

## CADMIUMANREICHERUNG IMMISSIONSBELASTETER FICHTEN

Von

PRIEBE A., KLEIN H. und JÄGER H.J.

Institut für Pflanzenökologie der Justus Liebig-Universität Gießen

### E I N L E I T U N G

Unter den Schwermetallen, die heute in steigendem Maße zur Kontamination aquatischer und terrestrischer Ökosysteme beitragen, kommt dem Cadmium aufgrund seiner hohen Toxizität und seiner starken Anreicherung in den Organismen besondere Bedeutung zu. Da Cadmium sowohl als Bestandteil staubförmiger Immissionen als auch als Komponente von Klärschlämmen, Müllkomposten, Abwässern, Industrieabfällen und Düngern auftritt (KLOKE 1974, AYLING and BLOOM 1976, STREET et al. 1977, MITCHELL et al. 1978), sind Pflanzen schwermetallbelasteter Standorte oft gleichzeitig der direkten Einwirkung schwermetallhaltiger Stäube auf die oberirdischen Organe und der indirekten Schwermetalleinwirkung durch Kontamination des Bodens ausgesetzt. Während die Cadmiumaufnahme von Nahrungs- und Futterpflanzen in Bestäubungsversuchen, Freilandgefäßversuchen und Freilanderhebungen im Nahbereich von Emittenten gut dokumentiert ist (KRAUSE 1974, AUERMANN et al. 1979, KLEIN et al. 1980), fehlen bisher systematische Untersuchungen zur Cadmiumaufnahme von Forstpflanzen. Erste Hinweise auf die Relevanz solcher Untersuchungen lieferten die Ergebnisse von MAYER und HEINRICHS (1980), nach denen auch Waldökosysteme fernab von Emittenten besonders bei hohen Niederschlägen Cadmium aus der Luft anreichern sowie die Befunde von KELLY et al. (1979), die erhöhte Cadmiumgehalte in Waldbäumen nach Cadmiumkontamination des Bodens feststellten. Im vorliegenden Beitrag wird daher zunächst die Cadmiumaufnahme getopfter Fichten aus kontaminiertem Boden und cadmiumstaubhaltiger Luft unter freilandrelevanten Kultivierungs- und Kontaminationsbedingungen untersucht. Anschließend werden Ergebnisse von Freilanderhebungen der Cadmiumgehalte 50-60 jähriger Fichten (Nadeljahrgänge 1978-1979) aus einem Belastungsgebiet vorgestellt.

## M A T E R I A L U N D M E T H O D E N

### 1. Kontaminationsversuche

Vierjährige Fichten (*Picea abies*, Westhofer Elite) wurden 1978 in Gefäße mit Einheitserde/Sand (6+1) getopft und an einem unbelasteten Freilandstandort (Versuchsfeld des Instituts für Pflanzenökologie Gießen) exponiert. Die Cadmiumkontamination des Bodens erfolgte durch Untermischen eines Cadmiumoxid-Sand-Gemisches, wodurch als Cadmiumkontaminationsstufen 10 und 30 ppm Cadmium (bezogen auf das Bodentrockengewicht) eingestellt wurden. Nach zweijähriger Kultivierung wurde ein Teil der unbehandelten und der kontaminierten Fichten einer dreimonatigen Bestäubung mit  $7 \mu\text{g}$  Cadmium pro  $\text{m}^2$  und Tag in einer Bestäubungskammer (KLEIN/et al. 1979) unterzogen. Nach Versuchsende wurden die Triebe der Jahrgänge 1978, 1979 und 1980 abgetrennt, zur Hälfte sukzessiv mit EDTA-Lösung ( $10^{-2}$  M mit Detergenzsatz) und destilliertem Wasser gewaschen, in Nadeln, Holz und Rinde zerlegt, getrocknet ( $105^\circ$  C) und gemahlen.

### 2. Freilanderhebungen

Im Herbst 1979 wurden von 50 - 60jährigen Fichten zwanzig ausgewählter Standorte im Rhein-Main-Gebiet Nadelproben entnommen. Zur Untersuchung wurden die Nadeljahrgänge 1977, 1978 und 1979 herangezogen. Die Nadelproben wurden wie oben beschrieben zur Hälfte gewaschen, bei  $105^\circ$  C getrocknet und gemahlen.

### 3. Analytik

Die Cadmiumgehalte der Proben wurden nach trockener Veraschung mit der flammenlosen Atomabsorptionsspektrometrie (Perkin Elmer 360 mit Graphitrohrküvette HGA-72) bestimmt.

## E R G E B N I S S E U N D D I S K U S S I O N

### 1. Der Einfluß von Bodenkontamination und Bestäubung mit Cadmiumoxid auf die Cadmiumgehalte der Fichten.

Nach zweijähriger Kultivierung in cadmiumkontaminiertem Boden waren weder symptomatologische Veränderungen der Fichtentopflinge noch Zuwachsminderungen nachweisbar. Auch dreimonatige Bestäubung mit Cadmiumoxid bewirkte keine makroskopischen Effekte. Dagegen kommt es zu unterschiedlich starken Cadmiumanreicherungen in den verschiedenen gewaschenen und ungewaschenen Teilen der Fichten (Tab. 1 - 2)

Tab. 1: Gesamtcadmiumgehalte (ppm d. TS.) und abwaschbare Anteile (in Klammern) von Nadeln sechsjähriger Fichten (Nadeljahrgänge 1978, 1979 und 1980) in Abhängigkeit vom Cadmiumgehalt des Bodens und einer dreimonatigen Bestäubung mit  $7 \mu\text{g}$  Cadmium (als Oxid)  $/\text{m}^2 \times \text{Tag}$ .

	Cadmium im Boden	Nadeljahrgang		
		1980	1979	1978
Unbestaubt	0,5 ppm (K)	0,29 (0,06)	0,33 (0,03)	0,37 (0,05)
	10 ppm	0,46 (0,09)	0,40 (0,07)	0,46 (0,12)
	30 ppm	0,90 (0,26)	0,64 (0,15)	0,49 (0,10)
Bestaubt	0,5 ppm (K)	0,70 (0,45)	0,49 (0,26)	0,48 (0,17)
	10 ppm	1,12 (0,49)	0,82 (0,43)	0,60 (0,22)
	30 ppm	1,21 (0,52)	0,98 (0,60)	0,71 (0,29)

Die Cadmiumgehalte der Nadeln und von Holz und Rinde unbehandelter Fichten liegen mit 0,29 - 0,52 ppm d. TS. in einem Bereich, der von MANKOVSKA (1980) als natürlicher Cadmiumgehalt von Waldbäumen angegeben wird. Die Kontamination des Bodens mit 10 bis 30 ppm Cadmium führt zu beträchtlichen Anstiegen des Cadmiumgehalts von Nadeln und Holz und Rinde. Dabei reichert sich Cadmium stärker in Holz und Rinde (Tab. 2) als in den Nadeln (Tab. 1) an. Unterschiedlich ist auch die Zeitabhängigkeit der Cadmiumakkumulation in beiden Teilen der Fichte: Während die Cadmiumanreicherung in den Nadeln von den jüngeren zu den älteren Nadeljahrgängen abnimmt, nehmen die Cadmiumgehalte von Holz und Rinde mit zunehmendem Alter zu. Insgesamt dokumentieren die schon bei der freilandrelevanten Konzentration von 10 ppm Cadmium im Boden deutlich erhöhten Cadmiumgehalte sowohl in Nadeln als in Holz und Rinde die auch von KELLY et al. (1979) festgestellte gute Absorption des Cadmiums durch Fichten aus kontaminierten Böden und die hohe Beweglichkeit des Cadmiums in den Bäumen. Der Befund, daß auch ein Teil des Cadmiums unbestaubter Fichten abwaschbar ist, dürfte zum Teil auf eine gewisse Auswaschbarkeit, wie sie auch für andere Kationen beschrieben ist (TUKEY et al. 1958) und zum Teil auf eine gewisse Grundbelastung auch immissionsarmer Gebiete zurückzuführen sein.

Tab. 2: Gesamtcadmiumgehalte (ppm d. TS.) und abwaschbare Anteile (in Klammern) von Holz und Rinde sechsjähriger Fichten (Jahrgänge 1978, 1979, 1980) in Abhängigkeit vom Cadmiumgehalt des Bodens und einer dreimonatigen Bestäubung mit  $7 \mu\text{g}$  Cadmium (als Oxid)/ $\text{m}^2 \times \text{Tag}$ .

		Cadmium im Boden	Jahrgang		
			1980	1979	1978
Unbestaubt	0,5 ppm (K)	0,29 (0,02)	0,33 (0,0)	0,52 (0,08)	
	10 ppm	0,59 (0,07)	0,54 (0,0)	1,04 (0,12)	
	30 ppm	0,81 (0,0)	1,04 (0,06)	1,40 (0,26)	
Bestaubt	0,5 ppm (K)	0,43 (0,16)	0,46 (0,09)	0,54 (0,10)	
	10 ppm	0,86 (0,32)	0,77 (0,32)	0,90 (0,25)	
	30 ppm	0,96 (0,15)	0,82 (0,11)	1,24 (0,14)	

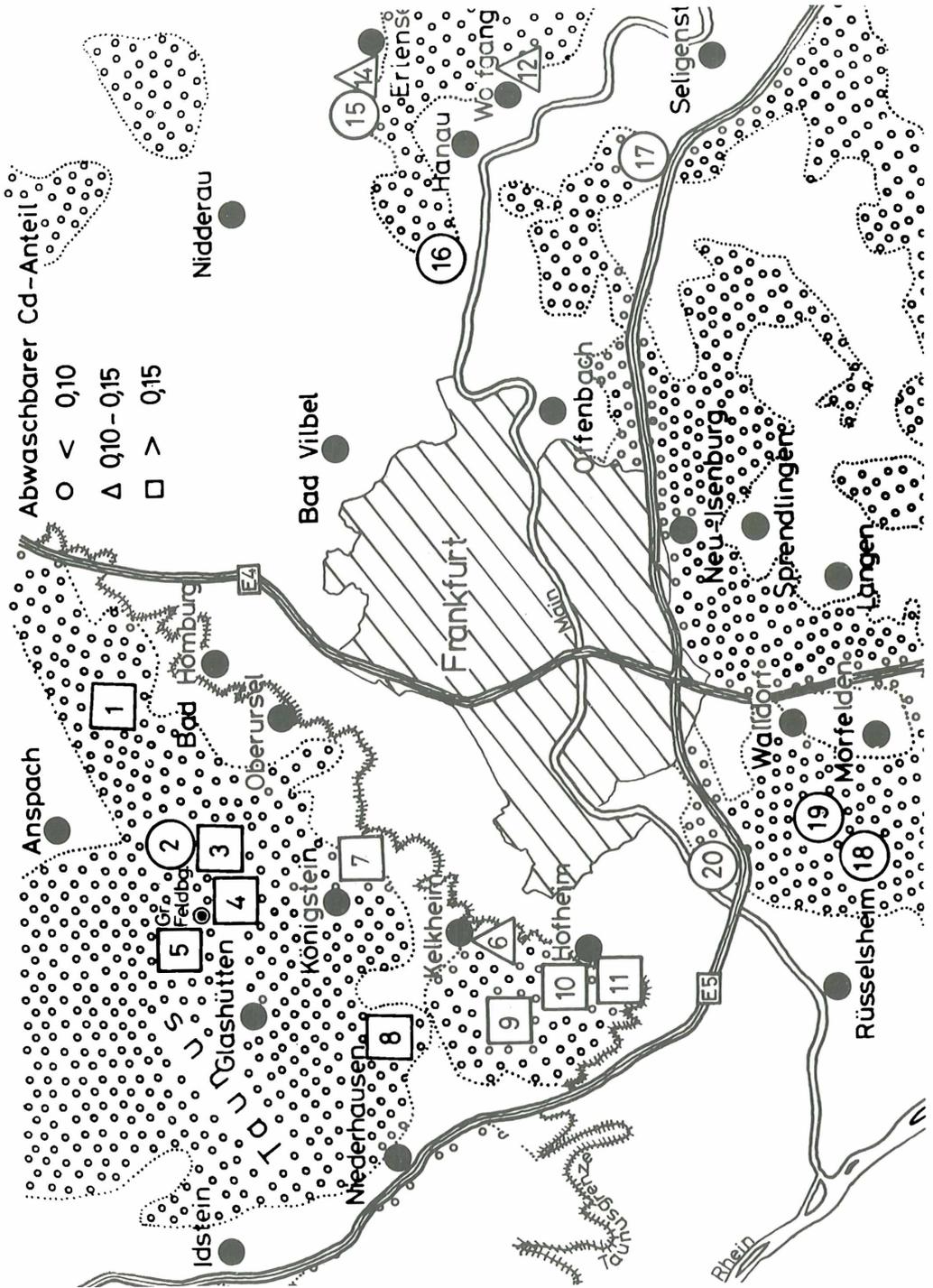
Dreimonatige Bestäubung mit  $7 \mu\text{g}$  Cadmium (als Cadmiumoxid) pro  $\text{m}^2$  und Tag bewirkt deutliche Zunahmen der Cadmiumgehalte von Holz und Rinde, besonders aber der Nadeln ungewaschener Fichten. Analog zur Bodenkontamination ist auch bei den bestaubten Fichten der Cadmiumgehalt der jüngeren Nadeln höher als derjenige der älteren. Wie die abwaschbaren Cadmiumgehalte jedoch zeigen, ist der durch Bestäubung erhöhte Cadmiumanteil praktisch vollständig abwaschbar und liegt daher nur als Staubbelaag auf der Pflanzenoberfläche vor. Damit wird kurzfristig (3 Monate) als Staub auf Fichten einwirkendes Cadmium weder in die Nadeln noch in Holz oder Rinde aufgenommen.

## 2. Cadmiumgehalte der Nadeln von Fichten ausgewählter Standorte aus dem Rhein-Main-Gebiet.

Tab. 3 gibt die Cadmiumgehalte von Fichtennadeln aus dem Rhein-Main-Gebiet wieder. Die Nadelproben wurden im Herbst 1979 aus dem Kronenraum ausgewählter 50-60-jähriger Fichten genommen. Die Lage der Standorte ist aus Abb. 1 zu ersehen.

### Abb. 1:

Standorte der untersuchten Fichten im Rhein-Main-Gebiet und Anteil des abwaschbaren Cadmiums auf den Nadeln.



Tab. 3: Gesamtcadmiumgehalte (ppm d. TS.) und abwaschbare Anteile (in Klammern) der Nadeln (Nadeljahrgänge 1977, 1978, 1980) 50-60jähriger Fichten ausgewählter Standorte aus dem Rhein-Main-Gebiet.

Fichten- Nummer	1979		Jahrgang 1978		1977	
	1	0,53	(0,20)	0,46	(0,09)	0,34
2	0,45	(0,01)	0,45	(0,07)	0,49	(0,07)
3	0,38	(0,20)	0,21	(0,03)	0,46	(0,02)
4	0,37	(0,23)	0,14	(0,01)	0,39	(0,01)
5	0,59	(0,18)	0,49	(0,06)	0,58	(0,08)
6	0,43	(0,14)	0,28	(0,02)	0,35	(0,03)
7	0,49	(0,23)	0,28	(0,03)	0,36	(0,07)
8	0,48	(0,18)	0,34	(0,02)	0,38	(0,06)
9	0,51	(0,17)	0,59	(0,27)	0,52	(0,24)
10	0,47	(0,21)	0,35	(0,08)	0,48	(0,05)
11	0,57	(0,22)	0,27	(0,02)	0,35	(0,02)
12	0,27	(0,11)	0,14	(0,01)	0,24	(0,02)
13	0,59	(0,02)	0,29	(0,07)	0,32	(0,00)
14	0,39	(0,12)	0,24	(0,07)	0,26	(0,00)
15	0,30	(0,09)	0,24	(0,07)	0,38	(0,04)
16	0,33	(0,03)	0,33	(0,02)	0,26	(0,00)
17	0,27	(0,04)	0,27	(0,02)	0,21	(0,00)
18	0,10	(0,03)	0,11	(0,04)	0,14	(0,01)
19	0,24	(0,04)	0,24	(0,07)	0,27	(0,05)
20	0,20	(0,03)	0,21	(0,02)	0,38	(0,00)

Insgesamt lassen die Gesamtcadmiumgehalte der ungewaschenen Fichtennadeln keine deutliche Cadmiumbelastung der Fichten erkennen, wie sie von MANKOVSKA (1979) in der Umgebung eines Aluminiumwerkes festgestellt wird, wenn man als natürliche Cadmiumgehalte von Waldbäumen 0,4-0,6 ppm Cadmium zugrunde legt (MANKOVSKA 1980). Betrachtet man jedoch die abwaschbaren Cadmiumanteile der jungen Nadeln (1979), die insgesamt analog zu den Ergebnissen der Bestäubungsversuche höher sind als die der älteren, so läßt sich eine Einstufung in drei Gruppen treffen, nämlich: Nadeln mit einem abwaschbaren Anteil von 0,10, 0,10 - 0,15 und >0,15 ppm.

Überträgt man diese Einstufung auf die Standorte der Bäume (Abb. 1), so ergibt sich eine deutliche Anhäufung der Bäume mit hohem abwaschbarem Cadmiumanteil entlang der Taunus-Ostflanke. Da sich nach MAYER und HEINRICHS (1980) auch in Waldökosystemen fernab von Emittenten Cadmium aus der Luft besonders bei hohen Niederschlagsmengen im Kronenbereich der Bäume anreichern kann, könnte dieser Befund einen Hinweis auf die Verdriftung cadmiumhaltiger Immissionen zur Taunusflanke hin darstellen.

## Z U S A M M E N F A S S U N G

Zweijährige Kultivierung vierjähriger Fichtentopflinge in cadmiumkontaminiertem Boden (10 und 30 ppm) führt zur Cadmiumanreicherung in allen Teilen der Fichte. Cadmium reichert sich stärker in Holz und Rinde als in den Nadeln an. Während die Cadmiumanreicherung in Holz und in Rinde mit zunehmendem Alter zunimmt, ist die Cadmiumzunahme in den jüngeren Nadeln größer als in den älteren.

Dreimonatige Bestäubung mit 7 µg Cadmium (als Cadmiumoxid) pro m<sup>2</sup> und Tag führt zu deutlichen Anstiegen der Cadmiumgehalte der Fichten. Der durch Bestäubung erhöhte Cadmiumanteil ist jedoch vollständig abwaschbar; kurzfristige Cadmiumbelastung der Fichte führt nicht zur Cadmiumaufnahme in die Nadeln.

Die Cadmiumgehalte von ungewaschenen Fichtennadeln ausgewählter Standorte des Rhein-Main-Gebietes sind gegenüber den natürlichen Cadmiumgehalten von Waldbäumen nicht deutlich erhöht. Die Nadeln des jüngsten Jahrgangs der verschiedenen Standorte weisen jedoch unterschiedlich hohe abwaschbare Cadmiumanteile auf. Bäume mit hohem abwaschbarem Cadmiumanteil sind gehäuft entlang der Taunus-Ostflanke zu finden.

**Schlüsselwörter:** Fichten, Bodenkontamination, Bestäubung, Freilandexperiment, Rhein-Main-Gebiet.

## S U M M A R Y

Four years old potted spruce plants were grown in soil contaminated with 10 and 30 ppm cadmium for two years. All parts of the plants exhibited higher cadmium levels in response to increasing cadmium levels in the soil. Cadmium accumulation was greater in wood and bark than in needles. While the cadmium content of wood and bark increased with age, cadmium accumulation was greatest in the one year old needles and decreased with increasing needle age.

Dusting the spruce plants for three months in a special dusting chamber with 7 µg cadmium (as cadmium oxide) per square meter daily resulted in elevated cadmium contents of the different plant parts. However, all the cadmium oxide dust was removable by washing. Short-time pollution of spruce with cadmium oxide dust does not result in cadmium uptake into the plant interior.

The cadmium contents of spruce needles taken from 20 localities of the Rhein-Main area do not exceed the natural cadmium content of forest trees significantly. However, the one year old needles from different localities exhibit different amounts of cadmium removable by washing. Among the localities investigated, trees with high amounts of removable cadmium are localized to the eastern flank of the Taunus.

**Key words:** Spruce, soil contamination, dusting experiments, field investigation, Rhein-Main area.

## L I T E R A T U R

- Auermann, E., Dässler, H.-G., Cumbrowski, J., Kneuer, M., Jacobi, J. und Kühn, H., 1979: Cadmiumgehalt pflanzlicher Nahrungsmittel im Wirkungsbereich einer Bleihütte. Die Nahrung, Bd. 23, S. 875-890.
- Ayling, G.M. and Bloom, H., 1976: Heavy metal analysis to characterize and estimate distribution of heavy metals in dust fallout. Atmospher. Environm., Bd. 10, S. 61-65.
- Kelly, J.M., Parker, G.R. and Mc Fee, W.W., 1979: Heavy metal accumulation and growth of seedlings of five forest species as influenced by soil cadmium level, J. Environm. Qual., Bd. 8, S. 361-364.
- Klein, H., Priebe, A. und Jäger, H.-J., 1979: Die Wirkung von Cadmiumimmissionen auf Pflanzen. Tagungsbericht der X. Fachtagung des internat. Verbandes Forstl. Versuchsanstalten in Ljubljana (Jugoslawien) 1978, S. 127-136.
- Klein, H., Priebe, A., Weigel, H.-J. und Jäger, H.-J., 1980: Ökophysiologische Aspekte der Kontamination von Kulturpflanzen mit dem Schwermetall Cadmium. Bericht der Jahrestagung der Gesellschaft für Ökologie 1979 in Freising-Weißenstephan, im Druck.
- Kloke, A., 1974: Blei, Zink, Cadmium-Anreicherung in Böden und Pflanzen. Staub-Reinhalt. Luft, Bd. 34, S. 18-21.
- KRAUSE, G.H.M., 1974: Zur Aufnahme von Zink und Cadmium durch oberirdische Pflanzenorgane. Diss. Bonn, 160 S.
- Mankovska, B., 1979: The pollution of spruce *Picea abies* Karst. by emissions of F, As, Pb, Cd and S from an aluminium plant. Biologia, Bd. 34, S. 563-570.
- Mayer, R. und Heinrichs, H., 1980: Flüssebilanzen und aktuelle Änderungsraten der Schwermetallvorräte in Waldökosystemen des Solling. Z. Pflanzenernährung, Bodenkd., Bd. 143, S. 232-246.
- Mitchell, G.A., Bingham, F.T. and Page, A.L., 1978: Yield and metal composition of lettuce and wheat grown on soils amended with sewage sludge enriched with cadmium, copper, nickel and zinc. J. Environm. Qual., Bd. 7, 165-171.
- Street, I.J., Lindsay, W.L. and Sabey, B.R. 1977: Solubility and plant uptake of cadmium in soils amended with cadmium and sewage sludge. J. Environm. Qual., Bd. 6, S. 72-78.
- Tukey, H.B., Wittwer, S.H. und Tukey, H.B., 1958: Leaching of nutrients from plant foliage as determined by radioisotopes. Radioisotopes in Scientific Res., Bd. 4, S. 304-319.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Mitteilungen der forstlichen Bundes-Versuchsanstalt Wien](#)

Jahr/Year: 1981

Band/Volume: [137\\_2\\_1981](#)

Autor(en)/Author(s): Jäger Hans-Jürgen, Klein Hartmut, Priebe Albrecht

Artikel/Article: [Cadmiumanreicherung immissionsbelasteter Fichten 319-326](#)