

Zeitschrift:	Mitteilungen aus dem Gebiete der Lebensmitteluntersuchung und Hygiene = Travaux de chimie alimentaire et d'hygiène
Herausgeber:	Bundesamt für Gesundheit
Band:	88 (1997)
Heft:	5
Artikel:	Cadmium in Böden und Getreide im Gebiet Blauen/Nenzlingen, Basel-Landschaft = Cadmium in soils and cereals in the area of Blauen/Nenzlingen, Basel-Landschaft
Autor:	Wenk, Peter / Bono, Roland / Dubois, Jean Pascal
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-982337

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 21.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Cadmium in Böden und Getreide im Gebiet Blauen/Nenzlingen, Basel-Landschaft

Cadmium in Soils and Cereals in the Area of
Blauen/Nenzlingen, Basel-Landschaft

Key words: Cadmium, Soil, Cereals, Wheat, Grain

Peter Wenk¹, Roland Bono², Jean Pascal Dubois³ und François Genolet³

Einleitung und Zielsetzung

Alle im Boden auftretenden Elemente kommen in mehr oder weniger hohen Mengen auch in Lebensmitteln vor. Einige der nichtessentiellen Elemente können bereits in geringen Dosen die Gesundheit beeinträchtigen. Die FAO/WHO hat deshalb provisorisch tolerierbare Zufuhrmengen vorgeschlagen (1). Täglich nimmt ein Erwachsener in der Schweiz durchschnittlich 12 µg Cadmium oder 20% des FAO/WHO-Wertes auf. Dies entspricht der grössten Ausschöpfung aller Schwermetalle. Wegen seiner langen biologischen Halbwertszeit reichert sich Cadmium im menschlichen Organismus an und kann langfristig Nierenschäden verursachen. Im Dritten Schweizerischen Ernährungsbericht wird deshalb eine Überwachung der Cadmiumbelastung durch Lebensmittel gefordert. Es müsse dafür gesorgt werden, dass sie nicht weiter ansteigt. Langfristig könnte dies nur durch Umweltschutzmassnahmen und nicht durch lebensmittelrechtliche Vorschriften allein erreicht werden (2). Allerdings können die am stärksten belasteten Lebensmittel durch die Lebensmittelkontrolle aus dem Verkehr gezogen werden, wodurch die Belastung sinkt.

Im Kanton Basel-Landschaft ist Cadmium vor allem im Hinblick auf sein Vorkommen in verschiedenen Böden ein Spezialfall. Untersuchungen im Rahmen der Bodenüberwachung (3) haben ergeben, dass der Gehalt an Cadmium in den Oberböden im Gebiet von Tafel- und Faltenjura auffällig oft den Richtwert gemäss

¹ Kantonales Laboratorium Basel-Landschaft, Liestal

² Amt für Umweltschutz und Energie, Liestal

³ Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, IATE-Pédologie

der eidgenössischen Verordnung über Schadstoffe im Boden (VSBo) (4) erreicht oder überschreitet. Dieser Sachverhalt ist auch von anderen Juraböden (5, 7) und aus dem schweizerischen Mittelland (8) bekannt. Eine Erklärung ist, abgesehen von Einzelfällen mit eindeutig zivilisatorischer Belastungsquelle, noch nicht abschliessend möglich. Vermutet wird die Anreicherung von gesteinsbürtigem Cadmium im Verlaufe der Gesteinsverwitterung und der Bodenbildung (3, 9). Zu einem Problem kann dieses Cadmium dann werden, wenn es durch Anreicherung in den Pflanzen in die Nahrungskette gelangt.

Vor diesem Hintergrund wurden 1994 und 1995 Marktkontrollen von Cadmium in Getreide, welches im Baselbiet angebaut wurde, durchgeführt, um die Belastungssituation im Kanton abzuschätzen (10, 11).

Die Lebensmittelkontrolle im Baselbiet berücksichtigt bei der Wahl der zu untersuchenden Proben die Verzehrmenge, das Risiko und die Laborkapazität. Getreide ist normalerweise wenig mit Cadmium belastet. Da es jedoch zu den Grundnahrungsmitteln gehört, trägt es trotzdem zu schätzungsweise einem Viertel der Zufuhr von Cadmium bei (12) und muss daher periodisch kontrolliert werden.

4 der insgesamt 154 Weizenproben fielen durch einen erhöhten Cadmiumgehalt auf. Dieser Weizen wuchs auf Böden, welche, wie Nachkontrollen ergaben, ebenfalls auffällig viel Cadmium enthielten. Bei zwei Proben handelte es sich um Einzelfälle, sogenannte «Hot-spot», die zwei anderen Proben stammten jedoch von Landwirten, welche zwei weit auseinanderliegende Äcker im gleichen Gebiet bewirtschaften. Die jeweiligen Böden wiesen nicht nur im Oberboden, sondern auch in 30 bis 50 cm Tiefe erhöhte Cadmiumgehalte auf. Beide Äcker liegen auf einem Plateau der Gemeinden Blauen und Nenzlingen von ca. 5,5 km² zwischen 430 und 650 m ü. M., dessen fruchtbare Böden intensiv landwirtschaftlich (Acker-, Obstbau und Wiesen) genutzt werden.

Esstellten sich deshalb folgende Fragen:

1. In welchem Ausmass tritt Cadmium in den Böden im Gebiet Blauen/Nenzlingen auf?
2. In welchen Mengen enthalten die angebauten Nahrungs- und Futtermittel (speziell Getreide) Cadmium; ist allenfalls die Gesundheit von Menschen und Tieren gefährdet?
3. Welche Massnahmen sind gemäss Lebensmittel- und Umweltschutzgesetzgebung angebracht?

Aus den Fragestellungen ergab sich ein dreistufiges Vorgehen: In einem ersten Schritt wurde in enger Zusammenarbeit mit der ETH Lausanne Aufschluss über die Belastung der Böden mit Cadmium gewonnen (6). Anschliessend wurden in einem zweiten Schritt die Cadmiumgehalte ausgewählter Ackerbaupflanzen bestimmt. In einem dritten Schritt schliesslich wurden die Ergebnisse kantonsintern und mit Fachleuten des Bundes diskutiert und die Massnahmen festgelegt.

Material und Methoden

Probenahme Boden

In einem ersten Schritt wurden Ausmass und räumliche Verteilung der Cadmiumgehalte in den Böden des Untersuchungsgebietes mittels Geostatistik (Kriging mit nested sampling) ermittelt:

- 81 Probenahmestandorte auf einem Raster von 250 Meter Seitenlänge.
- 80 zusätzliche Probenahmestandorte als Verdichtungspunkte; ausgewählt in Abhängigkeit von Geologie und Bodentyp sowie unter Berücksichtigung einer ausgeglichenen räumlichen Verteilung.
- 7 Bodenprofilstandorte mit Probenahme in Ober- und Unterboden.

An jedem Probenahmestandort wurden 4 Proben an den Eckpunkten eines Quadrates (2 m Seitenlänge) aus 0–20 cm Tiefe unter Verwendung eines Humax-Bohrers von 50 mm Durchmesser entnommen und zu einer Mischprobe vereinigt.

In einem zweiten Schritt wurden an zusätzlichen Standorten weitere 52 Bodenproben (jeweils zusammen mit Pflanzenproben) wie folgt entnommen:

- Am Standort der Entnahme von Pflanzenproben in Fahrgasse auf 4 m Länge jeweils in beiden Fahrspuren je 3 Einstiche aus 0–20 cm Tiefe (unter Verwendung eines Stechbohrers von 30 mm Durchmesser) und Vereinigung zu einer Mischprobe.

Probenahme Pflanzen

Die Grundlagen für die Wahl der zu beprobenden Nahrungs- und Futterpflanzen sowie für die Wahl der entsprechenden Probenahmestandorte bildeten Angaben zur Bodennutzung in Blauen und Nenzlingen gemäss gemeindeweiser Agrarstatistik (1995), eine eigens durchgeführte parzellenbezogene Nutzungskartierung (1996) sowie die Karte der mittels Kriging (5) abgeschätzten Gehalte an Cadmium in den Oberböden des Untersuchungsgebietes (6). Dabei wurde Weizen aufgrund seiner Verwendung als Brotgetreide überrepräsentativ beprobt (vgl. Tabelle 1; etwa 70% der Proben entfallen auf Weizen bei einem Anteil von rund 30% an der Fruchtfolgefäche im Gebiet).

Probenahme Getreide: In beiden Spuren der Fahrgassen wurden jeweils auf 4 m Länge beidseitig ca. 1 kg erntereife Ähren entnommen.

Probenahme Körnermais: 8 erntereife Kolben wurden nach dem gleichen Vorgehen wie beim Getreide gewonnen.

Probenahme Silomais: 1 kg Silage wurde direkt ab Silo/Silagedepot gezogen; die Herkunftsparzellen sind nur teilweise bekannt.

Bestimmung von Cadmium im Boden

Die Mischproben wurden gemäss Wegleitung zur VSBo (13) aufgearbeitet. Dazu wurden die Bodenproben luftgetrocknet, gemörsert, Stein- und Wurzelmaterial von Hand entfernt, auf kleiner 2 mm gesiebt (mit Kunststoffsieb PP) und anschliessend bei 40 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet.

Die Cadmiumtotalgehalte wurden mit der 2 M HNO₃-Extraktion nach VSBo (4, 13) bestimmt: 10 g der aufgearbeiteten Probe wurde mit 100 ml 2 M HNO₃ in einem Erlenmeyerkolben 2 h in einem Wasserbad bei Siedetemperatur gehalten und anschliessend über einen Faltenfilter filtriert. Aus diesem Extrakt wurde das Cadmium mit dem Graphitrohr-AAS Perkin Elmer PE 4100 ZL, Zeeman-Untergrundkompensation bestimmt.

Die löslichen Gehalte an Cadmium wurden mit der 0,1 M NaNO₃-Extraktion nach VSBo (4, 13) bestimmt: 20 g der aufgearbeiteten Probe wurden mit 50 ml 0,1 M NaNO₃-Lösung während 2 h bei 130–150 U/min in Zentrifugengläsern geschüttelt. Anschliessend wurde bei 3600 U/min zentrifugiert und aus dem überstehenden klaren Extrakt mittels Spritze 20 ml aufgezogen und durch einen Membranfilterspritzenaufsatzt 0,45 µm filtriert. Das Extrakt wurde mit konz. HNO₃ angesäuert. Daraus wurde das Cadmium wie oben bestimmt.

Die Messungen wurden mit Hilfe von Doppelbestimmungen sowie durch Messen von Blind- und Referenzproben überprüft. Ausserdem untersuchte ein unabhängiges Labor ebenfalls 9 Proben. Die Übereinstimmung war gut.

Bestimmung von Cadmium in der Pflanze

Das Getreide wurde bei 40 °C getrocknet, entspelzt und die Körner in einer Ultrazentrifugalmühle Retsch, Siebgrösse 0,5 mm, gemahlen. Mais wurde zuerst getrocknet und dann gemahlen. 0,3–0,5 g des erhaltenen Mehls wurden in einem mit Quarzgefassen bestückten Mikrowellenofen MLS 1200 MEGA (Microwave Laboratory System, 1200 W Nennleistung) mit 3 ml Salpetersäure konz. sowie 2 ml Wasserstoffperoxid 30% aufgeschlossen und mit Wasser nanopur auf 10 ml gestellt. Die Quantifizierung erfolgte mit dem Graphitrohr-AAS Varian SpectrAA 800 mit Zeeman-Untergrundkompensation und Pd (NO₃)₂/Mg(NO₃)₂ als Modifier. Die Messungen wurden mit Hilfe von Doppelbestimmungen durch zwei unabhängige Personen sowie durch Messen von Blind- und Referenzproben überprüft. Ausserdem untersuchte ein unabhängiges Labor ebenfalls 10 Proben. Die Übereinstimmung war gut.

Resultate und Diskussion

Resultate der Bodenuntersuchungen

Die vorgefundenen Gehalte, die räumliche Verteilung sowie die Diskussion über die mögliche Herkunft des Cadmiums in den Böden im Gebiet Blauen/Nenzlingen sind Gegenstand eines eigenen Berichts (6). Im folgenden seien deshalb nur die wesentlichsten Ergebnisse zusammengefasst. Als Beurteilungsmassstab für die Cadmiumgehalte in den Böden dient die VSBo (4). Diese legt Richtwerte für den sogenannten Totalgehalt (Salpetersäure-Extraktion) und den pflanzenverfügbaren löslichen Gehalt (Natriumnitrat-Extraktion) fest. Ist einer dieser beiden Werte überschritten, bedeutet dies, dass die Bodenfruchtbarkeit im Sinne eines ökosystems «gesunden» Bodens langfristig nicht mehr gewährleistet ist. Die VSBo verpflichtet die Kantone als Vollzugsbehörde in solchen Fällen, die Ursachen abzuklären und Massnahmen (z. B. Quellenstop) zu prüfen und zu realisieren.

Die Auswertung der Beprobung der Böden im Gebiet Blauen/Nenzlingen im Rahmen des Kriging ermöglicht die folgenden Aussagen (vgl. Tabelle 1 und Karte 1):

- Cadmium ist in den Böden im Gebiet Blauen/Nenzlingen deutlich angereichert. In zwei Dritteln der untersuchten Bodenproben wird der Richtwert für den Totalgehalt nach VSBo überschritten. Die höchsten Gehalte an Cadmium (4,6 und 4,8 mg/kg TM) wurden an zwei benachbarten Probenahmestandorten nachgewiesen.
- Nur ein geringer Teil dieses Cadmiums ist in leicht löslicher Form vorhanden. Der Richtwert nach VSBo für den löslichen Gehalt wird nur an zwei Waldstandorten mit sauren Böden ($\text{pH-Werte in } \text{CaCl}_2 < 4,0$) überschritten. In beiden Fällen liegt der Totalgehalt mit rund 0,3 mg Cadmium/kg TM weit unter dem entsprechenden Richtwert.
- Auf rund 75% der Fläche des Untersuchungsgebietes überschreitet der Gehalt an Cadmium den Richtwert nach VSBo; auf 13% der Fläche wird der Richtwert sogar um mehr als das Doppelte überschritten.

Die Auswertung der anlässlich der Probenahme «Pflanzen» entnommenen Bodenproben bestätigte erwartungsgemäss die Ergebnisse des Kriging (vgl. Tabelle 1). Das Fehlen von Standorten mit sehr sauren pH-Werten und die damit verbundenen etwas geringeren löslichen Gehalte an Cadmium in den beprobten Böden erklären sich aufgrund der Beschränkung auf Ackerbaustandorte.

Die Ursache für diese deutliche und flächenhafte Anreicherung von Cadmium in den Böden in Blauen/Nenzlingen muss vorderhand offen bleiben. Allerdings scheint der anthropogene Beitrag gering zu sein. Es waren keine Eintragspfade identifizierbar, die über das auch andernorts allenfalls übliche Mass einer Anreicherung hinausgehen würden. Derzeit am plausibelsten erscheint eine Anreicherung aus gesteinsbürtigem Cadmium im Verlaufe der Gesteinsverwitterung und der Bodenbildung, beeinflusst durch solifluidale und kolluviale Prozesse sowie mög-

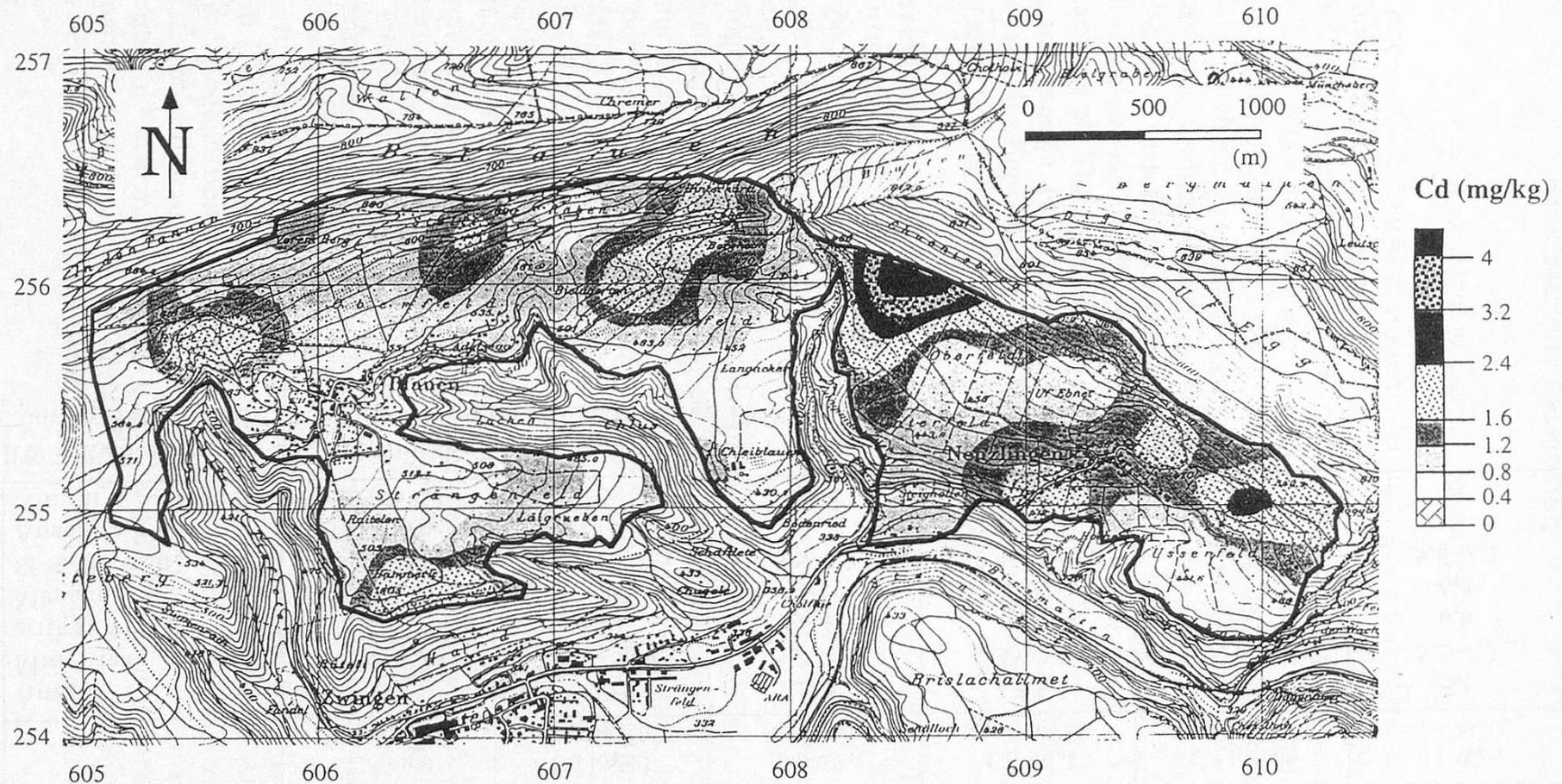
Tabelle 1. Ergebnisse der Bodenbeprobungen im Gebiet Blauen/Nenzlingen

Parameter	Werte aus Probenahme «Kriging» (6)			Werte aus Probenahme «Pflanzen»		
	Cd total (mg/kg TM)	Cd löslich (mg/kg TM)	pH-Wert (in CaCl ₂)	Cd total (mg/kg TM)	Cd löslich (mg/kg TM)	pH-Wert (in CaCl ₂)
Anzahl	168	29	168	52	52	52
Min.-Max.	0,30–4,76	0,001–0,045	3,7–7,3	0,25–4,91	< 0,001–0,005 ¹	5,2–7,3
arithm. Mittel	1,15	0,01	6,4	1,08	–	6,6
Median	1,0	0,005	6,5	0,92	–	6,8
80%-Bereich	0,55–2,01	0,002–0,025	5,5–7,2	0,45–1,60	–	5,8–7,3
Anzahl > RW	111 (66%)	2 (7%)	–	29 (56%)	0	–
Anzahl > 2 × RW	26 (15%)	0	–	5 (10%)	0	–

RW = Richtwert nach VSBo (0,8 mg/kg TM Boden)

¹ nur 16 Werte grösser als Bestimmungsgrenze (0,001 mg/kg TM)

Karte 1. Cadmium in Böden im Gebiet Blauen/Nenzlingen (Karte 1:25 000, Blatt 1067 Arlesheim, reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 15. 5. 1997)



licherweise überlagert durch atmosphärische Deposition als Folge postglazialer Vulkanausbrüche (6, 9, 14, 15).

Die Sonderstellung gewisser Juraböden bezüglich des Gehalts an Cadmium ist in den letzten Jahren erkannt worden (3, 7, 14). Sie lässt sich im Vergleich mit üblichen Gehalten an Cadmium in den Böden verdeutlichen (vgl. Tabelle 2).

Resultate der Pflanzenuntersuchungen

Die Höchstkonzentrationen für Cadmium in Lebensmitteln sind in der eidgenössischen Fremd- und Inhaltsstoffverordnung (17) festgelegt. Der Toleranzwert für Weizen, Roggen und Gerste beträgt 0,1 mg Cd/kg FM (entspricht ca. 0,115 mg Cd/kg TM), der Grenzwert 0,3 mg Cd/kg FM (entspricht ca. 0,345 mg Cd/kg TM). Wird ein Toleranzwert überschritten, ist ein Lebensmittel verunreinigt oder sonst im Wert vermindert; ist ein Grenzwert verletzt, gilt das Lebensmittel für die menschliche Ernährung als ungeeignet. Toleranz- und Grenzwerte beziehen sich auf die Frischmasse (FM), während in der Literatur normalerweise Cadmiumgehalte in der Trockenmasse (TM) angegeben werden. Um die Werte dieser Arbeit mit der Literatur besser vergleichen zu können, beziehen sie sich auf die Trockenmasse (Umrechnung: Gehalt FM x 1,15 = Gehalt TM).

Die Häufigkeitsverteilung der Cadmiumkonzentrationen in Weizen (Sommer- und Winterweizen) ist in Abbildung 1, die statistischen Kenngrößen und das verwendete Saatgut sind in Tabelle 3 dargestellt. Eine Häufigkeitsverteilung war nur für Weizen sinnvoll, da die Probenzahl der anderen Pflanzenarten zu gering war. Aus ihr ist ersichtlich, dass 17 der 39 Proben oberhalb des Toleranzwertes und 2 Proben mit 0,42 mg/kg TM und 0,64 mg/kg TM sogar über dem Grenzwert lagen.

Auch in den anderen untersuchten Pflanzenarten wurden teilweise erhöhte Werte festgestellt:

- 1 Haferprobe enthielt 0,21 mg Cadmium/kg TM (bzw. 0,18 mg Cadmium/kg FM).
- 2 Silomaisproben waren mit 0,38 bzw. 0,56 mg Cadmium/kg TM ebenfalls belastet. Dies liegt allerdings noch unter den Höchstgehalten von pflanzlichen Futtermitteln, welche in der eidgenössischen Futtermittelbuch-Verordnung

Tabelle 2. Cadmium in den Böden im Gebiet Blauen/Nenzlingen im Vergleich (in mg/kg TM)

Gebiet	n	Min.-Max.	Median	80%-Bereich	Lit.
Blauen/Nenzlingen ¹	168	0,30–4,76	1,00	0,55–2,01	(6)
Kanton Basel-Landschaft ²	110	0,12–1,41	0,49	0,22–0,91	(3)
Schweiz ³	825	0,05–2,07	0,31	0,19–0,50	(16)
La Chaux-de-Fonds ²	366	0,14–5,13	1,11	–	(14)

¹ Nur Nutzungen Landwirtschaft und Wald

² Alle Nutzungen (Wald, Landwirtschaft, Siedlung); ohne Bezirk Laufen

³ Nur Nutzung Landwirtschaft

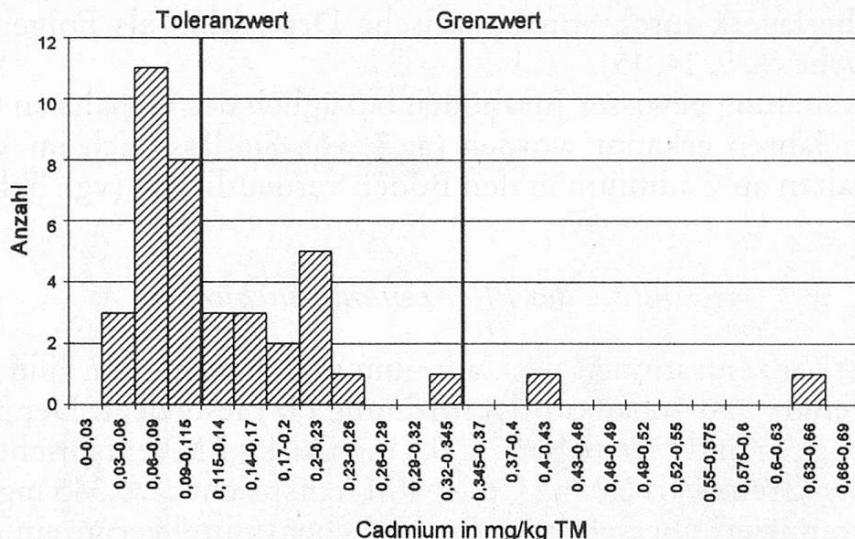


Abb. 1. Häufigkeitsverteilung von Cadmium in Weizen

aufgeführt sind (Höchstgehalt: 1 mg Cadmium/kg Futtermittel mit 88% Trockenmasse (18)).

In den 4 Gersten-, 2 Roggen- und 3 Körnermaisproben hingegen fanden sich tiefere Cadmiumkonzentrationen.

In Tabelle 4 werden die Resultate von Blauen/Nenzlingen mit Literaturdaten aus einem ähnlich belasteten Gebiet und mit Durchschnittswerten verglichen.

Die Parzelle in Dornach ist von den Böden und der Belastung her mit dem Gebiet Blauen/Nenzlingen vergleichbar (19). Sie besitzt einen hohen Kalkgehalt, einen pH von 7,7 und eine vergleichbare Bodenbelastung (Totalgehalt: 1,63 mg Cadmium/kg TM, löslicher Gehalt: 0,001 mg Cadmium/kg TM). Tabelle 4 zeigt, dass auch die in den Pflanzen gefundenen Gehalte sehr gut mit denen aus Blauen/Nenzlingen übereinstimmen.

Die Angaben zu den «normalen» Gehalten stammen soweit möglich aus dem Monitoring-Programm «Schwermetalle in Lebensmitteln» (12, 20). Diese Studien liefern repräsentative Daten für durchschnittliche Schwermetallgehalte in Lebensmitteln in der Schweiz. Für Weizen liegen zudem zuverlässige Daten über das Baselbiet vor (10, 11). Außerdem wurden zwei Literaturzusammenstellungen berücksichtigt (21, 22). Die Cadmiumgehalte im wichtigsten Anbauprodukt Weizen waren gegenüber den Durchschnittswerten im Baselbiet und denen aus dem Monitoring-Programm deutlich erhöht. Über die anderen Pflanzenarten lassen sich aufgrund der geringen Probenzahl nur tendenzielle Aussagen machen. Hafer und Silomais wiesen erhöhte Gehalte auf, während diejenigen von Roggen, Gerste und Körnermais noch im Streubereich der «normalen» Gehalte lagen. Aufgrund der Einteilung von Lindt et al. (22) ist der Cadmiumgehalt der Anbauprodukte im Gebiet Blauen/Nenzlingen leicht bis stark erhöht.

Tabelle 3. Zusammenstellung der Resultate und verwendetes Saatgut

	<i>n</i>	Median (Min.–Max.), Cd in mg/kg TM	Saatgut (Anzahl)	Verwertung ¹
Winterweizen	37	0,10 (0,049–0,64)	Arbola (1), Arina (10), Arina: Tamaro = 1: 1 (15), Arina: Tamaro = 1: 2 (5), unbekannt (6)	B
Sommerweizen	2	0,12–0,21	Greina, Lona	B
Roggen	2	0,01–0,012	Marder (1), unbekannt (1)	F
Wintergerste	4	0,05 (0,024–0,063)	Baraka: Manitou = 1: 1 (2), Manitou (1), unbekannt (1)	F
Hafer	4	0,055 (0,015–0,21)	Ebénez (2), unbekannt (2)	F
Körnermais	3	0,008 (0,005–0,016)	Fanio (1), Magister (1), unbekannt (1)	F
Silomais	3	0,38 (0,074–0,56)	Magister (1), unbekannt (2)	F

¹ B = Brotgetreide
F = Futtergetreide

Tabelle 4. Vergleich mit Resultaten aus einem Belastungsgebiet und «normalen» Gehalten

	Blauen/Nenzlingen		Dornach		«normale» Gehalte		Lit.
	n	Median (Min.–Max.) (mg Cd/kg TM)	n	Median (Min.–Max.) (mg Cd/kg TM)	n	Median (Min.–Max.) (mg Cd/kg TM)	
Winterweizen	37	0,10 (0,049–0,64)	8	0,32 (0,28–0,41)		–	
Sommerweizen	2	0,12–0,21	12	0,30 (0,21–0,35)		–	
Weizen, Baselbiet ¹		–		–	150	0,048 (0,014–0,11)	(10, 11)
Mehl weiss, Schweiz		–		–	74	0,019 (0,009–0,031)	(12)
Mehl ruch, Schweiz		–		–	67	0,036 (0,014–0,073)	(12)
Kleie, Schweiz		–		–	78	0,068 (0,027–0,198)	(12)
Roggen	2	0,010–0,012	2	0,07–0,07		0,01–0,02 (?–0,7)	(21)
Mehl hell, Schweiz		–		–	17	0,015 (0,005–0,044)	(12)
Mehl dunkel, Schweiz		–		–	13	0,012 (0,005–0,069)	(12)
Wintergerste	4	0,05 (0,024–0,063)	4	0,09 (0,08–0,10)		0,05–0,07 (?–0,9)	(21)
Hafer	4	0,055 (0,015–0,21)	–	–		0,06–0,08 (?>1,1)	(21)
Körnermais	3	0,008 (0,005–0,016)	–	–		0,011–0,32	(22)
Silomais	3	0,38 (0,074–0,56)	–	–	–	–	

¹ ohne Gebiet Blauen/Nenzlingen und «Hot-spot»

Einfluss der Bodenkenngroßen auf den Cadmiumgehalt in den Pflanzen

Das Cadmium in den Pflanzen stammt vorwiegend aus dem Boden. Der Beitrag aus der Luft (Staub und anhaftende Erde) ist zu vernachlässigen, da diese Kontamination durch die Verarbeitung grösstenteils entfernt wird. Der Zusammenhang zwischen dem Cadmiumgehalt in den Pflanzen und ihrer Umgebung ist kompliziert und in zahlreichen Publikationen dokumentiert (Literaturreferenzen in (23) und (24)). Die wichtigsten Erkenntnisse sind:

- Der lösliche Cadmiumgehalt im Boden korreliert gut mit dem in der Pflanze, während der Totalgehalt im Boden erst bei hohen Konzentrationen einen Einfluss hat.
- Bei pH-Werten des Bodens oberhalb von 7–7,5 ist das Cadmium immobil. Bei tieferen pH-Werten nimmt die Bioverfügbarkeit kontinuierlich bis etwa pH 5 zu.
- Humus-, Tongehalt und Kationenaustauschkapazität haben einen geringen Einfluss auf die Cadmiumaufnahme durch die Pflanze.
- Eine starke Stickstoffdüngung erhöht den Cadmiumgehalt in den Pflanzen um ca. einen Viertel (21).
- Andere Schwermetalle im Boden beeinflussen die Cadmiumaufnahme. In geringen Konzentrationen fördern beispielsweise Eisen(II), Kupfer, Mangan(II) und Zink die Aufnahme von Cadmium, in höheren Konzentrationen wirken sie hemmend (25, 26).
- Die Bindungsform des Cadmiums im Boden beeinflusst die Bioverfügbarkeit. Einfache mathematische Beziehungen zwischen den Cadmiumgehalten im Boden und in der Pflanze sind deshalb nicht zu erwarten. Entscheidend ist neben den Pflanzeneigenschaften schliesslich die bioverfügbare Cadmiummenge im Wurzelraum, welche nicht direkt gemessen werden kann. Aufgrund der sehr tiefen löslichen Cadmiumgehalte in den Böden von Blauen/Nenzlingen wäre eigentlich nur wenig Cadmium in den Pflanzen zu erwarten (27). Kürzlich zeigte sich jedoch, dass Pflanzen auch auf solchen Böden stark mit Cadmium belastet sein können (23, 28).

Die Abhängigkeit des Cadmiumgehaltes im Weizen vom Gesamtgehalt im Boden ist in Abbildung 2 dargestellt. Obwohl mit steigendem Gesamtgehalt im Boden auch die Cadmiumgehalte im Weizen zunehmen, wird der Toleranzwert von Getreide (0,1 mg Cd/kg FM, entsprechend ca. 0,115 mg Cd/kg TM) vereinzelt auch bei tiefen Totalgehalten im Boden (unter dem VSBo-Richtwert von 0,8 mg/kg TM) überschritten. Mit dem Totalgehalt allein lässt sich deshalb nicht sicher feststellen, ob Toleranzwerte überschritten werden. Der Korrelationskoeffizient (mit 0,79 etwas höher, als er von anderen Autoren bestimmt wurde (24, 29)) deutet darauf hin, dass noch andere Faktoren für die Cadmiumaufnahme durch den Weizen verantwortlich sein müssen. Die Berücksichtigung des Boden-pHs verbessert allerdings die Korrelation nicht. Der Boden-pH scheint in Blauen/Nenzlingen die Cadmiumaufnahme von Weizen nicht oder nur gering zu beeinflussen. Ähnliche Beobachtungen wurden bei analogen Umweltverhältnissen auch von anderen Autoren gemacht (23, 30).

Bei Bodentotalgehalten über 2 mg Cd/kg TM wurden im Weizen Grenzwertüberschreitungen festgestellt. Bereits Eikmann et al. (31) erkannten bei der Ableitung der EIKMANN-KLOKE-Werte, dass bei Cadmiumgehalten über 2 mg/kg Boden in gewissen Pflanzenarten die Richt- und Grenzwerte für Lebens- und Futtermittel überschritten werden. Das Risiko für eine Grenzwertüberschreitung in Pflanzen ist demzufolge bei Böden mit weniger als 2 mg Cd/kg TM gering. Toleranzwertüberschreitungen hingegen wurden bereits bei sehr tiefen Cadmiumgehalten im Boden gefunden.

Der Einfluss von Spurenelementen auf die Cadmiumaufnahme des Weizens in Blauen/Nenzlingen wurde nicht näher untersucht. Es ist jedoch bekannt, dass eine optimale Versorgung von Spurenelementen, insbesonders von Kupfer, die Cadmiumaufnahme durch Weizen vermindert. Unter diesen Umständen kann Weizen trotz einer hohen Bodenbelastung wenig Cadmium enthalten (24).

Einfluss der Pflanzenart und -sorte

Der Cadmiumgehalt in der Pflanze hängt neben den Bodenkenngroßen von pflanzenspezifischen Faktoren ab:

- Jede Pflanzenart nimmt selbst unter gleichen Umweltbedingungen unterschiedliche Cadmiummengen auf (22). Für Getreide fand Coullery folgende Reihe abnehmender Cadmiumkonzentrationen (19):

$$\text{Hafer} \geq \text{Weizen} \gg \text{Gerste} > \text{Roggen}$$
- Die Cadmiumaufnahme ist zusätzlich von der Pflanzensorte abhängig. Verschiedene Genotypen können bis zu dreifach unterschiedliche Cadmiumgehalte aufweisen (32). Von den in der Schweiz angebauten Weizensorten ist bekannt,

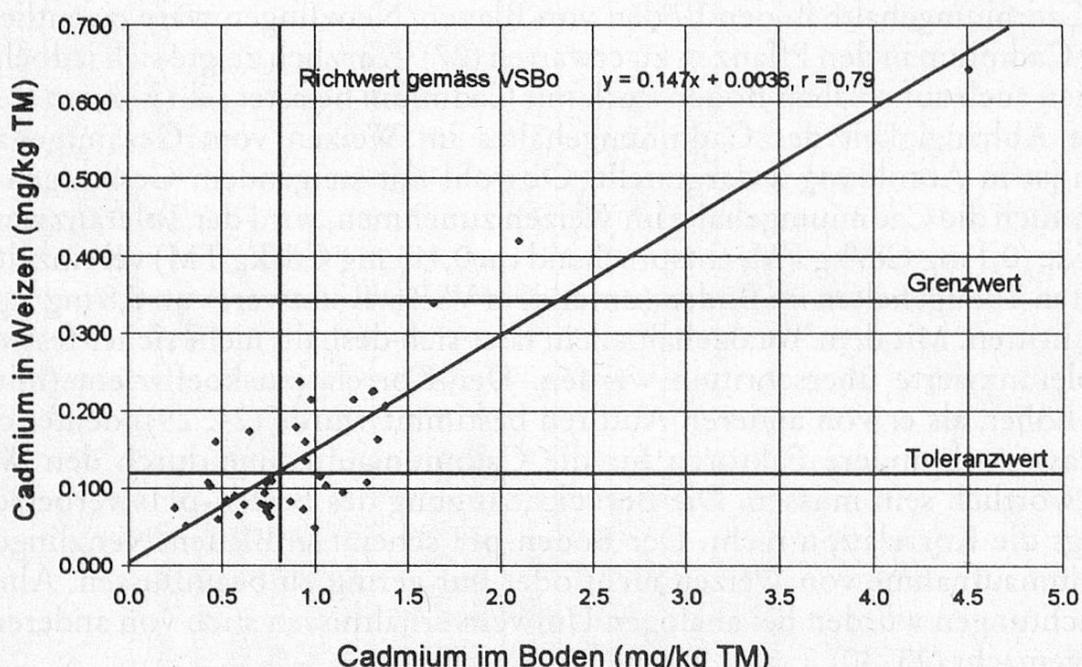


Abb. 2. Cadmiumgehalt im Weizen in Abhängigkeit vom Cadmiumtotalgehalt im Boden

dass der Sommerweizen Frisal mehr als Albis (33) und der Winterweizen Arina mehr als Galaxie akkumuliert (23).

- Der Cadmiumgehalt in den verschiedenen Pflanzenteilen ist unterschiedlich. Diserens erstellte aus Literaturdaten folgende abnehmende Reihenfolge (23):

$$\text{Cd}_{\text{Wurzel}} > \text{Cd}_{\text{Stengel}} > \text{Cd}_{\text{Blatt}} > \text{Cd}_{\text{Körner}}$$

Die Abhängigkeit der Cadmiumaufnahme von der Pflanzenart wurde auch in Blauen/Nenzlingen festgestellt. Aufgrund der relativ wenigen Hafer-, Gersten- und Roggenproben lassen sich aber keine gesicherten Aussagen machen. Die von Coullery (19) publizierte Reihenfolge scheint jedoch auch im untersuchten Gebiet zuzutreffen. Der Einfluss der in Blauen/Nenzlingen vorwiegend angebauten Sorten Arina und Tamaro auf den Cadmiumgehalt ist in Abbildung 3 dargestellt. Tendenziell wird bei einem grösseren Anteil der Sorte Tamaro mehr Cadmium gefunden.

Die höheren Gehalte im Silomais gegenüber dem Körnermais lassen sich mit unterschiedlichen Cadmiumgehalten in einzelnen Pflanzenteilen erklären. Aus der Literatur ist bekannt, dass Maiskörner bis zu 20mal weniger Cadmium als die Blätter enthalten (34, 35). Da beim Körnermais nur die Körner, beim Silomais hingegen die ganze Pflanze verwendet wird, ist der Cadmiumgehalt im Silomais naturgemäß höher (Tabelle 3).

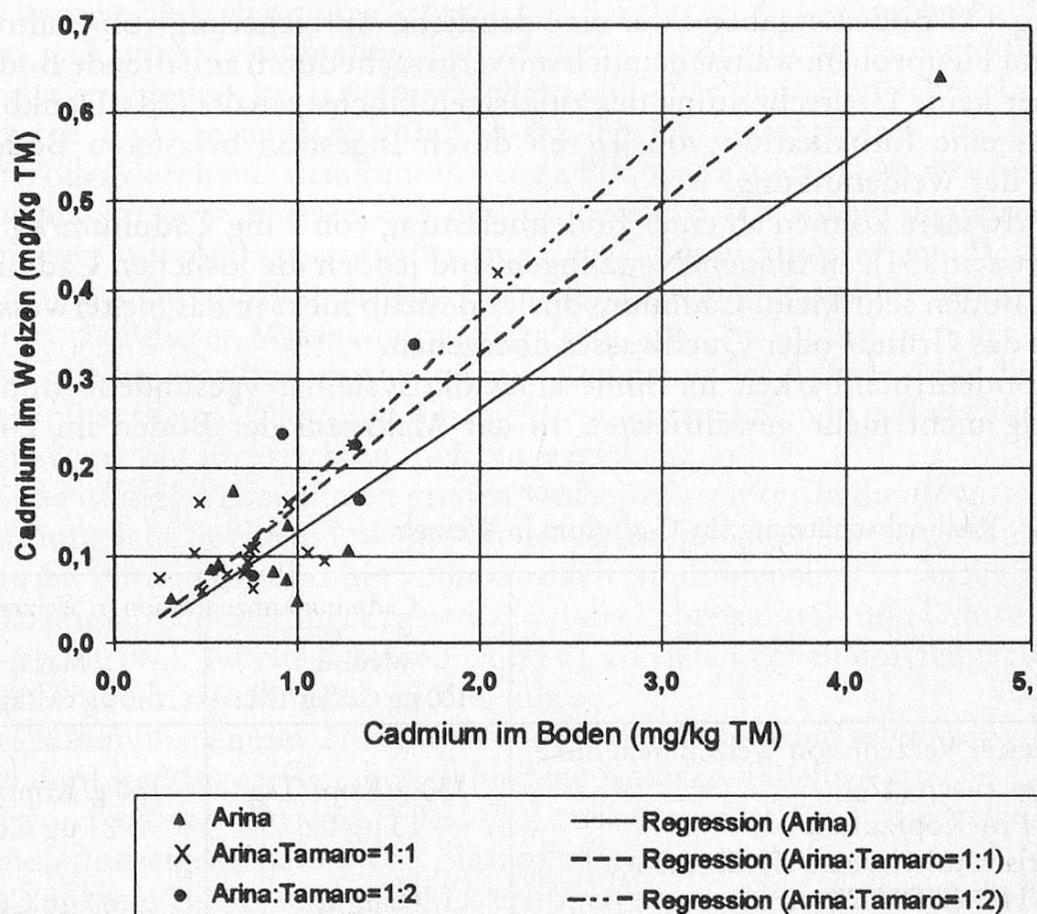


Abb. 3. Einfluss des Saatguts auf den Cadmiumgehalt

Risikoabschätzung

Eine Risikoabschätzung muss die Schutzgüter Mensch, Tier, Grundwasser und Ökosysteme (z. B. Boden, Vegetation) berücksichtigen.

Eine unmittelbare Gefährdung für den Menschen besteht mit den gemessenen Bodenbelastungen und der derzeitigen Nutzung nicht. Das Getreide von Blauen/Nenzlingen wird zu Sammelstellen gebracht und mit unbelastetem Getreide vermischt und verarbeitet. In den daraus hergestellten Produkten ist eine übermässige Cadmiumbelastung aus einzelnen Anbaugebieten nicht mehr erkennbar (12, 36). Die hohen Cadmiumgehalte werden somit «verdünnt». Sofortmassnahmen drängen sich somit nicht auf. Ohne die Vermischung an den Sammelstellen würde jedoch die von der FAO/WHO maximal tolerierbare Zufuhrmenge von 60 µg pro Person und Tag (1) beim Weizen im ungünstigsten Fall überschritten (siehe Modellrechnung in Tabelle 5).

Eine Gefährdung von Tieren durch Verwendung der Anbauprodukte als pflanzliche Futtermittel scheint ebenfalls nicht gegeben zu sein. Der gemäss eidgenössischer Futtermittelbuch-Verordnung (18) zulässige Höchstgehalt von 1 mg Cadmium/kg Futtermittel (mit 88% Trockenmasse) wurde in einer Silomaisprobe knapp zur Hälfte erreicht. In den übrigen untersuchten Mais- und Futtergetreideproben fanden sich deutlich tieferen Gehalte. Grasproben wurden keine untersucht. Frühere Abklärungen auf einer Belastungsparzelle mit Cadmiumtotalgehalten bis zu 10 mg/kg TM Boden ergaben zwar eine deutliche Anreicherung von Cadmium in Gras- und Heuproben, wahrscheinlich mitverursacht durch anhaftende Bodenpartikel, aber keine Überschreitung des zulässigen Höchstgehalts (28). Denkbar hingegen ist eine Intoxikation von Tieren durch Ingestion belasteten Bodens im Rahmen der Weidenutzung.

Grundwässer können ab einer Bodenbelastung von 2 mg Cadmium/kg Boden gefährdet sein (31). In Blauen/Nenzlingen sind jedoch die löslichen Cadmiumgehalte im Boden sehr klein. Cadmium dürfte deshalb nicht in das Sickerwasser und damit in das Grund- oder Quellwasser übergehen.

Die Bodenfruchtbarkeit im Sinne eines ökosystemar «gesunden» Bodens ist langfristig nicht mehr gewährleistet. In der Mehrzahl der Böden im Untersu-

Tabelle 5. Risikoabschätzung für Cadmium in Weizen

	Cadmiumkonzentration in Weizen	
	Median: 100 µg Cd/kg TM	Max.: 640 µg Cd/kg TM
angenäherter Verzehr von Weizenmehl ohne Teigwaren (nach (37))	130 g/Kopf/Tag 13 µg Cd	130 g/Kopf/Tag 83 µg Cd
tägliche Pro-Kopfzufuhr		
Provisorisch tolerierbare Zufuhrmenge FAO/WHO (PTWI-Wert)	60 µg Cd 22	60 µg Cd 138
% des PTWI-Wertes		

chungsgebiet wird der entsprechende Richtwert nach VSBo überschritten. Eines der daraus resultierenden Risiken ist der übermässige Transfer von Cadmium vom Boden in die Pflanzen.

Empfehlungen und Massnahmen

Die Böden und Pflanzen im Gebiet Blauen/Nenzlingen sind, vermutlich naturgegeben, teilweise übermässig mit Cadmium belastet. Die gesetzlichen Werte werden mehrfach überschritten. Obwohl in der derzeitigen Situation keine unmittelbare Gefährdung für Mensch und Umwelt besteht, sind aus langfristigen Bodenschutz- und Gesundheitsüberlegungen Massnahmen zu treffen. Damit sollen zwei Ziele erreicht werden: einerseits ist zu vermeiden, dass zusätzlich durch den Menschen Cadmium in die Böden eingetragen wird und sich dort anreichert, und andererseits muss sichergestellt sein, dass die produzierten Nahrungs- und Futtermittel eine gute Qualität aufweisen.

Ansatzpunkte für Massnahmen zur Erreichung der genannten zwei Ziele finden sich grundsätzlich sowohl boden- als auch pflanzenseitig und können im Rahmen der Bewirtschaftung umgesetzt werden.

Die bodenseitig wirksamste Massnahme wäre eine Sanierung der Böden mit erhöhten Cadmiumgehalten. Diese Massnahme ist hier unverhältnismässig, denn Böden lassen sich – wenn überhaupt – nur bei starker Belastung und auf kleinen Flächen und unter Inkaufnahme beträchtlicher ökologischer Auswirkungen auf den Boden sowie eines grossen finanziellen, zeitlichen und technischen Aufwandes etwa durch Bodenaustausch, durch in-situ-Extraktionsverfahren mit Komplexbildnern oder durch metallakkumulierende Pflanzen sanieren (38, 39). Die bodenseitigen Massnahmen müssen sich deshalb darauf beschränken, den zusätzlichen Eintrag von Cadmium zu vermeiden und den Cadmiumtransfer vom Boden in die Pflanzen möglichst geringzuhalten. Beispiele dafür finden sich in Tabelle 6 (Stufe 1). Der Vorteil dieser Massnahmen liegt darin, dass sie im Rahmen der üblichen Bewirtschaftung ergriffen werden können und damit der Aufwand für den Produzenten tragbar bleibt. Allerdings dürften diese Massnahmen in vielen Fällen alleine nicht genügen, die angestrebten Ziele zu erreichen.

Pflanzenseitige Massnahmen greifen wesentlich stärker in die Bewirtschaftung ein. Das mögliche Spektrum reicht von der Anpassung der Sortenwahl über einen vermehrten Futteranbau bis hin zu behördlich empfohlenen oder verfügbten weiteren Nutzungseinschränkungen, gestützt auf die Lebensmittel- und Umweltschutzgesetzgebung (vgl. Tabelle 6, Stufen 2 und 3). In vielen Fällen dürften letztlich nur pflanzenseitige Massnahmen zum Ziel führen.

Die Akkumulationseigenschaften von Nutzpflanzen sind schwierig zu bestimmen. In der Literatur existieren verschiedene Ansätze. Tabelle 7, welche die Einteilungen von Vollmer (43) und Pruess (30) zusammenfasst, soll Hinweise über die Akkumulationseigenschaften von Nutzpflanzen geben.

Die konkrete Umsetzung von Massnahmen ist im vorliegenden Fall wesentlich erschwert: Die Böden weisen grossräumig erhöhte Cadmiumgehalte auf, dies bei

Tabelle 6. Mögliche Massnahmen zur Reduktion des Cadmiumgehaltes in Nutzpflanzen

Stufe	Ziele	Mögliche Massnahmen	Träger	Gesetzliche Grundlagen	Bemerkungen
1	Vermeidung einer zusätzlichen anthropogenen Anreicherung von Cadmium im Boden Cadmiumtransfer in Futter-/Nahrungspflanzen bodenseitig minimieren	<ul style="list-style-type: none"> - Bedarfsgerechte Düngung - Marktüberwachung der Mineraldünger auf Cadmium (speziell Phosphordünger) - Stickstoff- und Spurenelementversorgung (Kupfer, Mangan, Zink) optimieren - Einsatz physiologisch saurer Mineraldünger minimieren (schwefelsaures Ammoniak, Harnstoff u. a.) bzw. mit zusätzlicher Kalkversorgung kompensieren - evtl. regelmässige Erhaltungskalkung (jährliche Gabe von < 5 dt/a CaO) oder ggf. einmalige Meliorationskalkung 	<p>Produzent Vollzugsbehörde</p> <p>Produzent</p> <p>Produzent</p>	→ USG mit StoV und VSBo (40, 41, 4)	Beratung der Produzenten ist sicherzustellen. Erfolg der Massnahmen ist ungewiss.
2	Cadmiumtransfer in Futter/ Nahrungspflanzen pflanzenseitig minimieren	<ul style="list-style-type: none"> - Bevorzugter Anbau schwach akkumulierender Arten und Sorten 	Produzent	→ LMG (42)	Beratung der Produzenten ist sicherzustellen. Wenig gesichertes Wissen über Akkumulationsverhalten verschiedener Sorten

Stufe	Ziele	Mögliche Massnahmen	Träger	Gesetzliche Grundlagen	Bemerkungen
3	Verhindern der Inverkehrsetzung belasteter Nahrungs- und Futtermittel	<ul style="list-style-type: none"> - Kontrolle des Cadmiumgehalts in Nahrungs-/Futterpflanzen - Bevorzugter Anbau von Futterpflanzen, bzw. Deklassierung von belasteten Nahrungs- pflanzen (Getreide) - Nutzungseinschränkung/-verbot - Marktüberwachung von Nahrungs-/Futterpflanzen auf Cadmium 	<p>Produzent gemäss Selbstkontrolle Produzent</p> <p>Produzent gemäss Empfehlung/ Verfügung der Vollzugsbehörde Vollzugsbehörde</p>	<p>→ LMG, FIV, USGrev., FMBV (42, 17, 40, 18)</p>	Betroffen sind primär Parzellen mit hohem Gehalt an Cadmium im Boden und/oder saurem pH-Wert.

Tabelle 7. Akkumulierungseigenschaften von Nutzpflanzen

Akkumulierungseigenschaft			
stark	mittel	schwach	keine
Blattgemüse, Lauch, Knollensellerie, Sonnenblumen, Weizen (z. B. Tamaro), Hafer, Silomais, Zuckerrübenblatt, Tabak	Kartoffel, Blumenkohl, Kohlrabi, Rettich, Weizen (z. B. Galaxie)	restliche Knollen- und Wurzelgemüse, Hülsenfrüchte, Gerste, Roggen, Körnermais, Raps, Gras	Beeren-, Kern-, Stein- und Hartschalenobst

gleichzeitig kleinräumig beträchtlicher Variabilität und der Cadmiumgehalt in den Nahrungs- und Futterpflanzen ist auf der Basis der Gehalte im Boden und den Bodeneigenschaften (z. B. pH-Wert) kaum prognostizierbar.

Unter Berücksichtigung dieser und der gesetzlichen Rahmenbedingungen sind zuhanden der landwirtschaftlichen Produzenten im Gebiet Blauen/Nenzlingen die folgenden Empfehlungen denkbar:

- Bedarfsgerecht düngen: Damit soll sichergestellt werden, dass nicht übermäßig Cadmium, das als Verunreinigung in verschiedenen Düngern (vor allem Phosphordünger) vorhanden sein kann, in die Böden eingebracht wird.
- Cadmiumtransfer vom Boden in die Pflanzen minimieren: Dies kann erreicht werden durch den Verzicht auf den Einsatz physiologisch saurer Mineraldünger, durch regelmässige Erhaltungskalkungen sowie durch die Optimierung der Versorgung mit Stickstoff und Spurenelementen (Cu, Mn, Zn).
- Anbau von Futterpflanzen: Insbesondere der Anbau von Futtergetreide sowie von Silo- und Körnermais ist nach heutigem Kenntnisstand unbedenklich. Die Gehalte an Cadmium in den Futterpflanzen sollen im Rahmen der Selbstkontrolle gegebenenfalls überprüft werden.
- Landwirtschaftlicher Anbau von Nahrungspflanzen:
 - Es sind generell Arten und Sorten (z. B. Weizen: Galaxie) mit geringer Aufnahme von Cadmium zu wählen (vgl. Tabelle 7).
 - Anbau auf Böden mit weniger als etwa 2 mg Cadmium/kg Boden: Der Gehalt an Cadmium in den Pflanzen ist im Rahmen der Selbstkontrolle regelmässig zu überprüfen.
 - Anbau auf Böden mit mehr als etwa 2 mg Cadmium/kg Boden: Es sollten nur schwach bis mittel akkumulierende Nahrungspflanzen angebaut werden. Der Gehalt an Cadmium in den Pflanzen ist im Rahmen der Selbstkontrolle regelmässig zu überprüfen.
- Nutzungsänderungen: Bei wesentlichen Nutzungsänderungen, wie Wechsel zu gewerbsmässigem Gemüseanbau, sind rechtzeitig sorgfältige Abklärungen bezüglich der möglichen Anreicherung von Cadmium in den Produkten vorzunehmen.

Dank

Die Autoren danken: den Landwirtinnen und Landwirten für die gute Zusammenarbeit, den Herren *H. Schaub* und *D. Schmutz* für die sorgfältige Durchführung der aufwendigen Feld- und Laborarbeiten sowie Herrn *Dr. H. Häni* (IUL, Liebefeld-Bern) und *Dr. B. Zimmerli* (BAG, Liebefeld-Bern) für die kritische Durchsicht des Manuskripts.

Zusammenfassung

Die Ergebnisse dieser Feldstudie zeigen, dass die Böden und das darauf angebaute Getreide eines grösseren Gebietes im Kanton Basel-Landschaft auffällige erhöhte Gehalte an Cadmium aufweisen. In rund 65% der untersuchten Bodenproben war der schweizerische Richtwert für den Totalgehalt von Cadmium im Boden (0,8 mg/kg) und in rund 40% des analysierten Getreides der schweizerische Toleranzwert für Cadmium in Getreide (0,1 mg/kg) überschritten. Ein unmittelbares Risiko für Mensch und Umwelt scheint aber nicht zu bestehen. Die Anreicherung von Cadmium in den Böden ist höchstwahrscheinlich durch die natürliche Gesteinsverwitterung und Bodenbildung bedingt. Es wurde deshalb ein Konzept mit Empfehlungen und Massnahmen ausgearbeitet, um einerseits eine zusätzliche anthropogene Anreicherung von Cadmium in den Böden zu vermeiden und um andererseits eine gute Qualität der landwirtschaftlich angebauten Nahrungs- und Futtermittel sicherzustellen. Als Grundlage dazu wurde das aktuelle Wissen über boden- und pflanzenspezifische Faktoren, welche die Cadmiumaufnahme der Pflanzen beeinflussen, zusammengefasst.

Résumé

Des concentrations surprenantes en cadmium ont été mesurées dans une grande partie des sols d'une région du canton de Bâle-Campagne ainsi que dans les céréales cultivées sur ces sols. Environ 65% des échantillons de sols analysés contenaient des concentrations supérieur à la valeur indicative suisse de 0,8 mg Cd/kg et 40% des échantillons de céréales dépassaient la valeur de tolérance de 0,1 mg Cd/kg pour les plantes fourragères. Malgré cela, il ne semble pas encore exister de risque aigu pour l'homme ou l'environnement. L'enrichissement en cadmium des sols résulte vraisemblablement de processus naturels liés à l'altération des roches et à la formation des sols. Un concept comprenant des recommandations et des mesures à prendre a été élaboré pour d'une part, éviter un enrichissement supplémentaire des sols en cadmium d'origine anthropique et d'autre part, assurer une bonne qualité des aliments et des fourrages produits par l'agriculture de cette région. Ce concept s'appuie sur les connaissances actuelles des facteurs pédologiques et physiologiques spécifiques influençant l'absorption du cadmium par les plantes.

Summary

The results of this field study show that in a large area of the Jurassic Part of Canton Basle-Land the soil as well as the grain (cereals) grown contain remarkably higher levels of cadmium content. In about 65% of the analysed soil samples, the Swiss standard value of 0.8 mg/kg was exceeded. Also, approximately 40% of the examined cereals were above the Swiss tolerance limit of 0.1 mg/kg. However, these seems to be no immediate risk to either human

beings or the environment. The cadmium concentration in the soil is most probably due to the natural soil formation and rock weathering. Based on the actual scientific knowledge of plant- and soil-specific factors which influence cadmium absorption by plants, a concept was established with recommendations and possible measures to be taken in order to avoid an additional anthropogenic accumulation of cadmium in the soil and to ensure a good quality of agricultural products and fodder.

Literatur

1. Joint FAO/WHO: Expert Committee on Food Additives (JECFA). Geneva, World Health Organisation 1989 (WHO Tech. Rep. Ser. No 776).
2. *Zimmerli, B., Bosshard, E. und Knutti, R.*: Nichtessentielle «toxische» Spurenelemente. In: Stähelin, H.B., Lüthy, J., Casabianca, A., Monnier, N., Müller, H.-R., Schutz, Y. und Sieber, R. (Hrsg.), Dritter Schweizerischer Ernährungsbericht, S. 149–162. Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, Bern 1991.
3. Amt für Umweltschutz und Energie des Kantons Basel-Landschaft: Schwermetalle in den Böden des Kantons Basel-Landschaft, S. 52–57. Liestal 1993.
4. Verordnung über Schadstoffe in Boden (VSBo), SR 814.01. Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, Bern 1986.
5. *Webster, R.*: Combining nested and linear sampling for determining the scale and form of spatial variation of regionalized variables. Ohio State University Press (Ed.). Geographical Analysis 18 (3), 227–242 (1986).
6. *Genolet, F. et Dubois, J.-P.*: Étude de la teneur en cadmium dans les sols de la région de Blauen-Nenzlingen. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, IATE-Pédologie und Amt für Umweltschutz und Energie, Lausanne et Liestal 1997.
7. Kantonales Laboratorium des Kantons Schaffhausen: Belastung der Böden im Kanton Schaffhausen mit Schwermetallen. Kantonales Bodenbeobachtungsnetz, KABO, Schaffhausen 1993.
8. Fachstelle Bodenschutz Kanton Zürich (Projektleitung), Niederer + Pozzi Büro für Wasserbau, Bodenschutz und Umwelttechnik (Projektbearbeitung): Cadmiumtransfer Boden-Nahrungspflanze, Schlussbericht März 1996. Zürich 1996.
9. *Tuchschmid, M.P.*: Quantifizierung und Regionalisierung von Schwermetall- und Fluor-gehalten bodenbildender Gesteine der Schweiz. Umweltmaterialien Nr. 32, BUWAL, Bern 1995.
10. Kantonales Laboratorium Basel-Landschaft: Jahresbericht 1994. In: Kantonaler Vollzug der Lebensmittelgesetzgebung. Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg. 86, 405–406 (1995).
11. Kantonales Laboratorium Basel-Landschaft: Jahresbericht 1994. In: Kantonaler Vollzug der Lebensmittelgesetzgebung. Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg. 87, 479–481 (1996).
12. *Knutti, R., Andrey, D., Beuggert, H., Erard, M., Guggisberg, H., Wirz, E. und Zimmerli, B.*: Monitoring-Programm «Schwermetalle in Lebensmitteln». III. Blei, Cadmium, Kupfer und Zink in Mahlprodukten (Mehl und Kleie). Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg. 80, 363–386 (1989).
13. BUWAL & FAC: Wegleitung für die Probenahme und Analyse von Schadstoffen im Boden. Bern 1987.
14. *Atteia, O., Dubois, J.-P. and Webster, R.*: Geostatistical analysis of soil contamination in the Swiss Jura. Environmental Pollution 87, 315–327 (1994).

15. *Martini, J. et Duret, J.-J.*: Etude du niveau de cendres volcaniques des sédiments post-glaciaires récents des environs de Genève. *Arch. Sci. Genève* **18**, 563–575 (1965).
16. *Meyer, K.*: Bodenverschmutzung in der Schweiz. Untersuchungen und ausgewählte Ergebnisse über die Stoffbelastung von Böden, Stand 1990. Themenbericht des Nationalen Forschungsprogramms «Boden»; Liebefeld-Bern 1991.
17. Verordnung über Fremd- und Inhaltsstoffe in Lebensmitteln (FIV), SR 817.021.23. Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, Bern 1995.
18. Verordnung des EDV über die Produktion und das Inverkehrbringen von Futtermitteln, Zusatzstoffen für die Tierernährung und Silierungszusätzen (FMBV), SR 916.307.1. Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, Bern 1995.
19. *Coullery, P.*: Gestion des sols faiblement pollués par le Cd, le Cu, le Ni, le Pb et le Zn. In: Coullery, P., Diserens, E., Neyroud, J.-A. et Quinche, J.-P., Documents environnement No 58, Sol, Sols S. 75–245. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP), Bern 1996.
20. *Knutti, R. und Zimmerli, B.*: Monitoring-Programm Schwermetalle in Lebensmitteln. I. Zielsetzung, Auswahl der zu bestimmenden Elemente und der zu untersuchenden Lebensmitteln, Anforderungen an die Analytik. *Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg.* **78**, 182–199 (1987).
21. *Jahn-Deesbach, W., Schipper, A. und Heck, H.*: Cadmium-Gehalte in Weizen in Abhängigkeit von Sorte und Umwelt. *Getreide, Mehl und Brot* **48**, 26–30 (1994).
22. *Lindt, T.-J., Fuhrer, J. und Stadelmann, F.X.*: Kriterien zur Beurteilung einiger Schadstoffgehalte von Nahrungs- und Futterpflanzen. Schriftenreihe der FAC, Nr. 8, S. 127, Liebefeld-Bern 1990.
23. *Diserens, E.*: Teneurs en cadmium dans les parties comestibles des plantes cultivées: une étude bibliographique. In: Coullery, P., Diserens, E., Neyroud, J.-A. et Quinche, J.-P., Documents environnement No 58, Sol, Sols S. 13–74. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP), Bern 1996.
24. *Hornburg, V.*: Untersuchungen zur Mobilität und Verfügbarkeit von Cadmium, Zink, Mangan, Blei und Kupfer in Böden. Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Hohen Landwirtschaftlichen Fakultät der Rheinischen-Wilhelms-Universität zu Bonn. Institut für Bodenkunde, Bonn 1991.
25. *Oberländer, H.-E., Piatti-Fünfkirchen, M. und Roth, K.*: Der Einfluss verschiedener Schwermetalle auf die Cadmiumaufnahme des Weizens. *Bodenkultur* **40**, 295–303 (1989).
26. *Eriksson, J.E.*: A field study on factors influencing Cd levels in soils and in grain of oats and winter wheat. *Water, Air and Soil Pollution* **53**, 69–81 (1990).
27. *Häni, H. und Gupta, S.*: Ein Vergleich verschiedener methodischer Ansätze zur Bestimmung mobiler Schwermetallfraktionen im Boden. In: Kick, H., Kirchgessner, M., Oslage, H.-J., Ruge, U., Schlichting, E. und Siegel, O. (Hrsg.), *Landwirtschaftliche Forschung, Kongressband 1980, Sonderheft 37*, S. 267–274. J.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main 1980.
28. Amt für Umweltschutz und Energie des Kantons Basel-Landschaft: Schwermetalle in Futterpflanzen von cadmiumbelasteten Landwirtschaftsböden. Interne Studie, Liestal 1994.
29. *Möncke, R., Klose, R. und Kurzer, J.*: Schwermetalltransfer auf Praxisschlägen und Schlussfolgerungen für die landwirtschaftliche Abfallverwertung – dargestellt am Beispiel Cd und Pb. *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft* **80**, 77–79 (1996).
30. *Pruess, A.*: Vorsorgewerte und Prüfwerte für mobile (NH_4NO_3 -extrahierbare) Spurenelemente in Mineralböden. In: Kreysa, G. und Wiesner, J. (Hrsg.), *Entscheidungshilfen*

- zur Beurteilung von Arsen, Blei und Cadmium in Böden von Ballungsgebieten; Resümee der DECHEMA-Arbeitsgruppe Bewertung von Gefährdungspotentialen im Bodenschutz, S. 415–468. DECHEMA, Frankfurt am Main 1994.
31. Eikmann, T. und Kloke, A.: Ableitungskriterien für die EIKMANN-KLOKE-Werte. In: Kreysa, G. und Wiesner, J. (Hrsg.), Entscheidungshilfen zur Beurteilung von Arsen, Blei und Cadmium in Böden von Ballungsgebieten, Resümee der DECHEMA-Arbeitsgruppe Bewertung von Gefährdungspotentialen im Bodenschutz, S. 469–500. DECHEMA, Frankfurt am Main 1994.
 32. Schipper, A. und Jahn-Deesbach, W.: Cadmium-Gehalte verschiedener Winterweizen-Genotypen. Getreide, Mehl und Brot 49, 335–337 (1995).
 33. Quinche, J.-P.: Le cadmium des grains de céréales cultivées en Suisse romande et au Tessin. Revue suisse Agric. 27, 23–27 (1995).
 34. Pepper, I.L., Bezdicek, D.F., Baker, A.S. and Sims, J.M.: Silage corn uptake of sludge-applied zinc and cadmium as affected by soil pH. J. Environ. Qual. 12, 270–275 (1983).
 35. Hinesly, T.D., Alexander, D.E. and Barrett, G.L.: Zinc and Cd accumulation by corn inbreds grown on sludge amended soil. Agronomy J. 70, 425–428 (1978).
 36. Wenk, P., Schaub, H. und Stutz, W.: Monitoring-Programm «Schwermetalle in Lebensmitteln». V. Blei, Cadmium, Kupfer und Zink in Brot. Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg. 83, 55–70 (1992).
 37. Erard, M. und Sieber, R.: Verbrauch und angenäherter Verzehr von Lebensmitteln in der Schweiz. In: Stähelin, H.B., Lüthy, J., Casabianca, A., Monnier, N., Müller, H.-R., Schutz, Y. und Sieber, R. (Hrsg.), Dritter Schweizerischer Ernährungsbericht, S. 31–40. Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, Bern 1991.
 38. Fischer, K., Bipp, H.P., Riemschneider, P., Bieniek, D. und Kettrup, A.: Dekontamination schwermetallbelasteter Böden mit organischen Komplexbildern biogenen Ursprungs (z. B. Aminosäuren, Hydroxycarbon- und Zuckersäuren). In: Kreysa, G. und Wiesner, J. (Hrsg.), In-situ-Sanierung von Böden, Resümee und Beiträge des 11. DECHEMA-Fachgesprächs Umweltschutz, S. 277–288. DECHEMA, Frankfurt am Main 1996.
 39. MBT Umwelttechnik AG: Einsatz von metallakkumulierenden Kulturpflanzen zur in-situ-Dekontamination schwermetallbelasteter Böden. Internes Arbeitspapier für Amt für Umweltschutz und Energie des Kantons Basel-Landschaft, Münchenstein 1994.
 40. Bundesgesetz über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz, USG, revidiert 1995), SR 101. Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, Bern 1985.
 41. Verordnung über umweltgefährdende Stoffe (Stoffverordnung, StoV, revidiert 1992), SR 814.013. Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, Bern 1986.
 42. Bundesgesetz über Lebensmittel und Gebrauchsgegenstände (Lebensmittelgesetz, LMG), SR 817.0. Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, Bern 1992.
 43. Vollmer, K. M.: Konzept zur Risikobeurteilung chemisch-stofflicher Bodenbelastung in der Schweiz, unveröffentlicht.

Dr. Peter Wenk
 Kantonales Laboratorium BL
 Postfach
 CH-4414 Füllinsdorf