme

Hinweise zum Einfluss der Wirkungspfade

Wenn das betroffene Nutztier vor allem über den Wirkungspfad «Wurzelaufnahme» (über die Futterpflanzen selbst) exponiert wird, d.h., wenn d_i in Gleichung (F5.5) klein ist, so beeinflussen die Bodeneigenschaften die Gefährdung. Bei anorganischen Schadstoffen deutet dann v.a. ein tiefer pH-Wert bzw. ein hoher löslicher Gehalt auf eine erhöhte Gefährdung hin. Bei hohem Kalkgehalt oder hoher Kationenaustauschkapazität besteht wegen guter Puffer- bzw. Sorptionseigenschaften des Bodens eine geringere in der Zukunft mögliche Gefährdung.

**Direkte orale
Bodenaufnahme**

Wenn das betroffene Nutztier vor allem über direkte orale Bodenaufnahme exponiert wird, d.h., wenn d_i in Gleichung (F5.5) gross ist, so beeinflusst v.a. der Totalgehalt nach VBBo die Gefährdung.

5.2.2 Belastungsbewertung

**Verordnungen
zu Futtermitteln**

Für Futtermittel gilt die FMV und die FMBV. Dabei enthält Anhang 2 FMBV Höchstgehalte für zugelassene Zusatzstoffe in Futtermitteln (z.B. für Co, Cu, Mo, Se, Zn), die aber in hohen Konzentrationen problematisch für Nutztiere sein können.

Anhang 10 FMBV enthält Höchstgehalte für unerwünschte Stoffe in Futtermitteln. Höchstgehalte sind festgelegt für Futtermittel, welche in Verkehr gebracht werden. Sie können aber auch zur Beurteilung von nicht in Verkehr gebrachten Futtermitteln angewendet werden.

Gefährdungskategorien

Die Einordnung in eine Gefährdungskategorie erfolgt nach Tabelle 18. Eine Überschreitung des Höchstgehalts der FMBV bewirkt dabei eine Einteilung in die Kategorie «konkrete Gefährdung». Die Kategorie «konkrete Gefährdung möglich» wird ab jenem Wert zugewiesen, welcher den Mittelwert zwischen einer unbelasteten Futterpflanze ($c_{\text{unbelastet}}$) und dem Höchstgehalt überschreitet (deutlich erhöhte Konzentration). Schadstoffgehalte von Pflanzen in unbelasteten Gebieten sind in Tabelle 19 aufgelistet.

Tabelle 18: Gefährdungskategorien für Futterpflanzenanbau.

Belastung der Futterpflanze	Gefährdungskategorie
$c_{\text{gemessen}} < \frac{c_{\text{unbelastet}} + c_{\text{Höchstwert}}}{2}$	keine Gefährdung
$\frac{c_{\text{unbelastet}} + c_{\text{Höchstwert}}}{2} \leq c_{\text{gemessen}} < c_{\text{Höchstwert}}$	konkrete Gefährdung möglich
$c_{\text{gemessen}} \geq c_{\text{Höchstwert}}$	konkrete Gefährdung

c = Konzentration, Bezug auf Trockensubstanz. Angaben zu $c_{\text{unbelastet}}$ finden sich in Tabelle 19.

Tabelle 19: Stoffgehalte von unbelasteten Futterpflanzen. (mg/kg Trockensubstanz)

Futterpflanzen	As	Cd	Co	Cr	Cu	F	Hg	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	Tl	Zn
Gerste (Korn)	0.08	0.05	0.06	0.29	4.8	2.9	0.02	0.6	0.5	0.1	0.02	0.04	0.2	0.04	38
Gras allgemein	0.01	0.01	0.01	0.03	0.5	0.3	0.001	0.01	0.1	0.1	0.01	0.01	0.01	0.02	4
Hafer (Korn)	0.11	0.06	0.09	0.43	7.2	2.9	0.03	0.9	0.8	0.2	0.03	0.06	0.3	0.06	58
Kartoffel	0.08	0.04	0.04	0.29	4.5	2.9	0.017	0.4	0.4	0.4	0.04	0.04	0.17	0.04	37
Luzerne	0.01	0.01	0.01	0.03	0.5	0.3	0.001	0.01	0.1	0.1	0.01	0.01	0.01	0.02	4
Mais (Körner)	0.04	0.04	0.04	0.17	2.5	3.3	0.004	0.04	0.4	0.4	0.08	0.04	0.04	0.12	21
Roggen (Korn)	0.03	0.03	0.03	0.14	2.4	2.9	0.01	0.3	0.2	0.1	0.01	0.02	0.1	0.02	19
Weizen (Korn)	0.11	0.06	0.09	0.43	7.2	2.9	0.03	0.9	0.8	0.2	0.03	0.06	0.3	0.06	58
Zuckerrübe (Blatt)	0.01	0.01	0.01	0.05	0.8	0.3	0.001	0.01	0.1	0.1	0.02	0.01	0.01	0.03	6

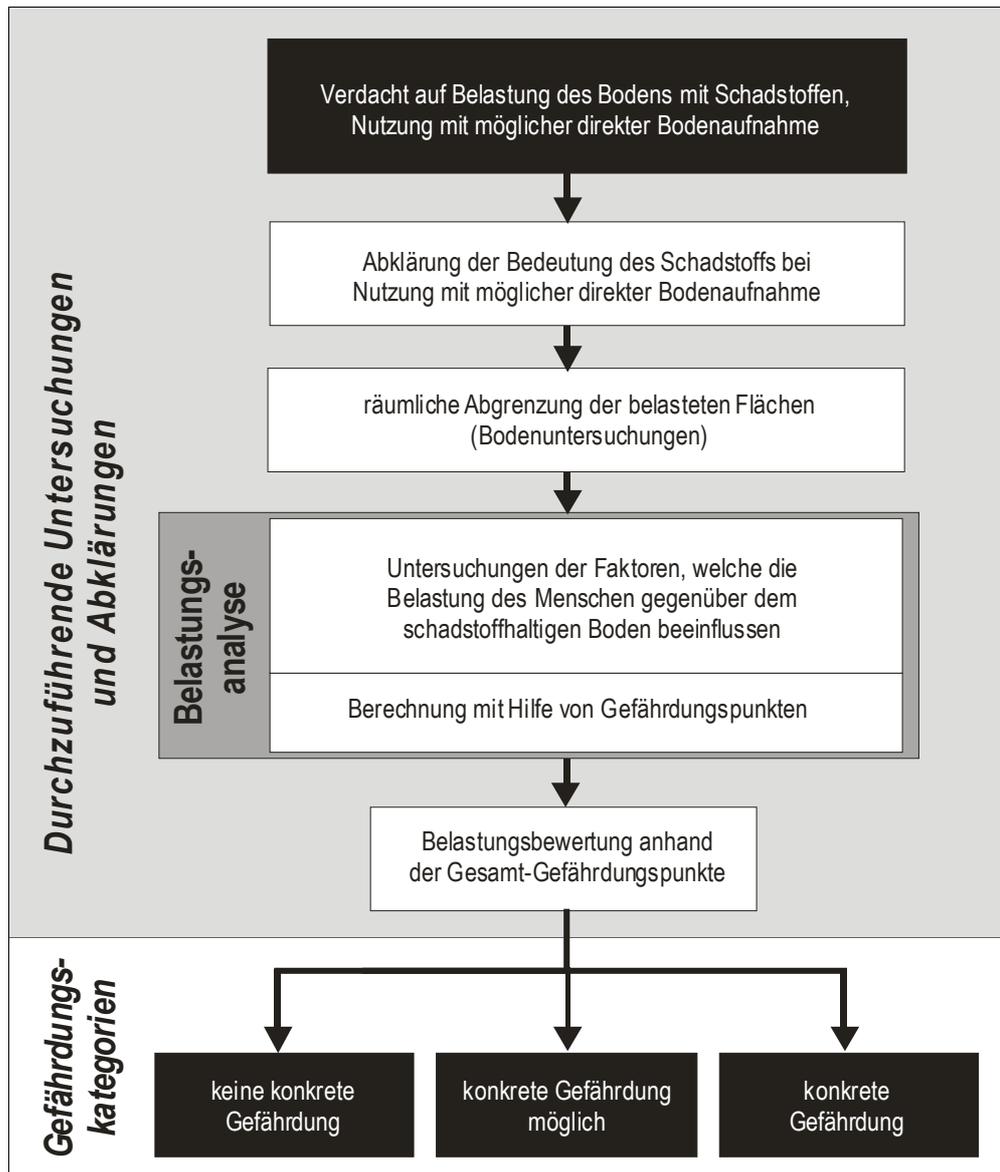
Werte zusammengestellt aus IPE (1994), BLUME (1992), WENK *et al.* (1997), DELSCHEN und KÖNIG (1998), GISI *et al.* (1990).

Die Gefährdung ist für jede untersuchte Pflanzenart und jeden relevanten Schadstoff zu beurteilen. Werte von Pflanzenarten, welche den Schadstoff unterschiedlich stark akkumulieren, sind nützlich für die Anordnung von Massnahmen, wie z.B. Nutzungsempfehlungen (vgl. Kap. 8.2).

Sind in der FMBV keine Höchstgehalte für den betreffenden Schadstoff vorgeschrieben und keine entsprechenden Bewertungskriterien zu beschaffen, so kann auf so genannte Schwellenwerte für Futtermittel zurückgegriffen werden (vgl. Anh. 4).

6 Gefährdungsabschätzung bei Nutzungen mit möglicher direkter Bodenaufnahme

Abb. 6: Das Vorgehen in der Gefährdungsabschätzung bei Nutzungen mit möglicher direkter Bodenaufnahme (detailliertere Gefährdungsabschätzung nicht enthalten, weil kaum möglich, vgl. Kap. 6.2).



6.1 Expertensystem «Nutzungen mit möglicher direkter Bodenaufnahme»

6.1.1 Grundlagen

Das Expertensystem «Nutzungen mit möglicher direkter Bodenaufnahme» ist ausgelegt auf Schadstoffkonzentrationen zwischen Prüf- und Sanierungswert (Prüfwertbereich) und nur dort anzuwenden. Es geht vom Totalgehalt des Schadstoffs im Boden aus, weil mit dem Boden auch dessen gesamte Schadstoffmenge aufgenommen wird.

Das Expertensystem berücksichtigt zudem folgende Faktoren, welche auf den Schadstofftransfer Boden → Mensch einwirken:

- Alter der Nutzenden einer belasteten Fläche;
- Nutzungshäufigkeit;
- Vegetationsbedeckung.

Das Expertensystem ist anwendbar bei Kinderspielplätzen und Gärten (Haus- und Familiengärten). Andere Nutzungen mit möglicher direkter Bodenaufnahme (z.B. Sportplätze, Grünflächen in Industriegebieten) müssen dagegen im Einzelfall beurteilt werden.

6.1.2 Belastungsanalyse

Untersuchung der örtlichen Verhältnisse

Zur Beurteilung der Belastung müssen die standörtlichen Verhältnisse erfasst werden, welche die Belastung des Menschen beeinflussen, die vom Schadstoffgehalt im Boden ausgeht:

- Grösse der belasteten Fläche;
- Grösse der gesamten genutzten Fläche;
- Nutzung, z.B. Kinderspielfläche (Kindergarten, Schulhaus, Spielplatz, Sportplatz, Park, Robinsonspielplatz, usw.), Haus- und Familiengärten;
- Nutzende, d.h. bestimmte oder unbestimmte Nutzende (offener oder geschlossener Personenkreis), Alter der Nutzenden (Kleinstkinder, Kleinkinder, Kinder, Jugendliche, Erwachsene);
- Nutzungshäufigkeit und -dauer;
- Vegetationsbedeckung (mit Deckungsgrad, Vergleichstafeln Anh. 6);
- Möglichkeit der Veränderungen des pflanzlichen Bewuchses;
- Zutrittsverbote, natürliche oder künstliche Hindernisse.

Zur Erhebung dieser Daten dient ein Erhebungsformular für Nutzungen mit möglicher direkter Bodenaufnahme (vgl. Anh. 7). Angaben, die nicht für das Expertensystem benutzt werden, sind für die Beurteilung von Randbedingungen nützlich (vgl. Kap. 8.1.2).

Gefährdungspunkte G

Das Expertensystem verwendet ein Punktesystem zur Bewertung. Den einzelnen Einflussfaktoren (Belastung, Alter der Nutzenden, Nutzungshäufigkeit und Vegetationsbedeckung) werden mit Hilfe der erhobenen Daten Punkte zugewiesen, welche zu einer Gesamtpunktzahl (Gefährdungspunkte G) addiert werden. Die Gefährdung steigt mit der Punktzahl an:

$$G = B + A + H + V \quad (\text{dB6.1})$$

- G* *Gefährdungspunkte;*
- B* *Belastungsfaktor (zwischen 0 und 5 Punkten);*
- A* *Altersfaktor (zwischen 0 und 3 Punkten);*
- H* *Häufigkeitsfaktor (zwischen 0 und 2 Punkten);*
- V* *Faktor Vegetationsbedeckung (zwischen 0 und 2 Punkten).*

Belastungsfaktor B

Faktor Belastung

Der Belastungsfaktor B bewertet den Einfluss der Schadstoffkonzentration im Boden. Entspricht die Schadstoffbelastung dem Prüfwert, so ist B = 0. Beim Sanierungswert ist B = 5. Dazwischen steigt der Belastungsfaktor linear an:

$$B = 5 \times \frac{C_{\text{Boden}} - PW}{SW - PW} \quad (\text{dB6.2})$$

- B* *Belastungsfaktor (Punkte);*
- C_{Boden}* *Schadstoffbelastung des Bodens ([mg/kg]; «Totalgehalt» nach VBBo);*
- PW* *Prüfwert für Nutzung mit möglicher direkter Bodenaufnahme nach VBBo [mg/kg];*
- SW* *Sanierungswert Kinderspielplätze bzw. Haus- und Familiengärten nach VBBo [mg/kg].*

Altersfaktor A

Faktor Alter

Kleinkinder sind bezüglich Schadstoffbelastungen besonders empfindlich, weil sie beim Spielen auf dem Boden durch Hand-Mund-Kontakt relativ viel Boden aufnehmen können. Erwachsene hingegen nehmen kaum noch Boden auf (allenfalls inhalativ) und haben zudem ein höheres Körpergewicht. Deshalb ist ihre Gefährdung entsprechend niedriger (vgl. Tab. 20).

Tabelle 20: Faktor Alter A.

Altersklasse	Alter	Altersfaktor A
Kleinstkinder	bis 3. Lebensjahr	2
Kleinkinder	>3.–6. Lebensjahr	1
Kinder	>6.–12. Lebensjahr	0
Jugendliche und Erwachsene	>12. Lebensjahr	0

Faktor Häufigkeit**Häufigkeitsfaktor H**

Je häufiger eine mit Schadstoffen belastete Fläche genutzt wird, desto höher ist die Gefährdung (vgl. Tab. 21). Als Nutzung ist dabei das Aufsuchen der Fläche zu werten.

Tabelle 21: Faktor Häufigkeit H.

Nutzungshäufigkeit	Häufigkeitsfaktor H
Mehr als zweimal pro Woche	2
Ein bis zweimal pro Woche	1
Weniger als einmal pro Woche	0

Faktor Vegetationsbedeckung**Faktor Vegetationsbedeckung V**

Die Belastung ist im Weiteren von der Bedeckung einer Fläche durch Vegetation abhängig. Eine deckende Pflanzenschicht senkt die Gefährdung, weil der Bodenkontakt eingeschränkt ist. Ein guter Schutz durch Vegetation tritt erst bei relativ hohem Deckungsgrad ein, denn Kinder spielen erfahrungsgemäss besonders gern auf unbedeckten Flächen. Es soll abgeschätzt werden, auf welchem Anteil der belasteten Fläche die Vegetation verhindert, dass Boden direkt erreicht werden kann (vgl. Tab. 22). Häufig ist der Boden auch unter Sträuchern und Bäumen erreichbar, sofern dort keine bodennahe Vegetation vorhanden ist. Hilfen zur Schätzung von Deckungsgraden bieten die Tafeln in Anhang 6.

Tabelle 22: Faktor Vegetationsbedeckung V.

Bedeckung	Deckungsgrad	Faktor Vegetationsbedeckung V
Schlecht deckend	<75 %	2
Mässig deckend	75–90 %	1
Gut deckend	>90 %	0

6.1.3 Belastungsbewertung

Die Gefährdungskategorie wird auf Grund der erreichten Gefährdungspunkte nach Tabelle 23 zugewiesen.

Tabelle 23: Gefährdungskategorien für direkte Bodenaufnahme.

Gefährdungspunkte $G = B + A + H + V$	<3	3–<5	≥5
Gefährdungskategorie bei Klein(st)kindern und Kindern (bis 11. Lebensjahr)	keine Gefährdung	konkrete Gefährdung möglich	konkrete Gefährdung
Gefährdungskategorie bei Jugendlichen und Erwachsenen (ab 12. Lebensjahr)	keine Gefährdung	konkrete Gefährdung möglich	konkrete Gefährdung möglich

Die Zuweisung der Gefährdungskategorien ist bei Jugendlichen und Erwachsenen anders als bei Kindern. Jugendlichen und Erwachsenen können sinnvoll Nutzungsempfehlungen vermittelt werden, die hier in der Regel ausreichen, um eine Gefährdung zu verhindern. Verbindliche Massnahmen wie Nutzungseinschränkungen, die bei der Gefährdungskategorie «*konkrete Gefährdung*» ergriffen werden müssten, sind dann nicht erforderlich.

Fallbeispiele zur Anwendung dieses Expertensystems finden sich für Kinderspielplätze in Anhang 1C und für Hausgärten in Anhang 1D. Zur erleichterten Handhabung steht für Nutzungen mit möglicher direkter Bodenaufnahme eine vorgefertigte Tabellenkalkulation zur Verfügung.⁵

6.2 Detailliertere Gefährdungsabschätzung bei Nutzungen mit möglicher direkter Bodenaufnahme

Im Gegensatz zu den Nutzungsarten Nahrungspflanzenanbau (vgl. Kap. 4) und Futterpflanzenanbau (vgl. Kap. 5) ist eine detailliertere Gefährdungsabschätzung bei Nutzungen mit möglicher direkter Bodenaufnahme nur schwer durchführbar. Dies liegt daran, dass Messungen der Belastung beim Menschen selbst, in diesem Fall bei Kindern, kaum möglich sind.

Anstelle des beschriebenen Expertensystems können jedoch Modelle eingesetzt werden, so z.B. das «*Modell UMS*» des UBA. Dabei ist auch die Berücksichtigung der Schwankungsbreite von Variablen und deren Unsicherheit möglich (sog. *Monte-Carlo-Simulationen*).

In BUWAL (2004) wird ein Überblick über quantitative Modelle zur Abschätzung der Gefährdung von Mensch und Umwelt gegeben. Es wird aber betont, dass ohne fundierte Kenntnisse, sorgfältige Prüfung der verwendeten Daten und Prüfung der Ergebnisse auf Plausibilität die Anwendung solcher Programme unsinnige Gefährdungsbewertungen ergeben kann. Die Ergebnisse von Modellrechnungen sind deshalb im Hinblick auf zu definierende Gütekriterien zur Durchführung einer quantitativen Gefährdungsbewertung kritisch zu prüfen.

⁵ vgl. Excel-Format: www.umwelt-schweiz.ch/themen/boden/vollzug_bodenschutz/vollzug_der_vbbo_handbuch_gefaehrungsabschaetzung_boden.

7 Vorgehen bei fehlenden Regelungswerten

Schadstoffe nach VBBo

Die VBBo schreibt Regelungswerte nur für häufig auftretende Schadstoffe vor, welche in Bezug auf die betreffenden Nutzungsarten eine Gefährdung darstellen können. Dies sind Pb, Cd, Cu, Zn, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), polychlorierte Biphenyle (PCB) und Dioxine/Furane (PCDD/F). Selbst für diese Schadstoffe sind in der VBBo nicht alle Regelungswerte festgelegt.

Beurteilung anderer Schadstoffe

Sind in einem Boden Schadstoffe festgestellt worden, für welche die VBBo keinen Richt-, Prüf- oder Sanierungswert vorschreibt, muss beurteilt werden, ob durch diese Schadstoffe Menschen, Tiere oder Pflanzen bei der betroffenen Nutzung konkret gefährdet sind (Wirkungspfade vgl. Kap. 3.3). Hinweise zu Umweltschadstoffen bietet EIKMANN *et al.* (1999; «*Gefährdungsabschätzung von Umweltschadstoffen*», ergänzbares Handbuch).

Ist ein Schadstoff in Bezug auf die betroffene Nutzung von Bedeutung, so können für die Gefährdungsabschätzung Werte nach EIKMANN & KLOKE (1993) als Orientierung dienen (vgl. Anh. 8). Sie umfassen pro Schadstoff und Nutzungsart jeweils drei so genannte Bodenwerte (BW), welche in ihrer Bedeutung mit den Regelungswerten der VBBo vergleichbar sind.

- BW I:** Basiswert (Hintergrundwert), vergleichbar mit **Richtwert** nach VBBo;
- BW II:** Prüfwert (Sanierungszielwert), verglb. mit **Prüfwert** (VBBo);
- BW III:** Eingreifwert (Interventionswert), verglb. mit **Sanierungswert** (VBBo).

Mit Hilfe dieser Werte kann eine Gefährdungsabschätzung unter Berücksichtigung der Vorgaben für die jeweilige Nutzungsart (vgl. Kap. 4–6) durchgeführt werden. Sind auch bei EIKMANN & KLOKE (1993) keine orientierenden Werte angegeben, so können gleichwertige internationale Bewertungskriterien oder die Fachliteratur konsultiert werden. In solchen Fällen sind jedoch detailliertere Untersuchungen nötig. In Abstützung auf den neusten Wissensstand kann die Liste orientierender Werte dieses Handbuchs künftig jederzeit ergänzt werden.

Bei Verwendung der Werte nach EIKMANN & KLOKE (1993) ist zu beachten, dass die dort vorausgesetzten Probenahmetiefen und Extraktionsmethoden sich von jenen nach VBBo unterscheiden (z.B. bei Schwermetallen Königswasseraufschluss in Deutschland im Gegensatz zu 2 M HNO₃ nach VBBo). Dies kann in bestimmten Fällen zu abweichenden Ergebnissen führen und ist dann zu berücksichtigen. Zu den in Deutschland verwendeten Extraktions- und Messverfahren siehe die deutsche *Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV)*, enthalten auch in ROSENKRANZ *et al.* (vgl. «*Bodenschutz*», ergänzbares Handbuch, *Kennzahl 8005*).

8 Massnahmen

8.1 Grundsätze bei der Festlegung von Massnahmen

8.1.1 Massnahmenart und -schärfe

Vorsorgliche Massnahmen

Unabhängig davon, ob eine konkrete Gefährdung besteht oder nicht, müssen bei überschrittenen Richtwerten Massnahmen nach Artikel 8 VBBo ergriffen werden, um einen weiteren Anstieg der Bodenbelastung zu verhindern (Ermittlung der Ursache, Quellenstopp).

Liegen die Kategorien «*konkrete Gefährdung*» oder «*konkrete Gefährdung möglich*» vor, so treffen die kantonalen Behörden als Vollzugsorgane folgende Vorkehrungen:

Nutzungsempfehlung

Die **Nutzungsempfehlung** ist die mildeste Massnahme. Sie dient dazu, Nutzende auf die Gefährdung aufmerksam zu machen und Verhaltensweisen aufzuzeigen, mit denen sich die Gefährdung vermeiden lässt. Nutzungsempfehlungen können unter folgenden Voraussetzungen ausreichend sein:

- Der Kreis der Nutzenden ist bekannt, und eine Nutzungsempfehlung kann an diese gerichtet werden.
- Es liegt die Kategorie «*konkrete Gefährdung möglich*» vor.

Nutzungseinschränkung und Nutzungsverbot

Mit einer **Nutzungseinschränkung** werden nur diejenigen Tätigkeiten oder Verhaltensweisen verboten, die eine konkrete Gefährdung von Mensch, Tieren oder Pflanzen verursachen. Die bisherige Nutzungsart wird jedoch beibehalten.

Mit einem **Nutzungsverbot** werden dagegen sämtliche Tätigkeiten oder Verhaltensweisen verboten, welche mit einer bestimmten Nutzungsart verbunden sind.

Bei den verbindlichen Massnahmen **Nutzungseinschränkung** und **Nutzungsverbot** liegt die Kategorie «*konkrete Gefährdung*» vor.

Verhältnismässigkeit der Mittel

Nutzungseinschränkung und Nutzungsverbot sind polizeiliche Massnahmen, welche in die Grundrechte der Betroffenen eingreifen. Die Behörde darf sich keines schärferen Zwangsmittels bedienen, als es die Verhältnisse erfordern (Verhältnismässigkeit, vgl. Art. 42 *Bundesgesetz über das Verwaltungsverfahren*; SR 172.021). Für Massnahmen müssen dazu die folgenden Bedingungen erfüllt sein:

- Die Massnahme muss geeignet sein, um die bestehende Gefährdung abzuwehren (Zwecktauglichkeit).
- Die Massnahme darf nicht weiter gehen als notwendig, d.h., kein milderes Mittel als die zu treffende Massnahme erreicht das Schutzziel (Zweckangemessenheit). So sollte eine Tätigkeit nach Möglichkeit mit Auflagen bewilligt statt verboten werden, d.h., es soll eine Abstufung der Massnahmen vorgenommen werden. Die Massnahmen haben sich zudem nur gegen Verantwortliche (rechtlich so genannte Störer) zu richten.

- Die Massnahme muss der Bedeutung des angestrebten Ziels angemessen sein (Zweck-Mittel-Relation). Das Gewicht des verfolgten Zwecks ist mit der Schwere des Eingriffs zu vergleichen. Das Interesse an der Zweckverfolgung muss um so grösser sein, je schwerer der Eingriff ist. So kann beispielsweise ein Nutzungsverbot für einen Kinderspielplatz angemessen sein, wenn dies zum Zwecke der Abwehr einer konkreten Gefährdung der Gesundheit von Kindern dient.

8.1.2 Randbedingungen

Für die Festlegung von Massnahmen sind Randbedingungen des konkreten Falls einzubeziehen, welche das Ausmass der Gefährdung beeinflussen, aber nicht schon zuvor in die Gefährdungsabschätzung eingegangen sind. Dabei kann es sich um folgende Sachverhalte handeln:

Randbedingungen bei allen Nutzungsarten

**Belastung
auf kleinem Anteil
an der Gesamtfläche**

- Die Gefährdung kann dann reduziert sein, wenn der Anteil der belasteten Fläche an der gesamten gleichartig genutzten Fläche – im Normalfall eine ganze Parzelle – klein ist (Orientierungswert: <20%). Eine Reduzierung der Gefährdung kann z.B. beim Futterpflanzenanbau eintreten, wenn Nutztiere nur einen kleinen Teil ihres Gesamtfutters von der belasteten Fläche aufnehmen, und beim Nahrungspflanzenanbau, wenn bei der Ernte automatisch eine Mischung des Ernteguts stattfindet. Wichtig ist, dass bei der standortüblichen Nutzung der Gesamtfläche *zwangsläufig* eine Verringerung der Belastung des Schutzguts eintritt. Eine zusätzliche Vermischung von unterschiedlich belastetem Erntegut mit dem Zweck, die Belastung unter Höchstwerte abzusenken, ist nicht zulässig. Es ist auch nicht sinnvoll, eine Verringerung der Belastung des Schutzguts lediglich durch Umparzellierung zu erreichen. Ziel muss es sein, die Belastung des Schutzguts durch Massnahmen auf der belasteten Fläche selbst zu verringern.

**Belastung
über kurze Zeiträume**

- Die Regelungswerte in Anhang 1 der VBBo sind auf lang andauernde Belastungen ausgelegt. Die Gefährdung kann daher reduziert sein, wenn die Belastung des Schutzguts für die betreffende Nutzungsart nur während ungewöhnlich kurzen Zeiträumen auftritt. Das kann z.B. bei Alpweiden zutreffen, deren Nutzung nur über einen kurzen Zeitraum pro Jahr möglich ist.

**Belastung durch mehrere
Schadstoffe**

- Die Gesamtgefährdung kann durch die Bodenbelastung erhöht sein, wenn mehrere Schadstoffe eine Gefährdung verursachen.

**Belastung über verschie-
dene Wirkungspfade**

- Die Gesamtgefährdung wird durch die Bodenbelastung erhöht, wenn sich die Belastung über mehr als einen Wirkungspfad auswirkt (z.B. über Nahrungspflanzen und orale Aufnahme von Kindern in Hausgärten).

Eigenkonsum

Randbedingungen bei Nahrungs- und Futterpflanzenanbau

- Dienen die auf einer belasteten Fläche erzeugten Nahrungspflanzen bzw. Nutztierprodukte zum Eigenkonsum, so erhöht dies die Gefährdung. Besonders bei Selbstversorgern kann der Anteil an der Gesamtnahrung in solchen Fällen hoch sein und ist zu berücksichtigen.

Nutzung

Randbedingungen bei Nutzungen mit möglicher direkter Bodenaufnahme

- Die Nutzung durch einen bestimmten (geschlossenen) Personenkreis ist einfacher zu kontrollieren als die Nutzung durch einen unbestimmten (offenen) Personenkreis. Deshalb ist die Gefährdung im ersten Fall eher niedriger einzuschätzen.
- Zutrittsverbote: Das Fehlen von Zutrittsverboten erhöht die Gefährdung.
- Hindernisse wie Zäune, dornige Hecken usw. um die genutzte Fläche verringern die Gefährdung.

Diese Liste ist nicht abschliessend. Nicht alle möglichen Randbedingungen jedes Einzelfalls sind im Voraus abzusehen.

8.1.3 Vorgehen bei der Festlegung von Massnahmen

Die Schärfe der Massnahmen richtet sich nach dem Ausmass der Gefährdung und den Randbedingungen im konkreten Fall. Grundsätzlich gilt dabei die Zuordnung der Massnahmen zu den Gefährdungskategorien nach Tabelle 24.

Tabelle 24: Zuordnung von Massnahmen zu Gefährdungskategorien.

Gefährdungskategorie	Massnahmen
Keine konkrete Gefährdung	→ Überwachung (Art. 4 Abs. 1 VBBo) sowie Quellenstopp (Art. 8 VBBo)
Konkrete Gefährdung möglich	→ Nutzungsempfehlungen; zusätzlich Überwachung (Art. 4 Abs. 1 VBBo) sowie Quellenstopp (Art. 8 VBBo)
Konkrete Gefährdung	→ Nutzungseinschränkungen und Nutzungsverbote, evtl. Sanierung; zusätzlich Überwachung (Art. 4 Abs. 1 VBBo) sowie Quellenstopp (Art. 8 VBBo)

Die Randbedingungen des jeweiligen Einzelfalls (vgl. Kap. 8.1.2) müssen bei der Festlegung von Massnahmen berücksichtigt werden. Sie sind als zusätzliche Kriterien zu bewerten, welche die Art und Schärfe der Massnahmen modifizieren können. Der Bewertungsspielraum der Behörden liegt vorwiegend im Einbezug der Randbedingungen im Einzelfall. Die Massnahmen sollten, wenn immer möglich, mit den Betroffenen abgestimmt werden, weil sich dadurch die Akzeptanz erhöht.

8.2 Einzelne Massnahmen zur Verringerung oder Beseitigung der Gefährdung

8.2.1 Massnahmen bei Nahrungs- und Futterpflanzenanbau

Folgende Massnahmen können je nach Gefährdungskategorie sinnvoll sein:

Nutzungsempfehlungen:

- Keine Verwendung von Düngern und Pflanzenschutzmitteln, welche Bodenbelastungen verursachen.
- Kalkdüngung bei tiefen pH-Werten (v.a. bei anorganischen Schadstoffen) und Massnahmen zur Erhöhung des Gehalts an organischer Substanz der Böden (v.a. bei organischen Schadstoffen). Beim Futterpflanzenanbau sind diese Massnahmen nur dann wirksam, wenn die Schadstoffaufnahme vor allem über die Pflanzen erfolgt (Wurzelaufnahme).
- Beim Futterpflanzenanbau eine Verhinderung von Überweidung der schadstoffbelasteten Fläche.
- Beim Futterpflanzenanbau eine Verminderung von Verunreinigungen mit Boden beim Ernten, wenn die Aufnahme vorwiegend über diese erfolgt (Erntegang bei möglichst trockenen Bodenverhältnissen, Heuen statt Frischgras ernten).
- Beim Futterpflanzenanbau eine Verkleinerung der Ration der schadstoffbelasteten Futterpflanzen.

Verbindliche Massnahmen (Nutzungseinschränkung und -verbot):

- Einschränkung des Anbaus auf Nahrungs- bzw. Futterpflanzen, die den betreffenden Schadstoff in geringerem Masse anreichern (vgl. Tab. 6).
- Beim Futterpflanzenanbau kein Beweiden der belasteten Fläche (Einschränkung auf Anbau von zu erntenden Produkten). Diese Massnahme ist vor allem dann sinnvoll, wenn die direkte orale Aufnahme im Vergleich zur Aufnahme über belastete Futterpflanzen überwiegt.
- Beim Futterpflanzenanbau eine Einschränkung der Nutzung der betroffenen Fläche auf weniger empfindliche Nutztiere.
- Einschränkung auf weniger empfindliche Nutzungsart, sofern von den raumplanerischen Vorgaben her möglich.
- Verbot der Nutzung.

8.2.2 Massnahmen bei Nutzungen mit möglicher direkter Bodenaufnahme

Nutzungsempfehlungen:

- Begrünung bzw. Pflege des pflanzlichen Bewuchses zur Verhinderung von Bodenkontakt (z.B. Rasen).

Verbindliche Massnahmen:

- Verbot der Nutzung, dazu eventuell ein Zutrittsverbot bzw. eine Umzäunung.

8.2.3 Weitergehende Massnahmen bei allen Nutzungen

Sanierung

Massnahmen zur Absenkung der Belastung (Dekontamination) können nur bei Überschreitung von Sanierungswerten und nur in Gebieten mit raumplanerisch festgelegter gartenbaulicher, land- oder forstwirtschaftlicher Nutzung angeordnet werden (Art. 10 Abs. 2 VBBo). Eine Dekontamination als Massnahme (z.B. durch Ersetzen des belasteten Bodens) kann bei Prüfwertüberschreitung auf der Grundlage des Bodenschutzrechts lediglich empfohlen werden. Wird eine Sanierung durchgeführt, so ist es sinnvoll, die Belastung unter den Prüfwert abzusenken, damit nicht wiederum eine Gefährdungsabschätzung und allfällige Nutzungseinschränkungen erforderlich sind.

8.3 Überwachung

Die von Prüfwertüberschreitungen betroffenen Flächen müssen durch die Kantone überwacht werden. Die dafür notwendigen Massnahmen hängen vom Einzelfall ab.

Überwachung

bei konkreter Gefährdung

Im Falle einer festgestellten konkreten Gefährdung kann sich die Überwachung sowohl auf die absolute Bodenbelastung (Schadstoffgehalte) beziehen als auch auf andere Faktoren, welche die Gefährdung beeinflussen. Folgende Massnahmen sind je nach Sachlage möglich:

- Kontrolle des Schadstoffgehalts des Bodens und/oder von Bodeneigenschaften (z.B. pH-Wert) in geeigneten Zeitabständen, sofern Änderungen im Schadstoffgehalt zu erwarten sind.
- Kontrolle des Schadstoffgehalts von Produkten (bei Nahrungs- bzw. Futterpflanzenanbau).
- Kontrolle der Nutzungsart.
- Kontrolle des pflanzlichen Bewuchses (bei Nutzungen mit möglicher direkter Bodenaufnahme).
- Wiederholung von Nutzungsempfehlungen in geeigneten Zeitabständen.
- Regelmässige Kontrolle von Nutzungseinschränkungen und -verboten.

Überwachung ohne

konkrete Gefährdung

Besteht auf Grund der Gefährdungsabschätzung keine konkrete Gefährdung für Menschen, Tiere oder Pflanzen, so ist die betroffene Fläche dennoch zu überwachen, um bei festgestellter Prüfwertüberschreitung künftig dennoch eine Gefährdung auszuschliessen. Zur Überwachung kann z.B. der Eintrag in einen entsprechenden Kataster erfolgen. Kontrollen sind hier in der Regel nur dann erforderlich, wenn eine wesentliche Änderung der Gefährdungssituation zu erwarten ist, z.B. durch eine Nutzungsänderung.

8.4 Massnahmen bei Bodenbelastungen in grösserer Bodentiefe

**Bodenbelastungen
tiefer als 20 cm**

Das Bodenschutzrecht ist auch auf Belastungen anwendbar, die nicht bis an die Oberfläche reichen. Voraussetzung ist, dass es sich beim belasteten Material noch um durchwurzelbaren Unterboden des B-Horizonts (nicht um Untergrund, also Material des C-Horizonts) handelt und Einwirkungen auf Menschen, Tiere oder Pflanzen anzunehmen sind (vgl. Kap. 2). Ist eine Prüfwertüberschreitung ausschliesslich in grösserer Tiefe als 20 cm anzutreffen, so muss im Einzelfall geprüft werden, ob von dieser Belastung eine konkrete Gefährdung ausgeht (zum Beispiel bei tief wurzelnden Pflanzen). Zudem ist zu prüfen, ob eine konkrete Gefährdung für Menschen, Tiere oder Pflanzen zukünftig möglich ist. Diese liegt dann vor, wenn das belastete Bodenmaterial zu einem späteren Zeitpunkt in den Bereich der obersten 20 cm gelangen kann, etwa durch Bodenerosion, Bioturbation, kulturtechnische Massnahmen oder durch Umlagerungen bei Bauvorhaben.

Ist zu erwarten, dass durch die Bodenbelastung die Bodenfruchtbarkeit gefährdet wird (vgl. Art. 4 Abs. 1 VBBo) oder von der Bodenbelastung gar eine konkrete Gefährdung für Menschen, Tiere oder Pflanzen ausgeht (Prüfwertüberschreitung, vgl. Art. 9 VBBo), so muss die Bodenbelastung überwacht werden. Die dazu nötigen Massnahmen hängen vom Einzelfall ab.

8.5 Verantwortlichkeiten und Fristen⁶

8.5.1 Zuständigkeit und Verfahren

Wer ist zuständig?

Für weitergehende Massnahmen im Sinne von Artikel 34 USG sind bei belasteten Böden die Kantone zuständig (Art. 13 VBBo). Sie regeln Zuständigkeit und Verfahren (Art. 36 USG). Sie können die Gemeinden mit bestimmten Bodenschutzaufgaben betrauen, namentlich mit der Anordnung und Kontrolle von Nutzungseinschränkungen und Nutzungsverboten. Die Kantone bleiben aber für den sachgerechten Vollzug von Artikel 34 USG dem Bund direkt verantwortlich.

Handelt es sich bei der Bodenbelastung um einen belasteten Standort nach Artikel 2 AltIV, so sind die Vorschriften der AltIV anwendbar.

⁶ Die Angaben in Kapitel 8.5 sind auf der Grundlage der Ausführungen von TSCHANNEN (1999) zum Artikel 34 USG zusammengestellt (vgl. Erläuterungen S. 20 ff.). Zum Verursacherprinzip bei bodenschutzrechtlichen Massnahmen siehe auch HEPERLE (2001).

8.5.2 Massnahmenanlastung

Gegen wen richten sich Massnahmen?

Die Massnahmen zum Schutz der öffentlichen Gesundheit und der Umwelt vor konkreter Gefährdung sind polizeirechtlicher Natur. Als solche haben sie sich gegen jene Person zu richten, die den rechtswidrigen Zustand unmittelbar zu verantworten hat (Störer). Weil die zu behebende Störung vom Boden ausgeht, gelten als Störer (je nach betroffener Nutzung im Einzelfall):

- der Eigentümer des belasteten Bodens;
- der Bewirtschafter des Bodens;
- jede Person, die gesundheitsgefährdende Erzeugnisse aus belasteten Böden in Verkehr bringt.

Ist der Störer mangels eigener Mittel zur Beseitigung einer unmittelbar drohenden Gefahr nicht in der Lage, so schreitet die Behörde ohne Weiteres ein und trifft auf dem Wege des unmittelbaren Vollzugs die nötigen Sicherungs- und Behebungsmassnahmen selbst (vgl. Art. 59 USG).

8.5.3 Kostenanlastung

Wer trägt die Kosten?

Die Massnahmen der Kantone zum Schutz vor konkreter Gefährdung sind dazu bestimmt, den in Artikel 34 USG erteilten Auftrag zu erfüllen. Die Kostenverteilung folgt daher dem allgemeinen Verursacherprinzip nach Artikel 2 USG. Kosten behördlicher Sicherungs- und Behebungsmassnahmen werden nach Artikel 59 USG, die Verfahrenskosten nach dem anwendbaren Verwaltungsverfahrenrecht überbunden. Handelt es sich bei der Bodenbelastung um einen belasteten Standort nach Artikel 2 AltIV, so ist die Kostentragung konkret durch Artikel 32d USG geregelt.

8.5.4 Entschädigungspflicht

Können Entschädigungen verlangt werden?

Nutzungseinschränkungen und Nutzungsverbote nach Artikel 34 Absatz 2 und 3 USG stellen öffentlichrechtliche Eigentumsbeschränkungen dar. Eine Entschädigungspflicht des Gemeinwesens entfällt aber, weil diese Einschränkungen und Verbote nur zur Abwehr einer konkreten Gefahr für die Gesundheit von Mensch, Tieren oder Pflanzen getroffen werden dürfen. Sie sind deshalb ausschliesslich – im engen Sinn – polizeilich motiviert.

8.5.5 Fristen

Wie schnell muss gehandelt werden?

Bei **Überschreitung von Richtwerten** führen die Kantone Massnahmen innert fünf Jahren durch, nachdem die Bodenbelastung festgestellt worden ist. Sie legen die Fristen nach der Dringlichkeit des Einzelfalls fest (vgl. Art. 8 Abs. 4 VBBo).

Für Massnahmen bei **Überschreitung von Prüf- und Sanierungswerten** schreibt das Bundesrecht keine Fristen vor. Die Grundsätze des allgemeinen Polizeirechts gebieten indessen, die notwendigen Vorkehrungen bei erfüllten Gefährdungstatbeständen nach Artikel 34 Absatz 2 und 3 USG – nach der Dringlichkeit des Einzelfalls – unverzüglich an die Hand zu nehmen.

Anhänge

Anhang 1

Fallbeispiele zur Gefährdungsabschätzung

Die folgenden vier Fallbeispiele sollen das Vorgehen bei einer Gefährdungsabschätzung mit Hilfe von Expertensystemen verdeutlichen und erleichtern. Zu diesem Zweck werden für die nachgenannten vier Nutzungen typische Verhältnisse anhand fiktiver Beispiele beurteilt:

- A Nutzungsart «**Nahrungspflanzenanbau**» (Landwirtschaft und Gartenbau);
- B Nutzungsart «**Futterpflanzenanbau**»;
- C Nutzungsart «**Nutzungen mit möglicher direkter Bodenaufnahme**»;
- D Nutzung «**Hausgärten**» als Beispiel für die Kombination aus A und C.

A Gefährdungsabschätzung beim Nahrungspflanzenanbau (Landwirtschaft und Gartenbau)

Fallbeispiel: Cd-Belastung beim Getreideanbau

Situation

Auf einer ackerbaulich genutzten Fläche wird ein Cd-Gehalt des Bodens von 6.0 mg/kg festgestellt (Einstichtiefe 20 cm). Untersuchungen der Bodeneigenschaften ergeben einen pH-Wert von 6.4 (CaCl₂, 0.01 M), einen Gehalt an organischer Substanz von 4.5% und einen Tongehalt von 19%. Auf der Fläche wird vor allem Getreide für den Handel (Nahrungsmittel) angebaut; gegenwärtig handelt es sich um Weizen.

Berechnung mit Hilfe des Expertensystems

Die Berechnung mit Hilfe des Expertensystems «Nahrungspflanzenanbau» (vgl. Tab. 25) ergibt, dass selbst kleine Überschreitungen des Cd-Prüfwerts eine Einordnung in die Gefährdungskategorie «*konkrete Gefährdung*» bewirken. Die Gründe liegen im relativ hohen Korrekturfaktor T und in der erheblichen Cd-Mobilität – Letzteres selbst bei hohen pH-Werten.

Tabelle 25: Rechenbeispiel zum Nahrungspflanzenanbau (Landwirtschaft und Gartenbau).

Faktor	Punkte	Bemerkungen
Belastungsfaktor B	0.7	vgl. Gleichung (N4.2), Kapitel. 4.1.2
Mobilitätsfaktor M	2	Summe der relativen Bindungsstärke (vgl. Abb. 4, Kap. 4.1.2): 4 Punkte, nämlich 4 Pt. für pH-Wert 6.5 (als Rundung von pH-Wert 6.4) und jeweils 0 Pt. für Gehalt an organischer Substanz und an Ton
Pflanzenartfaktor P	2	Pflanzenartfaktor für Weizen als Pflanze mit hoher Aufnahme (vgl. Tab. 6, Kap. 4.1.2)
Korrekturfaktor T	0.5	Korrekturfaktor T für Cd (vgl. Tab. 7, Kap. 4.1.2)
Gefährdungspunkte G = B+M+P+T	5.2	<u>Belastungsbewertung:</u> Daraus folgt Gefährdungskategorie « <i>konkrete Gefährdung</i> » (ab 5 Pt.; vgl. Tab. 8, Kap. 4.1.3)

**Abwägungen,
Randbedingungen
und Massnahmen**

Gestützt auf diese Gefährdungsabschätzung mittels Expertensystem gilt der Anbau von Nahrungspflanzen mit hoher Cd-Aufnahme (Weizen und Hafer) als zu gesundheitsgefährdend. Er ist daher einzustellen. Eine Nutzungseinschränkung ist somit unumgänglich.

Die Cd-Gehalte des in diesem Beispiel gerade angebauten Weizens müssen untersucht werden, bevor er in den Handel kommt. Liegt der Cd-Gehalt dieses Weizens oberhalb des FIV-Höchstgehalts von 0.2 mg/kg Frischgewicht, darf er nicht zur Produktion von Nahrungsmitteln verwendet werden. Er kann aber als Futtermittel eingesetzt werden, sofern der Cd-Gehalt den Höchstgehalt nach FMBV nicht überschreitet (1 mg/kg Futtermittel bei 88% Trockensubstanzgehalt).

Die Nutzungsart «Nahrungspflanzenanbau» jedoch ist insgesamt auf der fraglichen Nutzfläche noch immer möglich. Auf ihr können durchaus Pflanzen mit mittlerer oder niedriger Cd-Aufnahme weiter angebaut werden. Für solche Pflanzen ergeben sich mit den Faktoren $P = 1$ bzw. 0 (vgl. Tab. 26) die Gefährdungspunkte 4.2 bzw. 3.2. Daraus folgt eine Einstufung in die Kategorie «*konkrete Gefährdung möglich*» (3–<5 Punkte). Beim Getreide fallen Roggen, Gerste und Mais in diese Cd-Aufnahmekategorien. Dient das angebaute Getreide nicht zur Eigenversorgung (hoher Anteil in Gesamtnahrung), entfällt auch diese verschärfende Randbedingung.

Die wirkungsvollste Nutzungsempfehlung wäre somit, möglichst nur noch Nahrungspflanzen mit tiefer Cd-Aufnahme anzubauen. Sinnvoll wäre weiter, den Humusgehalt auf der belasteten Nutzfläche anzuheben. Dies kann nach der Getreideernte mittels Anbau von Gründüngungspflanzen geschehen (z.B. Phacelia, Gelbsenf). Ein höherer Humusgehalt senkt bekanntlich die Cd-Mobilität (vgl. Abb. 4). Grundsätzlich wird die Cd-Mobilität auch durch einen höheren pH-Wert gesenkt. Es ist jedoch fraglich, ob es möglich ist, den schon relativ hohen pH-Wert von 6.9 durch Aufkalken weiter anzuheben.

Bemerkungen

Ist die Grundeigentümerin mit der Beurteilung nicht einverstanden (Nutzungseinschränkung), hat sie die Möglichkeit, eine detailliertere Gefährdungsabschätzung – als mit dem Expertensystem möglich – durchführen zu lassen. Zu diesem Zweck sollten jene Nahrungspflanzenarten genauer untersucht werden, die ein hohes Cd-Aufnahmevermögen haben (vgl. Tab. 6). Die Schadstoffaufnahme von Pflanzen ist je nach Pflanzensorte und Witterung oft unterschiedlich. Weiter ist eine verbindliche Beurteilung allein aus Untersuchungen von Pflanzen einer einzelnen Wachstumsperiode kaum möglich.

B Gefährdungsabschätzung beim Futterpflanzenanbau

**Fallbeispiel: Cu-Belastung auf einer Wiese
(Weide und Heunutzung für Schafe und Rinder)**

Situation

In einer Wiese wird ein Cu-Gehalt des Bodens von 215 mg/kg festgestellt (Einstichtiefe 20 cm). Dies entspricht einer Belastung, die bei ehemaligen Rebböden häufig

vorkommt. Untersuchungen der Bodeneigenschaften ergeben einen pH-Wert von 6.3, einen «Humusgehalt» von 6% und einen Tongehalt von 28%. Auf der Nutzfläche weiden zeitweise Rinder, und es wird für diese auch Heu gewonnen. Die Grundbesitzerin könnte sich künftig eine Nutzung der Wiese als Schafweide vorstellen.

Berechnung mit Hilfe des Expertensystems

Die Berechnung mit Hilfe des Expertensystems «Futterpflanzenanbau» ergibt bei Anwendung des FMBV-Höchstgehalts von 35 mg/kg (für Rinder; vgl. Tab. 12), dass die direkte Bodenaufnahme – trotz ihres relativ geringen Anteils – einen Grossteil der Cu-Belastung der Nutztiere verursacht. Im Übrigen ist dies beim Futterpflanzenanbau der häufigste Belastungsfall.

Tabelle 26: Rechenbeispiel zum Futterpflanzenanbau.

Faktor	Punkte	Bemerkungen
Bodenanteilfaktor E	1.2	vgl. Gleichung (F5.2), Kapitel 5.1.2; unter Verwendung von 2.5 % direkter Bodenaufnahme als Durchschnittswert beim Weiden, trockene Bedingungen (vgl. Tab. 13)
Belastungsfaktor für Pflanzenaufnahme B	0.6	vgl. Gleichung (F5.3), Kapitel 5.1.2
Mobilitätsfaktor M	0	Summe der relativen Bindungsstärke (vgl. Abb. 4, Kap. 4.1.2): 6 Punkte, nämlich 5 Punkte für pH-Wert 6.5 (als Rundung von pH-Wert 6.3), 1 Punkt für Gehalt an organ. Substanz und 0 Punkte für Tongehalt
Pflanzenartfaktor P	1	Pflanzenartfaktor für Gras als Pflanze mit mittlerer Aufnahme (vgl. Tab. 14, Kap. 5.1.2)
Korrekturfaktor T	0	Korrekturfaktor T für Cu (vgl. Tab. 15, Kap. 5.1.2)
Gefährdungspunkte G = E+B+M+P+T	2.8	<u>Belastungsbewertung:</u> Daraus folgt die Gefährdungskategorie «keine konkrete Gefährdung» (bis <5 Punkte; vgl. Tab. 17, Kap. 5.1.3)

Abwägungen, Randbedingungen und Massnahmen

Für Rinder gilt bei derzeitiger Nutzung die Kategorie «keine konkrete Gefährdung». Etwas anders stellen sich die Verhältnisse bei nasser Witterung. Dort beträgt der Bodenanteil im Futter 10–15% (Mittelwert 12.5%; Mähgut/Grassilage, vgl. Tab. 13). Dies hätte einen Bodenanteilfaktor von 6.1 und damit 7.7 Gefährdungspunkte zur Folge (Kategorie «konkrete Gefährdung möglich»).

Nutzungsempfehlungen im Sinne einer Beeinflussung der Bodeneigenschaften sind in diesem Fall nicht sinnvoll. Die Bodeneigenschaften haben hier nur einen untergeordneten Einfluss auf die Cu-Aufnahme der Nutztiere. Eine allfällige (theoretische) Anhebung des pH-Werts würde die Mobilität von Cu – und damit die Cu-Gehalte des Grases – sogar verstärken (vgl. Abb. 4). Dagegen ist die Empfehlung sinnvoll, die belastete Nutzfläche nur unter trockenen Bedingungen zu nutzen; so ist der Bodenanteil kleiner (vgl. Tab. 13). Zudem sollte die Grundbesitzerin allfällige Cu-haltige Futterzusatzstoffe («Wachstumsförderer») nur sehr sparsam, wenn überhaupt, verwenden.

Eine künftige Nutzung als Schafweide ist anders zu beurteilen als die derzeitige Nutzung. Dies liegt zum einen an der grösseren Empfindlichkeit der Schafe auf Cu-Belastungen (Höchstgehalt nach FMBV: 15 mg/kg; Rind 35 mg/kg). Zum andern nehmen Schafe beim Weiden wesentlich mehr Boden auf als Rinder (vgl. Tab. 13).

Aus diesem Grund ergibt sich im vorliegenden Fall für Schafe auch unter günstigen Verhältnissen (trockener Boden) in jedem Fall die Kategorie «*konkrete Gefährdung*» (15.9 Gefährdungspunkte). Zwar gilt der Höchstgehalt der FMBV nur für Alleinfuttermittel. Aber selbst wenn die kritischen Werte für Nutztierfutter nach BLUME (1992) angewendet und hier als Höchstgehalt für Einzelfutter ein Wert von 30 mg/kg angenommen wird, ergeben sich noch 8.8 Gefährdungspunkte. Dies entspricht der Kategorie «*konkrete Gefährdung*». Eine Nutzung dieser Wiese als Schafweide kommt also nicht in Frage.

Bemerkungen

Ist die Grundeigentümerin mit dieser Beurteilung nicht einverstanden, hat sie die Möglichkeit, eine detailliertere Gefährdungsabschätzung – als mit dem Expertensystem möglich – durchführen zu lassen. In diesem Fall ist es nicht angezeigt, lediglich Produkte (Milch, Fleisch) der Nutztiere zu untersuchen. Die Cu-Belastung gefährdet auch die Nutztiergesundheit, also nicht nur Menschen als Konsumenten dieser tierischen Produkte. Der Mensch ist auf Cu nämlich wesentlich weniger empfindlich als beispielsweise Wiederkäuer.

Aus demselben Grund spielt das Problem des Eigenkonsum-Anteils der Nutzenden hier keine Rolle (Randbedingung). Allein eine Untersuchung des Schadstoffgehalts von Gras ist vorliegend nicht ausreichend. Eine Belastung der Schafe tritt nämlich vor allem wegen direkter Bodenaufnahme ein. Darum soll der Weidegang von Schafen auf Cu-belasteten Wiesen vermieden werden. Eine detaillierte Gefährdungsabschätzung könnte nämlich nur dann durchgeführt werden, wenn Schafe versuchsweise auf der fraglichen Wiese weiden würden.

C Gefährdungsabschätzung bei Nutzungen mit möglicher direkter Bodenaufnahme

Fallbeispiel: PAK-Belastung eines Kinderspielplatzes

Situation

Auf einem Kinderspielplatz wird eine PAK-Belastung des Bodens von 39 mg/kg festgestellt (Einstichtiefe 5 cm). Eine Erhebung vor Ort ergibt, dass der Spielplatz auch von kleinen Kindern (Alter 1–5 Jahre) in Begleitung ihrer Mütter genutzt wird. Sie kommen aber nie häufiger als ein- bis zweimal pro Woche vorbei. Dies gilt nicht für ältere Kinder; sie halten sich häufiger dort auf. Der Spielplatz ist zum Grossteil mit Rasen und einzelnen Bäumen bewachsen. Vor allem in der Nähe der Spielgeräte gibt es aber auch unbewachsenen Boden. Dieser macht 10–15% der Gesamtfläche des Spielplatzes aus (Schätzung). Der Spielplatz ist eine öffentliche Anlage und somit frei zugänglich.

Berechnung mit Hilfe des Expertensystems

Die Berechnung mit Hilfe des Expertensystems für Nutzungen mit möglicher direkter Bodenaufnahme ergibt für Kinder ab dem 7. Lebensjahr bei häufigerer Nutzung einen Wert von höchstens 4.6 Gefährdungspunkten, ebenso für Kinder vom 4. bis 6. Lebensjahr für wöchentlich 1- bis 2-malige Nutzung.

Aus der Berechnung wird deutlich, dass im tiefen Prüfwert-Bereich der Altersfaktor die wichtigste Rolle spielt. Der Grund liegt darin, dass bei «herumrutschenden» Kleinkindern die Gefahr einer Bodenaufnahme (mengenmässig schwer zu ermitteln) beim Spielen am grössten ist.

Tabelle 27: Rechenbeispiel zu Nutzungen mit möglicher direkter Bodenaufnahme (Kinderspielplatz).

Faktor	Punkte	Bemerkungen
Belastungsfaktor B	1.6	vgl. Gleichung (dB6.2)
Altersfaktor A	2	Altersfaktor für Kleinstkinder (bis 3. Lebensjahr; vgl. Tab. 20, Kap. 6.1.2)
Häufigkeitsfaktor H	1	Häufigkeitsfaktor für wöchentlich 1- bis 2-malige Nutzung (vgl. Tab. 21, Kap. 6.1.2)
Faktor Vegetationsbedeckung V	1	Faktor Vegetationsbedeckung für Deckungsgrad 75–90% (vgl. Tab. 22, Kap. 6.1.2)
Gefährdungspunkte G = B+A+H+V	5.6	<u>Belastungsbewertung:</u> Daraus folgt die Gefährdungskategorie « <i>konkrete Gefährdung</i> » (ab 5 Punkten; vgl. Tab. 23, Kap. 6.1.3)

Abwägungen, Randbedingungen und Massnahmen

Die Nutzung des Spielplatzes ist zumindest für Kinder bis zum 3. Lebensjahr nicht mehr möglich, weil für diese bei häufiger Nutzung die Gefährdungskategorie «*konkrete Gefährdung*» besteht. Weiter ist zu prüfen, ob die Vegetationsbedeckung (zeitweise) etwa unter 75% liegen könnte (Unsicherheit). In der Folge könnten allenfalls auch Kinder bis zum 6. Lebensjahr gefährdet sein («*konkrete Gefährdung*» bei wöchentlich 1- bis 2-maliger Nutzung).

Die Entscheidung darüber hängt vom Einzelfall ab. Zu diesem Zweck kann beispielsweise auf die Erfahrung der Gemeindebehörde zurückgegriffen werden, um so die Rasenverhältnisse auf dem Spielplatz der zurückliegenden Jahre zu ermitteln.

In einem weiteren Beispiel ist der Spielplatz nicht öffentlich zugänglich. Er gehört zu einem Urlaubshotel und wird von Kindern ausschliesslich während einer kurzen Aufenthaltszeit benutzt. Es kommt somit zu keiner längerfristigen Aufnahme von Schadstoffen – sofern auf dem Platz nicht auch Kinder des Hotelpersonals spielen. Die Regelungswerte der VBBo sind bekanntlich für eine länger andauernde Nutzung mit möglicher direkter Bodenaufnahme ausgelegt.

Im Fall solch kurzzeitiger Nutzung kann die Bodenschutzbehörde einen begründeten Bewertungsspielraum beanspruchen. Die oben dargelegten Massnahmen können den besonderen Verhältnissen angepasst werden. Die Nutzung des Spielplatzes kann auch für Kleinstkinder erlaubt werden, sofern der Boden möglichst vollständig, mindestens aber zu über 90%, mit Vegetation (Rasen) bedeckt ist.

Bemerkungen

Ist die Grundeigentümerin mit dieser Beurteilung nicht einverstanden, hat sie die Möglichkeit, eine detailliertere Gefährdungsabschätzung – als mit dem Expertensystem möglich – durchführen zu lassen. Bei einem Kinderspielplatz ist dies allerdings sehr schwierig, weil beispielsweise bei Kleinkindern eine Messung ihrer Schadstoffaufnahme nur schwer durchführbar ist. Für solche Fälle ist allenfalls der Einsatz von Modellen sinnvoll (vgl. Kap. 6.2).

D Gefährdungsabschätzung bei der Nutzung von Hausgärten

Fallbeispiel: Bleibelastung eines Hausgartens

Situation

Im Gemüsebeet eines Hausgartens wird ein Pb-Gehalt von 380 mg/kg (Einstichtiefe 20 cm) festgestellt. Das Gemüsebeet misst etwa ein Drittel des ganzen Gartens; der Rest ist Rasen. Angebaut werden verschiedene Nahrungspflanzen, so Kopfsalat, Kohlrabi, Karotten, Gurken und Kürbisse. Die Bodeneigenschaften werden aus Kostengründen vor Ort untersucht; Laborergebnisse sind somit keine vorhanden. Diese behelfsmässigen Untersuchungen ergeben einen pH-Wert von 7 (Schnelltest), einen «Humusgehalt» von 10% und einen Tongehalt von 35% (beide geschätzt).

Der Anteil des Gemüses an der Eigenversorgung der Inhaberin ist relativ klein. Er beträgt laut Befragung etwa 20%. Zur Familie, die den Garten im Sommer fast täglich nutzt, gehören auch Kinder im Alter von 9 und 13 Jahren.

Berechnung mit Hilfe der Expertensysteme

Bei Gärten sind im Gegensatz zu den vorstehenden Fallbeispielen zwei Nutzungsarten zu berücksichtigen (unterschiedliche Wirkungspfade), nämlich «Nahrungspflanzenanbau» und «Nutzungen mit möglicher direkter Bodenaufnahme». Überdies unterscheiden sich die Regelungswerte für Gärten teilweise von jenen bei landwirtschaftlichem Nahrungspflanzenanbau bzw. von Kinderspielplätzen.

Die Berechnung mit Hilfe des Expertensystems «Nahrungspflanzenanbau» ergibt die in Tabelle 28 aufgelisteten Werte. Daraus wird auch ersichtlich, dass Pb chemisch ein ganz anderes Verhalten aufweist als Cd (vgl. Fallbeispiel Anh. 1A). Die Mobilität von Blei ist bekanntlich bei vergleichbaren Bodeneigenschaften deutlich niedriger als für Cd; dasselbe gilt für den Korrekturfaktor T.

Tabelle 28: Rechenbeispiel zum Nahrungspflanzenanbau (Hausgarten).

Faktor	Punkte	Bemerkungen
Belastungsfaktor B	1.1	vgl. Gleichung (N4.2), Kapitel 4.1.2
Mobilitätsfaktor M	0	Summe der relativen Bindungsstärke (vgl. Abb. 4, Kap. 4.1.2): 6 Punkte (4 Punkte für pH-Wert 7, jeweils 1 Punkt für Gehalt an organ. Substanz und an Ton)
Pflanzenartfaktor P	2	Pflanzenartfaktor für Kopfsalat als Pflanze mit hoher Aufnahme (vgl. Tab. 6, Kap. 4.1.2)
Korrekturfaktor T	0	Korrekturfaktor T für Blei (vgl. Tab. 7, Kap. 4.1.2)
Gefährdungspunkte G = B+M+P+T	3.1	<u>Belastungsbewertung:</u> Daraus folgt die Gefährdungskategorie «konkrete Gefährdung möglich» (ab 3–<5 Punkten; vgl. Tab. 8, Kap. 4.1.3)

Die Berechnung mit Hilfe des Expertensystems «Nutzungen mit möglicher direkter Bodenaufnahme» ergibt für das neunjährige Kind – bei Annahme ungünstigster Verhältnisse – die Gefährdungskategorie «konkrete Gefährdung möglich» (vgl. Tab. 29).

Tabelle 29: Rechenbeispiel zu Nutzungen mit möglicher direkter Bodenaufnahme (Hausgarten).

Faktor	Punkte	Bemerkungen
Belastungsfaktor B	0.6	vgl. Gleichung (dB6.1), Kapitel 6.1.2
Altersfaktor A	0	Altersfaktor für Kinder ab 7. Lebensjahr, Jugendliche und Erwachsene (vgl. Tab. 20, Kap. 6.1.2)
Häufigkeitsfaktor H	2	Häufigkeitsfaktor für wöchentlich mehr als 1- bis 2-malige Nutzung (vgl. Tab. 21, Kap. 6.1.2)
Faktor Vegetationsbedeckung V	2	Faktor Vegetationsbedeckung für Deckungsgrad <75 % (vgl. Tab. 22, Kap. 6.1.2)
Gefährdungspunkte G = B+A+H+V	4.6	<u>Belastungsbewertung:</u> Daraus folgt die Gefährdungskategorie «konkrete Gefährdung möglich» (ab 3 Punkten; vgl. Tab. 23, Kap. 6.1.3)

Abwägungen, Randbedingungen und Massnahmen

Gestützt auf die ermittelten Daten erreicht der Anbau von Nahrungspflanzen nicht die Kategorie «konkrete Gefährdung». Es sollte aber berücksichtigt werden, dass die Bodenkenngrössen nur geschätzt wurden. Es ist deshalb zu prüfen, bei welchen Schätzwerten schon kleine Unsicherheiten eine Änderung des Ergebnisses bewirken. Beim Tongehalt würde erst ein Schätzungsfehler von 10% eine andere Einstufung bewirken (Tongehalt <25%). Beim «Humusgehalt» könnte der Schätzwert statt bei 10% unter 8% liegen, ohne dadurch die Gefährdungspunkte zu beeinflussen.

Beim Schnelltest ist es möglich, dass der pH-Wert um 0.5 pH-Einheiten schwankt. Ein solcher Fehler würde im Falle eines realen pH-Werts von 7.5 aber keine Änderung der Mobilität von Blei verursachen. Im Falle eines realen pH-Werts von 6.5 wäre die Mobilität sogar niedriger. Beim Anbau jeder Art von Pflanzen besteht somit keine «*konkrete Gefährdung*». Der Grundeigentümerin sollte jedoch empfohlen werden, vorsorglich auf den Anbau von Nahrungspflanzen mit Neigung zur Bleiaufnahme zu verzichten (Kopfsalat und Karotten).

Bei «direkter Bodenaufnahme» liegt nach den Berechnungen mit dem Expertensystem die Gefährdungskategorie «*konkrete Gefährdung möglich*» vor. Beim unbedeckten Boden handelt es sich um ein Gemüsebeet – also keine Spielfläche im eigentlichen Sinn. Einem Jugendlichen von 13 Jahren sollten für den Aufenthalt im Garten durchaus sinnvolle Nutzungen empfohlen werden können; dasselbe sollte – in den meisten Fällen – auch für ein Kind von 9 Jahren gelten. Aus diesen Gründen sind Nutzungsempfehlungen hier angebracht.

Hingegen kann sich für Kleinkinder bis etwa zum 6. Lebensjahr – je nach Umständen – die Gefährdungskategorie «*konkrete Gefährdung*» ergeben. Für Klein(st)kinder ist der hier zu beurteilende Garten somit als Ort zum Spielen nicht mehr geeignet. Dies muss im Übrigen für den Fall einer Handänderung schriftlich festgehalten werden (z.B. Eintrag in einen entsprechenden Kataster). Eine Besserung dieser Belastungslage ist nämlich auch langfristig nicht zu erwarten.

Bemerkungen

Ist die Grundeigentümerin mit dieser Beurteilung nicht einverstanden, hat sie die Möglichkeit, eine detailliertere Gefährdungsabschätzung – als mit dem Expertensystem möglich – durchführen zu lassen. Weiter liegen die Schwierigkeiten in der Beurteilung der direkten Bodenaufnahme hier ähnlich wie im Fallbeispiel Anhang 1C.

Anhang 2

Schadstoffe

Die folgenden Angaben zu einzelnen Schadstoffen sind Kurzinformationen. Sie betreffen jene Schadstoffe, für welche in den VBBo-Anhängen Prüf- und Sanierungswerte vorgeschrieben sind.⁷

A Blei (Pb)

Wirkung von Pb auf Menschen

Die hauptsächliche Belastung von Menschen mit Pb erfolgt über direkte inhalative und orale Bodenaufnahme. Die Belastung durch Pb verursacht eine Erhöhung des Pb-Gehalts im Blut, welcher schädliche Auswirkungen auf die Gesundheit hat. Zunächst bewirkt dies Veränderungen des Blutbilds und des Urins. Vor allem bei Kindern, welche beim Spielen übermässig Boden aufnehmen (so genanntes Pica-Verhalten), kann dies bei einer hohen Pb-Belastung des Bodens mittelfristig (Monate) Enzephalopathie und Blutarmut bewirken. Bei langfristiger Pb-Belastung (Jahre) sind auch negative Auswirkungen auf die Denkleistung beobachtet worden, welche irreversibel sein können.

Wirkung von Pb auf Tiere

Sehr hohe Pb-Belastungen verursachen bei Tieren Krankheitsbilder wie Hyperaktivität, Orientierungslosigkeit, motorische Störungen und Blindheit. Solche Pb-Belastungen können zum Tod führen. Eine gesundheitliche Belastung des Menschen infolge Konsums Pb-belasteter Tierprodukte ist dagegen von untergeordneter Bedeutung.

Pb in Nahrungspflanzen

Pb reichert sich in Pflanzen nur in geringem Mass an. Das Verhältnis von Pflanzengehalt zu Totalgehalt im Boden beträgt 0.01:1 bis 0.1:1. Kenntnisse über das Anreicherungsvermögen verschiedener Gemüse- und Obstarten (vgl. Tab. 6) sind nützlich, um danach mit geeigneten Nutzungsempfehlungen die Belastung von Menschen infolge Pb-haltiger Nahrungspflanzen zu senken.

B Cadmium (Cd)

Wirkung von Cd auf Menschen

Die hauptsächlichste Belastung von Menschen mit hochtoxischem Cd erfolgt über die Nahrungskette. Bei Rauchern ist die Cd-Belastung überdies rund doppelt so hoch wie bei Nichtrauchern. Vom Körper aufgenommenes Cd reichert sich vor allem in den Nieren, in der Leber und in den Muskeln an. Bei lebenslanger Cd-Belastung können Funktionsstörungen der Nieren auftreten.

⁷ Detailliertere Informationen sowie Angaben zu weiteren Schadstoffen können Eikmann *et al.* (1999; «Gefährdungsabschätzung», Ergänzbare Handbuch, vor allem Toxizität von Schadstoffen) sowie Scheffer & Schachtschabel (2002, vor allem Vorkommen und Verhalten von Schadstoffen in Böden) entnommen werden. Bei landwirtschaftlicher oder gartenbaulicher Nutzung beraten ausserdem die Agroscope FAL Reckenholz und die Agroscope RAC Changins.

In der Schweiz ist die durchschnittliche Ausschöpfung des PTWI-Werts bei Schwermetallen («Provisional Tolerable Weekly Intake», FAO/WHO)⁸ für Cd mit 20% am höchsten (BAG 1991). Jede zusätzliche Belastung mit Cd, beispielsweise durch Nahrungspflanzen, sollte daher so niedrig wie möglich bleiben.

**Wirkung von Cd
auf Tiere**

Tiere werden – wie der Mensch – mit Cd hauptsächlich über die Nahrung belastet. Leistungseinbussen und Krankheitsmerkmale treten beim Einzeltier erst bei sehr hoher Cd-Belastung auf. Im Falle der Nutztiere verursacht Letztere dann eine indirekte Gesundheitsgefährdung des Menschen, wenn dieser tierische Produkte verzehrt, welche mit Cd belastet sind (v.a. Niere, Leber). Dies wird mit den lebensmittelhygienisch festgelegten Cd-Schwellenwerten für Tiere berücksichtigt.

Cd in Nahrungspflanzen

Cd reichert sich in Pflanzen stark an. Das Verhältnis von Pflanzengehalt zu Totalgehalt im Boden beträgt bis 10:1. Im Anreicherungsvermögen bestehen erhebliche Unterschiede zwischen verschiedenen Pflanzenarten. Cd ist jenes Element, bei dem im Nahrungspflanzenanbau am häufigsten Überschreitungen der Höchstgehalte nach FIV auftreten.

C Kupfer (Cu)

**Wirkung von Cu
auf Menschen**

Cu ist für den Menschen lebensnotwendig und nur in deutlich hoher Menge giftig. In Lebensmitteln aufgenommenes Cu wird hauptsächlich in der Leber und im Gehirn angereichert. Chronische Cu-Toxizität ist beim Menschen jedoch kaum bekannt, weil dieses Schwermetall keine allgemeine Anreicherungseigenschaften aufweist (SCHNEIDER & KALBERLAH 2000, SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2002). Dagegen sind bei kurzfristiger Exposition Fälle von Intoxikation infolge oraler Aufnahme bekannt.

Effekte betreffen in erster Linie den Magen-Darm-Trakt. Je nach Schwere der Vergiftung können auch Leber und Nieren geschädigt werden, was zum Tode führen kann. Cu-Stäube können über inhalative Aufnahme Reizeffekte verursachen, was aber nur bei extremer Belastung geschieht (besondere Arbeitsplatzverhältnisse; vgl. EIKMANN *et al.* 2000). Cu-Gehalte von Böden sind nur in Ausnahmefällen so hoch, dass sie eine Gefährdung des Menschen verursachen können. Der Verzehr tierischer Produkte (z.B. von Weidetieren) verursacht keine besondere Cu-Gesundheitsgefährdung des Menschen.

**Wirkung von Cu
auf Tiere**

Cu ist für Nutztiere lebensnotwendig. Es wird dem Futter u.U. gezielt zugesetzt (Wachstumsförderung). Für Tiere ist der Unterschied zwischen essenziellem Bedarf und schädlicher Dosis zwar klein. Eine hohe Cu-Belastung verursacht bei Wiederkäuern schwere Gesundheitsbeeinträchtigungen. Schafe reagieren auf Cu bekanntlich besonders empfindlich. Deren Gesundheitsbeeinträchtigung wird infolge eines hohen Anteils an Boden im Raufutter noch verschärft (Weidegang; vgl. Tab. 13).

⁸ WHO/FAO 2003: «Summary and conclusions of the Joint FAO/WHO Expert committee on food additives (JECFA)» – 61st meeting in Rome, 10–19th June 2003; see: Annex 4 on Cadmium.

Die hohe Cu-Empfindlichkeit der Schafe ist teilweise mit gleichzeitigem Mangel an Mo verknüpft.

Ist der Cu-Prüfwert «Futterpflanzenanbau» überschritten, muss – vor weiteren Massnahmen – zuerst die Ernährung der Tiere überprüft werden. Nicht-Wiederkäuer sind auf Cu weit weniger empfindlich.

Cu in Nahrungspflanzen Cu ist für Pflanzen lebensnotwendig. Zu hohe Cu-Gehalte in Pflanzen können hingegen Schäden bis hin zum Absterben verursachen. Beim Cu wurde der Sanierungswert nach VBBo für Gärten mit Blick auf eine Schädigung von Pflanzen (Ertragsminderung) und nicht des Menschen festgelegt (BUWAL 1997a).

Literatur GEORGOPOULOS P.G., ROY A., YONONE-LIOY M. J., OPIEKUN R. E., LIOY P. J. 2001:
«*Environmental copper, its dynamics and human exposure issues*»,
J.Toxicol.EnvIRON.Health, Part B 4, 341–394.

D Zink (Zn)

Wirkung von Zn auf Menschen Zn ist für den Menschen lebensnotwendig und nur in hoher Menge giftig. Inhalative Expositionen mit nachfolgenden Lungensymptomen spielen bei besonderen Arbeitsplatzverhältnissen eine Rolle («Zinkfieber»). Akute orale Aufnahme verursacht vor allem Beschwerden des Magen-Darm-Trakts. Eine chronische Belastung verursacht Veränderungen im Blutbild und bei der Nierenfunktion; fruchtschädigende Wirkungen sind ebenfalls bekannt (HASSAUER *et al.* 2001). Zn-Gehalte des Bodens sind nur in Ausnahmefällen so hoch, dass sie eine Gesundheitsgefährdung des Menschen verursachen.

Wirkung von Zn auf Tiere Für Nutztiere ist Zn lebensnotwendig und wird – wie Cu – dem Futter auch gezielt zugesetzt (Wachstumsförderung). Zn-Gehalte des Bodens sind nur in Ausnahmefällen so hoch, dass sie eine Gesundheitsgefährdung von Tieren verursachen.

Zn in Nahrungspflanzen Zn ist für Pflanzen lebensnotwendig. Zu hohe Zn-Gehalte in Pflanzen können Schäden bis hin zum Absterben verursachen. Beim Zn wurde der Sanierungswert nach VBBo für Gärten mit Blick auf eine Schädigung von Pflanzen (Ertragsminderung) und nicht des Menschen festgelegt (BUWAL 1997a).

E Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Es gibt einige hundert PAK-Verbindungen. Sie entstehen vorwiegend bei unvollständigen Verbrennungsvorgängen. Nach VBBo wird aus analytischen Gründen nur die Summe der 16 PAK-Leitverbindungen der EPA geregelt (Priority pollutants list). Benzo(a)pyren wird dabei als Einzelverbindung berücksichtigt (toxische Wirkung auf den Menschen gut untersucht). Bei Gefährdungsabschätzungen wird die Auswirkung von PAK-Einzelverbindungen auf den Menschen mit Hilfe von Äquivalenten nach Benzo(a)pyren-Toxizität ermittelt (vgl. Tab. 30).

Tabelle 30: 16 PAK-Einzelverbindungen und deren Toxizitätsäquivalente (kanzerogene Wirkung).

– Benzo(a)pyren	1	– Anthracen	0.01	– Fluoranthen	0.001
– Dibenzo(a,h)anthracen	1	– Benzo(ghi)perylen	0.01	– Fluoren	0.001
– Benzo(a)anthracen	0.1	– Chrysen	0.01	– Naphthalin	0.001
– Benzo(b)fluoranthen	0.1	– Acenaphthen	0.001	– Phenanthren	0.001
– Benzo(k)fluoranthen	0.1	– Acenaphthylen	0.001	– Pyren	0.001
– Indeno(1,2,3-cd)pyren	0.1				

Quelle: NISBET und LAGOY (1992)

Wirkung von PAK auf Menschen

Eine chronische Belastung des Menschen mit PAK erhöht die Wahrscheinlichkeit von Krebserkrankungen (Haut- und Lungenkrebs). Inhalative und orale Bodenaufnahme, das Räuchern und Grillieren von Fleischprodukten und nachfolgender Verzehr sind typische Beispiele für PAK-Gesundheitsgefährdungen.

Wirkung von PAK auf Tiere

Die Anreicherung von PAK in Futterpflanzen (Gras) ist sehr gering. Tiere werden als Folge direkter oraler Bodenaufnahme oder Verunreinigungen des Futters mit Boden nur geringfügig belastet. Hohe PAK-Gehalte in Böden stellen für Tiere nach heutigem Stand des Wissens keine gesundheitliche Gefährdung dar. PAK reichern sich in tierischen Produkten kaum an.

PAK in Nahrungspflanzen

Als Folge unterschiedlicher Stoffeigenschaften ist die Anreicherung in Pflanzen abhängig von der PAK-Einzelsubstanz. Das Verhältnis von Pflanzengehalt zu Totalgehalt im Boden beträgt je nach Stoff und Nahrungspflanze 0.01:1–10:1. Ist die Belastung auf Teeröle zurückzuführen (z.B. ehemalige Gaswerke), so wirken diese lösungsvermittelnd und begünstigen den Transfer in die Pflanzen.

Eine gute Übersicht zum Wissensstand über den Transfer Boden–Pflanze geben DELSCHEN *et al.* (1999). Demnach kann eine systemische PAK-Aufnahme über die Pflanzenwurzeln zumeist nicht festgestellt werden, namentlich nicht bei den humantoxikologisch besonders wichtigen höhermolekularen PAK, so das Benzo(a)pyren und Dibenz(a,h)anthracen. Dagegen kann eine Aufnahme durch Anlagerung schadstoffbelasteter Bodenpartikel an Pflanzen mit anschliessendem direktem Übergang in die pflanzliche Cuticula erfolgen. Wichtig ist dies vor allem bei bodennah wachsenden Blattgemüsearten. Weil dabei witterungsbedingte Faktoren eine wesentliche Rolle spielen (Häufigkeit und Intensität einer «Bodenbeaufschlagung», d.h. Bodenpartikel auf die Blätter), ist eine zuverlässige Prognose der PAK-Gehalte in Pflanzen gestützt auf Ergebnisse von Bodenuntersuchungen nicht möglich.

Der PAK-Transfer Bode–Pflanze lässt sich durch Abdecken des belasteten Bodens mit Mulchmaterial weitgehend unterbinden. Nach Untersuchungen von DELSCHEN *et al.* (1999) dürften Anbauempfehlungen (Auswahl Pflanzenart, Sandabdeckung, Mulchen,) zumindest «bis zu Bodenkonzentrationen in der Grössenordnung von 15 mg/kg bezogen auf Benzo(a)pyren ausreichenden Schutz bieten» (Zitat). Dies trifft für den ganzen Bereich zwischen Prüfwert und Sanierungswert nach VBBo zu (Prüfwertbereich). Eine umfassende Beurteilung von möglichen Gefährdungen durch PAK in Nahrungspflanzen erfordert aber besonders in Ballungsgebieten eine gleichzeitige Betrachtung der Aufnahme via Luft und des Transfers Boden–Pflanze (vgl. SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2002, S. 402).

Die Beurteilung von PAK in Nahrungspflanzen erfolgt mit Hilfe von Höchstgehalten der FIV. Sie schreibt Werte für Benzo(a)pyren vor, die als Toxizitätsäquivalente (vgl. Tab. 30) auch bei andern PAK-Verbindungen verwendet werden können.

Literatur

- BUWAL 1998: «Richt-, Prüf- und Sanierungswerte für organische Schadstoffe im Boden – Fallbeispiel PAK», Umweltmaterialien «Boden», Nr. 96, Bern, 111 S.
- DELSCHEN T., HEMBROC-HEGER A., LEISNER-SAABER J., SOPCZAK D. 1999: «Verhalten von PAK im System Boden/Pflanze», Umweltwissenschaften und Schadstoffforschung, 11, 79–87.
- LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (HRSG.) 1997b: «Stoffbericht – Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)», Texte und Berichte zur Altlastenbearbeitung, 34/97, 249 S.

F Polychlorierte Biphenyle (PCB)

PCB sind eine Gruppe von 209 organischen aromatischen Chlorverbindungen. Sie wurden ab 1930 hergestellt und dienten bis in die 1980er-Jahre beispielsweise als Hydraulikflüssigkeit, Industriefette, Wärmeaustauscher oder Dielektrika. Seit 1986 ist ihre Herstellung und Verwendung in der Schweiz verboten. PCB reichern sich wegen ihrer Fettlöslichkeit vor allem im Fettgewebe von Organismen an. Entlang der Nahrungskette tritt eine Verstärkung dieser Wirkung ein (Biomagnifikation). Nach VBBo und aus analytischen Gründen wird nur die Summe der 7 PCB-Kongeneren nach IRMM geregelt (IUPAC-Nr. 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180).

Wirkung von PCB auf Menschen

PCB reichern sich im Fettgewebe des Menschen an. Bei erhöhter Belastung von Schwangeren über die Nahrung können verkürzte Schwangerschaften, verringertes Geburtsgewicht, Fehlbildungen, verzögerte Entwicklung und Schäden im Nervensystem von Embryonen auftreten. Zudem kann das Immunsystem geschwächt werden. Auch gibt es Hinweise auf eine Krebs erregende Wirkung von PCB.

Wirkung von PCB auf Tiere

Tiere werden mit PCB durch direkte Bodenaufnahme oder wegen Verunreinigung der Futterpflanzen mit Boden belastet. Die Anreicherung von PCB in Futterpflanzen ist jedoch von untergeordneter Bedeutung. Die schädlichen Wirkungen auf Tiere sind ähnlich wie beim Menschen.

PCB in Nahrungspflanzen

Pflanzen nehmen PCB durch die Wurzeln auf. Eine Anreicherung findet jedoch kaum statt. Pflanzen mit grossen unterirdischen Organen (Karotten, Kartoffeln, Schwarzwurzeln usw.) enthalten mehr PCB als Pflanzen mit oberirdischen Speicherorganen.

Die Beurteilung von PCB in Nahrungspflanzen stellt auf die Höchstgehalte der FIV ab. Diese gelten, im Gegensatz zum Prüf- und Sanierungswert nach VBBo, für den PCB-Gesamtgehalt. Die Ermittlung des Gesamtgehalts erfolgt in erster Näherung nach folgender Formel:

- Summe der Kongeneren Nr. 28, 52, 101, 138, 153, 180 wird mit 4.3 multipliziert.

Literatur

LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG 1997a (Hrsg.):
 «Stoffbericht – Polychlorierte Biphenyle (PCB)», Texte und Berichte zur
 Altlastenbearbeitung, 16/95, 121 S.

G Dioxine und Furane (PCDD/F)

PCDD/F entstehen hauptsächlich bei Verbrennungsprozessen in Anwesenheit von chlorhaltigen Verbindungen. Es existieren 210 Dioxin- und Furanverbindungen, welche sich in ihrer Giftigkeit erheblich unterscheiden. Davon sind nur gerade 17 Einzelverbindungen wegen ihrer Toxizität biologisch wichtig, nämlich jene mit Chloratomen an den Bindungsstellen 2,3,7 und 8. Der PCDD/F-Gehalt wird deshalb in Toxizitätsäquivalenten angegeben (I-TEQ/kg). Auf Grund der Fettlöslichkeit reichern sich PCDD/F vor allem im Fettgewebe von Organismen an. Entlang der Nahrungskette tritt eine Verstärkung dieser Wirkung ein (Biomagnifikation).

Wirkung von PCDD/F auf Menschen

Menschen werden mit PCDD/F zu über 95% über die Nahrung belastet (fetthaltige Nahrung wie Milch, Fleisch- und Fischprodukte). Milch gilt für die Ernährung als nicht mehr geeignet, wenn ein Gehalt von mehr als 5 ng I-TEQ/kg Milchfett vorliegt. Extrem hohe Belastungen können Chlorakne, hormonelle Fehlwirkungen sowie eine erhöhte Wahrscheinlichkeit einer Krebserkrankung verursachen. Für niedrige Belastungen sind bisher keine Gesundheitsfolgen bekannt. Zum Schutz des Menschen kann die Beurteilungsgrundlage nach Tabelle 31 verwendet werden.

Tabelle 31: Belastungsbereiche für Dioxine und Furane beim Menschen (WHO 1998, FIEDLER 2003).

Belastungsbereich [pg I-TEQ/kg Körpergewicht]	Beurteilung
<1	Gesundheitliche Schäden können mit grosser Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden (Vorsorgewert).
1–4	Bei lebenslanger Exposition sind gesundheitliche Schäden noch nicht anzunehmen, aber eine hinreichende Sicherheit besteht diesbezüglich nicht (Alarmwert).
>4	Bei langfristiger täglicher Aufnahme sind Massnahmen zur Senkung der Dioxin- und Furanmenge auf möglichst weniger als 4 pg I-TEQ/kg Körpergewicht zu treffen.

Wirkung von PCDD/F auf Tiere

Tiere sind empfindlicher auf PCDD/F als Menschen. Sie nehmen diese Verbindungen hauptsächlich mit der Nahrung auf. Futterpflanzen werden vor allem durch atmosphärische Deposition belastet. Bei Tieren, in deren Nahrung der Anteil an oraler Bodenaufnahme hoch ist (vgl. Tab. 13), trägt auch die Bodenbelastung zur Gesamtbelastung bei. Bei Milchkühen reichern sich PCDD/F in der Milch an, beim Geflügel im Fett der Eier.

PCDD/F in Nahrungspflanzen

Die PCDD/F-Belastung von Pflanzen entsteht hauptsächlich durch atmosphärische Deposition. Blattgemüse ist wegen der grossen Blattfläche am meisten betroffen. PCDD/F werden in geringerem Mass auch durch unterirdische Pflanzenteile aufgenommen. Sie lagern sich hauptsächlich in die äussersten Zellschichten der Wurzeln

ein. Durch Schälen kann die Belastung infolge Konsums von Wurzelgemüse erheblich gesenkt werden. Eine Verlagerung aus den Wurzeln in den Spross und in die Blätter kommt, ausser bei Kürbissen und Zucchini, kaum vor. Das Verhältnis Pflanzengehalt zu Bodengehalt liegt zwischen 0.01 und 0.1. Die FIV schreibt für PCDD/F in Nahrungspflanzen keine Höchstgehalte vor.

Literatur

- BUWAL 1997b: «*Dioxine und Furane – Standortbestimmung, Beurteilungsgrundlagen, Massnahmen*», Schriftenreihe Umwelt Nr. 290, 127 S., Bern.
- FIEDLER H. 2003: «*Dioxins and Furans (PCDD/PCDF)*», Handbook of Environmental Chemistry, vol. 30, 123–201.

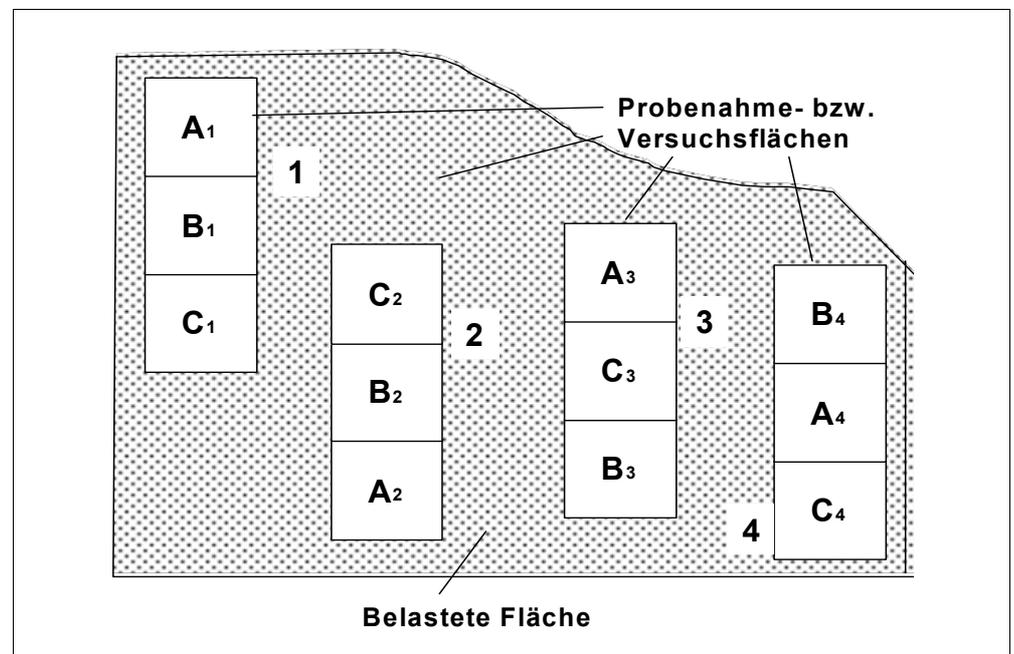
Anhang 3

Anbauversuch

Probenahme- bzw. Versuchsflächen

Auf der belasteten Fläche sollen Versuchsflächen ausgeschieden werden (vgl. Abb. 7). Aus statistischen Gründen sollen mindestens vier Flächen festgelegt werden. Auf jeder dieser Flächen werden bezüglich Anreicherungsvermögen unterschiedliche Pflanzenarten so beprobt bzw. angebaut, dass die belastete Fläche möglichst repräsentativ erfasst wird.

Abb. 7: Probenahme- bzw. Versuchsflächen bei Untersuchung von drei Pflanzenarten A, B und C.



Saatgut und Bewirtschaftung bei Anbauversuch

Bei einem Anbauversuch ist zwecks Vergleichbarkeit der Ergebnisse für jede Art auf einheitliches Ausgangsmaterial (Samen, Setzlinge) zu achten. Die Saat bzw. das Setzen erfolgt nach den in Landwirtschaft und Gartenbau üblichen Methoden. Bei der Bewirtschaftung ist eine geeignete Zufuhr von Nährstoffen und Wasser wichtig, um Stress zu vermeiden.

Probenahme

Von jeder Pflanzenart sind pro Probenahme- bzw. Versuchsfläche vier [bis sechs] Stück zu ernten und wie folgt zu jeweils drei Mischproben zu vereinigen: Mischproben mit Pflanzen aus A₁–A₄, Mischproben aus B₁–B₄ und Mischproben aus C₁–C₄. Die Ernte erfolgt nach den im Gartenbau üblichen Methoden. Bei Nahrungspflanzen sind nicht essbare Pflanzenteile und Verunreinigungen mit Boden möglichst vor Ort zu entfernen.

Literatur

OFEFP 1996: «Sols pollués – métaux lourds et plantes bioindicatrices», documents environnement n° 58, 245 p., Berne.

Anhang 4

Belastungsbewertung beim Futterpflanzenanbau mit Hilfe von Schwellenwerten

Ein Schwellenwert ist definiert als derjenige Wert, welcher für ein betreffendes Spurenelement nicht überschritten werden darf. Andernfalls können beim Tier Abweichungen vom normalen Stoffwechsel auftreten, oder ein Tierprodukt entspricht den lebensmittelhygienischen Anforderungen nicht mehr. Dabei wird zwischen einem unteren Schwellenwert (Toleranzschwelle) und einem oberen Schwellenwert (toxische Schwelle) unterschieden (KIRCHGESSNER 1997).

Tabelle 32: Untere und obere Schwellenwerte in Futtermitteln zur Bewertung der gesamten Schadstoffbelastung von Nutztieren (TS = Trockensubstanz).

Nutztier	Pb [mg/kg TS]	Cd [mg/kg TS]	Cu [mg/kg TS]	Zn [mg/kg TS]	PCB [mg/kg TS]
Milchkuh	25–30	0.5–30	30–100	250–500	0.1–3
Rind	–		30–100	150–500	
Schaf	15–30		10–25	150–500	
Schwein	15–30		150–500	100–2000	
Pferd	–		150–500	–	
Geflügel	–		300–500	–	

Zusammengestellt aus: KESSLER 1993, HAPKE 1988, NRC 1980, KIRCHGESSNER 1997, FAC 1990.

Belastungsanalyse

Im Gegensatz zu den Höchstgehalten der FMBV beziehen sich Schwellenwerte auf das gesamte von einem Nutztier verzehrte Futter. Deshalb muss die Gesamtbelastung der betroffenen Nutztierart berechnet werden. Zunächst wird die Belastung durch die einzelnen Futtermittel für den Schadstoff in derselben Weise berechnet wie in Kapitel 5.2.1, hier jedoch für alle vom betroffenen Nutztier verzehrten Futtermittel:

$$B_i = d_i * c_{\text{Totalgehalt, Boden}} + c_{\text{Futterpflanze}} \quad (\text{A4.1})$$

B_i Belastung der Futterpflanze i [mg/kg];

d_i Anteil an direkter oraler Bodenaufnahme/Verunreinigung der Futterpflanzen mit Boden i (vgl. Tab. 13);

$c_{\text{Totalgehalt, Boden}}$ Schadstoffgehalt des Bodens [mg/kg TS]; Probenahmetiefe: 0–5 cm; bei Verunreinigungen von tiefer reichenden Pflanzen mit Boden (Erntegut): 0–20 cm;

$c_{\text{Futterpflanze}}$ Schadstoffgehalt der Futterpflanze [mg/kg TS].

Gesamtbelastung durch alle Futterpflanzen

Für Futtermittel, welche nicht von belasteten Flächen stammen, kann auf Durchschnittsgehalte zurückgegriffen werden (z.B. IPE 1994; vgl. Tab. 19). Im Anschluss wird die Gesamtbelastung der Nutztierart berechnet:

$$B_{gesamt} = \sum g_i * B_i \quad (A4.2)$$

B_{gesamt} Gesamtbelastung des Futters der Nutztierart [mg/kg];
 g_i Anteil der Futterpflanze i an der gesamten Futterrational; maximale Anteile einzelner Futterpflanzen am Gesamtfutter (vgl. Tab. 13).

Belastungsbewertung

Die Zuweisung von Gefährdungskategorien richtet sich bei der Verwendung von Schwellenwerten nach den Kriterien in Tabelle 33. Sie ist für jede Nutztierart und jeden Schadstoff einzeln vorzunehmen.

Tabelle 33: Gefährdungskategorien für Futterpflanzenanbau bei Verwendung von Schwellenwerten.

Gesamtbelastung (B_{gesamt} aus Gleichung A4.2)	Gefährdungskategorie
Unterer Schwellenwert ist nicht überschritten	keine Gefährdung
Unterer Schwellenwert ist überschritten	konkrete Gefährdung möglich
Oberer Schwellenwert ist überschritten	konkrete Gefährdung

Anhang 5

Berücksichtigung der Messunsicherheit beim Vergleich von Messergebnissen mit Höchstwerten⁹

1 Grundsätzliches

Zu jedem Messwert gehört eine Messunsicherheit. Im Normalfall wird die Messunsicherheit durch die Angabe des 95%-Vertrauensbereichs für den wahren Wert dargestellt (EURACHEM 1995).

Beim Vergleich eines Messwerts mit einem Höchstwert gilt im Allgemeinen: Ein Gehalt einer Probe liegt nur dann mit einer statistischen Sicherheit von 95% über einem Höchstwert, wenn der gesamte Vertrauensbereich (für einseitige Fragestellungen) des Messwerts über dem Höchstwert liegt. Umgekehrt kann erst dann eine Unterschreitung des Höchstwerts festgestellt werden, wenn der gesamte Vertrauensbereich (für einseitige Fragestellungen) des Messwerts unterhalb des Höchstwerts liegt.

Im Folgenden wird angenommen, dass die Proben-Inhomogenität kleiner ist als die Messunsicherheit des Messverfahrens.

2 Abklärung auf Grund analytischer Untersuchungen

Die Messunsicherheit ist abhängig von der Präzision eines Messverfahrens. Die Präzision lässt sich durch die beiden Grössen «Vergleichbarkeit R» und «Wiederholbarkeit r» darstellen. R und r lassen sich aus der Vergleichs- bzw. Wiederhol-Standardabweichung errechnen:

$$\text{Vergleichbarkeit: } R = 2.8 * s_R \quad (\text{A5.1})$$

s_R: Vergleichs-Standardabweichung.

$$\text{Wiederholbarkeit: } r = 2.8 * s_r \quad (\text{A5.2})$$

s_r: Wiederhol-Standardabweichung.

Mit Hilfe von R und r kann die «kritische Differenz» zum Höchstwert auf dem 95%-Vertrauensniveau berechnet werden (BAG 1989):

$$D_{95} (\bar{x} - H) = [0.84/2^{1/2}] * [R^2 - r^2 * (n-1)/n]^{1/2} \quad (\text{A5.3})$$

H = Höchstwert;
 \bar{x} = Mittelwert (Bestimmungen eines Labors);
n = Anzahl bestimmter Werte des Analyten.

Nur wenn der Mittelwert mehr als die Summe von Höchstwert und «kritischer Differenz» beträgt, liegt mit 95% Wahrscheinlichkeit eine Überschreitung des Höchstwerts vor. Dieses Vorgehen erfordert die analytische Bestimmung von R und r im Ringversuch sowie die Mehrfachbestimmung (Mittelwertbestimmung) des Analyten.

⁹ Autor des Anhangs 5: Dr. Claudius Gemperle vom Kantonalen Laboratorium Aargau.

3 Abklärung auf Grund von allgemeinen Erfahrungswerten

Anstelle der mittels Ringversuch genau bestimmten Werte R und r können auch Schätzwerte eingesetzt werden.

Die Schätzung für s_R nach Horwitz:

$$s_R = 0.02 * C^{0.85} \quad (\text{A5.4})$$

$C = \text{Massenverhältnis (HORWITZ 2003)}$.

und die Annahme, dass

$$s_r = s_R / 2 \quad (\text{A5.5})$$

werden von vielen Seiten als vernünftig beurteilt.

Aus Gleichung (A5.6) lässt sich die relative Vergleichs-Standardabweichung RSD_R berechnen:

$$RSD_R (\%) = 2 * C^{-0.15} [= 2^{(1-0.5 \log C)}] \quad (\text{A5.6})$$

Die Gleichung (A5.6) illustriert die Konzentrationsabhängigkeit von RSD_R (Werte vgl. Tab. 34). Ausgehend von den Gleichungen (A5.1) und (A5.2) sowie (A5.4) und (A5.5) lässt sich mit Gleichung (A5.3) die «kritische Differenz des Mittelwerts zum Höchstwert» berechnen.

Tabelle 34: Kritische Differenz für verschiedene Konzentrationen.

Konzentration C [-]		$RSD_R (\%)$ ¹⁾ $2 * C^{-0.15}$	Kritische Differenz Mittelwert zu Höchstwert relativ zu Konzentration, in % ²⁾
10^{-1}	100 g/kg	3	4
10^{-2}	10 g/kg	4	6
10^{-3}	1 g/kg	6	9
10^{-4}	100 mg/kg	8	12
10^{-5}	10 mg/kg	11	17
10^{-6}	1 mg/kg	16	24
10^{-7}	0.1 mg/kg	23	34
10^{-8}	10 µg/kg	32	48
10^{-9}	1 µg/kg	45	68

¹⁾ Relative s_R = relative Vergleichsstandardabweichung;

²⁾ $D_{95}(\bar{x}-H)$ bezogen auf die Konzentration (in %) für n = 3.

Die Berechnung der kritischen Differenz nach HORWITZ (2003) ergibt aus der Sicht vieler Analytiker zu hohe Messunsicherheiten. Im Einzelfall sind niedrigere Messunsicherheiten durchaus möglich.

Literatur

EURACHEM 1995: «*Quantifying uncertainty in analytical measurement*», ISBN 0 948926 08 2, 87 p., London.

BAG 1989: «*Schweizerisches Lebensmittelbuch*», Kapitel 60B/Anhang 4, Abschnitt 4.

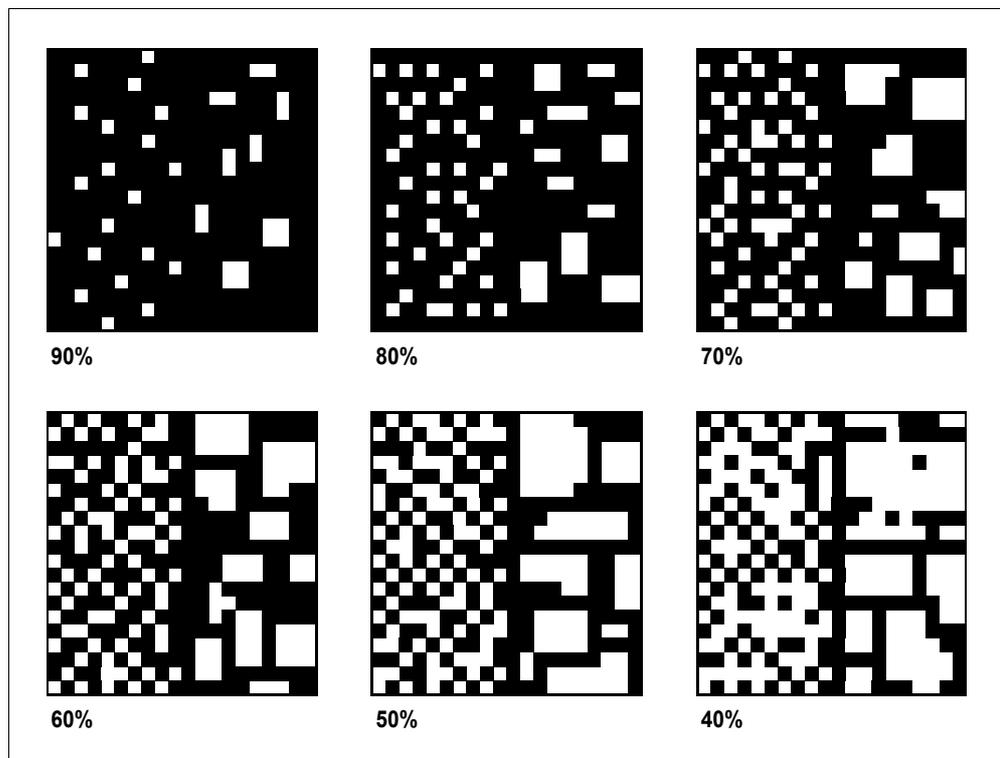
HORWITZ W. 2003: «*The certainty of uncertainty*», J.Assoc.Offic.Anal.Chemists (AOAC) International, 86, No. 1, 109–111.

Anhang 6

Vergleichstafeln für Deckungsgrade

Diese Vergleichstafeln können zur Schätzung von Flächenanteilen verwendet werden, auf denen der Boden infolge Vegetationsbedeckung nicht direkt erreichbar ist.

Abb. 8: Vergleichstafeln für Deckungsgrade.



32 Eigentumsverhältnisse	
<input type="checkbox"/> privates Grundstück	<input type="checkbox"/> öffentliche Anlage
<input type="checkbox"/> in privatem Gebrauch (z.B. Familiengarten)	<input type="checkbox"/> in öffentlichem Gebrauch (z.B. Park)
33 Nutzer/innen	
Nutzer/innen (Mehrfachauswahl):	<input type="checkbox"/> bestimmte Nutzer/innen <input type="checkbox"/> unbestimmte Nutzer/innen
<input type="checkbox"/> Kleinstkinder (bis 3. Lebensjahr)	<input type="checkbox"/> Einzelne (1–5)
<input type="checkbox"/> Kleinkinder (4.–6. Lebensjahr)	<input type="checkbox"/> wenige (5–50)
<input type="checkbox"/> Kinder (7.–11. Lebensjahr)	<input type="checkbox"/> viele (mehr als 50)
<input type="checkbox"/> Jugendliche (12.–16. Lebensjahr)	
<input type="checkbox"/> Erwachsene (ab 17. Lebensjahr)	
Hauptnutzung durch:	
34 Nutzungshäufigkeit	
Nutzungshäufigkeit:	<input type="checkbox"/> wöchentlich mehr als 1x
	<input type="checkbox"/> wöchentlich 1x
	<input type="checkbox"/> wöchentlich weniger als 1x
35 Zukünftige Nutzung	
36 Zusatzinformationen zur Nutzung	

4 Zugang zur Fläche

41 Zugang		
<input type="checkbox"/> frei zugänglich	<input type="checkbox"/> natürliche Hindernisse	<input type="checkbox"/> künstliche Hindernisse
<input type="checkbox"/> kein Zutrittsverbot	<input type="checkbox"/> Schutzwall	<input type="checkbox"/> Zaun, Höhe:
<input type="checkbox"/> Zutrittsverbot	<input type="checkbox"/> Grube, Graben	<input type="checkbox"/> Mauer, Höhe:
	<input type="checkbox"/> andere:	<input type="checkbox"/> andere:
42 Zusatzinformationen zum Zugang		

5 Bewuchs

51 Bewuchs		
<input type="checkbox"/> künstlich	<input type="checkbox"/> natürlich	
52 Arten		
<input type="checkbox"/> Krautschicht	<input type="checkbox"/> Strauchschicht	<input type="checkbox"/> Baumschicht
<input type="checkbox"/> Naturwiese	<input type="checkbox"/> dornig	
<input type="checkbox"/> Rasen	<input type="checkbox"/> nicht dornig	
<input type="checkbox"/> Wald		
<input type="checkbox"/> ruderal		
<input type="checkbox"/> andere:		
53 Deckungsgrad der Vegetation insgesamt: Auf welchem Flächenanteil ist Boden nicht direkt erreichbar? (vgl. Anh. 6, Vergleichstafel)		
Deckungsgrad (%):		
54 Veränderungsmöglichkeiten des pflanzlichen Bewuchses		

6 Datum und Unterschrift

61 Datum und Unterschrift	
Datum:	Unterschrift:

Anhang 8

Orientierungswerte nach EIKMANN & KLOKE (1993)

Bodenwerte:

- BW I:** Basiswert (Hintergrundwert), vergleichbar mit **Richtwert** (VBBo);
- BW II:** Prüfwert (Sanierungszielwert), vergleichbar mit **Prüfwert** (VBBo);
- BW III:** Eingreifwert (Interventionswert), vergleichbar mit **Sanierungswert** (VBBo).

Nutzungsart		Bodenwert	Anorganische Schadstoffe																							Organische Schadstoffe			
			As	B	Ba	Be	Br	Cd	Co	Cr	Cu	F***	Ga	Hg	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	Tl	U	V	Zr	Zn	CN _{ges}	Benzo(a)-pyren	PCB	PCDD/PCDF [ng TEQ/kg]
Schutzgut Mensch	Multifunktional	BW I	20	25	100	1	10	-	30	-	-	-	10	-	-	-	-	1	1	50	0.5	2	50	300	-	5	-	-	-
	Kinderspielplätze	BW II	20	25	100	1	10	-	30	*	*	***	10	*	*	*	-	2	5	50	0.5	2	50	300	-	5	-	-	-
		BW III	50	125	500	5	50	-	150	250	-	***	50	10	25	200	-	10	20	250	10	10	200	1500	-	50	-	-	-
	Haus- und Kleingärten	BW II	40	50	200	2	20	-	100	100	*	***	20	2	10	80	-	4	5	100	2	5	100	500	-	20	-	-	-
BW III		80	250	1000	5	100	-	400	350	-	2500	100	20	50	200	-	10	10	500	20	20	400	2000	-	400	-	-	-	
Andere Schutzgüter	Multifunktional	BW I	20	25	100	1	10	-	50	-	-	-	10	-	-	-	-	1	1	50	0.5	5	50	300	-	5	-	-	-
	Landwirtschaftliche Nutzflächen, Obst- und Gemüsebau	BW II	40	50	300	2	30	-	200	200	-	1000	40	10	20	100	-	5	5	100	2	10	100	500	300	-	-	-	-
		BW III	**	250	1500	5	150	-	1000	500	-	5000	200	50	100	200	-	25	10	500	10	50	400	2000	-	-	kA	-	-

[Werte in mg/kg Boden – wo nicht anders angegeben].

kA = Keine Angaben.

TEQ = Toxizitätsäquivalente (vgl. Anh. 2G).

- = An dieser Stelle wird der Regelungswert nach VBBo verwendet.

* = Als Prüfwert-Äquivalent wird der doppelte Richtwert nach VBBo verwendet, weil der BW II nach EIKMANN & KLOKE (1993) tiefer oder gleich hoch wie der VBBo-Richtwert liegt.

** = Als Sanierungswert-Äquivalent wird der doppelte BW II-Wert verwendet, weil der BW III-Wert nach EIKMANN & KLOKE (1993) mit 50 mg/kg nur wenig höher als der BW II-Wert liegt.

*** = Für Fluor geben EIKMANN & KLOKE (1993) BW II- und BW III-Werte an, die teilweise unter bzw. nur knapp über dem Richtwert nach VBBo liegen. Beim Fluor sollen die Auswirkungen unterschiedlicher Extraktionen und Bewertungsmaßstäbe besonders beachtet werden; im Zweifelsfall wird eine detailliertere Untersuchung durchgeführt.

Hinweise: Die Probenahmetiefen und Extraktionsmethoden nach VBBo unterscheiden sich von denjenigen, die bei EIKMANN & KLOKE (1993) vorausgesetzt werden (z.B. bei Schwermetallen 2M HNO₃ nach VBBo im Gegensatz zu Königswasseraufschluss in Deutschland). Dies kann in bestimmten Fällen zu abweichenden Ergebnissen führen, was berücksichtigt werden muss. Die hier angegebenen Nutzungen entsprechen jenen, für welche die VBBo Regelungswerte vorschreibt. Weitere Nutzungskategorien finden sich bei EIKMANN & KLOKE (1993). Zu den in Deutschland verwendeten Extraktions- und Messverfahren siehe deutsche Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV). In: ROSENKRANZ D., BACHMANN G., KÖNIG W., EINSELE G. (Hrsg.), «Bodenschutz», ergänzbares Handbuch, Kennzahl 8005, E. Schmidt Verlag, Berlin.

Literatur: EIKMANN T., KLOKE A. 1993: *Nutzungs- und Schutzgutbezogene Orientierungswerte für (Schad-)Stoffe in Böden*. In: ROSENKRANZ D., BACHMANN G., KÖNIG W., EINSELE G. (Hrsg.), «Bodenschutz», ergänzbares Handbuch, Kennzahl 3590, E. Schmidt Verlag, Berlin.

Anhang 9

Erklärungen zur Kalibrierung der Expertensysteme

A Expertensystem «Nahrungspflanzenanbau»

Verfügbare Daten

Für die Kalibrierung des Expertensystems «Nahrungspflanzenanbau» wurde die TRANSFER-Datenbank des deutschen Umweltbundesamtes (UBA) verwendet.¹⁰ Sie enthält etwa 317'000 Wertepaare von Schadstoffgehalten in Böden und Pflanzen sowie Daten zu Bodeneigenschaften. Es lagen Daten zu den folgenden ausschliesslich anorganischen Schadstoffen vor:

Ag, As, Be, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Sn, Tl, U, V, Zn

Von den gesamten Daten der TRANSFER-Datenbank ist nur ein Teil in einer Weise ermittelt worden, der mit den Messungen nach VBBo und nach schweizerischem Lebensmittelrecht vergleichbar ist. Die für eine Kalibrierung nutzbaren Daten wurden der Datenbank nach folgenden Kriterien entnommen:

1. *Pflanzenarten*: Arten, die als Nahrungspflanzen im Sinne der FIV gelten;
2. *Pflanzen-Vorbehandlungen*: nur gewaschene und nicht gekochte Pflanzen;
3. *Extraktion Boden*: Königswasser-Aufschluss;
4. *pH-Werte Boden*: zwischen 4.25 und 7.75 (CaCl₂);
5. *Boden-Probenahmetiefen*: 0–20, 0–25 und 0–30 cm sowie Gefässversuche. Dabei handelt es sich um die einzige Abweichung von den VBBo-Kriterien (Einstichtiefe 20 cm). Diese Lockerung der Kriterien dürfte verantwortbar sein (relativ gute Durchmischung auf Ackerflächen und in Gärten sowie bei Gefässversuchen). Sie war nötig, um eine ausreichende Datengrundlage zu beschaffen.

Danach waren 20'187 Wertepaare für die Kalibrierung des Expertensystems Nahrungspflanzenanbau nutzbar, mit Verteilung nach Tabelle 35 auf einzelne Elemente.

Als Mass für die Kalibrierung sind Lebensmittelgrenzwerte erforderlich. Sie sind ein Mass für die Humantoxizität von Stoffen. Die FIV schreibt jedoch nur bei den Schwermetallen Cd, Pb und Tl Höchstgehalte für Nahrungspflanzen vor, und auch im internationalen Rahmen wurden bisher nur für Cd und Pb Grenzwerte in Nahrungspflanzen festgelegt (BERG & LICHT 2002). Das Kalibrierungsverfahren für diese drei Schwermetalle wird nachfolgend am Beispiel von Cd erläutert; in derselben Weise wurde beim Pb und Tl verfahren.

Cd, Pb und Tl

Es war nicht möglich, bei der Kalibrierung eine Anpassung jedes einzelnen Faktors vorzunehmen, d.h., es konnte nicht für jede Verknüpfung von Bodeneigenschaften und Pflanzenarten eine eigene Korrelation berechnet werden.

¹⁰ Die TRANSFER-Datenbank wurde mit freundlicher Genehmigung vom Umweltbundesamt (UBA), Dessau, und den deutschen Bundesländern zur Verfügung gestellt.

Tabelle 35: Anzahl der für die Kalibrierung des Expertensystems
«Nahrungspflanzenanbau» nutzbaren Wertepaare.

Elemente	Anzahl nutzbarer Wertepaare
As	560
Cd	4992
Cr	1483
Cu	544
Hg	1255
Ni	2524
Pb	4366
TI	149
Zn	4314

Einerseits standen nicht für alle Verknüpfungen von Faktoren genügend Daten zur Verfügung. Andererseits wäre je Schadstoff für eine Kalibrierung an allen Faktorenverknüpfungen die Berechnung von bis zu 90 einzelnen Korrelationen erforderlich gewesen. Sie hätten anschliessend gewichtet werden müssen. Weiter sollte das System nicht in seiner (einfachen) Grundstruktur verändert werden. Die Kalibrierung erfolgte deshalb für jeden Stoff mit Hilfe *einer* bestimmten Faktorenverknüpfung, die eine möglichst grosse Zahl von Wertepaaren umfasst und damit einen typischen Fall darstellt.

Tabelle 36: Faktorenkombinationen, welche für die Kalibrierung von Cd, Pb und TI verwendet werden.

Elemente	pH-Wert (CaCl ₂)	Gehalt an org. Substanz [%]	Tongehalt [%]	Pflanzenar t-faktor	Anzahl Wertepaare
Cd	5.75–6.75	<8	keine Einschränkung	2	533
Pb	6.75–7.75	2–15	<25	2	2061
TI	6.25–7.75	keine Einschränkung	<45	2	116

Für diese Faktorenverknüpfung wurden für jeden Schadstoff die Gehalte in Böden und Pflanzen aufgetragen. Für Cd ist das Ergebnis in Abbildung 9 dargestellt. Der FIV-Grenzwert liegt in diesem Fall bei 0.2 mg Cd/kg Frischgewicht – Gehalte von Pflanzenarten mit davon abweichenden FIV-Werten wurden entsprechend umgerechnet.

Aus dieser Darstellung wird deutlich, dass die Streuung der Werte sehr gross ist – dies trotz ähnlicher Eigenschaften von Böden und Pflanzen. Es wurde bewusst keine Darstellung mit logarithmierten Diagramm-Achsen gewählt, weil die grosse Streuung dadurch lediglich verschleiert würde. Auch unterhalb eines Bodengehalts von 2 mg/kg (Prüfwert) treten Pflanzengehalte auf, die deutlich über dem FIV-Grenzwert liegen.

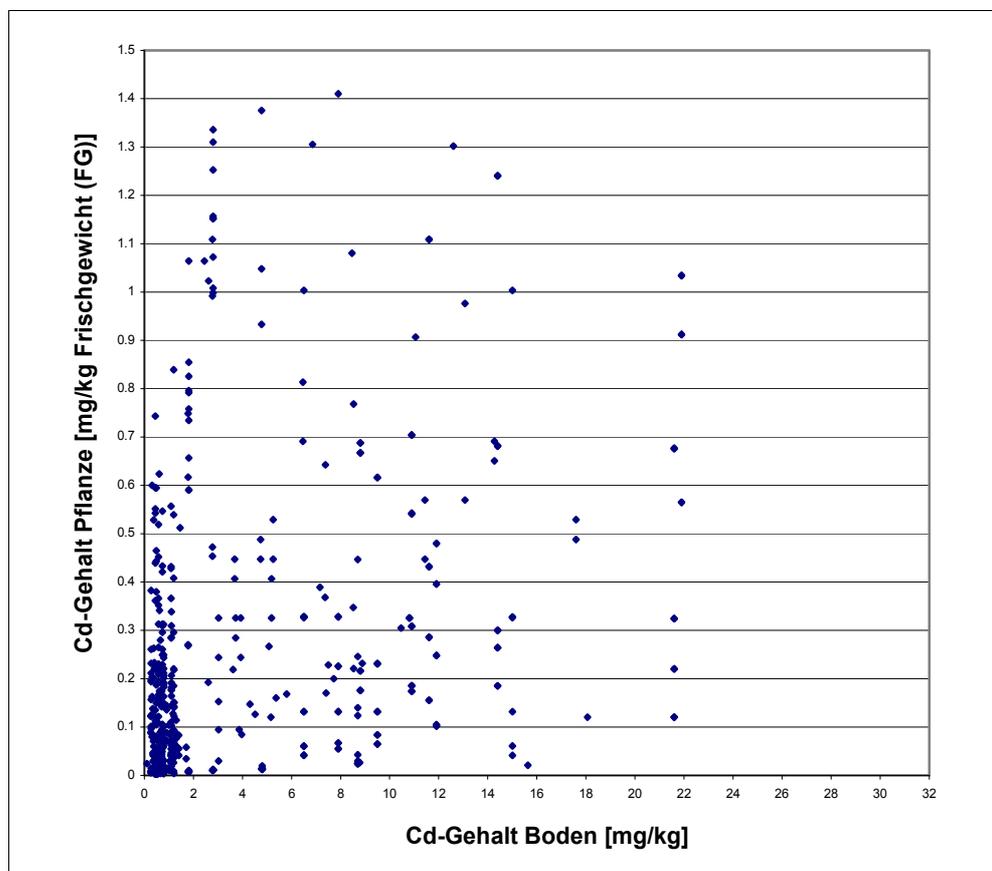
Bei der Mehrzahl der Wertepaare liegt der Pflanzengehalt jedoch bis zu einem höheren Bodengehalt unterhalb des FIV-Grenzwerts. Dies zeigt eine Auswertung der Mediane der Pflanzengehalte, die jeweils für Abschnitte des Bodengehalts von 0.1 mg/kg ermittelt wurden (vgl. Abb. 10). Die lineare Korrelation der Medianwerte überschreitet den FIV-Grenzwert bei einem Cd-Gehalt im Boden von ca. 5 mg/kg.

Das Expertensystem wurde für Cd so kalibriert, dass bei der oben genannten Faktorenverknüpfung ab einem Cd-Bodengehalt von 5 mg/kg die Kategorie «*konkrete Gefährdung*» zugewiesen wird (mindestens 5 Gefährdungspunkte). Die Kalibrierung wurde dabei ausschliesslich durch Anpassung des Korrekturfaktors T auf einen Wert von 0.5 Punkten vorgenommen. Für den Begriff «*konkrete Gefährdung*» bedeutet dies:

Eine Gefährdung durch einen Schadstoffgehalt im Boden wird dann als «konkret» bezeichnet, wenn die Wahrscheinlichkeit, dass die auf diesem Boden erzeugten Nahrungspflanzen den FIV-Grenzwert überschreiten, mindestens 50% beträgt.

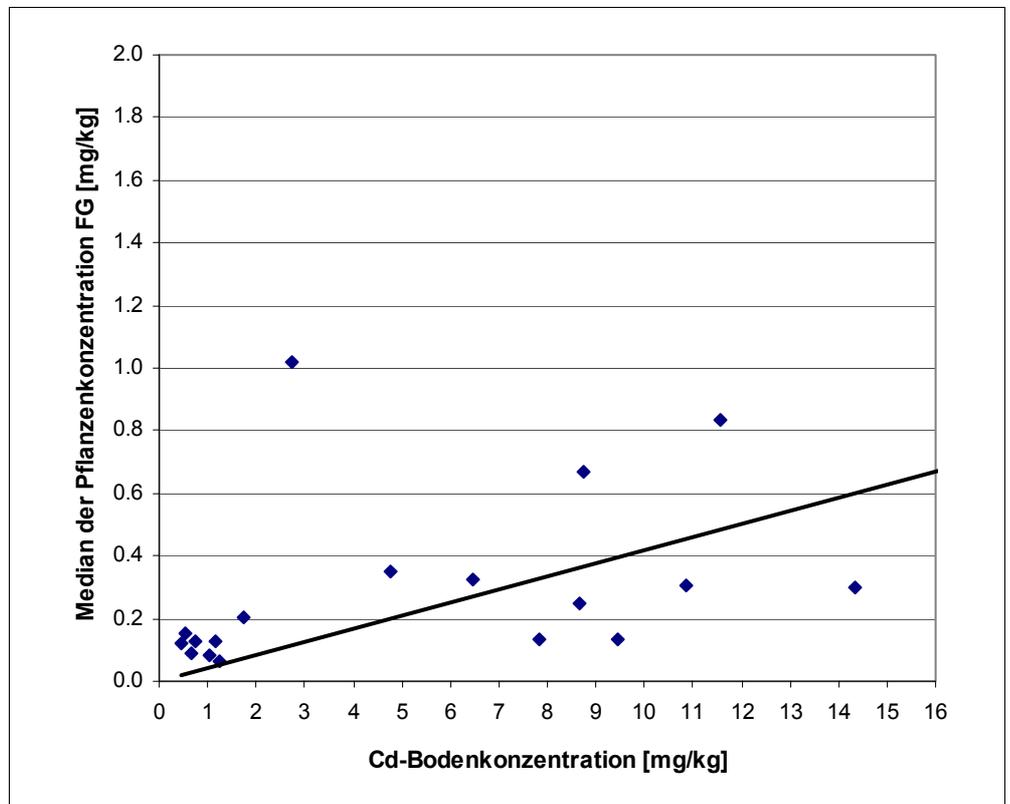
Auch bei Zuweisung mit Hilfe des Expertensystems «Nahrungspflanzenanbau» zur Kategorie «*konkrete Gefährdung möglich*» sind Überschreitungen des FIV-Grenzwerts in Nahrungspflanzen noch recht häufig. Folglich ist es gerechtfertigt und nötig, in solchen Fällen den Nutzenden behördliche Empfehlungen vorzulegen.

Abb. 9: Darstellung der Cd-Gehalte in Böden und Pflanzen. Faktoren: Pflanzen mit starker Cd-Aufnahme (Pflanzenartfaktor = 2, pH 5.75–6.75, Gehalt an organischer Substanz \leq 8%).



Das Ergebnis der Kalibrierung wurde jeweils an der gesamten Zahl der für die Kalibrierung nutzbaren Wertepaare überprüft (für Cd 4992 Wertepaare). Dabei wurden jeweils die Trefferquote des Expertensystems und die so genannte Diagnostizität ermittelt. Von den Wertepaaren, bei denen das Expertensystem die Kategorie «*konkrete Gefährdung*» zuweist, bezeichnet die Trefferquote jenen Anteil, bei dem der FIV-Grenzwert in den Nahrungspflanzen tatsächlich überschritten wird.

Abb. 10: Darstellung der Mediane der Cd-Gehalte in Pflanzen für Abschnitte der Bodengehalte von 0.1 mg/kg (0.0–0.1, 0.1–0.2 mg/kg) und deren lineare Korrelation. Mediane wurden nur aufgetragen, wenn für einen Abschnitt mindestens neun Messwerte vorlagen.



Die Diagnostizität bezieht sich nur auf die Wertepaare, bei denen eine Überschreitung des FIV-Grenzwerts in den Nahrungspflanzen vorliegt. Sie bezeichnet für Bodengehalte unterhalb des Sanierungswerts den Anteil der Werte mit Bodengehalten im Prüfwertbereich. Die Diagnostizität bezeichnet somit jenen Anteil «*problematischer*» Fälle (Überschreitung des FIV-Grenzwerts in Nahrungspflanzen), bei welchen eine Gefährdungsabschätzung tatsächlich durchgeführt würde (vgl. Tab. 37).

Tabelle 37: Trefferquote und Diagnostizität bei Cd, Pb und Tl.

Elemente	Trefferquote [%]	Diagnostizität [%]
Cd	68.7	82.6
Pb	55.2	67.7
Tl	50.0	78.6

Die niedrigere Trefferquote bei Pb beruht auf der bekannten, noch höheren Variabilität des Transfers Boden–Pflanze im Vergleich zu jener bei Cd. Bei Tl ist die Datengrundlage mit 116 nutzbaren Wertepaaren sehr viel kleiner und das Ergebnis daher mit grösseren Unsicherheiten behaftet.

Die Beispiele von Cd und Pb mahnen zur Vorsicht – trotz verständlichem Wunsch, möglichst viele Schadstoffe mit möglichst einfachen Mitteln beurteilen zu wollen (z.B. BÄCHI *et al.* 2004). Ein solches Vorgehen ist selbst dann mit erheblichen Unsicherheiten behaftet, wenn – wie bei den beiden genannten Elementen – eine gute Datengrundlage besteht. Das System Boden–Pflanze ist äusserst komplex und mit derart vereinfachten Parametern kaum zuverlässig zu beschreiben.

Aus Bodengehalten kann mittels eines Expertensystems kaum auf eine (konkrete) Gefährdung durch Nahrungspflanzen geschlossen werden, wenn:

- die Datengrundlage deutlich unsicher ist;
- kein Höchstwert für Gehalte in Pflanzen vorgeschrieben ist, oder
- ein erheblicher Teil der Pflanzengehalte aus direkter atmosphärischer Deposition auf die fraglichen Pflanzen stammt (v.a. bei organischen Mikroschadstoffen).

Cu und Zn

Bei Cu und Zn wurden die Sanierungswerte bei Gärten nach VBBo im Hinblick auf die Schädigung von Pflanzen (Ertragsminderung) festgelegt und nicht wegen der Gefährdung von Menschen (BUWAL 1997a). Aus diesem Grund wurden die Korrekturfaktoren T dieser beiden Schadstoffe so weit herabgesetzt, als es der rechtliche Rahmen zulies (konkrete Gefährdung ab Sanierungswert besteht zwingend). Es bleibt dabei gewährleistet, dass in jedem Falle die Kategorie «*konkrete Gefährdung möglich*» noch unterhalb des Sanierungswerts zugewiesen wird. Damit wird vermieden, dass bei Erreichen des Sanierungswerts ein unlogischer Sprung von der Kategorie «*keine konkrete Gefährdung*» hin zur Kategorie «*konkrete Gefährdung*» eintritt.

Andere anorganische Schadstoffe

Bei allen anderen anorganischen Schadstoffen schreibt die FIV keine Höchstgehalte in Nahrungspflanzen vor. Auch international wurden bisher keine entsprechenden Grenzwerte festgelegt (BERG & LICHT 2002). Für die Kalibrierung des Expertensystems wurde der Versuch unternommen, die PTWI-Werte von FAO/WHO als Massstab zu benutzen.

Die PTWI-Werte wurden für eine breite Palette anorganischer Schadstoffe festgelegt (WATSON 2001, REILLY 2002, D'MELLO 2003). Dabei bereitet jedoch die Umrechnung der für Menschen noch tolerierbaren Aufnahmeleistungen in Grenzwerte für Schadstoffe in Nahrungspflanzen ziemliche Schwierigkeiten.

Stellt man für andere Elemente auf die Beurteilungsgrundlagen für Pb-/Cd-PTWI-Werte ab, und errechnet damit – gestützt auf die FIV-Grenzwerte für Pb und Cd – für die fraglichen Elemente orientierende Werte, erhält man zum Teil unrealistische Ergebnisse. So würde beispielsweise der auf die beschriebene Art berechnete Grenzwert für Hg in Pflanzen erst bei Hg-Gehalten von mehreren hundert mg/kg Boden erreicht – also einem Vielfachen des BW III-Werts nach EIKMANN & KLOKE (1993).

Daher kann bei diesen Schadstoffen die Schwelle zur konkreten Gefährdung zwischen Prüf- und Sanierungswert nicht eindeutig bestimmt werden. Der Korrekturfaktor T wurde gleich Null gesetzt – im Sinne von «nicht bestimmbar». Zwischen Prüf- und Sanierungswert wird die Kategorie «*konkrete Gefährdung*» in solchen Fällen nicht zugewiesen (vgl. Tab. 8).

B Expertensystem «Futterpflanzenanbau»

Für die Kalibrierung des Expertensystems «Futterpflanzenanbau» wurde die TRANSFER-Datenbank des deutschen Umweltbundesamtes (UBA) verwendet¹¹ (vgl. Anh. 9A).

Von den gesamten Daten der TRANSFER-Datenbank ist nur ein Teil in einer Weise ermittelt worden, der mit den Messungen nach VBBo und nach schweizerischem Futtermittelrecht vergleichbar ist. Die für eine Kalibrierung nutzbaren Daten wurden der Datenbank nach folgenden Kriterien entnommen:

Verfügbare Daten

1. *Pflanzenarten*: Arten, die als Futterpflanzen im Sinne der FMBV gelten;
2. *Pflanzen-Vorbehandlungen*: ungewaschene und nicht vorbehandelte Pflanzen (teile);
3. *Extraktion Boden*: Königswasser-Aufschluss;
4. *pH-Werte Boden*: zwischen 4.25 und 7.75 (CaCl₂);
5. *Boden-Probenahmetiefen*: 0–20, 0–25 und 0–30 cm sowie Gefäßversuche. Dabei handelt es sich um die einzige Abweichung von den VBBo-Kriterien (Einstichtiefe 20 cm). Diese Lockerung der Kriterien dürfte vertretbar sein (relativ gute Durchmischung auf Ackerflächen und in Gärten sowie bei Gefäßversuchen). Sie war nötig, um eine ausreichende Datengrundlage zu beschaffen.

Nach diesen Kriterien waren für die Kalibrierung des Expertensystems «Futterpflanzenanbau» 8503 Wertepaare nutzbar (Verteilung auf einzelne Elemente vgl. Tab. 38).

¹¹ Die TRANSFER-Datenbank wurde mit freundlicher Genehmigung vom Umweltbundesamt (UBA), Dessau, und den deutschen Bundesländern zur Verfügung gestellt.

Tabelle 38: Anzahl der für die Kalibrierung des Expertensystems «Futterpflanzenanbau» nutzbaren Wertepaare.

Elemente	Anzahl nutzbarer Wertepaare
As	49
Cd	1576
Cr	713
Cu	1341
Hg	611
Ni	1223
Pb	1503
Tl	0
Zn	1487

Nach den Daten für As, Cr, Hg, Ni und Pb lautete die Beurteilung, dass für Tiere die in Pflanzen aufgenommene Schadstoffmenge im Vergleich zur direkten Bodenaufnahme kaum je relevant sein dürfte.

Cd, Cu, Zn

Bei den Elementen Cd, Cu und Zn wurde die Kalibrierung des Expertensystems «Futterpflanzenanbau» in derselben Weise vorgenommen wie beim Expertensystem «Nahrungspflanzenanbau» für die Elemente Cd, Pb und Tl (vgl. Anh. 9A). Dies gilt für den Fall *ohne* direkte orale Aufnahme bzw. Verunreinigungen mit Boden. Für diese Elemente wurden daraufhin die Werte nach Tabelle 39 für Trefferquote und Diagnostizität ermittelt (nur für Wirkungspfad Wurzelaufnahme):

Tabelle 39: Trefferquote und Diagnostizität bei Cd, Cu und Zn (nur Wurzelaufnahme).

Elemente	Trefferquote [%]	Diagnostizität [%]
Cd	66.9	78.4
Cu	62.2	70.9
Zn	72.8	84.3

Die etwas grösseren Unsicherheiten beim Cu dürften auf die kleinere Datengrundlage zurückzuführen sein (nur 89 Wertepaare mit Bodengehalten zwischen Prüf- und Sanierungswert).

Der Aufnahmepfad über direkte orale Aufnahme bzw. Verunreinigungen mit Boden ist unabhängig vom Pfad Wurzelaufnahme. Unsicherheiten liegen hier ausschliesslich im Anteil der Bodenaufnahme durch Nutztiere (Faktor d, vgl. Tab. 13). Für diesen Anteil liegen jedoch insgesamt wenige Daten vor; die TRANSFER-Datenbank enthält keine entsprechenden Daten.

Die Ermittlung von Trefferquote und Diagnostizität war für das gesamte Expertensystem «Futterpflanzenanbau» nicht möglich. Der relativ hohe Anteil der Bodenaufnahme bei Schafen mag auf den ersten Blick überraschen. Hinweise darauf, dass die Anteile nach Tabelle 13 realistisch sind und teils sogar noch übertroffen werden, geben ABRAHAMS & STEIGMAJER (2003).

Weitere Hinweise zu Cu und Hg

Bei Cu bewirken schon verhältnismässig niedrige Bodengehalte, dass beim Futterpflanzenanbau den Schafen die Kategorie «*grosse Gefährdung*» zugewiesen wird. Dies hängt nicht direkt mit dem Expertensystem zusammen, sondern wird durch das Verhältnis von Bodengehalt, FMBV-Höchstgehalt und Bodenanteil des Futters bewirkt. Bei einem Cu-Gehalt im Boden von >150 mg/kg (Prüfwert) und einer Bodenaufnahme durch weidende Schafe von 10–15% (trockene Bedingungen) überschreitet der Cu-Gehalt im Futter der belasteten Fläche für Schafe *in jedem Fall* den FMBV-Höchstgehalt von 15 mg/kg. Die FMBV schreibt für Cu nur Höchstgehalte für das gesamte Futter von Nutztieren vor. Aus diesem Grund wurden auch die kritischen Werte für Tierfutter nach BLUME (1992) angegeben, die als Orientierungswerte für Einzelfuttermittel dienen können.

Schon verhältnismässig niedrige Hg-Gehalte im Boden bewirken, dass beim Futterpflanzenanbau die Kategorie «*grosse Gefährdung*» auftritt. Der Grund dafür ist derselbe wie im Falle des Cu. Bei einem Hg-Gehalt im Boden von >10 mg/kg (BW II als Prüfwert-Äquivalent) wird im Futter der belasteten Fläche für Nutztiere der FMBV-Höchstgehalt von 0.1 mg/kg schon bei einem Bodenanteil von 1% *in jedem Fall* überschritten. Deshalb gelten Hg-Belastungen des Bodens für die Nutzungsart «Futterpflanzenanbau» als sehr problematisch. Sie sind jedoch wesentlich seltener als Cu-Belastungen ehemaliger Rebböden.

C Expertensystem Nutzungen mit möglicher direkter Bodenaufnahme

Das Expertensystem «Nutzungen mit möglicher direkter Bodenaufnahme» wurde mit dem «*Modell UMS*» (Umwelt–Mensch–Schadstoff) des deutschen Umweltbundesamts (UBA 1998) verglichen. Eine eigentliche Kalibrierung dieses Expertensystems ist mit Hilfe eines Modells nicht möglich, weil auch dieses nicht mit Messwerten, sondern mit Annahmen arbeitet. Zudem berücksichtigt das «*Modell UMS*» sehr viel mehr und andere Variablen, so beispielsweise die Entfernung einer belasteten Fläche aus Wohngebieten, Hintergrundbelastungen und eine andere Einteilung der Altersklassen. Die Gefährdung wird beim «*Modell UMS*» mit Hilfe so genannter gefahrenverknüpfter Faktoren berechnet, die je nach Element unterschiedlich sind und bei denen die Kategorien «toxisch» und «kanzerogen» unterschieden werden.

Für den Vergleich wurden beim «*Modell UMS*» folgende Einstellungen gewählt:

- *Schadstoffe*: As, Pb, Cd, Cr, Ni, Hg, Benzo(a)pyren. Dies sind jene Schadstoffe im «*Modell UMS*», für welche EIKMANN & KLOKE (1993) und die VBBo Normen empfehlen bzw. Regelungswerte vorschreiben;
- *Expositionsszenarien*: «Kinderspielplätze» und «Gärten»;
- *Entfernung zum Wohngebiet*: <500 m;
- Bei den drei Modellkriterien «Aufnahmeraten von Boden», «Variablen zur Physiologie» (z.B. resorbierte Anteile) und «substanzspezifische Daten» wurden die Vorgabedaten des Modells übernommen.

Eine Darstellung sämtlicher Fallkombinationen ist in diesem Rahmen nicht möglich; der Vergleich wird daher nachstehend an einem Beispiel vollzogen. Bei Bodenbelastungen vom 1.25-fachen Prüfwert bzw. BW II-Wert, einem Deckungsgrad von 80% und einer Nutzungshäufigkeit von wöchentlich 1- bis 2-mal ergeben sich für die Nutzung «Gärten» die Werte nach Tabelle 40.

Tabelle 40: Beispiel für den Vergleich zwischen dem Expertensystem [ES] «Nutzungen mit möglicher direkter Bodenaufnahme» und dem «Modell UMS» [UMS].

Stoffe	Alter	ES	UMS	ES	UMS	ES	UMS	ES	UMS
		2 Jahre		5 Jahre		9 Jahre		14 Jahre und älter	
As		++	++	++	++	+	++	+	++
Pb		++	+	+	-	-	-	-	-
Cd		++	++	++	++	+	++	+	++
Cr		++	++	+	++	-	++	-	++
Ni		++	+	++	+	+	+	+	+
Hg		++	-	+	-	-	-	-	-
Benzo(a)pyren		++	++	+	++	-	++	-	++

++ = «konkrete Gefährdung» bzw. «gefahrenbegründetes Risiko»

+ = «konkrete Gefährdung möglich» bzw. «Bereich zunehmender Besorgnisinzidenz»

- = «keine konkrete Gefährdung» bzw. «vernachlässigbares Risiko»

Die stärksten Abweichungen zwischen dem Expertensystem und dem «Modell UMS» ergeben sich bei Cr, Hg und Benzo(a)pyren. Das «Modell UMS» berücksichtigt ausdrücklich nur anorganisches Hg. Dadurch sind die hochtoxischen organischen Verbindungen des Hg ausgenommen. Bei As, Cr und Benzo(a)pyren berechnet das «Modell UMS» sehr hohe Risikowerte für die kanzerogene Wirkung. Es errechnet für Erwachsene somit dieselbe Gefährdungsstufe wie für Kleinstkinder. Auch diese Unterschiede zeigen, dass ein Vergleich der beiden Konzepte schwierig ist.

Anhang 10

Tabellen für Richt-, Prüf- und Sanierungswerte

(vgl. Anhänge 1 und 2 VBBö; SR814.12)

Anhang 1 VBBö

1 Anorganische Schadstoffe

1.1 Richtwerte

Schadstoffe	Gehalte (mg/kg TS für Böden bis 15 % Humus, mg/dm ³ für Böden über 15 % Humus)	
	Totalgehalt	löslicher Gehalt
Chrom (Cr)	50	–
Nickel (Ni)	50	0.2
Kupfer (Cu)	40	0.7
Zink (Zn)	150	0.5
Molybdän (Mo)	5	–
Cadmium (Cd)	0.8	0.02
Quecksilber (Hg)	0.5	–
Blei (Pb)	50	–
Fluor (F)	700	20

TS = Trockensubstanz

1.2 Prüfwerte

Nutzungsarten	Gehalte (mg/kg TS für Böden bis 15 % Humus, mg/dm ³ für Böden über 15 % Humus)						Probenahme- tiefe (in cm)
	Blei (Pb)		Cadmium (Cd)		Kupfer (Cu)		
	t	l	t	l	t	l	
Nahrungspflanzenanbau	200	–	2	0.02	–	–	0–20
Futterpflanzenanbau	200	–	2	0.02	150	0.7	0–20
Nutzungen mit möglicher direkter ¹ Bodenaufnahme	300	–	10	–	–	–	0–5

TS = Trockensubstanz
¹ oral, inhalativ, dermal

t = Totalgehalt l = löslicher Gehalt

1.3 Sanierungswerte

Nutzungskategorien	Gehalte (mg/kg TS für Böden bis 15 % Humus, mg/dm ³ für Böden über 15 % Humus)								Probenahme- tiefe (in cm)
	Blei (Pb)		Cadmium (Cd)		Kupfer (Cu)		Zink (Zn)		
	t	l	t	l	t	l	t	l	
Landwirtschaft und Gartenbau	2000	–	30	0.1	1000	4	2000	5	0–20
Haus- und Familiengärten	1000	–	20	0.1	1000	4	2000		0–20
Kinderspielplätze	1000	–	20	–	–	–	–	–	0–5

TS = Trockensubstanz t = Totalgehalt l = löslicher Gehalt

2 Organische Schadstoffe

2.1 Werte für Dioxine (PCDD) und Furane (PCDF)

Werte		PCDD/F-Gehalte ¹ (ng I-TEQ/kg TS für Böden bis 15 % Humus, ng I-TEQ/dm ³ für Böden über 15 % Humus)	Probenahme- tiefe (in cm)
Richtwert		5	0–20
Prüfwerte	Nutzungen mit möglicher direkter ² Bodenaufnahme	20	0–5
	Nahrungspflanzenanbau	20	0–20
	Futterpflanzenanbau	20	0–20
Sanierungswerte	Kinderspielplätze	100	0–5
	Haus- und Familiengärten	100	0–20
	Landwirtschaft und Gartenbau	1000	0–20

I-TEQ = Internationale Toxizitätsäquivalente

TS = Trockensubstanz

¹ PCDD/F= Summe der polychlorierten Dibenzo-*p*-dioxine und polychlorierten Dibenzofurane

² oral, inhalativ, dermal

2.2 Werte für polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Werte		PAK ¹ (mg/kg TS für Böden bis 15 % Humus, mg/dm ³ für Böden über 15 % Humus)		Probenahme- tiefe (in cm)
		Summe der 16 Leitsubstanzen	Benzo(a)pyren	
Richtwert		1	0.2	0–20
Prüfwerte	Nutzungen mit möglicher direkter ² Bodenaufnahme	10	1	0–5
	Nahrungspflanzenanbau	20	2	0–20
Sanierungswerte	Kinderspielplätze	100	10	0–5
	Haus- und Familiengärten	100	10	0–20

TS = Trockensubstanz

¹ Die Beurteilungswerte gelten für die Summe der folgenden 16 PAK-Leitverbindungen der EPA (Priority pollutants list): Naphthalin, Acenaphthylen, Acenaphthen, Fluoren, Phenanthren, Anthracen, Fluoranthren, Pyren, Benzo(a)anthracen, Chrysen, Benzo(b)fluoranthren, Benzo(k)fluoranthren, Benzo(a)pyren, Indeno-(1,2,3-cd)pyren, Dibenz(a,h)anthracen und Benzo(ghi)perylen.

² oral, inhalativ, dermal

2.3 Werte für polychlorierte Biphenyle (PCB)

Werte		PCB-Gehalte ¹ (mg/kg TS für Böden bis 15 % Humus, mg/dm ³ für Böden über 15 % Humus)	Probenahme- tiefe (in cm)
Prüfwerte	Nutzungen mit möglicher direkter ² Bodenaufnahme	0.1	0–5
	Nahrungspflanzenanbau	0.2	0–20
	Futterpflanzenanbau	0.2	0–20
Sanierungswerte	Kinderspielplätze	1	0–5
	Haus- und Familiengärten	1	0–20
	Landwirtschaft und Gartenbau	3	0–20

TS = Trockensubstanz

¹ Summe der 7 Kongeneren gemäss IRMM (Institute for Reference Materials and Measurements), IUPAC-Nr. 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180

² oral, inhalativ, dermal

Verzeichnisse

1 Abkürzungen

Agroscope FA

Eidg. Landwirtschaftliche Forschungsanstalten (z.B. Agroscope FAL Reckenholz in Zürich-Reckenholz)

A-Horizont

«Oberboden» – im Sinne des qualitativen Bodenschutzvollzugs

AltIV

Altlasten-Verordnung (SR 814.680)

BAG

Bundesamt für Gesundheit, Bern

BAV

Bundesamt für Verkehr, Bern

BAZL

Bundesamt für Zivilluftfahrt, Bern

B-Horizont

«Unterboden» – im Sinne des qualitativen Bodenschutzvollzugs

BUWAL

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern

BW

«Bodenwerte» nach EIKMANN & KLOKE (1993)

C-Horizont

«Untergrund» – im Sinne des qualitativen Bodenschutzvollzugs

EDI

Eidg. Departement des Innern, Bern

EPA

US Environmental Protection Agency

EU

Europäische Union

EVD

Eidg. Volkswirtschaftsdepartement, Bern

FAO

Food and Agriculture Organization der UNO

FG

Frischgewicht

FIV

Fremd- und Inhaltsstoffverordnung des EDI (SR 817.021.23)

FMBV

Futtermittelbuch-Verordnung des EVD (SR 916.307.1)

IRMM

Institute for Reference Materials and Measurements

LMV

Lebensmittelverordnung (SR 817.02)

Modell UMS

Programm «*Umwelt/Mensch/Schadstoffe*» des Umweltbundesamts in Dessau (UBA) zum Ermitteln des Risikos ausgehend von Altlastenverdachtsflächen – auf der Grundlage humantoxisch tolerierbarer Schadstoffkonzentrationen (berücksichtigt werden 19 organische und 8 anorganische Schadstoffe – Stand 1998; vgl. dazu BUWAL Umwelt-Materialien Nr. 176, 1998, «*Schadstoffbelastete Böden – quantitative Modelle*»)

PAK

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe

PCB

Polychlorierte Biphenyle

PCDD/F

Polychlorierte Dibenzo-*p*-Dioxine und Dibenzofurane («Dioxine»)

PTWI

Provisional Tolerable Weekly Intake («Provisorische tolerierbare wöchentliche Aufnahme»; vgl. FAO/WHO 2003)

PW

Prüfwerte (vgl. VBBo)

RW

Richtwerte (vgl. VBBo)

SW

Sanierungswerte (vgl. VBBo)

UBA

Umweltbundesamt Dessau

USG

Umweltschutzgesetz vom 7. Oktober 1983 (SR 814.01)

VBBo

Verordnung vom 1. Juli 1998 über Belastungen des Bodens (SR 814.12)

VBS

Eidg. Departement für Verteidigung, Bevölkerungsschutz und Sport, Bern

WHO

World Health Organization (Weltgesundheitsorganisation)

2 Abbildungen

Abbildung 1: Gegenstand des Handbuchs ist der mit «Boden» bezeichnete Bereich.	11
Abbildung 2: Das Vorgehen bei schadstoffbelastetem Boden nach Bodenschutzrecht und die Funktion des vorliegenden Handbuchs. [*Bei fehlenden Regelungswerten nach VBBo vgl. Kap. 7].	14
Abbildung 3: Das Vorgehen in der Gefährdungsabschätzung beim Nahrungspflanzenanbau [FIV: Fremd- und Inhaltsstoffverordnung; SR 817.021.23].	24
Abbildung 4: Ermittlung des Mobilitätsfaktors. Die Werte der Listen A–C wurden aus VWK (1988) übernommen, ergänzt durch Angaben zu Fluor aus KELLER & DESAULES (2001) und BUWAL (1997c). Laut SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL (2002; vgl. S. 369) kann die Mobilität von Tl mit jener von Zn und die Mobilität von As mit jener von Cr in etwa verglichen werden.	26
Abbildung 5: Das Vorgehen in der Gefährdungsabschätzung beim Futterpflanzenanbau. [FMBV: Futtermittelbuch-Verordnung; SR 916.307.1].	33
Abbildung 6: Das Vorgehen in der Gefährdungsabschätzung bei Nutzungen mit möglicher direkter Bodenaufnahme (detailliertere Gefährdungsabschätzung nicht enthalten, weil kaum möglich, vgl. Kap. 6.2).	42
Abbildung 7: Probenahme- bzw. Versuchsflächen bei Untersuchung von drei Pflanzenarten A, B und C.	71
Abbildung 8: Vergleichstafeln für Deckungsgrade.	76
Abbildung 9: Darstellung der Cd-Gehalte in Böden und Pflanzen. Faktoren: Pflanzen mit starker Cd-Aufnahme (Pflanzenartfaktor = 2, pH 5.75–6.75, Gehalt an organischer Substanz $\leq 8\%$).	82
Abbildung 10: Darstellung der Mediane der Cd-Gehalte in Pflanzen für Abschnitte der Bodengehalte von 0.1 mg/kg (0.0–0.1, 0.1–0.2 mg/kg) und deren lineare Korrelation. Mediane wurden nur aufgetragen, wenn für einen Abschnitt mindestens neun Messwerte vorlagen.	83

3 Tabellen

Tabelle 1: Wirkungspfad beim Nahrungspflanzenanbau.	15
Tabelle 2: Wirkungspfade beim Futterpflanzenanbau.	16
Tabelle 3: Wirkungspfad bei Nutzungen mit möglicher direkter Bodenaufnahme.	17
Tabelle 4: Zuordnung von Gefährdungskategorien zu Belastungen.	19
Tabelle 5: Zuordnung von Massnahmen zu Gefährdungskategorien.	21
Tabelle 6: Pflanzenartfaktoren für Nutzpflanzenarten und anorganische Schadstoffe.	27
Tabelle 7: Korrekturfaktoren T für anorganische Schadstoffe (Nahrungspflanzenanbau).	28
Tabelle 8: Gefährdungskategorien des Expertensystems für Nahrungspflanzenanbau.	28
Tabelle 9: Ausgewählte FIV-Höchstgehalte mit Bezug zur VBBo (Stand Juli 2004).	30
Tabelle 10: Gefährdungskategorien für den Nahrungspflanzenanbau.	31
Tabelle 11: Stoffgehalte von unbelasteten Nahrungspflanzen. (mg/kg Frischgewicht).	32
Tabelle 12: Ausgewählte FMBV-Höchstgehalte (Stand: Juli 2004) und kritische Werte für Tierfutter (vgl. BLUME 1992).	34
Tabelle 13: Anteil der Bodenaufnahme durch Nutztiere (d) – direkt beim Weiden bzw. durch Verunreinigungen des Ernteguts mit Boden.*	36
Tabelle 14: Pflanzenartfaktoren für Futterpflanzenarten und anorganische Schadstoffe.	37
Tabelle 15: Korrekturfaktoren T für anorganische Schadstoffe (Futterpflanzenanbau).	38
Tabelle 16: Transferkoeffizienten Boden–Pflanze bei F, Co, Mo und Se.	38
Tabelle 17: Gefährdungskategorien des Expertensystems für Futterpflanzenanbau.	39

Tabelle 18: Gefährdungskategorien für Futterpflanzenanbau.	41
Tabelle 19: Stoffgehalte von unbelasteten Futterpflanzen. (mg/kg Trockensubstanz)	41
Tabelle 20: Faktor Alter A.	44
Tabelle 21: Faktor Häufigkeit H.	45
Tabelle 22: Faktor Vegetationsbedeckung V.	45
Tabelle 23: Gefährdungskategorien für direkte Bodenaufnahme.	45
Tabelle 24: Zuordnung von Massnahmen zu Gefährdungskategorien.	50
Tabelle 25: Rechenbeispiel zum Nahrungspflanzenanbau (Landwirtschaft und Gartenbau).	56
Tabelle 26: Rechenbeispiel zum Futterpflanzenanbau.	58
Tabelle 27: Rechenbeispiel zu Nutzungen mit möglicher direkter Bodenaufnahme (Kinderspielplatz).	60
Tabelle 28: Rechenbeispiel zum Nahrungspflanzenanbau (Hausgarten).	62
Tabelle 29: Rechenbeispiel zu Nutzungen mit möglicher direkter Bodenaufnahme (Hausgarten).	62
Tabelle 30: 16 PAK-Einzelverbindungen und deren Toxizitätsäquivalente (kanzerogene Wirkung).	67
Tabelle 31: Belastungsbereiche für Dioxine und Furane beim Menschen (WHO 1998, FIEDLER 2003).	69
Tabelle 32: Untere und obere Schwellenwerte in Futtermitteln zur Bewertung der gesamten Schadstoffbelastung von Nutztieren (TS = Trockensubstanz).	72
Tabelle 33: Gefährdungskategorien für Futterpflanzenanbau bei Verwendung von Schwellenwerten.	73
Tabelle 34: Kritische Differenz für verschiedene Konzentrationen.	75

Tabelle 35: Anzahl der für die Kalibrierung des Expertensystems «Nahrungspflanzenanbau» nutzbaren Wertepaare.	81
Tabelle 36: Faktorenkombinationen, welche für die Kalibrierung von Cd, Pb und Tl verwendet werden.	81
Tabelle 37: Trefferquote und Diagnostizität bei Cd, Pb und Tl.	84
Tabelle 38: Anzahl der für die Kalibrierung des Expertensystems «Futterpflanzenanbau» nutzbaren Wertepaare.	86
Tabelle 39: Trefferquote und Diagnostizität bei Cd, Cu und Zn (nur Wurzel Aufnahme).	86
Tabelle 40: Beispiel für den Vergleich zwischen dem Expertensystem [ES] «Nutzungen mit möglicher direkter Bodenaufnahme» und dem «Modell UMS» [UMS].	88

4 Literatur

Rechtserlasse

- Bundesgesetz vom 20. Dezember 1968 über das Verwaltungsverfahren (VwVG; SR 172.021).
- Bundesgesetz vom 7. Oktober 1983 über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz, USG; SR 814.01).
- Bundesgesetz vom 3. Februar 1995 über die Armee und die Militärverwaltung (Militärgesetz, MG; SR 510.10).
- Lebensmittelverordnung vom 1. März 1995 (LMV; SR 817.02).
- Verordnung des EDI vom 26. Juni 1995 über Fremd- und Inhaltsstoffe in Lebensmitteln (Fremd- und Inhaltsstoffverordnung, FIV; SR 817.021.23).
- Verordnung vom 26. Mai 1999 über die Produktion und das Inverkehrbringen von Futtermitteln (Futtermittel-Verordnung, FMV; SR 916.307).
- Verordnung des EVD vom 10. Juni 1999 über die Produktion und das Inverkehrbringen von Futtermitteln, Zusatzstoffen für die Tierernährung, Silierungszusätzen und Diätfuttermitteln (Futtermittelbuch-Verordnung, FMBV; SR 916.307.1).
- Verordnung vom 1. Juli 1998 über Belastungen des Bodens (VBBo; SR 814.12).
- Verordnung vom 26. August 1998 über die Sanierung von belasteten Standorten (Altlasten-Verordnung, AltIV; SR 814.680).
- Verordnung vom 18. Mai 2005 zur Reduktion von Risiken beim Umgang mit bestimmten besonders gefährlichen Stoffen, Zubereitungen und Gegenständen (Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung, ChemRRV; SR 814.81).
- Verordnung vom 18. Mai 2005 über den Schutz vor gefährlichen Stoffen und Zubereitungen (Chemikalienverordnung, ChemV; SR 813.11).

Weitere Literatur

- ABRAHAMS P.W., STEIGMAJER J. 2003: «*Soil ingestion by sheep grazing the metal enriched floodplain soils of Mid-Wales*», Environmental Geochemistry and Health, 25, 17–24.
- AG BODEN 1994: «*Bodenkundliche Kartieranleitung*», Arbeitsgruppe Boden der Geologischen Landesämter der Bundesrepublik Deutschland, Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- AGROSCOPE FAL RECKENHOLZ, jährlich: «*VBBo-Ringanalysenberichte*», Zürich.
- AGROSCOPE FAL RECKENHOLZ 1998: «*Methodenbuch für Boden-, Pflanzen- und Lysimeterwasser-Untersuchungen*», Zürich.
- AGROSCOPE FAL RECKENHOLZ 1997: «*Kartieren und Beurteilen von Landwirtschaftsböden*», Zürich.
- AGROSCOPE FAL RECKENHOLZ 1996 (Änderungen 1997–2005): «*Schweiz. Referenzmethoden der Eidg. Landwirtschaftl. Forschungsanstalten*», Zürich.
- AGROSCOPE FAL RECKENHOLZ 1990: «*Kriterien zur Beurteilung einiger Schadstoffgehalte von Futter- und Nahrungspflanzen*», Schriftenreihe Nr. 8 der ehemaligen Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene (IUL), 156 S, Liebefeld-Bern.

- AGROSCOPE FAL RECKENHOLZ 1989: «*Methodik zur Bestimmung biologisch relevanter Schwermetallkonzentrationen im Boden und Überprüfung der Auswirkungen auf Testpflanzen sowie Mikroorganismen in belasteten Gebieten*», Schriftenreihe Nr. 2 der ehemaligen Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene (IUL), 54 S., Liebefeld-Bern.
- AMT FÜR LANDWIRTSCHAFT DES KANTONS BERN, Abteilung Umwelt und Landwirtschaft, «*Bodenbericht 2003*», 51 S., Zollikofen.
- AMT FÜR LANDWIRTSCHAFT DES KANTONS BERN, Abteilung Umwelt und Landwirtschaft 2001, «*Bodenbelastung Scherbenland Witzwil*», Schlussbericht, 37 S., Zollikofen.
- AMT FÜR UMWELTSCHUTZ DES KANTONS SOLOTHURN 1998: «*Schadstoffbelastung von Hausgärten in der Stadt Olten*, 44 S., Solothurn.
- AMT FÜR UMWELTSCHUTZ DES KANTONS SOLOTHURN 1995: «*Schadstoffbelastung des Bodens und der Vegetation im Bereich von Schiessanlagen*», Solothurn.
- AMT FÜR UMWELTSCHUTZ DES KANTONS SOLOTHURN 1994: «*Untersuchungen der Schadstoffbelastung von Boden und Vegetation entlang von Kantonsstrassen sowie von Strassenwischgut*», Solothurn.
- AMT FÜR UMWELTSCHUTZ DES KANTONS ST. GALLEN 1995: «*Schwermetallaufnahme durch Kulturpflanzen auf belasteten Böden – ein fünfjähriger, praxisnaher Freilandversuch an der Landwirtschaftlichen Schule Rheinhof*», 58 S., Salez, St. Gallen.
- AMT FÜR UMWELTSCHUTZ UND ENERGIE DES KANTONS BASEL-LANDSCHAFT, Umweltschutzzlabor 1994: «*Schwermetalle in Futterpflanzen von cadmiumbelasteten Landwirtschaftsböden*», 29 S., Liestal.
- AMT FÜR UMWELTSCHUTZ UND WASSERWIRTSCHAFT DES KANTONS THURGAU, Bodenschutzfachstelle 1995: «*Schwermetallbelastung von Böden in Siedlungen, Ergebnisse einer Untersuchung in Arbon, Bischofszell, Frauenfeld, Kreuzlingen und Romanshorn*», 8 S., Frauenfeld.
- ANDREY D., RIBS T., WIRZ E. 1988: Monitoring-Programm «*Schwermetalle in Lebensmitteln II.: Blei, Cadmium, Zink und Kupfer in Schweizer Kartoffeln*», Mitteilungen aus d. Gebiet der Lebensmitteluntersuchung u. Hygiene, 79, 327–338.
- BÄCHI B., FELDER D., GÜDEMANN O., LEIMGRUBER B., LOGEAY G., OETTERLI C., SPRUNGER D., WÜRMLI D., WYSSER M., CHRISTL I., VOEGELIN A. 2004: «*Gefährdungsabschätzung*», in: Kretzschmar R. & Schulin R., «*Umgang mit Bodenbelastungen in Familiengärten der Stadt Zürich*», Abschlussbericht der Fallstudie des Dept. für Umweltnaturwissenschaften, Inst. für Terrestrische Ökologie (ITÖ), ETH Zürich, WS 2003/04, 65–110.
- BACHMANN G., OLTMANN J., KONIETZKA R., SCHNEIDER K. 1999: «*Berechnung von Prüfwerten zur Bewertung von Altlasten – Ableitung und Berechnung von Prüfwerten der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung für den Wirkungspfad Boden–Mensch aufgrund der Bekanntmachung der Ableitungsmethoden und -massstäbe im Bundesanzeiger Nr. 161a vom 28. August 1999*», Hrsg. Umweltbundesamt, ISBN 3 503 05825 7, E. Schmidt Verlag, Berlin.
- BAG 1998: «*Vierter Schweizer Ernährungsbericht*», 649 S., Bern.
- BAG 1991: «*Dritter Schweizer Ernährungsbericht*», 564 S., Bern.
- BAG 1989: «*Schweizerisches Lebensmittelbuch*», Bern.

- BALMER M., KULLI B. 1994: «*Der Einfluss von NTA auf die Zink- und Kupferaufnahme durch Lattich und Raygras*», Diplomarbeit, 57 S., Institut für Terrestrische Ökologie (ITÖ), ETH Zürich.
- BAUDEPARTEMENT DES KANTONS AARGAU, Abteilung Umweltschutz, 1995: «*Bodenuntersuchungen in Gemüsegärten der Stadt Aarau*», 39 S., Aarau.
- BERG T., LICHT D. 2002: «*International legislation on trace elements as contaminants in food: a review*». Food Additives and Contaminants, 19, 916–927.
- BERGMANN W. 1993: «*Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen*», 3. Auflage, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- BLUME H.-P. (Hrsg.) 1992: «*Handbuch des Bodenschutzes – Bodenökologie und -belastung, vorbeugende und abwehrende Schutzmassnahmen*», 2. Auflage, Ecomed, Landsberg/Lech.
- BREITSCHWERDT A., HERRECHEN M., KLEIN M., KÖRDEL W., STORM A., WAHLE U. 2002: «*Erhebungsuntersuchungen zum Transfer organischer Schadstoffe vom Boden in Nahrungs- und Futterpflanzen und Ableitung von Prüfwerten nach dem Bundes-Bodenschutzgesetz*», Umweltbundesamt Forschungsbericht Nr. 299 73 298, 126 S., Berlin.
- BUWAL 2005: «*Stickstoffhaltige Luftschadstoffe in der Schweiz*», Statusbericht der Eidg. Kommission für Lufthygiene, Schriftenreihe Umwelt Nr. 384, 170 S., Bern.
- BUWAL 2004a: «*Phosphor in Böden – Standortbestimmung Schweiz*», Schriftenreihe Umwelt Nr. 368, 174 S., Bern.
- BUWAL 2004b: «*Gewässerschutz – Verlagerung gelöster Stoffe durch den Boden ins Grundwasser*», Schriftenreihe Umwelt Nr. 349, 47 S., Bern.
- BUWAL 2004c: «*Schwermetallbelastete Böden – Quantitative Modelle zur Abschätzung der Gefährdung von Mensch und Umwelt*», Evaluationsbericht (als PDF), 68 S., Bern (vgl.: www.umwelt-schweiz.ch/themen/boden/publikationen/boden).
- BUWAL 2003: «*Handbuch Probenahme und Probenvorbereitung für Schadstoffuntersuchungen in Böden*», Vollzug Umwelt, 101 S., Bern.
- BUWAL 2001a: «*Erläuterungen zur Verordnung vom 1. Juli 1998 über Belastungen des Bodens (VBBo)*», Vollzug Umwelt, 30 S., Bern.
- BUWAL 2001b: «*Wegleitung über Verwertung von ausgehobenem Boden (Wegleitung Bodenaushub)*», Vollzug Umwelt, 20 S., Bern.
- BUWAL 1998: «*Richt-, Prüf- und Sanierungswerte für organische Schadstoffe im Boden – Fallbeispiel PAK*», Umweltmaterialien Nr. 96 – Boden, 111 S., Bern.
- BUWAL 1997a: «*Herleitung von Prüf- und Sanierungswerten für anorganische Schadstoffe im Boden*», Umweltmaterialien Nr. 83 – Boden, 100 S., Bern.
- BUWAL 1997b: «*Dioxine und Furane – Standortbestimmung, Beurteilungsgrundlagen, Massnahmen*», Schriftenreihe Umwelt Nr. 290, 127 S., Bern.
- BUWAL 1997c: «*Zur chemischen Belastung von Böden – eine synoptische Darstellung der Schadstoffgehalte und Bindungsstärken der Böden des NABO*», Umweltmaterialien Nr. 77, 63 S., Bern.
- BUWAL/OFEFP 1996: «*Sols pollués – métaux lourds et plantes bioindicatrices*», Documents environnement No 58, 245 p., Berne.
- CHAPMAN P.M., WANG F., JANSSEN C.R., GOULET R.R., KAMUNDE C.N. 2003: «*Conducting ecological risk assessments of inorganic metals and metalloids: current status*», Human and Ecological Risk Assessment, 9, 641–697.

- D'MELLO J.P.F. (Hrsg.) 2003: «*Food safety – contaminants and toxins*», CABI Publishing, 452 S., Wallingford.
- DELSCHEN T., KÖNIG W. 1998: «*Untersuchung und Beurteilung der Schadstoffbelastung von Kulturböden im Hinblick auf den Wirkungspfad Boden-Pflanze*», in: Rosenkranz D., Bachmann G., König W., Einsele G. (Hrsg.), Bodenschutz, ergänzbares Handbuch der Massnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser, ISBN 3 503 02718 1, Kennzahl 3550, E. Schmidt Verlag, Berlin.
- DELSCHEN T., HEMBROCK-HEGER A., LEISNER-SAABER J., SOPCZAK D. 1999: «*Verhalten von PAK im System Boden/Pflanze*», Umweltwissenschaften und Schadstoffforschung, 11, 79–87.
- DENZLER E. 1996: «*Bodensanierung mit Pflanzen, Zink- und Kupferaufnahme von indischem Senf und Lattich*», Diplomarbeit, 75 S., Institut für Terrestrische Ökologie (ITÖ), ETH Zürich.
- DESAULES A. 2004: «*Die Vergleichbarkeit von Schwermetallanalysen in Böden – Konsequenzen für die Klassifizierung und Abgrenzung von Belastungsflächen an einem Fallbeispiel bei Dornach (SO)*», Bulletin der Bodenkundl. Gesellschaft der Schweiz, 27 S.
- DESAULES A., BÜHLER K., SCHERP K., SCHNELL S., ZURWEERA A. 1992: «*Bodenverschmutzung durch den Strassen- und Schienenverkehr in der Schweiz*», Eidgenössisches Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement, Bundesamt für Strassenbau und Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (Hrsg.), Schriftenreihe Umwelt Nr. 185, 144 S., Bern.
- DOMSCH K.H. 1998: «*Pestizide im Boden*», Wiley VCH, ISBN 3 527 28431 1, 585 S., Weinheim/New York/Basel/Cambridge.
- DVWK 1988: «*Filtereigenschaften des Bodens gegenüber Schadstoffen – Teil 1: Beurteilung der Fähigkeit von Böden, zugeführte Schwermetalle zu immobilisieren*», Merkblätter zur Wasserwirtschaft, 212, Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V., Bonn (Hrsg.), Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin.
- EIKMANN T., HEINRICH U., HEINZOW B., KONIETZKA R. (Hrsg.) 1999: «*Gefährdungsabschätzung von Umweltschadstoffen*», ergänzbares Handbuch toxikologischer Basisdaten und ihrer Bewertung, ISBN 3 503 050830 3, E. Schmidt Verlag, Berlin.
- EIKMANN T., KLOKE A. 1993: «*Nutzungs- und schutzgutbezogene Orientierungswerte für (Schad-)Stoffe in Böden – Eikmann-Kloke-Werte*», in: Rosenkranz D., Bachmann G., König W., Einsele G. (Hrsg.), Bodenschutz, ergänzbares Handbuch der Massnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser, ISBN 3 503 02718 1, Kennzahl 3590, E. Schmidt Verlag, Berlin.
- EURACHEM/CITAC, Guide 2000: «*Quantifying uncertainty in analytical measurement*», Laboratory of the Government Chemist, 120 p., London, 2nd edition.
- EURACHEM 1995: «*Quantifying uncertainty in analytical measurement*», ISBN 0 948926 08 2, 87 p., London.
- EUROPEAN CHEMICALS BUREAU 2003: «*Technical Guidance Document on Risk Assessment*», TGD Part II, Institute for Health and Consumer Protection, EUR 20418 EN/2, 328 p., Luxembourg.
- FIEDLER H. 2003: «*Dioxins and Furans (PCDD/PCDF)*», Handbook of Environmental Chemistry, vol. 3O, 123–201.

- FIEDLER H.J., RÖSLER, H.J. (Hrsg.) 1988: «Spurenelemente in der Umwelt», Enke Verlag, Stuttgart.
- FRISCHE T., MEBES K.-H., FILSER J. 2003: «Assessing the bioavailability of contaminants in soils: a review on recent concepts», research report no. 201 64 214, 102 S., Umweltbundesamt Dessau.
- FROSSARD R., BONO R., SCHMUTZ D., BUSER A., SIMON P., WENK P., SCHAUB S. 2000: «Cadmium in acht Weizensorten – Ergebnisse eines Anbauversuchs in Nenzlingen, Basel-Landschaft», Mitt.Geb.Lebensm.Hyg., 91, 473–483.
- GEORGOPOULOS P.G., ROY A., YONONE-LIOY M. J., OPIEKUN R. E., LIOY P. J. 2001: «Environmental copper, its dynamics and human exposure issues», J.Toxicol. Environ.Health, Part B 4, 341–394.
- GERECHT B. 2002: «Familiengärten – Altlast oder Ressource?», Diplomarbeit, 65 S., Institut für Terrestrische Ökologie (ITÖ), ETH Zürich.
- GIRARD M.-C., WALTER C., REMY J.-C., BERTHELIN J., MOREL J.-L. 2005: «Sols et environnement», ISBN 2 10005 520 8, 832 p., Collection Sciences Sup., Paris.
- GISI U., SCHENKER R., SCHULIN R., STADELMANN F.X., STICHER H. 1997 (2. Aufl.): «Bodenökologie», 350 S., Thieme Verlag, Stuttgart.
- GLÜKLER M., MÄDER K., STEIDLE F. 1995: «Nachuntersuchungen zur Schwermetallbelastung der Böden auf dem Familiengartenareal Zürich-Juchhof – Abklärungen zur Herkunft der Belastung, Beurteilung der gesundheitlichen Risiken und Erarbeitung eines Erkundungskonzeptes», Diplomarbeit, 124 S., Institut für Terrestrische Ökologie (ITÖ), ETH Zürich.
- GOBAT J.-M., ARAGNO M., MATTHEY W. 1998: «Le Sol vivant», Collection géner l'environnement no. 14, Presses polytechniques et universitaires romandes, ISBN 2 88074 367 2, 519 p., Lausanne.
- GREIM H (Hrsg.) 1972/2004: «Gesundheitsschädliche Arbeitsstoffe – Toxikologisch-arbeitsmedizinische Begründung von MAK-Werten», ergänzbares Handbuch, Deutsche Forschungsgemeinschaft, ISSN 0930-1984, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KgaA, Weinheim.
- GRÜNENFELDER B., SCHMIDL F. 1998: «Schwermetallbilanzierung belasteter Böden und ihre Anwendung im Rahmen der sanften Bodensanierung», Diplomarbeit, 81 S., Institut für Terrestrische Ökologie (ITÖ), ETH Zürich.
- GSPONER R. 1996: «Ursachendifferenziertes Vorgehen zur verdachtsorientierten Erkundung von Schwermetallbelastungen im Boden», Dissertation ETH Zürich, Nr. 11 862.
- GUPTA S.K. 1991: «Assessment of ecotoxicological risk of accumulated metals in soils with the help of chemical methods standardized through biological tests», in: Vernet J.-P. (ed.), Heavy metals in the environment, 55–65, Elsevier, Amsterdam.
- GUYONNET D., BOURGINE B., DUBOIS D., FARGIER H., CÔME B., CHILÈS J.-P. 2003: «Hybrid approach for addressing uncertainty in risk assessments», J.Environ.Engineering, 129, 68–78.
- HAMMER D. 1997: «Schwermetallakkumulation durch Weidenstecklinge auf vier Schweizer Böden – Aufnahme-Effizienz in Abhängigkeit des Bodens», Diplomarbeit, 47 S., Institut für Terrestrische Ökologie (ITÖ), ETH Zürich.
- HAPKE H.-J. 1988: «Toxikologie für Veterinärmediziner», 259 S., Enke Verlag Stuttgart.
- HASSAUER M., KALBERLAH F., GRIEM P. 2001: «Zink und Verbindungen», in: Eikmann T., Heinrich U., Heinzow B., Konietzka R. (Hrsg.), Gefährdungsabschätzung von

- Umweltschadstoffen, ergänzbares Handbuch toxikologischer Basisdaten und ihrer Bewertung, *Kennzahl D 985*, E. Schmidt Verlag, Berlin.
- HEPPERLE E.U. 2001: «*Umsetzung des Verursacherprinzips bei bodenschutzrechtlichen Massnahmen*», *Umweltrecht in der Praxis*, 15, Nr. 10, 1017–1038.
- HORNBURG V., BRÜMMER G.W. 1993: «*Verhalten von Schwermetallen in Böden – Untersuchungen zur Schwermetallmobilität*», *Z.Pflanzenernähr.Bodenk.*, 156, 467–477.
- HORWITZ W. 2003: «*The certainty of uncertainty*», *J.Assoc.Offic.Anal.Chemists (AOAC) International*, 86, No. 1, 109–111.
- IPE 1994: «*Chemical composition of various plant species*», International Plant-Analytical Exchange, Wageningen Agricultural University, Netherlands.
- JARDINE C.G., HRUDEY S.E., SHORTREED J.H., CRAIG L., KREWSKI D., FURGAL C., MCCOLL S. 2003: «*Risk management frameworks for human health and environmental risks*», *J.Toxicol.Envirn.Health, Part B* 6, 569–641.
- KANTONALES LABORATORIUM AARGAU 1995: «*Schwermetalle im Gemüse aus Aarauer Gärten*», 13 S., Aarau.
- KELLER A. et al. 2005: «*Schwermetallbilanzen von Landwirtschaftsparzellen der Nationalen Bodenbeobachtung*», *Schriftenreihe Nr. 54 Agroscope FAL Reckenholz*, 55 S., Zürich.
- KELLER T., DESAULES A. 2001: «*Kartiergrundlagen zur Bestimmung der Bodenempfindlichkeit gegenüber anorganischen Schadstoffeinträgen in der Schweiz*», *Agroscope FAL Reckenholz*, Zürich.
- KESSLER J. 1993: «*Schwermetalle in der Tierproduktion*», *Landwirtschaft Schweiz*, 6, 273–277.
- KIRCHGESSNER M. 1997: «*Tierernährung*», 11. Auflage, DLG Verlag, Frankfurt a.M.
- LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (Hrsg.) 1997a, «*Stoffbericht Polychlorierte Biphenyle (PCB)*», *Texte und Berichte zur Altlastenbearbeitung*, 121 S., 16/95.
- LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (Hrsg.) 1997b: «*Stoffbericht Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)*», *Texte und Berichte zur Altlastenbearbeitung*, 249 S., 34/97.
- LITZ N., WILCKE W., WILKE B.M. 2005: «*Bodengefährdende Stoffe – Bewertung, Stoffdaten, Ökotoxikologie, Sanierung*», ergänzbares Handbuch, ecomed, ISBN 3 609 52001 9, Hüthig Jehlen Rahm GmbH, Landsberg a. Lech.
- LUDWIG C., MÄRKI M. 1997: «*Schwermetallaufnahme von Futterrüben in Abhängigkeit von der Düngung – Risikoabschätzung für Pflanze, Mensch und Tier*», *Diplomarbeit*, 45 S., Institut für Terrestrische Ökologie (ITÖ), ETH Zürich.
- MERGENTHALER B., RICHNER T. 2002: «*Mobilität und geochemisches Verhalten von Antimon im Boden von Schiessanlagen*», *Diplomarbeit*, 54 S., Institut für Terrestrische Ökologie (ITÖ), ETH Zürich.
- MERIAN E. 1991: «*Metals and their compounds in the environment – occurrence, analysis, and biological relevance*», *VCH Verlagsgesellschaft*, ISBN 3 527 26521 X, 1438 S., Weinheim/New York/Basel/Cambridge.
- MEULI R.G. 1997: «*Geostatistical Analysis of Regional Soil Contamination by Heavy Metals*», *Diss. ETHZ No. 12121*, 191 p., Zürich.
- MOSCHANDREAS D.J., KARUCHIT S. 2002: «*Scenario-model-parameter: a new method of cumulative risk uncertainty analysis*», *Environment International*, 28, 247–261.

- MUNTWYLER T., SCHAUB D., KUHN E., ARNET R. 2002, «*Landwirtschaftliche Nutzung im Bereich von Schiessanlagen – Gefährdungsabschätzung*», Umwelt Aargau, Sondernummer 14, 34 S., Aarau.
- NISBET I.C.T, LAGOY P.K. 1992: «*Toxic Equivalent Factors for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs)*», Reg.Toxicol.Pharm., 16, 290–300.
- NRC 1980: «*Mineral Tolerance for Domestic Animals*». National Research Council, 577 S., Washington D.C.
- REILLY C. 2002: «*Metal contamination of food – Its significance for food quality and human health*», 266 S., Blackwell, Oxford, 3. Auflage.
- RIGON S., SCHIB E., STENZ B. 1993: «*Die ehemalige Deponie Les Abattes bei Le Locle – Untersuchungen zu den Auswirkungen der schwermetallbelasteten Auflageschicht auf Pflanzen und Untergrund*», Diplomarbeit, 209 S., Institut für Terrestrische Ökologie (ITÖ), ETH Zürich.
- ROSENKRANZ D., BACHMANN G., KÖNIG W., EINSELE G. (Hrsg.) 1988: «*Bodenschutz*», ergänzbares Handbuch der Massnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaften und Grundwasser, ISBN 3 503 02718 1, E. Schmidt Verlag, Berlin.
- SCHEFFER F., SCHACHTSCHABEL P. 2002: «*Lehrbuch Bodenkunde*», 15. Aufl., ISBN 3 8274 1324 9, 593 S., Spektrum, Heidelberg.
- SCHNEIDER K., KALBERLAH F. 2000: «*Kupfer und Verbindungen*», in: Eikmann T., Heinrich U., Heinzow B., Konietzka R. (Hrsg.), Gefährdungsabschätzung von Umweltschadstoffen, ergänzbares Handbuch toxikologischer Basisdaten und ihrer Bewertung, Kennzahl D 577, ISBN 3 503 050830 3, E. Schmidt Verlag, Berlin.
- SCHULIN R., DESAULES A., WEBSTER R., VON STEIGER B. 1993: «*Soil monitoring – early detection and surveying of soil contamination and degradation*», Monte Verità Proceedings, Birkhäuser Verlag, 362 S., Basel.
- STARR C., WHIPPLE C. 1980: «*Risks of risk decision*». Science, No. 208, 1114–1119.
- TSCHANNEN P. 1999: «*Erläuterungen zum Bodenschutz (Art. 33–35)*», in: Kommentar zum Umweltschutzgesetz, Vereinigung für Umweltrecht und Helen Keller (Hrsg.), Zürich.
- WALTHERT L. et al 2004, und BLASER P. et al, 2005: «*Waldböden der Schweiz*», Bände 1 u. 2, ISBN 3 03905 131 8, 768 S. bzw. 920 S., h.e.p. verlag ag, Bern.
- WATSON D.H. (Hrsg.) 2001: «*Food chemical safety*», Volume 1: Contaminants, 322 S., CRC Press, Boca Raton.
- WENK P., BONO R., DUBOIS J.P., GENOLET F. 1997: «*Cadmium in Böden und Getreide im Gebiet Blauen/Nenzlingen, Basel-Landschaft*», Mitt.Geb.Lebensm.Hyg., 88, 570–592.
- WHO 2002: «*Safety evaluation of certain food additives and contaminants*», 692 S., World Health Organization, food additive series, No. 48, Geneva.
- WILLIAMS P.R.D., PAUSTENBACH D.J. 2002: «*Risk characterization, Principles and practice*», J.Toxicol.Envirn.Health, Part B 5, 337–406.

Zusätzliche Hinweise zur Gefährdungsabschätzung

EU-RECHT, Dokumente der Europäischen Union (Europäisches Recht) finden sich im Internet unter: [«http://europa.eu.int/documents/eur-lex/index_de.htm»](http://europa.eu.int/documents/eur-lex/index_de.htm).

UBA 1998: *Modell «Exposition der Schutzgüter Umwelt und Mensch mit Schadstoffen (UMS)»*, Version 2.10, ARGE Fresenius, focon u. Chemlog GBR, IfUA GmbH, Dessau.

WHO/FAO 2003: *«Summary and conclusions of the Joint FAO/WHO Expert committee on food additives (JECFA)»* – 61st meeting in Rome, 10–19th June 2003; Annex 4 on Cd.