

Cadmium in der Umwelt – ein Statusbericht über Österreich (Review)

1. Mitteilung: Gehaltswerte in Umweltkompartimenten und Eintragspfade in den Boden

H. Spiegel, M. Dachler, K. E. Böhm, E. Pfundtner, K. Roth und M. Sager

Cadmium in the Environment – a Status Report of Austria (Review)

1. Contents in Environment Compartments and Pathways into the Soil

1. Einleitung

1.1 Abgrenzung der Fragestellung

Cadmium (Cd) ist ein in der Erdkruste selten vorkommendes Element – es steht in der Häufigkeit etwa an der 64. Stelle – und wird in der vom Menschen unbeeinflussten Natur durch Verwitterung aus dem Muttergestein freigesetzt. In weitaus stärkerem Maße wird es allerdings durch anthropogene Prozesse emittiert. Es gelangt in die Umweltkompartimente Luft, Wasser und Boden und von dort über

Tier und Pflanze in die Nahrungskette, wo es sich anreichert und aufgrund seiner Toxizität zu gesundheitlichen Schäden beim Menschen führen kann. Zahlreiche Veröffentlichungen zeigen, daß die Belastung des menschlichen Organismus mit Cd zugenommen hat: Nach DRASCH (1983) haben sich die Gehalte in den menschlichen Nieren während der letzten 50 Jahre um das 47fache erhöht.

Mit Cd beschäftigte sich seit fast zwei Jahrzehnten eine große Zahl von Wissenschaftlern der verschiedensten Disziplinen, und daher liegt eine fast unüberschaubare Anzahl an Veröffentlichungen über Cd vor (Zusammenfassungen

Summary

This first part of the review summarizes Cd-contents of different environmental compartments (air, water, soil) in Austria by means of data from the most recent years. Inputs of Cd into soils caused by atmospheric deposition, mineral fertilizer and manure as well as sewage sludge and waste compost are described in their quantities. Mean Cd-values in agricultural soils and in Austrian waters (collected in different soil surveys and in Austria-wide examinations of water quality) are not alarming. Nevertheless, all possible precautions have to be taken to avoid further input of Cd into these compartments, especially with consideration of already polluted sites.

Key words: cadmium, soil, water, deposition, fertilizer.

Zusammenfassung

In diesem ersten Teil des Übersichtsartikels werden Cd-Gehalte verschiedener Umweltkompartimente (Luft, Boden, Wasser) in Österreich anhand von neuem Datenmaterial zusammengefaßt. Außerdem werden Cd-Einträge in den Boden in Form von atmosphärischer Deposition, über Mineral- und Wirtschaftsdünger sowie über Klärschlamm und Kompost aus biogenen Abfällen quantitativ dargestellt. Die anhand von Bodenzustandsinventuren und aufgrund der Erhebung der Wassergüte ermittelten Daten zeigen, daß die mittleren Cd-Gehalte landwirtschaftlich genutzter Böden sowie der untersuchten Gewässer im allgemeinen als nicht besorgniserregend zu bezeichnen sind. Jeder zusätzliche Eintrag muß jedoch – besonders auch im Hinblick auf die anthropogen höher belasteten Standorte – vermieden werden.

Schlagworte: Cadmium, Boden, Wasser, Deposition, Dünger.

z. B. in WHO-ICPS, 1992a und b; LAUBER, 1993; OECD, 1994 und 1996a und b).

Der vorliegende Übersichtsartikel will die derzeitige Situation in Österreich an Hand von neuem Datenmaterial zusammenfassen, über Gehaltswerte in verschiedenen Umweltkompartimenten berichten bzw. mögliche Eintragungspfade in den Boden und dadurch auftretende Belastungen aufzeigen.

Anlaß dafür war der im Beitrittsvertrag zur Europäischen Union ausgehandelte Umweltvorbehalt, der Österreich unter anderem eine vierjährige Ausnahmeregelung hinsichtlich des Grenzwertes für Cd in mineralischen Düngemitteln zugestand. Die Entscheidung, ob ein EU-weiter Grenzwert eingeführt wird, hängt von den nunmehr geplanten Risikoanalysen ab, die von der Europäischen Kommission in Auftrag gegeben wurden und während der nächsten drei Jahre durchgeführt werden sollen.

1.2 Vorkommen von Cd

Cd (Atomgewicht 112,41, Ordnungszahl 48) kommt natürlicherweise in der Erdkruste mit Gehalten zwischen 0,05 und unter 0,5 mg/kg vor; in dieser Größenordnung liegen auch die Gehalte unbelasteter Böden (MATSCHULLAT et al., 1997).

Die anthropogene Verteilung von Cd erfolgt weltweit durch verschiedene Prozesse, in denen Produkte, die Cd als wertgebenden Bestandteil oder als Verunreinigung enthalten, hergestellt, verwendet oder beseitigt werden (z. B. Metallgewinnung und -verarbeitung, Glas- und Zementindustrie, Phosphat-Düngemittelproduktion, Autoindustrie, Fotoindustrie, Batterien, Stabilisatoren und Pigmente). Einen großen Anteil haben Verbrennungsprozesse (Verbrennung fossiler Brennstoffe, Müllverbrennung, usw.).

In Österreich ist in den letzten Jahren in vielen Industriebereichen der Verbrauch von Cd stark zurückgegangen. Beigetragen haben dazu strenge nationale Umweltschutzgesetze und ein EU-weites Cd-Verbot (EU Richtlinie 91/338/EWG) für bestimmte Anwendungsgebiete. So wurden Nickel-Cadmium-Akkumulatoren weitgehend durch Nickel-Hydrid-Akkumulatoren ersetzt, und auch in der Galvanotechnik sowie in seiner Eigenschaft als PVC-Stabilisator und als Pigment in der Farbstoffindustrie wird Cd substituiert.

1.3 Toxikologie

Cd ist ein für Mikroorganismen, Pflanzen, Tiere und Menschen nicht essentielles Element, das schon in geringen Konzentrationen toxisch wirkt. Chronische Vergiftungen führen zu erhöhtem Blutdruck, Osteoporose, Osteomalazie (Knochenerweichung, bekannt geworden durch die Itai-Itai Krankheit) und zu schweren Nieren- und Leberfunktionsstörungen. Besonders bedenklich ist die Anreicherung in Leber und Niere.

Cd und Cd-Verbindungen in Form atembare Stäube gelten als cancerogen. Vom Menschen wird Cd hauptsächlich über pflanzliche und tierische Lebensmittel aber auch Zigarettenrauch aufgenommen. Erhöhte Gehalte finden sich in Tierlebern und -nieren und Meerestieren. Aus diesem Grund gibt es in Österreich – ebenso wie in einigen anderen europäischen Ländern – Richtwerte für eine Reihe von Lebensmitteln (Richtwerte für Schadstoffe in Lebensmitteln und Verzehrprodukten, 1997). Auch die Europäische Kommission (DG III) bereitet Grenzwerte für den Cd-Gehalt in diversen Lebensmitteln vor.

2. Cd-Gehalte verschiedener Umweltkompartimente

2.1 Cd-Emissionen in die Atmosphäre

In Österreich werden nach WINTWARTER und SCHNEIDER (1995) die Emissionen von Cd in erster Linie durch Hausbrand (zu 35 %, i.e. vor allem Verfeuerung flüssiger und fester Brennstoffe, inklusive Biomasse) und KFZ-Verkehr (ca. 40 %) verursacht. An dritter Stelle stehen Kraft- und Fernheizwerke. Die Gesamtemissionen von Cd betragen 5,1 t/Jahr. ORTHOFER (1996) schätzt die Emissionen durch Hausbrand mit 52 % höher, die durch den Verkehr verursachten Cd-Emissionen mit ca. 3 % dagegen geringer ein. ORTHOFER (1996) gibt die jährlichen Cd-Emissionen mit 2,7 t an (zusammengefaßt in ZECHMEISTER, 1997).

2.2 Cd-Gehalte österreichischer Gewässer

In Österreich wird die Wassergüte seit Ende 1991 von Bund und Ländern systematisch erhoben (BMLF, 1994). Dabei werden Grundwasser (Porengrundwasser und Karst- und Kluftgrundwasser) und Fließgewässer in regelmäßigen Abständen auch auf Cd untersucht.

Die Mittelwerte für Gesamt-Cd in Fließgewässern und die Anzahl der untersuchten Proben in den einzelnen Bundesländern zeigt Tabelle 1. Die Mittelwerte der einzelnen Bundesländer liegen zwischen 0,04 und 1,32 µg/l (CHOVANEC, 1998). Allerdings befinden sich alle entsprechenden Mediane unter der – sehr hoch angesetzten – Mindestbestimmungsgrenze von 0,2 µg/l (mit Ausnahme von Niederösterreich: Median = 0,35 µg/l). Die Maximalwerte schwanken zwischen 0,6 µg/l und 160,3 µg/l.

Im Zeitraum von Mitte 1991 bis Mitte 1993 wurden 5523 Cd-Werte im Porengrundwasser ermittelt. Der arithmetische Mittelwert betrug 0,09 µg/l, 87% der Werte lagen unter der Mindestbestimmungsgrenze von 0,2 µg/l (BMLF, 1994). Über dem Schwellenwert (laut Grundwasserschwellenwertverordnung, BGBl. 502/91) von 3 µg/l lagen 18 und davon 5 über der zulässigen Höchstkonzentration für Trinkwasser von 5 µg/l. Bei Karst- und Kluftgrundwässern lagen im Untersuchungszeitraum 1991–1995 nur 3,3% bzw. 3,4%

Tabelle 1: Cd-Gehalte (µg/l) von Fließgewässern in den österreichischen Bundesländern (CHOVANEC, 1998)

Table 1: Cd contents (µg/l) of surface waters in Austrian provinces

Bundesland	Anzahl	Maximalwert	Median	Mittelwert
Burgenland	39	6,4	0,00	0,62
Kärnten	557	160,3	0,00	0,47
Niederösterreich	678	8,2	0,35	0,90
Oberösterreich	1293	2,1	0,00	0,08
Salzburg	221	1,8	0,00	0,09
Steiermark	70	57,3	0,00	1,32
Tirol	503	18,9	0,00	0,06
Vorarlberg	121	0,6	0,00	0,04
Wien	106	2,0	0,00	0,08

Tabelle 2: Cd-Gehalte (mg/kg) österreichischer Waldböden (MUTSCH, 1992)

Table 2: Cd contents (mg/kg) of Austrian forest soils

Tiefenstufe	Anzahl	Mittel	Median	Min.	Max.	10 % P	90 % P
karbonatbeeinflusst							
Auflage	158	1,56	1,20	0,24	9,26	0,52	2,77
0-10cm	172	1,66	1,07	0,07	17,57	0,26	3,66
10-20cm	158	1,20	0,74	0,02	10,09	0,20	2,94
20-30cm	150	1,21	0,59	0,01	19,61	0,14	2,54
30-50cm	141	1,03	0,44	0,01	16,30	0,13	2,47
karbonatfrei							
Auflage	305	0,75	0,61	0,14	6,46	0,33	1,26
0-10cm	331	0,23	0,19	0,01	1,53	0,07	0,41
10-20cm	330	0,17	0,13	0,01	1,25	0,04	0,32
20-30cm	328	0,16	0,12	0,01	1,78	0,04	0,30
30-50cm	326	0,17	0,11	0,01	2,89	0,04	0,31

der Proben über der Mindestbestimmungsgrenze von 0,2 µg/l. Grenzwerte wurden keine überschritten (BMLF, 1996).

2.3 Cd-Gehalte österreichischer Böden

Die in den verschiedenen Bodenzustandsinventuren ermittelten Cd-Gehalte wurden in Säure-Extrakten bestimmt (BLUM et. al., 1996).

2.3.1 Forstböden

Die Cd-Gehalte von Forstböden wurden im Rahmen der Waldboden-Zustandsinventur anhand eines Rasternetzes in ganz Österreich erhoben (MUTSCH, 1992). Die Ergebnisse sind – getrennt nach karbonatbeeinflussten und karbonatfreien Böden – aus Tabelle 2 ersichtlich.

Wie Tabelle 2 zeigt, weisen karbonatbeeinflusste Böden deutlich höhere Cd-Gehalte auf als karbonatfreie (MUTSCH, 1992). Der als Belastungsverdacht geltende Cd-Gehalt von 0,5 mg/kg wird von den Medianen aller Tiefenstufen (mit Ausnahme 30–50cm) überschritten. Im Auflagehumus liegt sogar das 10er Percentil über 0,5 mg/kg. Weit geringere Gehalte zeigen karbonatfreie Böden, da Cd bis etwa pH 6 eine hohe Mobilität aufweist und leicht ausgewaschen wird.

Auf karbonatbeeinflussten Böden ist daher eine deutliche biogene und immissionsbedingte Anreicherung möglich.

Nach RUPPERT (1990) spiegeln Humusaufgaben in Waldböden aufgrund der hohen Sorptionsfähigkeit und der geringen Dichte Schwermetalleinträge besonders deutlich wider, stärker als landwirtschaftlich bearbeitete Böden.

2.3.2 Cd-Gehalte landwirtschaftlich genutzter Böden

In Österreich wurden während der letzten Jahre im Auftrag der Landesregierungen in mehreren Bundesländern Bodenzustandsinventuren durchgeführt, bei denen auch die Cd-Gehalte landwirtschaftlich genutzter Böden (Bodentiefe 0–20 cm) erhoben wurden (Tabelle 3).

Auch von Vorarlberg (HUSZ, 1987) und Wien (KREINER, 1998) liegen Untersuchungsergebnisse über Cd-Gehalte in Böden vor, die aber v. a. wegen unterschiedlicher Probenahmedesigns nicht mit den Werten der anderen Bodenzustandsinventuren (siehe Tabelle 3) verglichen werden können.

Nach DANNEBERG et al. (1997) und unter Berücksichtigung der Kärntner Bodenzustandsinventur (1998) blieben

97,5 % der Cd-Gehalte in 0–20 cm Bodentiefe unter dem Richtwert von 1,0 mg/kg Boden (ÖNORM L 1075).

Dabei sind (nach DANNEBERG et al., 1997) allerdings starke regionale Unterschiede feststellbar. Einerseits ist das geologische Ausgangsmaterial bestimmend für die Cd-Gehalte der Böden und so zeigen Böden der Nördlichen Kalkalpen in Oberösterreich und in Niederösterreich erhöhte – geogen bedingte – Cd-Gehalte (HOFER und AICHBERGER, 1993; BUNDESANSTALT FÜR BODENWIRTSCHAFT, 1994). Lokal können Vererzungen vorkommen. Für höhere Cd-Gehalte im Süden von Ober- und Niederösterreich sowie in der Nordweststeiermark können Fernverfrachtungen und eine Ablagerung im Bereich von Prallhängen in Frage kommen.

Anhand der bereits zitierten österreichischen Bodenzu-

Tabelle 3: Cd-Gehalte (mg/kg) landwirtschaftlich genutzter Böden (0–20 cm) in einzelnen Bundesländern (Ämter der Landesregierungen; DANNEBERG, 1998; ORTNER, 1998)

Table 3: Average Cd contents (mg/kg) of agricultural soils (0–20 cm) in different Austrian provinces

Bundesland	Anzahl n	Mittel	Median	Min.	Max.	10 % P	95 % P
Niederösterreich	1449	0,23	0,20	<0,001	0,97	0,10	0,46
Oberösterreich	449	0,32	0,24	0,065	6,61	0,16	0,71
Burgenland	174	0,19	0,17	0,010	0,61	0,07	0,38
Steiermark	84	0,27	0,21	0,130	1,64	0,16	0,51
Salzburg	285	0,67	0,66	<0,001	6,06	0,26	1,17
Tirol	238	0,44	0,32	<0,001	8,65	0,17	1,22
Kärnten	481	0,40	0,26	0,070	13,50	0,16	0,80

Tabelle 4: Atmosphärische Cd-Einträge (g/(ha.a)) in Österreich und einigen Nachbarstaaten

Table 4: Atmospheric Cd deposition (g/(ha.a)) in Austria and in some neighbouring countries

Land	Gebiet	Autor	Publ. Jahr	Eintrag g/(ha.a)		Deposition
				Mittel	Bereich	
Österreich	Marchfeld	KÖCHL	1987	2,6	1,3-5,0	Naß und trocken
	Wien-Lainz WADOS	KALINA et al.	1997	2,09		Naß
	Naßwald WADOS	KALINA et al.	1997	3,27		Naß
	Aspach WADOS	AMT DER OÖ LANDESREGIERUNG	1997		1,0-3,9	Naß und trocken
	Steyregg WADOS	AMT DER OÖ LANDESREGIERUNG	1997		2,1-8,6	Naß und trocken
	Linz und Umgebung	AMT DER OÖ LANDESREGIERUNG	1990	1,8	1,1-3,7	Naß und trocken
	Raum Dürnrohr	HORAK et al.	1995	1,43		Naß und trocken
	Bregenz	MATT	1992		1,8-2,5	Naß und trocken
BRD	Westdeutschland 1993	SCHULTE et al.	1996	2,0	0,5-5,7	Naß und trocken
Tschechien	100 Standorte	CENTRAL INSTITUTE FOR SUPERVISING AND TESTING IN AGRICULTURE	1998	1,56 Mittel 1,10 Median		Naß und trocken
Ungarn	K-pusztá	MOLNAR et al.	1995	4,5		Naß
				0,2		Trocken
	Napkor	MOLNAR et al.	1995	5,7		Naß

standsinventuren (AMT DER OÖ LANDESREGIERUNG, 1993; BUNDESANSTALT FÜR BODENWIRTSCHAFT, 1994) kann allgemein eine Anreicherung des Oberbodens gegenüber den geologisch bedingten Ausgangsgehalten festgestellt werden. Diese anthropogenen Belastungen sind in Grünlandböden zumeist höher als in Ackerböden (siehe auch AMT DER TIROLER LANDESREGIERUNG, 1989; SPIEGEL, 1992; AMT DER SALZBURGER LANDESREGIERUNG, 1993; AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG, 1996).

Mehr oder weniger großflächig treten auch im Bereich bekannter Emittenten erhöhte Cd-Gehalte im Boden auf (z. B. AMT DER KÄRNTNER LANDESREGIERUNG, 1994; AMT DER TIROLER LANDESREGIERUNG, 1995; SCHWARZ et al., 1998).

3. Cd-Einträge in den Boden

Die wesentlichen flächenhaften Eintragspfade sind die atmosphärische Deposition und der Eintrag über organische und mineralische Düngemittel und nur in einem geringen Ausmaß über Pflanzenschutzmittel. Eher punktuell werden Böden über Klärschlämme und Komposte aus biogenen Abfällen belastet.

3.1 Atmosphärische Cd-Depositionen

Der Cd-Eintrag in den Boden erfolgt hauptsächlich aus anthropogenen Emissionen, zumeist werden die Hauptanteile in der Nähe von punktförmigen Emissionsquellen (u. a. Metallhütten, metallverarbeitende Betriebe, Kohlekraftwerke, Müllverbrennungsanlagen und Glashütten) deponiert,

bestimmte Anteile unterliegen dem Ferntransport. Kraftfahrzeugverkehr und Hausbrand belasten die Umwelt eher flächenhaft. Durch Verbrennungsprozesse freigesetztes Cd lagert sich zum Teil an Aerosolpartikel an und kann über weite Strecken verfrachtet werden (BLUME, 1992).

Einen Überblick über atmosphärische Cd-Depositionen in Österreich und einigen Nachbarstaaten gibt Tabelle 4.

Zumeist handelt es sich bei den in Österreich gemessenen Depositionsdaten um Werte, wie sie für ländliche Gebiete angegeben werden (VDI, 1984).

Über ganz Österreich wurden von augenscheinlich nicht kontaminierten Standorten Cd-Konzentrationswerte durch Biomonitoring mit Moosen (ZECHMEISTER, 1997) erhoben. Daraus wurden Flächendepositionen errechnet, die in Österreich durchschnittlich $52 \mu\text{g}/(\text{m}^2.\text{a})$ bzw. $41\text{--}70 \mu\text{g}/(\text{m}^2.\text{a})$ betragen. Dabei zeigte sich, daß die Verteilung der Cd-Konzentration stark von der Niederschlagsmenge abhängig ist.

Ein Vergleich der Cd-Depositionen von 1991 und 1995 ergab eine Abnahme der durchschnittlichen Einträge um 27 %. In Schweden konnten seit 1975 ebenfalls Abnahmen der atmosphärischen Depositionen mittels Biomonitoring mit Moosen festgestellt werden. Auch die Messungen von SCHULTE et al. (1996) ergaben eine Abnahme der Cd-Depositionen mit dem Freilandniederschlag von 1984–1993, wenn auch nicht an allen Meßstellen und in einem geringeren Maße als die prognostizierte Emissionsminderung von Cd in diesem Zeitraum erwarten ließ.

Nach dem Immissionsschutzgesetz-Luft (IG-L, BGBl. I Nr. 115/1997) ist der österreichische Immissionsgrenzwert der Cd-Deposition im Staubbiederschlag $0,002 \text{ mg}/(\text{m}^2.\text{d})$. Das entspricht einer Cd-Zufuhr zum Boden von $7,3 \text{ g}/(\text{ha}.\text{a})$.

Tabelle 5: Mittlere Cd-Gehalte der wichtigsten mineralischen Düngemittel und deren geschätzter relativer Beitrag zur Cd-Fracht (SAGER, 1997, verändert)

Table 5: Average Cd contents of mineral fertilizers in Austria and relative contribution to Cd load

Düngerart	jährlicher Verbrauch in t (1992/93)	Anzahl der untersuchten Proben	mg Cd/kg Düngemittel	%-tueller Beitrag zur Cd-Fracht
Kalkammonsalpeter 26-28 % N	293 814	6	0,17	3,6
Thomasphosphat 10-16 % P ₂ O ₅	28 065	13	< 0,5	—
Superphosphat 16-19 % P ₂ O ₅	7 624	16	5,1	2,8
Hyperphosphat 26-32 % P ₂ O ₅	16 202	12	7,0	8,1
Triplephosphat 42-45 % P ₂ O ₅	4 900	14	14,4	5,0
PK 0 15 30	41 078	16	4,2	12,3
PK 0 18 18	13 045	16	4,9	4,6
Diammoniumphosphat 16/48/0	16 285	56	6,8	7,9
Mehrnährstoffdünger NPK	251 850	263	3,1	55,7

3.2 Cd-Eintrag über Mineraldünger

Cd stammt hauptsächlich aus phosphathaltigen Düngemitteln, wobei – je nach Herkunft – Rohphosphate bzw. aufgeschlossene Phosphate und daraus hergestellte Mischdünger am stärksten belastet sind (Tabelle 5).

Die in Österreich festgestellten Werte liegen in derselben Größenordnung, wie von SEVERIN et al. (1990), BUWAL (1991) und MACHELETT et al. (1994) beschrieben. Lediglich für Triplephosphat wurden höhere Werte festgestellt.

Die österreichische Düngemittelverordnung 1985 sah einen Grenzwert von 120 mg Cd/kg P₂O₅ vor, in der Düngemittelverordnung 1994 (BGBl. Nr. 1007/1994) wurde dieser Grenzwert auf 75 mg/kg P₂O₅ für phosphathaltige mineralische Düngemittel gesenkt. Im Zuge der amtlichen Düngemittelkontrolle ergab sich folgendes Kontrollergebnis (Tabelle 6).

Insgesamt lagen in den Jahren 1984 bis 1994 (also in einer Zeit als noch ein Cd-Grenzwert von 120 mg/kg P₂O₅ galt) die Cd-Gehalte von 22 Proben über einem Wert von 75 mg/kg P₂O₅ (= 3,25 %). Wie die Zahlen zeigen, traten seit Beginn 1995 nur fünf Grenzwertüberschreitungen auf. Der niedrige Mittelwert bzw. Median weist auf die relativ geringe durchschnittliche Belastung hin.

Mehrere inner- und außereuropäische Staaten haben ebenfalls Grenzwerte für Cd in Düngemitteln festgelegt (Tabelle 7).

Die geschätzten Einträge, die mit Mineraldüngern im Mittel auf landwirtschaftlich genutzte Flächen gelangen, sind in Tabelle 8 wiedergegeben.

Der tatsächliche Eintrag von Cd über Düngemittel ist stark von der lokalen Düngepraxis abhängig und erfolgt – im Gegensatz zur atmosphärischen Deposition – diskontinuierlich (siehe auch SAGER, 1997).

Tabelle 7: Grenzwerte für den Cd-Gehalt in phosphathaltigen Düngemitteln in verschiedenen Staaten (nach SIEGENTHALER, 1997, verändert)

Table 7: Cd limit values for phosphate fertilizers in different countries

Land	Grenzwert		Anmerkung
	mg Cd/kg P ₂ O ₅	mg Cd/kg P	
Australien	150	345	freiwillig
Belgien	90	205	freiwillig
Dänemark	47	110	
Deutschland	90	200	freiwillig
Finnland	22	50	
Japan	150	340	
Niederlande	17	40	freiwillig
Norwegen	22	50	
Österreich	75	170	
Schweden	44	100	
Schweiz	22	50	
EG-VO 2381/94	90	205	
Düngemittel, die im biolog. Landbau zugelassen sind			

Durch den Rückgang des Verbrauchs an phosphathaltigen Düngern und aufgrund der Begrenzung des Cd-Gehalts ist ein Rückgang der Cd-Befrachtung durch Mineraldünger zu erwarten.

3.3 Cd-Eintrag über organische Düngemittel

Der Eintrag über Wirtschaftsdünger spiegelt die geogene, die ubiquitäre Belastung und die Belastung aus mineralischen Düngemitteln wider. Zum Teil sind erhöhte Gehalte in organischen Düngemitteln auch auf Cd-haltige

Tabelle 6: Mittlere Gehaltswerte von Cd in phosphathaltigen Mineraldüngern; Ergebnis der Düngemittelkontrolle für die Jahre 1984–1994, 1995, 1996 und 1997

Table 6: Mean values of Cd content in phosphorus fertilizers, results of the fertilizer control in the period 1984–1994 and 1995, 1996 and 1997

Jahr	Anzahl der untersuchten Proben	Mittelwert Median		Anzahl der Proben	
		mg Cd/kg P ₂ O ₅		> 75	> 120
Kontrollbereich Wien					
1984-1994	318	25	-	10	0
1995	80	29	27	1	1
1996	93	23	23	1	0
1997	138	23	23	3	0
Kontrollbereich Linz					
1984-1994	358	35	-	12	0

Tabelle 8: Cd-Einträge (g/(ha.a)) über Mineraldünger
 Table 8: Input of Cd (g/(ha.a)) caused by mineral fertilizers

Land	Gebiet	Autor	Publ. Jahr	Eintrag (g/(ha.a))		Anmerkung
				Mittel	Bereich	
Österreich	Nieder- österreich	DACHLER und KERNMAYER	1997	0,65		Bei einer mittleren Aufwandmenge von 22 kg P ₂ O ₅ /ha düngungswürdiger Fläche ¹
		OBERLÄNDER und KÖCHL	1984	1,67		Bei einer mittleren Aufwandmenge von 43,5 kg P ₂ O ₅ /ha düngungswürdiger Fläche ¹
	Ober- österreich	REINER et al.	1996	1,18	0,01-3,32	Bezogen auf die untersuchten Betriebe
	Ober- österreich	AICHBERGER und PERFAHL	1997	2,0		Bei einer mittleren Aufwandmenge von 210 kg Reinnährstoffen (ΣN+P+K)/ha Ackerfläche
BRD	Nieder- sachsen	SEVERIN et al.	1990	2,0		Bezogen auf die landwirtschaftlichen Böden
Europ. Länder		LAUBER	1993		0,95-3,83	

¹ Düngungswürdige Fläche: Acker- und Grünlandflächen ohne Almen, Bergmäher, Hutweiden, Streuwiesen und nicht mehr genutztes Acker- und Grünland

Tabelle 9: Cd-Gehalte (mg/kg) von verschiedenen Futtermittelzusatzstoffen (BUNDESAMT FÜR AGRARBIOLOGIE, 1996)
 Table 9: Cd content (mg/kg) of five fodder raw materials

Futtermittelzusatz	Anzahl	Bereich	Mittel	Median
Calciumcarbonat	19	0,01-0,50	0,24	0,23
Dicalciumphosphat	11	0,01-19,26	5,73	1,56
Dimagnesiumphosphat	4	0,24-10,3	2,80	0,33
Magnesiumphosphat	6	0,40-3,51	2,46	3,27
Monocalciumphosphat	19	0,17-20,22	5,98	5,32

Phosphatzusätze in Mineralstofffuttermitteln zurückzuführen.

Im Rahmen der staatlichen Futtermittelkontrolle wurden vom BUNDESAMT FÜR AGRARBIOLOGIE im Jahre 1996 fünf verschiedene Futtermittelzusatzstoffe unter anderem auf ihren Cd-Gehalt untersucht. Die Ergebnisse sind in Tabelle 9 zusammengefaßt.

Von 68 Futtermittelproben, die von SAGER (1993) untersucht wurden, blieben 27 unter 1 mg Cd/kg, 38 enthielten 1–5 mg Cd/kg und 3 enthielten mehr als 5 mg Cd/kg.

Unter den Wirtschaftsdüngern ist, wie Tabelle 10 zeigt, vor allem Schweinegülle verstärkt mit Cd belastet.

Über Wirtschaftsdünger werden schätzungsweise folgende mittlere Cd-Mengen (g/(ha.a)) ausgebracht (Tabelle 11).

3.4 Cd-Eintrag über Klärschlamm

Laut Gewässerschutzbericht 1996 (BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, 1996) fielen in Österreich im Jahre 1995 insgesamt 390.500 t TS an Klärschlamm (186.000 t kommunaler und 204.500 t industrieller Klärschlamm) an. Davon wurden 22,3 % in der Landwirtschaft verwertet.

In Österreich ist die Klärschlammausbringung durch Gesetze bzw. Verordnungen in den einzelnen Bundesländern geregelt. Dabei ist zu beobachten, daß die Grenzwerte im Laufe der Jahre herabgesetzt wurden.

Wie Abbildung 1 beispielhaft für Oberösterreich zeigt, ist es dadurch, zumindest aufgrund des vorliegenden Datenmaterials, zu einem Rückgang der Cd-Gehalte in Klärschlämmen gekommen. Auch in Niederösterreich konnte eine ähnliche Entwicklung festgestellt werden.

Tabelle 10: Mittlere Cd-Gehalte in Wirtschaftsdüngern aus Österreich, der Schweiz und Niedersachsen
 Table 10: Mean Cd content of farmyard manures in Austria, Switzerland and Lower Saxonia

	Österreich ¹⁾		Cd-Gehalt in mg/kg TS Schweiz ²⁾		Niedersachsen ³⁾
	n	Mittelwert	n	Median	Mittlere Gehalte
Rindergülle	64	0,42	14	0,32	0,46
Rindermist	67	0,42	21	0,29	-
Schweinegülle	58	0,74	12	0,39	0,82
Schweinemist	44	0,32	-	-	-
Geflügelgülle	3	0,66	-	-	0,30
Geflügelmist	14	0,33	12	0,42	-

¹⁾ Mittelwerte aus Analysen von AICHBERGER et al., 1995 und SAGER unveröffentlicht

²⁾ MENZI et al., 1993

³⁾ SEVERIN et al., 1990

Tabelle 11: Cd-Einträge (g/(ha.a)) über Wirtschaftsdünger
 Table 11: Input of Cd (g/(ha.a)) applied with manures

Land	Gebiet	Autor	Publ. Jahr	Eintrag (g/(ha.a))		Anmerkung
				Mittel	Bereich	
Österreich		DACHLER und KERNMAYER	1997	0,95		Bezogen auf die düngungswürdige Fläche 2 GVE Mist/ha 2 GVE Gülle/ha Bezogen auf die untersuchten Betriebe 2 GVE Gülle/ha
	Oberösterreich	HORAK et al.	1995	2,6		
	Oberösterreich	REINER et al.	1996	1,13	0,11-2,73	
	Oberösterreich	AICHBERGER und PERFAHL	1997	1,2		
BRD	Niedersachsen	SEVERIN et al.	1990	0,5		Rindergülle 0,78 GV/ha Schweinegülle 0,36 GV/ha

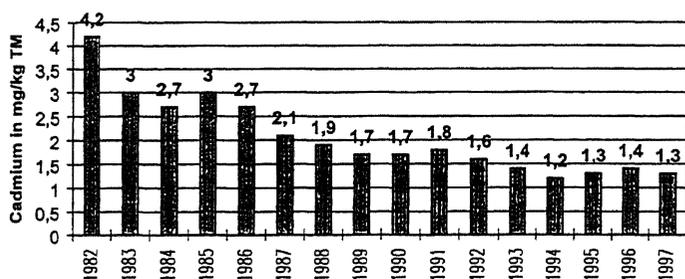


Abbildung 1: Entwicklung der Cd-Gehalte (Mediane) von Klärschlammproben aus Oberösterreich (AICHBERGER et al., 1997)

Figure 1: Trend in mean Cd contents of sewage sludge in Upper Austria

Der Eintrag über Klärschlamm erfolgt in hohem Maße punktuell. Eine Einschätzung des mittleren Eintrags erscheint daher nicht sinnvoll. Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über mögliche Cd-Frachten (g/(ha.a)) durch Klärschlamm (Tabelle 12).

3.5 Cd-Eintrag über Komposte aus biogenen Abfällen

In Österreich wird nach flächendeckender Einführung der Bioabfallsammlung (anhand der Verordnung über die getrennte Sammlung biogener Abfälle „Bioabfallverordnung“ zum Abfallwirtschaftsgesetz, BGBl. Nr. 68/1992) mit einem Gesamtaufkommen an biogenen Abfällen aus dem kommunalen Bereich von rund 2 Millionen Tonnen pro Jahr gerechnet (PFUNDTNER, 1998). Die Cd-Gehalte in den einzelnen Komposten können – in Abhängigkeit von den verwendeten Ausgangsstoffen – sehr stark schwanken (Tabelle 13).

Tabelle 14 zeigt in Österreich ermittelte Cd-Einträge über Kompost.

Tabelle 12: Cd-Einträge (g/(ha.a)) über Klärschlamm
 Table 12: Input of Cd (g/(ha.a)) applied with sewage sludge

Land	Gebiet	Autor	Publ. Jahr	Eintrag		Anmerkung
				Mittel	Bereich	
Österreich	Ober- österreich	REINER et al.	1996	0,95	0,07-2,08	Bezogen auf die untersuchten Betriebe, die Klärschlamm ausbringen Aufwandmenge: 2,7t TS/ha
	Ober- österreich	AICHBERGER und PERFAHL	1997	3,8		

Tabelle 13: Cd-Gehalte in Komposten (in mg/kg TM, bezogen auf 30 % Glühverlust), nach AICHBERGER et al. (1997) und PFUNDTNER (1998)
 Table 13: Cd contents of organic household waste composts in mg /kg d.m.

Land	Bundesland	n	Median	Bereich	10 % P	25 % P	75 % P	90 % P
Österreich ¹		42	0,70	0,2-1,1		0,6	0,8	
	Steiermark ²	80			0,03			0,6
	Oberösterreich ³	300			0,28	0,18	0,5	1,4
	Niederösterreich und Wien ⁴	30			0,20	0,7		0,7
	Oberösterreich ⁵	31	0,48	0,25-0,76				

- 1) nach ZETHNER und GÖTZ (1997)
- 2) Kompostanalysen der ARGE Kompost Steiermark (1993-1995)
- 3) Kompostanalysen des Bundesamtes für Agrarbiologie in Linz (1994-1996)
- 4) Kompostanalysen des Bundesamtes und Forschungszentrums Wien (1994-1997)
- 5) Kompostanalysen des Bundesamtes für Agrarbiologie in Linz (1997): Jahresbericht 1997

Tabelle 14: Cd-Einträge (g/(ha.a)) über Kompost aus biogenen Abfällen
 Table 14: Input of Cd (g/(ha.a)) with organic householdwaste composts

Land	Gebiet	Autor	Publ.jahr	Eintrag		Anmerkungen
				Mittel	Bereich	
Österreich	Oberösterreich	REINER et al.	1996	4,44	0,83-6,43	Bezogen auf die untersuchten Betriebe, die Kompost ausbringen Aufwandmenge: 10 t TS/ha
	Oberösterreich	AICHBERGER und PERFAHL	1997	4,4		

4. Ausblick

Die Eintragungssituation von Cd durch die beschriebenen Eintragungspfade ist gebietsweise sehr unterschiedlich und die Angabe ihrer mittleren Frachten über Österreich oft nicht besonders aussagekräftig. Die angegebenen Daten zeigen, daß Klärschlammmanwendung und Einsatz von Kompost aus biogenen Abfällen besonders stark den Cd-Eintrag in landwirtschaftliche Böden beeinflussen können (noch vor atmosphärischer Deposition, Wirtschafts- und Mineraldüngung sowie Pestizidanwendung). Eine Reduktion dieser Einträge sollte im Sinne eines umfassenden Bodenschutzes angestrebt werden, wobei ein wichtiges Instrument die Schaffung geeigneter gesetzlicher Rah-

menbedingungen (z. B. Cd-Grenzwert für Komposte, EU-weiter Grenzwert für Cd in mineralischen P-Düngemitteln) ist.

Literatur

AICHBERGER, K., unter Mitarbeit von H. DÖBERL, A. EIBELHUBER, J. FROSCHAUER und G. HOFER (1995): Die Ergebnisse einer Untersuchung von Wirtschaftsdüngern in Oberösterreich. Schriftenreihe der Abt. Umweltschutz 7/95; Hrsg. Amt der OÖ. Landesregierung, Linz.
 AICHBERGER, K. und E. PERFAHL (1997): Der Beitrag von Klärschlamm und Kompost zur Schwermetallbilanz

- landwirtschaftlicher Böden Oberösterreichs. VDLUFA-Schriftenreihe 46, Kongreßband, Darmstadt, 559–561.
- AICHBERGER, K., G. HOFER und E. PERFAHL (1997): Analytik von Siedlungsabfallstoffen. Jahresbericht. Bundesamt für Agrarbiologie, Linz, 88–89.
- AMT DER KÄRNTNER LANDESREGIERUNG (1994): Kärntner Umweltbericht. Klagenfurt.
- AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG (Hrsg.) (1990): Untersuchungen zur Immissionssituation von Staubniederschlag im Raum Linz und Umgebung von April 1988 – April 1989, Linz.
- AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG (Hrsg.) (1993): Oberösterreichischer Bodenkataster. Bodenzustandsinventur. Linz.
- AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG (Hrsg.) (1997): Saurer Regen in Oberösterreich. Meßbericht 7, 1994–1996, Linz.
- AMT DER SALZBURGER LANDESREGIERUNG (Hrsg.) (1993): Salzburger Bodenzustandsinventur, Salzburg.
- AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (Hrsg.) (1996): Steiermärkischer Bodenschutzbericht 1996. Bodenzustandsinventur der Bezirke Bruck/Mur, Leoben, Mürzzuschlag, Voitsberg. Graz.
- AMT DER TIROLER LANDESREGIERUNG (Hrsg.) (1989): Bericht über den Zustand der Tiroler Böden 1988, Innsbruck.
- AMT DER TIROLER LANDESREGIERUNG (Hrsg.) (1995): Bodennutzungs- und Bodenbelastungskataster Brixlegg. Endbericht. Innsbruck.
- BLUM, W. E. H., H. SPIEGEL und W. W. WENZEL (1996): Bodenzustandsinventur. Konzeption, Durchführung und Bewertung. Empfehlungen zur Vereinheitlichung der Vorgangsweise in Österreich. 2. überarbeitete Auflage. Institut für Bodenforschung der Universität für Bodenkultur, Wien.
- BLUME, H.-P. (Hrsg.) (1992): Handbuch des Bodenschutzes: Bodenökologie und -belastung; vorbeugende und abwehrende Schutzmaßnahmen. 2. Auflage, eco-med, Landsberg/Lech.
- BMLF (1994): Wassergüte in Österreich. Jahresbericht 1994. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien.
- BMLF (1996): Wassergüte in Österreich. Jahresbericht 1996. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien.
- BUNDESAMT FÜR AGRARBIOLOGIE (1996): Futtermittel- und Pflanzenanalytik. Jahresbericht 1996, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien.
- BUNDESAMT UND FORSCHUNGSZENTRUM FÜR LANDWIRTSCHAFT (Hrsg.) (1997): Bodenschutz in Österreich. Bodenzustand, Entwicklungstendenzen, Schutzmaßnahmen. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien.
- BUNDESANSTALT FÜR BODENWIRTSCHAFT (1994): Niederösterreichische Bodenzustandsinventur. Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, Wien.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT (1996): Gewässerschutzbericht gemäß § 33 e Wasserschutzgesetz BGBl. Nr. 215/1959 in der Fassung BGBl. Nr. 185/1993, Wien.
- BUWAL, BUNDESAMT FÜR UMWELT, WALD UND LANDWIRTSCHAFT (1991): Schwermetalle und Fluor in Mineraldüngern. Schriftenreihe Umwelt Nr. 162, Bern.
- CENTRAL INSTITUTE FOR SUPERVISING AND TESTING IN AGRICULTURE (1998): Monitoring and inspection of risk substances in agricultural soil and inputs in soil. Characterization of programs and extraction of results from periods 1996 and 1997. Brünn, 10–12.
- CHOVANEC, A. (1998): persönliche Mitteilung.
- DACHLER, M. und I. KERNMAYER (1997): Düngemittelaufwand in Österreich. In: BUNDESAMT UND FORSCHUNGSZENTRUM FÜR LANDWIRTSCHAFT (1997): Bodenschutz in Österreich. Bodenzustand, Entwicklungstendenzen, Schutzmaßnahmen. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien, 187–203.
- DANNEBERG, O. H. (1998): persönliche Mitteilung.
- DANNEBERG, O. H., K. AICHBERGER, G. PUCHWEIN und M. WANDL (1997): Bodenchemismus. In: BUNDESAMT UND FORSCHUNGSZENTRUM FÜR LANDWIRTSCHAFT (Hrsg.): Bodenschutz in Österreich. Bodenzustand, Entwicklungstendenzen, Schutzmaßnahmen. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien, 55–93.
- DRASCH, G. A. (1983): An increase of Cd body burden for this century – an investigation on human tissues. *Sci. Total Envir.* 26, 111–119.
- HOFER, G. und K. AICHBERGER (1993): Schwermetalle. Oberösterreichischer Bodenkataster, Bodenzustandsinventur. Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Linz.
- HORAK, O., S. ECKER, P. HERGER und E. BENETKA (1995): Ermittlung und Bewertung von Basisdaten zur Bilanzierung umweltrelevanter Schwermetalle in landwirtschaftlich genutzten Böden. Schriftenreihe der U-AW 4/95. Hrsg. Amt d. OÖ. Landesregierung, Linz.
- HUSZ, G. (1987): Bodenzustandserhebung Vorarlberg 1986. Im Auftrag der Vorarlberger Landesregierung. Lebensraum Vorarlberg, Bd 2, Bregenz.

- KALINA, M., H. PUXBAUM, S. R. LÖFFLER und P. KREINER (1997): Nasse Deposition im Land Wien, Oktober 96 – September 97. Institut für Analytische Chemie, im Auftrag des Magistrates der Stadt Wien, 32–42.
- KÖCHL, A. (1987): Die Belastung der Böden des Marchfeldes mit Schadstoffen. Dokumentation d. österr. Ges. f. Natur- und Umweltschutz über die Fachtagung „Bodenschutz und Wasserwirtschaft“ vom 15. 10. 1987, Wien.
- KÖCHL, A. (1988): Belastungen aus der Landwirtschaft. Wiener Mitteilungen, Wasser, Abwasser, Gewässer. Band 75, 59–91.
- KREINER, P. (1998): Wiener Bodenbericht 1997. Beiträge zum Umweltschutz, Heft 48, MA 22, Wien.
- LAUBER, W. (1993): Cadmium in Österreich. AK-Information zur Umweltpolitik, Wien.
- MACHELETT, B., M. GRÜN, und H. BERGMANN (1994): Schwermetallgehalte in Phosphatdüngemitteln, Klärschlämmen und Böden der ehemaligen DDR. VDLUFA-Schriftenreihe 38. Kongreßband, 649–652.
- MATSCHULLAT, J., H. J. TOBSCHALL und H. J. VOIGT (1997): Geochemie und Umwelt. Relevante Prozesse in Atmo-, Pedo- und Hydrosphäre. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- MATT, J. (1992): Schwermetalldepositionen in Vorarlberg. Umweltinstitut des Landes Vorarlberg, Bregenz.
- MENZI, H., Ch. HALDEMANN und J. KESSLER (1993): Schwermetalle in den Hofdüngern – ein Thema mit Wissenslücken. Schweiz. Landw. Forschung 32(1/2), 159–167.
- MOLNAR, A., E. MESZAROS, K. POLYAK, I. BORBELY-KISS, E. KOLTAY und G. SZABO (1995): Atmospheric Budget of Different Elements in Aerosol Particles over Hungary. Atmospheric Environment, 29(15), 1821–1828.
- MUTSCH, F. (1992): Österreichische Waldboden-Zustandsinventur, Teil VI: Schwermetalle. Mitt. Forstl. BVA 168, 145–192.
- OBERLÄNDER, H. E. und A. KÖCHL (1984): Cadmium in Phosphatdüngemitteln – die Situation in Niederösterreich. Der Förderungsdienst 32, 13–17.
- OECD (1994): Risk Reduction Monograph No 5: Cadmium. OECD Environment Monograph Series No 104, OECD, Paris.
- OECD (1996a): Fertilizers as a source of cadmium. Proceedings of the OECD Cadmium Workshop, Saltsjöbaden, Sweden, October 1995. OECD, Paris.
- OECD (1996b): Sources of Cadmium in the Environment. Proceedings of the OECD Cadmium Workshop, Saltsjöbaden, Sweden, October 1995. OECD, Paris.
- ORTHOFFER, R. (1996): Abschätzung der Emissionen von ausgewählten Schwermetallen in die Atmosphäre für Österreich im Stichjahr 1994 gemäß CORINAIR 1994. Bericht UBA, Wien.
- ORTNER, G. (1998): persönliche Mitteilung.
- PFUNDTNER, E. (1998): Anwendungsrichtlinie für Kompost aus biogenen Abfällen in der Landwirtschaft. Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft.
- REINER, I., C. LAMPERT, M. PITERKOVA und P. BRUNNER (1996): Stoffbilanzen landwirtschaftlicher Böden von ausgewählten Betrieben bei Verwendung von Klärschlamm und Kompost. Schriftenreihe der U-AW 01/97. Hrsg.: Amt d. OÖ Landesregierung, Linz.
- Richtwerte für Schadstoffe in Lebensmitteln und Verzehrprodukten (1997): Mitteilungen der österreichischen Sanitätsverwaltung, 98 (4), 177–178.
- RUPPERT, H. (1990): Natürliche Spurenmetallgehalte im Boden und ihre anthropogene Überprägung. Mitt. Österr. Geol. Ges. 83, 243–265.
- SAGER, M. (1993): Cadmium in Futtermitteln – mögliche Quellen. Persönliche Mitteilung.
- SAGER, M. (1997): Possible trace element load from fertilizers. Die Bodenkultur 48(4), 217–223.
- SCHULTE, A., A. BALAZC, I. BLOCK und J. GEHRMANN (1996): Entwicklung der Emission und Niederschlags-Deposition von Schwermetallen in Böden Deutschlands. 1. Blei und Cadmium. Z. Pflanzenernähr., Bodenk. 159, 377–383.
- SCHWARZ, S., P. BOSSEW, U. FALKNER, S. HÜBER, K. KIENZL und I. SCHREIER (1998): Boris – Bodeninformationssystem in Österreich. 4. Arbeitstagung des Bereiches Umwelt im Österreichischen Forschungs- und Prüfzentrum Arsenal. Tagungsband, Wien.
- SEVERIN, K., W. KÖSTER und Y. MATTER (1990): Zufuhr von anorganischen Schadstoffen in Agrarökosysteme mit mineralischen Düngemitteln, Wirtschaftsdüngern, Klärschlamm und Komposten. VDLUFA-Schriftenreihe 32, Kongreßband, Darmstadt, 387–391.
- SIEGENTHALER, A. (1997): Cadmium in der Umwelt und in Handelsdüngern. Bundesamt für Landwirtschaft, Bern.
- SMIDT, S. und J. RENDL (1994): Depositionsmessungen im Raum Achenkirch. FBVA-Berichte 78, 33–38.
- SPIEGEL, H. (1992): Schwermetalle in Kulturböden und Nutzpflanzen im Gerichtsbezirk Schwechat. Dissertation an der Universität für Bodenkultur, Wien.
- VDI (1984): Schwermetalle in der Umwelt. Ermittlung, Bewertung und Beurteilung der Emission und Immission

- umweltrelevanter Schwermetalle und weiterer persistenter Stoffe. VDI-Kommission Reinhalt. Luft, Düsseldorf.
- WHO-ICPS (1992a): Cadmium, Environmental Health Criteria 134. World Health Organisation, Geneva.
- WHO-ICPS (1992b): Cadmium – Environmental Aspects, Environmental Health Criteria 135. World Health Organisation, Geneva.
- WINTWARTER, W. und M. SCHNEIDER (1995): Abschätzung der Schwermetallemissionen in Österreich. Umweltbundesamt, Wien.
- ZECHMEISTER, H. (1997): Schwermetalldeposition in Österreich erfaßt durch Biomonitoring mit Moosen (Aufsammlung 1995). Umweltbundesamt, Monographien Bd. 94, Wien.
- ZETHNER, G. und B. GÖTZ (1997): Die Qualität von Komposten aus der getrennten Sammlung. Übersicht über die Analyseergebnisse. Interner Bericht. Umweltbundesamt. Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie, Wien.

Anschrift der Verfasser

Dipl.-Ing. Dr. Heide Spiegel, Dipl.-Ing. Dr. Michael Dachler, Dipl.-Ing. Karin E. Böhm, Dipl.-Ing. Erwin Pfundtner, Ing. Klaus Roth, Univ.-Doz. Dr. Manfred Sager, Bundesamt und Forschungszentrum für Landwirtschaft, Spargelfeldstraße 191, A-1226 Wien; e-mail: aspiegel@bfl.at

Eingelangt am 22. März 1999
Angenommen am 28. Mai 1999