



**Julius Kühn-Institut**

Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen  
Federal Research Centre for Cultivated Plants

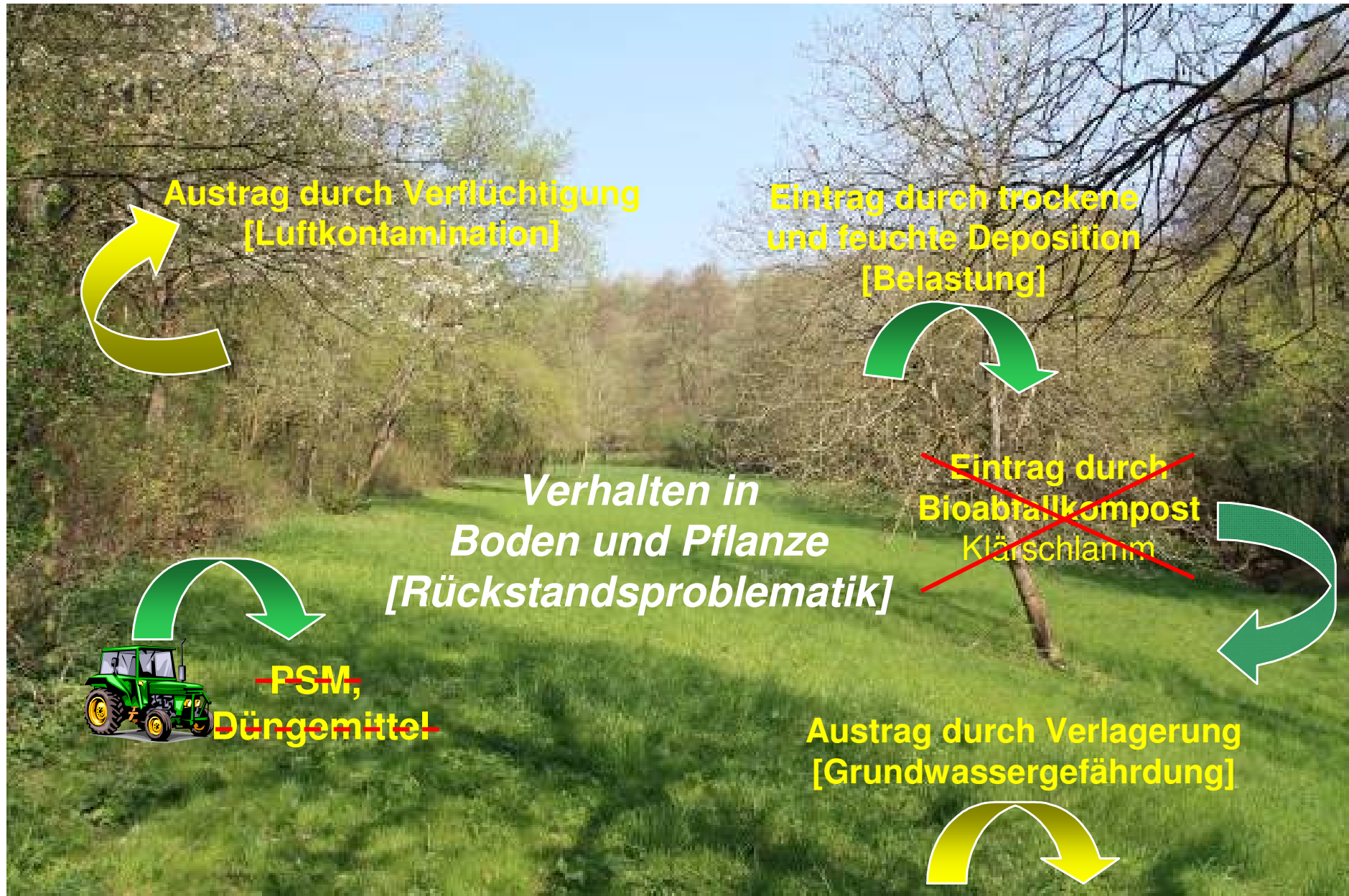
## **Risikobewertung von Schadelementen (Schwermetallen) im System Boden – Pflanze**

**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<br>mg/kg<br>(TS) | Tabak    |          | Beta­rübe |      | Tomaten  |          |          |          | Sonnenblumen |           |                  |      |
|--------------|------------------------|----------|----------|-----------|------|----------|----------|----------|----------|--------------|-----------|------------------|------|
|              |                        | Blätter  |          | Blätter   | Rübe | Blätter  |          | Frucht   |          | Blätter      |           | Press-<br>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<br>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-<br>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 |  |                      |

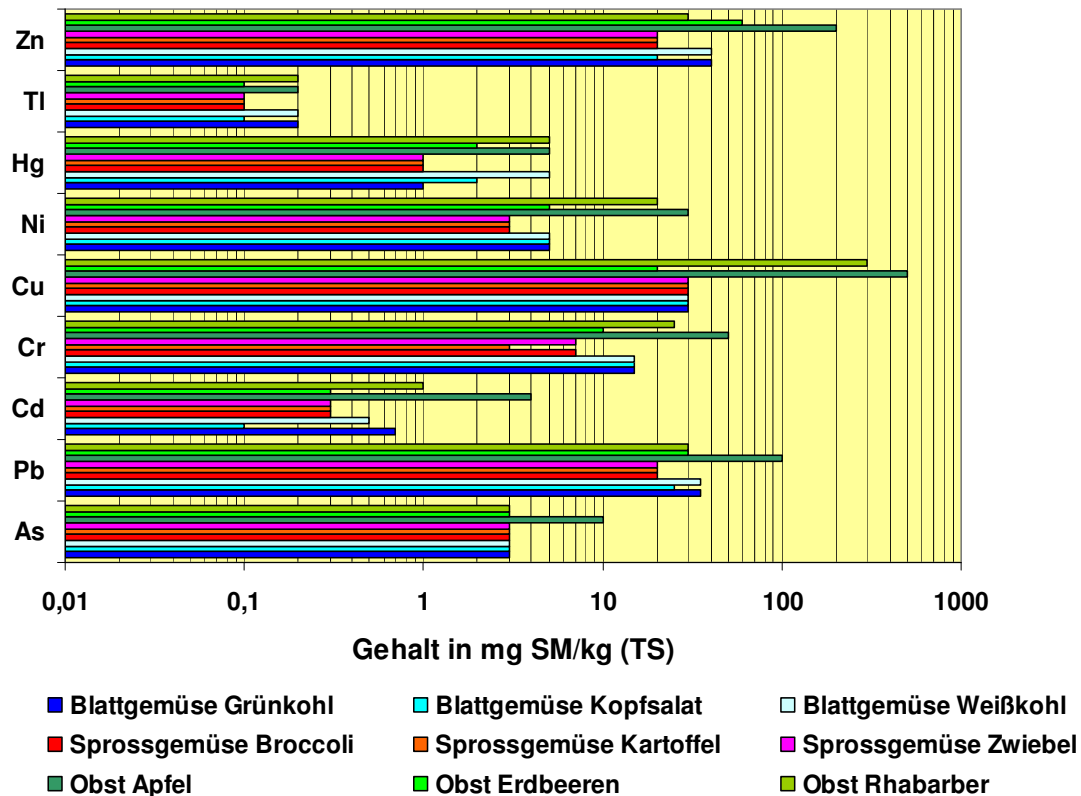
- ✓ Bodengesamtgehalt 100 mg Pb/kg Boden (TS);
- ✓ BCF = 0,01;
- ✓ täglich 1 kg Nahrungsaufnahme des Ernteguts  $\triangleq$  200 g Nahrung bezogen auf Trockensubstanz bei 80 v.H. Wassergehalt und
- ✓ Konsument mit 60 kg Körpergewicht
- ✓ Bei diesem Expositionsszenario würde die tägliche Aufnahme 3,3µg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

