



**Julius Kühn-Institut**

Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen  
Federal Research Centre for Cultivated Plants

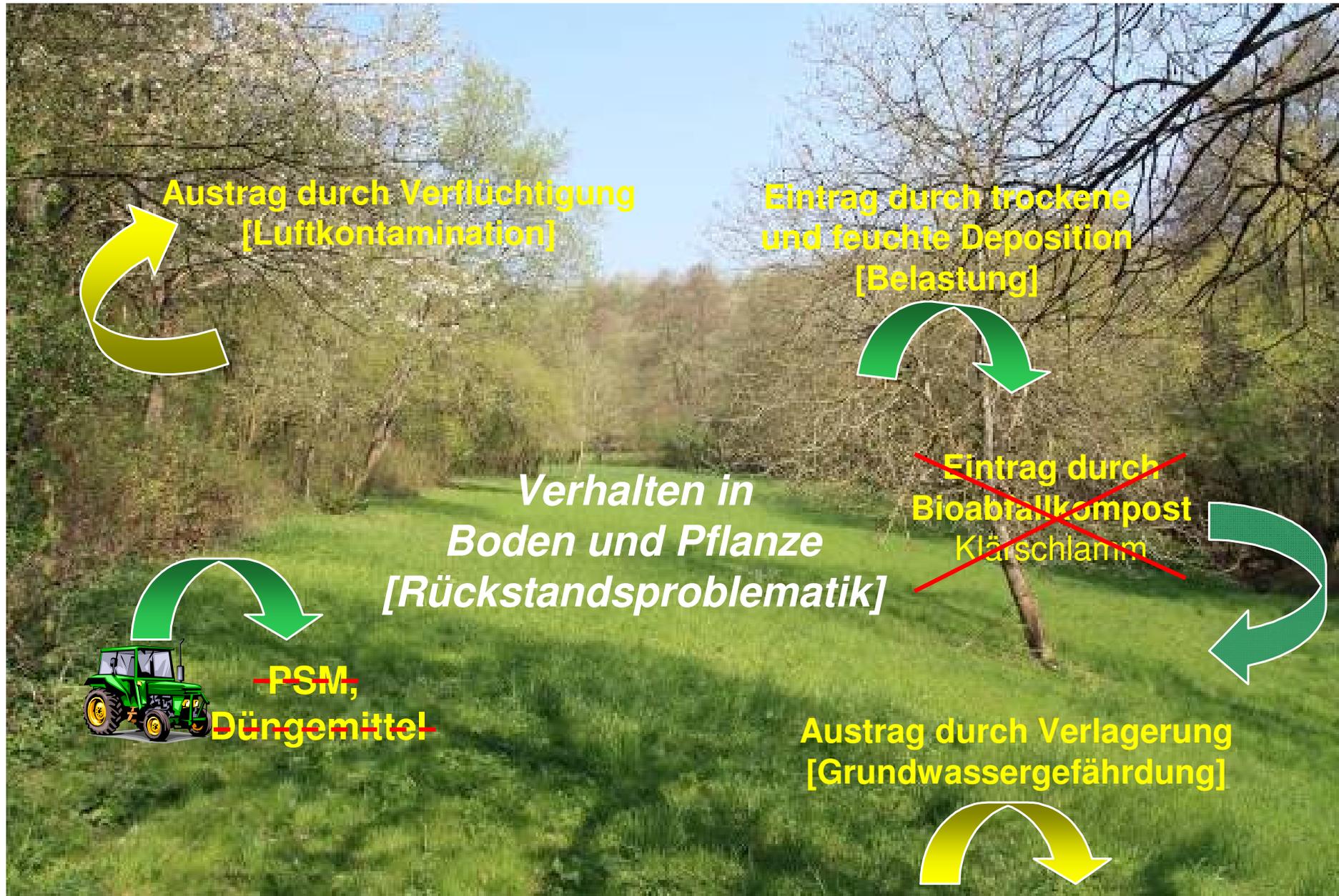
## **Risikobewertung von Schadelementen (Schwermetallen) im System Boden – Pflanze**

**Thomas Strumpf**

**Institut für ökologische Chemie, Pflanzenanalytik und Vorratsschutz**

[www.jki.bund.de](http://www.jki.bund.de)

# Eintrag und Verbleib von Nähr- und Schadelementen in Agrarökosystemen



# Direkte Begrenzung der Schadelementeinträge



## Boden

**Bundes-Bodenschutzgesetz - BBodSchG + Bodenschutz- und Altlastenverordnung – BodSchV**

## Wasser

**EU-Wasser- RL; Trinkwasser-Verordnung - TrinkwV; Grundwasserverordnung - GrwV;**

**Abwasserverordnung - AbwV**

## Lebensmittel

**(Rückstands-Höchstmengenverordnung - RHmV; (AVwV Lebensmittel - Monitoringplan ... - AVV LMP**

## Futtermittel

**Lebensmittel-, Bedarfsgegenstände- und Futtermittelgesetzbuch (LFGB)**

# Indirekte Begrenzung der Schadelementeinträge

## Sekundärrohstoffdünger

**Klärschlammverordnung – AbfKlärV; Bioabfallverordnung - BioAbfV)**

**Mineralische Dünger + Wirtschaftsdünger**

**Düngemittelverordnung - DüMV)**

## Luftinträge

**Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG; Aarhusprotokoll etc.**

## Abfall

**Abfallrahmenrichtlinie**

# Belastung Laubmischwald (nur Stichprobe)



	mg SM kg / Boden (TM)							
	Horizont 0 – 5 cm				Horizont 0 – 20 cm			
	Cu	Pb	Zn	Sb	Cu	Pb	Zn	Sb
MW	29	40	73	0,49	27	33	56	0,3
SD	17	17	64	1	18	12	22	0
min	6	10	25	0	5	10	18	0
max	81	70	351	3	91	66	100	2
n			22				26	

## Pflanzenverfügbarkeit in landwirtschaftlich genutzten Böden

- ✓ SM - Bodengehalte, Bodenparameter, Bewirtschaftung, Begrünung ... beeinflussen Pflanzenverfügbarkeit → Pfad Boden / Pflanze
- ✓ Pflanzen reichern Schwermetalle art- und sortenabhängig unterschiedlich stark an; bei Bäumen vorrangig Einlagerung in Lignin.
- ✓ Je höher die Transpirationsrate (große Blattoberfläche), desto intensiver Transport der Schwermetalle mit dem Transpirationsstrom in oberirdische Pflanzenteile.

Die Bestimmung des Aufnahme- und Verteilungsmusters von Schadelementen dient der Anpassung von Grenz-, Richt- und Orientierungswerten in Pflanzen und Böden im Sinne eines vorbeugenden Verbraucherschutzes und damit der Lebensmittelsicherheit.

- **Ziel**
- einfache Ersteinschätzung der Belastungssituation am konkreten Standort
- **Ausgangssituation**
- relativ komplizierte bodenschutzrechtlichen Vorgaben (unterschiedliche Bodenarten, geogen bedingte Hintergrundsituationen, Gesamt- und pflanzenverfügbare Gehalte; Berücksichtigung des pH-Wertes bei einzelnen Elementen, Frachtenregelung)
- Einzelregelungen für Richtwerte einiger Schwermetalle in Nahrungs- und Futtermitteln
- **Bewertungsgrundlagen**
- die Bodengesamtgehalte, die unterschiedlichen Aufnahme- und Verteilungsmuster in Pflanzen, die Elementeigenschaften und die unterschiedliche Toxizität der einzelnen Schadelemente gegenüber dem Konsumenten (incl. 'daily intake values')
- Verwendung von Biokonzentrationsfaktoren bei über den Werten der BBodSchV liegenden, aber nicht homogen verteilten Bodengesamtgehalten
- **Gewährung Lebensmittelsicherheit**
- Verwendung solch hoher Sicherheitsfaktoren, mit denen die Bodeneigenschaften und geogen bedingte Hintergrundsituationen unberücksichtigt bleiben können

# Verteilungsmuster und Biokonzentrationsfaktoren



*Nicotiana tabacum* L., *Beta vulgaris* var. *altissima* L.,  
*Solanum lycopersicum* L. und *Helianthus annuus* L.

$$\text{Biokonzentrationsfaktor (BCF)} = \frac{\text{Konzentration (c) in Pflanze}}{\text{Konzentration (c) im Boden}}$$

**Ermittlung von Biokonzentrationsfaktoren (BCF) aus unterschiedlichen Aufnahme- und Verteilungsmustern in Pflanzen**

Element	Boden mg/kg (TS)	Tabak		Beta­rübe		Tomaten				Sonnenblumen			
		Blätter		Blätter	Rübe	Blätter		Frucht		Blätter		Press- kuchen	Öl
		2. Etage	8. Etage			1. Etage	5. Etage	1. Etage	5. Etage	1. Etage	10. Etage		
Arsen (As)	2 ... 4	0,23	0,11	0,03	0,01	0,16	0,10	0,12	0,11	0,18	0,15	0,07	0,07
Blei (Pb)	24 ... 44	0,06	0,01	0,02	0,00	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cadmium (Cd)	2 ... 6	3,99	3,24	0,34	0,17	3,72	3,02	0,27	0,24	0,47	0,44	0,19	0,00
Kobalt (Co)	3 ... 4	0,06	0,01	0,01	0,01	0,05	0,03	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01
Chrom (Cr)	11 ... 13	0,15	0,02	0,03	0,01	0,10	0,05	0,02	0,04	0,03	0,03	0,02	0,00
Kupfer (Cu)	15 ... 152	0,16	0,15	0,16	0,05	0,23	0,20	0,12	0,12	0,20	0,11	0,06	0,01
Nickel (Ni)	5 ... 7	0,15	0,03	0,07	0,01	0,11	0,13	0,04	0,07	0,06	0,05	0,03	0,02
Zink (Zn)	58 ... 192	0,32	0,35	0,41	0,14	0,40	0,34	0,27	0,24	0,41	0,39	0,20	0,01

# Bewertungsgrundlagen (1)



## Biokonzentrationsfaktoren von Schadelementen

$$\text{Biokonzentrationsfaktor (BCF)} = \frac{\text{Gesamtgehalt [mg Schadelement/kg] in oberirdischen Pflanzenteilen (TS)}}{\text{Gesamtgehalt [mg Schadelement/kg] im Boden (TS)}}$$

Element	Ermittlung von Biokonzentrationsfaktoren (BCF) in unterschiedlichen Pflanzenbereichen																													
	Boden mg/kg (TS)	Tabak-Blätter				Betaarüben-Blätter						Betaarüben						Sonnenblume						Weisskohl						
		horizontal		vertikal		horizontal		vertikal		horizontal		vertikal		Blätter		Stamm	Fruchtstand	Presskuchen	Öl	Blätter			Strunk							
		ganz	innen	mitte	außen	Außenblätter	Innenblätter	ganz	innen	mitte	außen	ganz	oben	mitte	unten					innen	mitte	außen		ganz	innen	mitte	außen	außen	zwischen	innen
Arsen (As)	3...4	0,15	0,13	0,11	0,10	0,03	0,02	0,06	0,01	0,02	0,04	0,03	0,02	0,00	0,02	0,00	0,01	0,01	0,15	0,06	0,10	0,13	0,05	0,12	0,08	0,06	0,07	0,08	0,02	0,01
Blei (Pb)	24...104	0,04	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cadmium (Cd)	2...3	3,53	2,21	2,54	2,40	0,45	0,18	0,34	0,22	0,33	0,38	0,23	0,19	0,18	0,19	0,17	0,17	0,15	0,50	0,42	0,49	0,40	0,25	0,22	0,90	0,00	0,51	0,18	0,04	0,13
Cobalt (Co)	3...4	0,07	0,02	0,01	0,02	0,01	0,00	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,00	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01
Chrom (Cr)	10...15	0,19	0,05	0,04	0,05	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,04	0,03	0,04	0,04	0,02	0,07	0,04	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
Kupfer (Cu)	15...23	0,46	0,23	0,26	0,29	0,69	0,75	0,49	0,55	0,77	0,85	0,23	0,20	0,17	0,17	0,16	0,18	0,22	0,59	0,57	0,95	1,21	0,28	0,48	1,29	0,04	0,10	0,12	0,08	0,13
Nickel (Ni)	5...8	0,14	0,07	0,04	0,05	0,06	0,06	0,05	0,04	0,07	0,08	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,05	0,03	0,03	0,04	0,03	0,09	0,24	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02
Quecksilber (Hg)	0,08...0,13	0,20	0,10	0,19	0,21	0,39	0,64	0,34	0,10	0,65	0,79	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,22	0,13	0,26	0,34	0,02	0,02	0,01	0,01	0,10	0,06	0,01	0,00
Zink (Zn)	58...97	0,33	0,23	0,30	0,30	0,65	0,74	0,63	0,32	0,80	0,93	0,28	0,25	0,26	0,30	0,23	0,25	0,30	0,55	0,53	0,61	0,61	0,33	0,16	1,24	0,01	0,38	0,28	0,28	0,27

# Bewertungsgrundlagen (2)



## Gewährung Lebensmittelsicherheit

Tolerable Werte für die Aufnahme von Schadelementen in Lebensmitteln (TDI/PTWI = tolerable daily/weekly intake)

### Beispiel Sellerie-Knolle

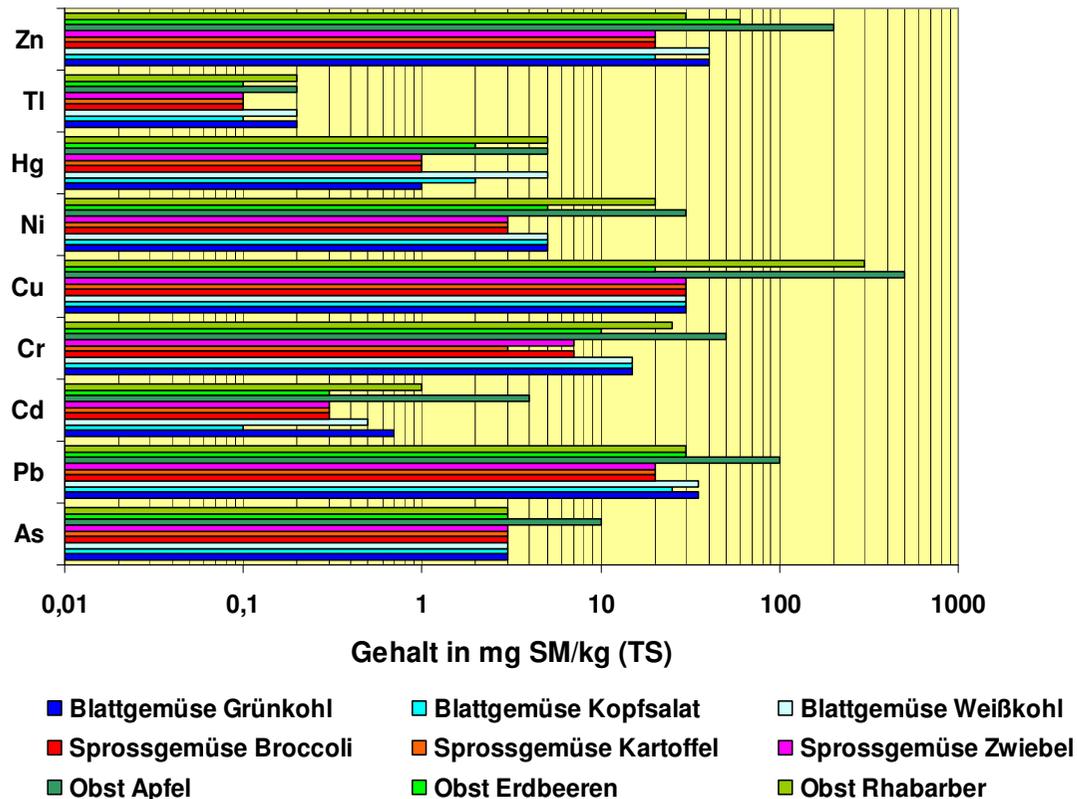
Schad- elemente	TDI	PTWI
	[µg/kg Körpergewicht]	
Arsen	2,14	15 [Nasreddine,2002]
Blei	3,6 [WHO, 1989]	25 [WHO, 2000]
Cadmium	1 [WHO, 1993]	7 [WHO, 2000]
Cobalt*	100 [WHO, 2001]	
Chrom*	150 [EVM, 2002]	
Kupfer*	160 [EVM, 2002]	
Nickel	5 [EVM, 2002]	
Quecksilber	0,7 [EVM, 2003]	5
Zink*	700, 1000 [EVM, 2002, WHO, 1978, 1982]	
* essentielles Spurenelement		

- ✓ Bodengesamtgehalt 100 mg Pb/kg Boden (TS);
- ✓ BCF = 0,01;
- ✓ täglich 1 kg Nahrungsaufnahme des Ernteguts  $\triangleq$  200 g Nahrung bezogen auf Trockensubstanz bei 80 v.H. Wassergehalt und
- ✓ Konsument mit 60 kg Körpergewicht
- ✓ Bei diesem Expositionsszenario würde die tägliche Aufnahme 3,3µg Pb/kg Körpergewicht betragen.

**Bei Bodengesamtgehalten von 100 mg Pb/kg Boden (TS) wird der TDI - Richtwert in Höhe von 3,6 µg (siehe Tabelle) nicht überschritten.**

T. Strumpf & Ch. Reichmuth: Risikoabschätzung von Schadelementen (Schwermetallen) im System Boden – Pflanze, Gesunde Pflanzen 61,39–50(2009); DOI: 10.1007/s10343-009-0202-1

# Abgeleitete Richtwerte für tolerable Bodengesamtgehalte



Richtwerte für Gehalte an Schwermetallen in Böden für einen unbedenklichen Anbau verschiedener Kulturpflanzen;

nach Feststellung höherer Werte muss (sollte) eine Unbedenklichkeitsprüfung erfolgen oder vom betreffenden geplanten Anbau abgesehen werden;

weitere Daten liegen beim Autor vor für:

➤ **Küchenkräuter:**

Dill, Majoran und Schnittlauch

➤ **Fruchtgemüse:**

Grüne Bohnen, Gurken, Tomaten, und

➤ **Wurzelgemüse:**

Knollensellerie, Möhren und rote Beete

T. Strumpf: Aufnahme und Verteilung relevanter Schwermetalle in Pflanzenteilen ausgewählter Kulturarten nach Anbau auf kontaminierten Böden. In: 56. Deutsche Pflanzenschutztagung in Kiel, 22.-25. September 2008, Mitt. Julius Kühn-Institut 417, 2008, 478

# Zusammenfassung



- ✓ Auf der Grundlage von Versuchsbefunden der letzten 20 Jahre wurden Richtwerte für tolerable Bodengesamtgehalte von relevanten Schadelementen [As, Pb, Cd, Cr, Co, Cu, Ni, Hg, Tl und Zn] für unterschiedliche Kulturen abgeleitet.
- ✓ Unter Beachtung der standortspezifischen Belastungssituation und durch geeignete Wahl der anzubauenden Nutzpflanzen können auch bei deutlicher Überschreitung der Vorsorgewerte für Böden die Richtwerte für Schadstoffe in (pflanzlichen) Lebensmitteln eingehalten werden.
- ✓ Eine Beeinträchtigung der Lebensmittelsicherheit von jagdlich gewonnenem Wildbret durch Transfer von Schwermetallen in Blattlaub über den Pfad Boden / Pflanze kann ausgeschlossen werden.

## Untersuchungsbedarf

- ✓ Einfluss Pfad Boden / Tier (Wildbret) auf Lebensmittelsicherheit
  - Nahrungsaufnahme mit Bodenpartikeln ?
  - Verteilung im Wildbret infolge Munition ?
  - Akkumulation Kleinsäuger → Carnivoren?

**Ich danke Ihnen für Ihre Aufmerksamkeit**

