

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Institut für ökologische Chemie, Berlin

# Effekte von ausgewählten Bodenhilfsstoffen auf die Cadmium-Aufnahme verschiedener Nutzpflanzen

Effects of soil additives on cadmium uptake of agricultural crops

Von Berndt-Dieter Traulsen, Thomas Strumpf und Günther Schönhard

## Zusammenfassung

Ein Teil des Versuchsfeldes der Biologischen Bundesanstalt in Berlin-Dahlem wurde bis vor ca. 40 Jahren mit Koksasche beaufschlagt. Die Cadmium-Gehalte des Bodens differieren hier von 7 bis 14 mg Cd/kg Boden (Trockensubstanz) und die pflanzenverfügbaren Gehalte in der Bodenlösung liegen im Schnitt bei 0,005 mg Cd/L.

Die Cadmium-Aufnahme in Ölpflanzen dient als Indikator zur Prüfung von Möglichkeiten einer Reduzierung von Schadstoffgehalten durch unterschiedliche Sanierungsmaßnahmen bei belasteten urbanen Standorten. Es wurden unterschiedliche Mengen und Kombinationen von Kalk, Stallung und Tonmineralien (Bentonite) in den sandigen Boden eingearbeitet.

Die Effektivität der Sanierungsmaßnahmen wurde im Feldversuch über drei Vegetationsperioden (1994–1996) mit den Ölpflanzen Lein (*Linum usitatissimum*), Ölerrettich (*Brassica rapa*), Raps (*Brassica napus* L. var. *napus*), Senf (*Sinapis alba*) und Sonnenblume (*Helianthus annuus*) – bei jeweils drei eingeführten Sorten – geprüft. Die Wirkung dieser Maßnahmen wurde durch die Bestimmung der Cadmium-Gehalte in Bodenlösungsproben, welche sehr gut mit den Cadmium-Gehalten in den Ölpflanzen korrelieren, untersucht, und im Preßkuchen der Ölfrüchte sowie in dem durch Kaltpreßverfahren gewonnenen Öl nachgewiesen.

In den angelegten Versuchen wurde nach Kalkung zur Anhebung des Boden-pH-Wertes auf 6,5 und durch Erhöhung des Gehaltes an organischer Substanz (Stallung) oder des Tongehaltes (Bentonit) eine Verminderung der Pflanzenverfügbarkeit von Cadmium erreicht. Kombinierte Kalk- und Stallunggaben waren am effektivsten.

**Stichwörter:** Ölpflanzen, Cadmium, Bodensanierung, Bodenlösung, Pflanzenverfügbarkeit

## Abstract

The experimental field of the Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry in Berlin was previously amended with coal ash. The aqua regia soluble Cadmium content differed from 7 to 14 mg Cd/kg soil. The possibilities of sanitation amendments in contaminated sites by addition of soil additives were investigated.

Different rates and combinations from lime, natural fertilizer and bentonite were incorporated into sandy soil. Cadmium accumulation in crops grown on soils from urban sites was used as in-

dicator of the effectiveness of these treatments. Experiments were conducted in plot cultures with five oil plant species from 1994 to 1996. The available contents of nutrients and heavy metals were determined directly in the soil solution by Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES). The dried samples of plants, oilcake, and cold pressed oils were digested by closed vessel/pressure techniques. The contents of Cadmium were determined by ICP-OES and with Graphite Tube techniques through Atomic Absorption Spectrometry (AAS).

Furthermore, soils with a higher pH tended to achieve better control of Cadmium accumulation in oil plants compared to those with an acidic reaction. Cadmium concentrations in the plants generally correlated well with those in soil solution extracts. The results also showed that addition of lime and natural fertilizer can effectively reduce the Cadmium content in crops, oilcakes, and oils.

**Key words:** Oil plants, cadmium, soil sanitation, soil solution extracts, plantavailability

## 1 Einleitung

Die Aufnahme potentiell toxischer Metalle durch Nutzpflanzen ist einer der wesentlichsten Eintragungspfade von Schwermetallen in die Nahrungskette. In Abhängigkeit von der Verfügbarkeit im Boden können sowohl Grenzwertüberschreitungen bei den Ernteprodukten als auch nichtparasitäre Schadsymptome an Nutzpflanzen auftreten.

Die Pflanzenverfügbarkeit von Schwermetallen hängt von der Pflanzenart (ZERULLA und MARSCHNER, 1986; TRAULSEN, 1992; HEYMANN und WIECHMANN, 1996), den Bodenparametern (GORLACH und GAMBUS, 1992; TRAULSEN, 1993; OBORN et al., 1995; LEE et al., 1996) und weiteren Anbau- und Standortbedingungen ab (DAVIES, 1992; WENZEL et al., 1996). Unterschiedliche Anreicherungsraten werden auch in Pflanzenteilen von gleichen Arten (HELAL et al., 1991; GAUDCHAU und MARQUARD, 1993) festgestellt, so daß sachgerechte Vorhersagen für Schwermetallgehalte in Ernteprodukten nur auf der Grundlage von umfangreichem Datenmaterial getroffen werden können. Solche Prognosen sind im Sinne eines vorbeugenden Schutzes für Mensch und Tier zwingend erforderlich, sollen bereits vor Wachstumsbeginn des Schutzgutes Nutzpflanze erhöhte Schwermetallgehalte erkannt und nach Möglichkeit abgestellt bzw. durch Einleitung geeigneter Maßnahmen die spätere Verwertung von Ernteprodukten sichergestellt werden.

Besonders problematisch sind Cadmium-Gehalte im Ölpflanzenbau, da Ölpflanzen Cadmium stark anreichern und Cadmium den hochtoxischen Schwermetallen zuzurechnen ist (NUYKEN-HAMMELMANN, 1990; BÖHM und MARQUARD, 1993).

Aufgrund verstärkter anthropogener Einflüsse können in urbanen Ballungsgebieten Spitzenbelastungen in Böden auftreten (SCHÜRMAN et al., 1994; TRAUlsen et al., 1997), die unterschiedliche Sanierungsmaßnahmen erfordern.

Die Cadmium-Aufnahme in Ölpflanzen dient als Indikator zur Prüfung von Möglichkeiten einer Reduzierung von Schwermetallgehalten durch verschiedene Maßnahmen, wie Gaben unterschiedlicher Mengen und Kombinationen von Kalk, Stallung und Tonmineralien (Bentonite), die in den Boden eingearbeitet werden.

Zur Simulation häufig in Ballungsgebieten vorkommender saurer Niederschläge wurden in einem vorgeschalteten Gefäßversuch die Versuchsglieder parallel mit Gießwasser (pH 3,5) behandelt, um die Wirkung der Sanierungsmaßnahmen unter dem Einfluß von „saurem Regen“ auf die Akkumulationsraten von Ölpflanzen zu ermitteln.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Versuchsbedingungen

**Standort:** Der Boden der Versuchsfläche der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft in Berlin-Dahlem besteht aus einem schluffigen Sand mit 5,7 % Ton, 21,2 % Schluff und 73,1 % Sand. Der pH-Wert (CaCl<sub>2</sub>) liegt mit 5,9 im schwach sauren Bereich. Der Gehalt an organischer Substanz lag bei Versuchsbeginn bei 2,44 % (Glühverlust).

**Düngung:** Die Düngung erfolgte nach der Bestimmung des verfügbaren Stickstoffs (N-min) sowie bei den anderen Hauptnährstoffen auf der Basis des Entzugs der jeweiligen Kulturpflanzen.

**Kulturpflanzen:** Die Untersuchungen wurden über drei Vegetationsperioden (1994–1996) im Feldversuch mit den fünf Ölpflanzen Lein (*Linum usitatissimum*), Ölrettich (*Brassica rapa*), Raps (*Brassica napus L. var. napus*), Senf (*Sinapis alba*) und Sonnenblume (*Helianthus annuus*) – je drei eingeführte Sorten – durchgeführt. Der Anbau von Raps erfolgte auf wechselnden Teilflächen nach Sonnenblume, um erhöhten Pflanzenschutzmitteleinsatz (Kohlhernie) zu vermeiden. Das Öl wurde im Kaltpreßverfahren gewonnen.

**Sanierungsmaßnahmen:** Die Anwendungen sind der folgenden Tabelle zu entnehmen.

Tab. 1. Sanierungsmaßnahmen (Teilraster je Pflanzenart; 5 Wiederholungen)

	Bentonit 1 kg/m <sup>2</sup>	Kontrolle	Bentonit 2 kg/m <sup>2</sup>
Kontrolle	1,1	2,1	3,1
Kalk 2 t/ha	1,2	2,2	3,2
Stallung 50 t/ha	1,3	2,3	3,3
Kalk + Stallung	1,4	2,4	3,4

### 2.2 Untersuchungsmethoden

**Boden:** Die Nährstoff- und Cadmium-Gehalte im Boden wurden nach Königswasseraufschluß mit einem PLASMA 2000 der Fa. Perkin-Elmer mittels ICP-OES (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry) gemäß der Klärschlammverordnung (AbfKlärV) bestimmt.

**Bodenlösung:** Die Probenahme von Bodenlösungen erfolgte in Anlehnung an entsprechende Regelungen zur „Gewinnung von Bodenwasserproben mit Hilfe der Saugkerzen-Methode“ des Deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V.

(s. Heft 217, 1990). Zur Simulation eines „sauren Regens“ wurden die entsprechenden Versuchsglieder des Vorversuches mehrmals, mindestens jeweils 12 Stunden vor Entnahme mit angesäuertem Wasser (pH 3,5) gegossen. Um die pflanzenverfügbare Lösung zu erfassen, wurde eine Saugspannung bis 0,95 bar angelegt. Zum Einsatz kamen Aluminiumoxydkerzen der Firma Haldenwanger, Berlin. Die Unterdruckanlage wurde zentral mit einer Vakuumpumpe mit 1000 l/min Saugvermögen betrieben.

**Gehaltsbestimmungen:** Die Bestimmung der pflanzenverfügbaren Nährstoff- und Cadmium-Gehalte in der Bodenlösung erfolgte direkt durch ICP-OES. Nach Druckaufschluß der Proben (Salpetersäure) wurden die Cadmium-Gehalte in den Pflanzen und im Preßkuchen mittels ICP-OES sowie im Pflanzenöl durch Graphitrohr-AAS mit einem SIMAA 6000 der Fa. Perkin-Elmer bestimmt.

## 3 Ergebnisse und Diskussion

### 3.1 Cadmium-Gehalte in Boden und Bodenlösungszügen

Aufgrund verstärkter anthropogener Einflüsse können in urbanen Ballungsgebieten erhöhte Schwermetallgehalte in Böden auftreten, die in Abhängigkeit ihrer Nutzung unterschiedliche Sanierungsmaßnahmen erfordern. Diese sind im Sinne eines vorbeugenden Schutzes für Mensch, Tier und Umwelt (Naturhaushalt) geboten und zielen vorrangig auf eine Reduzierung der Verfrachtung mobiler Schwermetall-Gehalte in Grundwasserleiter (Pfad: Boden/Sickerwasser/Grundwasser) und/oder auf eine Reduzierung pflanzenverfügbarer Schwermetall-Gehalte (Pfad: Boden/Nutzpflanze) bei urbanen Nutzflächen mit nachgewiesener Spitzenbelastung. In landbaulich genutzten ländlichen Gebieten werden die für urbane Lagen repräsentativen Cadmium-Gehalte im Boden von ca. 1 mg/kg Boden TS deutlich unterschritten. Andererseits kann im Einzelfall (sorptionsschwache Böden in Verbindung mit niedrigen pH-Werten) bereits bei Gesamtgehalten von < 1 mg Cadmium/kg der mobile Anteil ein kritisches Maß erreichen und die Einleitung angemessener Maßnahmen zweckmäßig erscheinen lassen.

Der ausgewählte Teil des Versuchsfeldes der Biologischen Bundesanstalt in Berlin-Dahlem wurde bis vor ca. 40 Jahren mit Koksasche beaufschlagt. Am Versuchsstandort wurden nach Königswasseraufschluß zwischen 7 und 14 mg Cadmium/kg Boden (TS) analysiert. In den geprüften Bodenlösungen wurden durchschnittlich 0,005 mg pflanzenverfügbares Cadmium/L nachgewiesen.

Für die Versuchsdurchführung wurde bewußt dieser hoch mit Cadmium belastete Standort gewählt, um die Effektivität unterschiedlicher Sanierungsmaßnahmen bei „extremen Belastungen“ zu untersuchen. Als Nachkultur zu verschiedenen landwirtschaftlichen und gärtnerischen Kulturen wurden als Indikatorpflanzen Ölpflanzen ausgewählt, von denen bekannt ist, daß sie Cadmium stark anreichern. Die Wirkung der Behandlungsmaßnahmen wurde durch die Bestimmung der Cadmium-Gehalte in Bodenlösungsproben und in den Ölpflanzen Lein, Ölrettich, Raps, Senf und Sonnenblume, den erhaltenen Preßkuchen sowie in dem im Kaltpreßverfahren gewonnenen Öl nachgewiesen.

### 3.2 Einfluß von ausgewählten Sanierungsmaßnahmen auf die Pflanzenverfügbarkeit

Der Einsatz von Stallung oder Kalk zur Sanierung cadmiumbelasteter Böden ist als temporäre Maßnahme zu bewerten. Durch kontinuierliche Kontrollen der pH-Werte und der Gehalte an organischer Substanz ist der Zeitpunkt der Maßnahmenwiederholungen in regelmäßigen Abständen (jährlich) zu bestimmen. Die Anwendung von Tonmineralien zur Festlegung von Schwer-

metallen ist als langfristige Maßnahme zu bewerten, da Tonminerale eine Beständigkeit von mehreren Jahrzehnten aufweisen, Kontrolluntersuchungen sind in Abständen von 10 Jahren zu empfehlen.

In den angelegten Versuchen wurde durch Kalkung zur Anhebung des Boden-pH-Wertes auf 6,5 und Erhöhung des Gehaltes an organischer Substanz (Stalldung) eine Verminderung der Pflanzenverfügbarkeit von Cadmium um ca. 30 % erreicht (Abb. 1 und Abb. 2). Kombinierte Kalk- und Stalldunggaben waren am effektivsten; Einzelgaben von Kalk oder Stalldung waren weniger effektiv, führten aber ebenfalls zu einer Verminderung der Pflanzenverfügbarkeit.

Die Bentonitgaben von 10 bzw. 30 t/ha führten schon bei den Vorkulturen Tomate, Sellerie und Buschbohne zu deutlichen Belastungsminderungen bis zu 50 %, wie z. B. bei Zink – Busch-

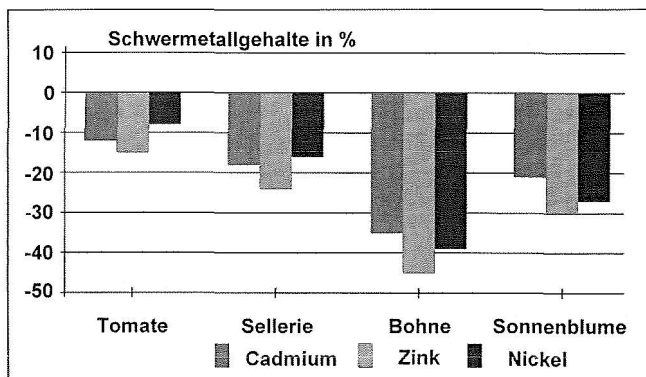


Abb. 2. Prozentuale Minderung der Schwermetallgehalte verschiedener Kulturpflanzen nach Bodensanierung mit 30 t Bentonit/ha.

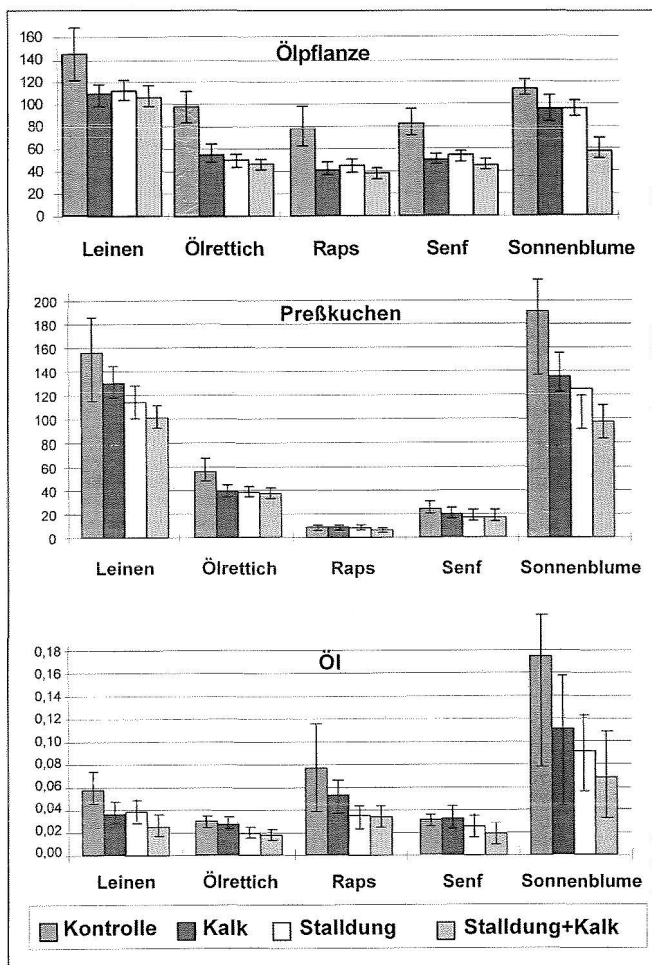


Abb. 1. Durchschnittliche prozentuale Aufnahme von Cadmium in ausgewählten Ölpflanzen, Preßkuchen und Öl in Abhängigkeit verschiedener Sanierungsmaßnahmen.

bohne (Abb. 2). Die Langzeitwirkung der Bentonitanwendung wird durch weitere Nutzung der belasteten und sanierten Flächen mit landwirtschaftlichen und gärtnerischen Nutzpflanzen geprüft, über diese Ergebnisse wird zu gegebenem Zeitpunkt ausführlich berichtet.

Die Ergebnisse stehen im Einklang mit Ergebnissen aus der Literatur, daß bei neutralen oder alkalischen Böden eine geringere Cadmium-Anreicherung in Nutzpflanzen im Vergleich zu Böden mit saurer Reaktion erfolgt (GORLACH, 1994; BRALLIER et al., 1996; TRAUlsen et al., 1995). Auch eine Erhöhung des Gehaltes an organischer Substanz (GONZALEZ, 1993; TRAUlsen und SCHÖNHARD, 1995) sowie die Einarbeitung geeigneter Bodenhilfsstoffe (SENGUTTA, 1993) kann zu gleichen Effekten führen.

Ohne Inanspruchnahme der gewählten Sanierungsmaßnahmen wäre der in der Futtermittelverordnung (FMV) für Einzel Futtermittel pflanzlichen Ursprungs festgesetzte Höchstgehalt für Cadmium von 1 mg/kg pflanzliches Material – bezogen auf Futtermittel mit 88 v. H. Trockenmasse – auf dem stark kontaminierten Boden bei vier Ölpflanzenarten überschritten worden (Tab. 2).

Die Verwendung als Einzel Futtermittel – ausgenommen Raps – wäre demnach ausgeschlossen. Die im Preßkuchen von Raps nachgewiesenen Cadmium-Gehalte erlauben nach FMV ein uneingeschränktes Inverkehrbringen oder das Verfüttern von im landwirtschaftlichen Betrieb erzeugten Einzel Futtermitteln. Bei den Ölpflanzenarten Ölrettich und Senf wären nach Absenkung der Cadmium-Gehalte durch die Sanierungsmaßnahmen – in Abhängigkeit der konkret ermittelten Cadmium-Gehalte – fallbezogene Einstufungen für das eingeschränkte Inverkehrbringen höher belasteter Futtermittel oder für das Verfüttern von im landwirtschaftlichen Betrieb erzeugten Einzel Futtermitteln möglich. Bei Lein und Sonnenblume wäre trotz der durchgeführten Maßnahmen bei dem hoch kontaminierten Standort jegliche Verwendung der Preßkuchen als Futtermittel ausgeschlossen.

Tab. 2. Durchschnittliche Cadmium-Gehalte [mg/kg TS] in Pflanzen, Preßkuchen und kaltgepreßtem Öl [mg/L] mit (A) und ohne (B) Sanierungsmaßnahmen (n = je 35; s = Standardabweichung)

Ölfrucht	Pflanze				Preßkuchen			Öl				
	A	s	B	s	A	s	B	A	s	B	s	
Lein	7,8	2,6	8,2	2,4	8,0	2,5	8,9	2,9	0,0026	0,0016	0,0023	0,0011
Ölrettich	4,0	1,2	4,0	1,1	2,8	1,0	2,9	1,0	0,0016	0,0006	0,0013	0,0008
Raps	3,4	1,2	3,1	1,3	0,5	0,1	0,5	0,2	0,0034	0,0025	0,0027	0,0016
Senf	3,7	0,9	4,0	1,1	1,2	0,8	1,4	0,6	0,0015	0,0006	0,0024	0,0016
Sonnenblume	6,5	1,4	5,0	1,5	9,3	2,6	8,0	3,3	0,0071	0,0067	0,0068	0,0068

### 3.3 Korrelationen zwischen den Cadmium-Gehalten in Bodenlösungsproben und in Nutzpflanzen

Die Pflanzenverfügbarkeit von Schwermetallen kann in Abhängigkeit von Pflanze, Bodenparametern und weiteren Anbau- und Standortbedingungen stark differieren. Auch über unterschiedliche Anreicherungsraten in Pflanzenteilen von gleichen Spezies sowie über sortenabhängige Anreicherungen liegen Untersuchungen vor.

Die untersuchten Ölpflanzen akkumulieren Cadmium in den oberirdischen Pflanzenteilen unterschiedlich stark (Tab. 2). Die Cadmium-Gehalte in der Pflanze steigen in der Reihenfolge: Raps > Senf > Ölrettich > Sonnenblume > Lein. Parallel dazu steigen die Gehalte in den gewonnenen Preßkuchen der einzelnen Ölpflanzenarten. Während bei Sonnenblume und Lein Cadmium verstärkt in den Ölfrüchten angereichert wird, wurden bei Ölrettich, Senf und Raps höhere Cadmium-Gehalte in der Pflanze nachgewiesen. Dabei wird das Schwermetall in den Ölfrüchten zum überwiegenden Teil in den Samenschalen angereichert. Die Cadmium-Gehalte in den kaltgepressten Ölen erhöhen sich in der Reihenfolge: Senf > Ölrettich > Lein > Raps > Sonnenblume.

Unterschiedliche Cadmium-Gehalte in den Preßkuchen der untersuchten Ölpflanzenarten und den entsprechenden Ölen sind auf unterschiedliche Anteile der Samenschale an der Gesamtmasse zurückzuführen.

Sanierungsmaßnahmen und Standortunterschiede werden anhand der pflanzenverfügbaren Cadmium-Gehalte in Bodenlösungsproben erfaßt. Die Cadmium-Gehalte in den Bodenlösungsproben von unterschiedlich belasteten Flächen und in den verschieden Pflanzarten korrelieren sehr gut, die Korrelationsfaktoren ( $r$ ) liegen um 0,8 (Abb. 3).

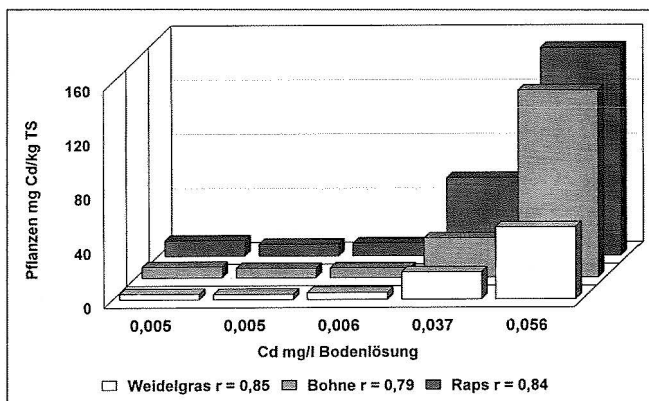


Abb. 3. Abhängigkeit der Cadmiumaufnahme verschiedener Kulturpflanzen von den verfügbaren Gehalten in der Bodenlösung am Beispiel von 5 Freilandstandorten (Versuchsfeld BBA).

Über Korrelationen zwischen pflanzenverfügbarem Cadmium in der Bodenlösung und Cadmium-Gehalten in Kulturpflanzen (GERRITSE et al., 1983; TRAUlsen, 1992; TRAUlsen und SCHÖNHARD, 1995) liegen bereits umfangreiche Daten vor.

Die engen Korrelationen zwischen den Cadmium-Gehalten in den Bodenlösungsproben und in Öl- und anderen Nutzpflanzen erlauben folgende Aussagen:

- In den Bodenlösungen der mit Ölpflanzen bestellten Versuchsfelder wurden durchschnittlich pflanzenverfügbare Cadmium-Gehalte von 0,005 mg Cd/L gefunden. Da in den Preßkuchen der einzelnen Ölpflanzen in der Mehrzahl Cadmium-Gehalte nachgewiesen wurden, die die Vorsorgewerte der FMV überschreiten, muß ein Prüfwert von < 0,005 mg Cd/L

Bodenlösung für das „Schutzgut“ Futtermittel bei Ölpflanzen etabliert werden.

- Höhere Schwermetall-Gehalte in der Bodenlösung lassen vor Kulturbeginn die Prognose erhöhter Schwermetallgehalte des Schutzgutes Nutzpflanze zu. Durch geeignete Sanierungsmaßnahmen können Belastungsspitzen nach Möglichkeit abgestellt bzw. durch Einleitung geeigneter Maßnahmen die spätere Verwertung der Ernteprodukte sichergestellt werden.
- Unterschiedliche Anreicherungsraten in Pflanzenteilen müssen nutzungsbezogen berücksichtigt werden. Ausgangsbasis zur Wertefestlegung sollten deshalb Daten zur Pflanzenverfügbarkeit von Schwermetallen für Nutzpflanzen und die Akkumulationsraten in den zur Nutzung bestimmten Pflanzenteilen sein.
- Aus Bodenlösungsgehalten und den analysierten Gehalten in Jungpflanzen sind bei Verteilungsmustern, die z. T. noch erarbeitet werden müssen, die Gehalte der einzelnen Fraktionen schon vor der Verarbeitung abzuschätzen und bezüglich der Verwendungsmöglichkeiten zu beurteilen.
- Bei Berücksichtigung pflanzenverfügbarer Gehalte würde man unterschiedlichen Bodenarten bzw. Bodentypen gerecht und brauchte keine pH-abhängigen Bodengrenzwerte; es wirkt allein der mobile Gehalt an Schwermetallen limitierend.

## 4 Literatur

- BÖHM, H., R. MARQUARD, 1993: Untersuchungen zur Cadmiumaufnahme von Lein bei verschiedenen Bodenarten, pH-Werten und Cd-Belastungen des Bodens. 105. VDLUFA-Kongreß: Qualität und Hygiene von Lebensmitteln in Produktion und Verarbeitung; Hamburg (Germany); 20–25 Sep 1993. VDLUFA-Schriftenreihe (Germany) 1993; Kongreßband Nr. 37, 505–508.
- BRALLIER, S., R. B. HARRISON, C. L. HENRY, XUE DONG SEN, 1996: Liming effects on availability of Cd, Cu, Ni and Zn in a soil amended with sewage sludge 16 years previously. *Water, Air, and Soil Pollution* **86**, 195–206.
- DAVIS, B.E., 1992: Inter-relationships between soil properties and the uptake of cadmium, copper, lead and zinc from contaminated soils by radish (*Raphanus sativus* L.). *Water, Air, and Soil Pollution* **63**, 331–342.
- GAUDCHAU, M., R. MARQUARD, 1993: Untersuchungen zur Cadmium-Akkumulation in Sonnenblumenfrüchten in Abhängigkeit von Genotyp und Bodenbelastung. 105. VDLUFA-Kongreß: Qualität und Hygiene von Lebensmitteln in Produktion und Verarbeitung; Hamburg (Germany); 20–25 Sep 1993. VDLUFA-Schriftenreihe (Germany) 1993; Kongreßband Nr. 37, 509–512.
- GERRITSE, R. G., W. VAN DRIEL, K. W. SMILDE, B. VAN LUIT, 1983: Uptake of heavy metals by crops in relation to their concentration in the soil solution. *Plant and Soil* **75**, 393–404.
- GONZALEZ, M. S., 1993: Reduccion de la toxicidad del cobre y cadmio en alfalfa, mediante el uso de abono organico (Buffering of Copper and Cadmium toxicity for lucerne plants, by means of using compost addition). *Agricultura tecnica (Chile)* **53**, 245–250.
- GORLACH, E., 1994: Phytoavailability of heavy metals as affected by liming and plant species. *Polish Journal of Soil Science* **27**, 59–67.
- GOLACH, E., F. GAMBUS, 1992: A study of the effect of sorption and desorption of selected heavy metals in soils on their uptake by plants. *Zeszyty Problemowe Postepow Nauk Rolniczych* **398**, 47–52.
- HELAL, H. M., E. RIETZ, D. SAUERBECK, 1991: Aufnahme und Verlagerung von Schwermetallen in Leinpflanzen – Umweltaspekte der Tierproduktion. 103. VDLUFA-Kongreß; Ulm (Germany, F.R.); 16–21 Sep 1991. VDLUFA-Schriftenreihe (Germany) 1991; Kongreßband Nr. 33, 757–760.
- HEYMANN, H., H. WIECHMANN, 1996: Cadmiumverfügbarkeit für Gemüsepflanzen in Kleingartenböden. *Z. Pflanzenern. Bodenkd.* **159**, 459–465.
- LEE, S.-Z., H. E. ALLEN, C. P. HUANG, D. L. SPARKS, P. F. SANDERS, W. J. PEJINEN-BURG, 1996: Predicting Soil – Water Partition Coefficients for Cadmium. *Environ. Sci. Technol.* **30**, 3418–3424.
- NUYKEN-HAMELMANN, C., 1990: Cadmium in Leinsamen, Sesam und Sonnenblumenkernen. *Lebensmittelchem. Gerichl. Chem.* **44**, 38–39.
- OBORN, I., G. JANSSON, L. JOHNSON, 1995: A field study on the influence of soil pH on trace element levels in spring wheat (*Triticum aestivum*), potatoes (*Solanum tuberosum*) and carrots (*Daucus carota*). *Water, Air, and Soil Pollution* **85**, 835–840.
- SCHÜRMANN, G., G. SCHÄDLICH, R. KÜHNE, 1994: Ökotoxikologische Risikoanalyse der Cadmium-Belastung im Ackerboden der Industrieregion

Leipzig-Halle. Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung (Germany) **6**, 3–4.

SENGUTTA, U., 1993: Adsorption von Blei und Cadmium an Tonen. Z. Umwelt-chem. Ökotox. **5**, 72–76.

TRAULSEN, B.-D., 1992: Ermittlung der Pflanzenverfügbarkeit von Metallen im Boden. Kongreßband: Biologische Sanierung schwermetallkontaminierter Böden. FGU Berlin, UTECH 1992, Referat 9.

TRAULSEN, B.-D., 1993: Beschaffenheit von Böden, Waschsanden und Substraten aus Bodenwaschanlagen. Tagungsband: „Biologische Bodensanierung“, FGU Berlin, UTECH 1993, S. 114–119.

TRAULSEN, B.-D., G. SCHÖNHARD, 1995: Schwermetalle in Böden von Ballungsgebieten. Forschungsreport Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Heft **11**, 23–25.

TRAULSEN, B.-D., G. SCHÖNHARD, 1995: Verfügbarkeitsstudien über Schwermetalle und Nährstoffe im Boden. Tagungsband 2. Arbeitstagung, BBA und ZALF, Müncheberg, ZALF-Bericht Nr. 22, S. 20–24.

TRAULSEN, B.-D., G. SCHÖNHARD, W. PESTEMER, 1997: Erfassung, Beur-

teilung und Sanierung schadstoffbelasteter Böden in Ballungsräumen. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Berlin, Heft **328**, 193–198.

WENZEL, W. W., W. E. H. BLUM, A. BRANDSTETTER, F. JOCKWER, A. KÖCHL, M. OBERFORSTER, H. E. OBERLÄNDER, C. RIEDLER, K. ROTH, I. VLADEVA, 1996: Einfluß von Bodeneigenschaften und Sorte auf die Cadmiumaufnahme in Weizenkorn. Z. Pflanzenern. Bodenk. **159**, 609–614.

ZERULLA, W., H. MARSCHNER, 1986: Artspezifische Unterschiede bei Futterpflanzen in den Gehalten an Nährstoffen und Schwermetallen. Landwirtsch. Forsch. **39**, 39–47.

*Kontaktanschrift: Dr. Berndt-Dieter Traulsen, Dr. Thomas Strumpf, Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Institut für ökologische Chemie, Arbeitsgruppe „Nichtparasitäre Pflanzenkrankheiten“, Königin-Luise-Straße 19, D-14195 Berlin*

Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd., **50** (10), S. 267–269, 1998, ISSN 0027-7479.

© Eugen Ulmer GmbH & Co., Stuttgart

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Fachgruppe Chemische Mittelprüfung, Braunschweig

## Hinweise in der Gebrauchsanleitung zum Schutz von Personen bei Nachfolgearbeiten in mit Pflanzenschutzmitteln behandelten Kulturen (worker re-entry)

Von Eberhard Hoernicke, Hans-Gerd Nolting (BBA), Dieter Westphal (BgVV),  
Fachausschuß Anwenderschutz (IVA)

### 1 Vorwort

Pflanzenschutzmittel sind gemäß § 20 Pflanzenschutzgesetz (1) und – sofern sie als gefährliche Zubereitungen anzusehen sind – nach Gefahrstoffverordnung (2) zu kennzeichnen (siehe auch BBA-Richtlinie Teil I 3-2 (3)).

Zum Zwecke des vorbeugenden Gesundheitsschutzes ist es erforderlich, in der Gebrauchsanleitung von Pflanzenschutzmitteln „spezifische Hinweise“ zu geben, die die aufgrund der Vorschriften der Gefahrstoffverordnung anzugebenden Sicherheitsratschläge (S-Sätze) präzisieren und ergänzen.

Die Ermittlung der spezifischen Hinweise für den Anwender von Pflanzenschutzmitteln wird durch die BBA-Richtlinie Teil I 3-3 (4) geregelt. Sie weist auf den notwendigen Schutz weiterer Personengruppen hin und enthält bereits spezifische Hinweise zum Schutz bei Kontakt mit behandeltem Pflanzenmaterial. Die Ableitung aus der Risikoabschätzung für den Anwender ist aber nur indirekt und unvollkommen möglich. Diese Mitteilung regelt in Ergänzung zur Richtlinie Teil I 3-3 (4) das Ermittlungsverfahren für die Exposition bei notwendigem Wiederbetreten und bei Nachfolgearbeiten in mit Pflanzenschutzmitteln behandelten Beständen. Für die Ableitung der mit der Gebrauchsanleitung mitzuteilenden spezifischen Hinweise für den Gesundheitsschutz bei dieser Expositionsart ist diese Mitteilung anzuwenden.

### 2 Re-entry-Exposition

Bei der Behandlung von Pflanzen mit Pflanzenschutzmitteln bleiben über einen unterschiedlichen Zeitraum und in unterschiedlicher Höhe Rückstände auf den Pflanzenoberflächen zurück. Diese können abstreifbar sein und somit bei Wiederbetreten und nachfolgenden Arbeiten in den Beständen zu einer Kontamination der dort Beschäftigten führen.

Die Höhe der Exposition ist, neben anderem, in starkem Maße von der Art der Tätigkeit und der zu bearbeitenden Kulturen abhängig. Aus arbeitshygienischen Erwägungen sollen daher Pflege-, Schnitt- und Erntearbeiten in Pflanzenbeständen, die frisch mit Pflanzenschutzmitteln behandelt worden sind, grundsätzlich erst nach einer Wartezeit durchgeführt werden. Die Wartezeit berücksichtigt zum einen die gefahrstoffrechtliche Einstufung der Mittel, zum anderen die Ergebnisse aus einer Risikoabschätzung. Bei Arbeiten in geschlossenen Räumen ist darüber hinaus für eine bestimmte Zeit nach der Behandlung mit einer Belastung der Luft mit schwebfähigen oder verdampften Anteilen des ausgebrachten Pflanzenschutzmittels zu rechnen. Auch hierfür sind Schutzmaßnahmen vor Wiederbetreten der Räume für Nachfolgearbeiten vorzusehen.