

Zeitschrift: Mitteilungen aus Lebensmitteluntersuchungen und Hygiene = Travaux de chimie alimentaire et d'hygiène
Herausgeber: Bundesamt für Gesundheit
Band: 95 (2004)
Heft: 5

Artikel: Langfristiges Monitoring von Cadmium in Böden und Weizen in Blauen/Nenzlingen, Basel-Landschaft
Autor: Meer, Markus van der / Bono, Roland / Fankhauser, Iwan
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-981831>

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>

Langfristiges Monitoring von Cadmium in Böden und Weizen in Blauen/Nenzlingen, Basel-Landschaft

Markus van der Meer¹; Roland Bono¹; Iwan Fankhauser²; Daniel Schmutz¹; Pascal Simon³; Peter Wenk²

¹Amt für Umweltschutz und Energie BL, Liestal

²Kantonales Laboratorium, Liestal

³Landwirtschaftliches Zentrum Ebenrain, Sissach

Eingegangen 17. Juni 2004, angenommen 2. September 2004

Einleitung

Cadmium kann in Böden natürlich oder anthropogen vorkommen. Aufgrund seiner potentiellen Toxizität für den Menschen unterliegt der Konsum von cadmiumbelasteten Lebensmitteln weltweit strengen Richtlinien. In der Schweiz sind diese durch die Umweltschutz- und Lebensmittelgesetzgebung geregelt [Verordnung über Belastungen des Bodens: *VBBö* (1); Verordnung über Fremd- und Inhaltsstoffe in Lebensmitteln, Fremd- und Inhaltsstoffverordnung: *FIV* (2)]. Umfassende Zusammenstellungen zum Cadmium und seiner Pflanzenverfügbarkeit finden sich in *Alloway* (3) und *Merian* (4). Im Folgenden meint «Weizen» beziehungsweise «Getreide» immer die Körner der Pflanze. Untersucht wird Brotweizen.

Ab Mitte der 1980er Jahre ist weltweit die zum Teil starke anthropogene oder naturbürtige Cadmiumbelastung der Böden bestimmter Anbauggebiete – und damit des auf ihnen gezogenen Getreides – in den Blickpunkt wissenschaftlichen und öffentlichen Interesses geraten (5). Dies zog Untersuchungen zur Anreicherung des Cadmiums in der Nahrungskette nach sich, zum Beispiel in Kanada (6), Frankreich (7, 8), Österreich (9, 10, 11), Deutschland (12) und den USA (25, 26). Auch in der Schweiz wurden seit Mitte der 1980er Jahre Schwermetallgehalte der Böden ermittelt (5, 13) und Transportmechanismen in der Pflanze untersucht (14, 15).

Immer wichtiger wurde die Einsicht, dass es nicht genügt, Spezies zu vergleichen, sondern innerhalb einer Spezies auch die diversen Sorten. Der Begriff «Sorte» beschreibt die Unterart einer domestizierten Spezies. Sorten weisen einen von der

ursprünglichen Wildform zum Teil sehr weit abweichenden Phänotyp auf, mit dem auch eine Änderung des Genotyps einhergeht. Dies hat zur Folge, dass unterschiedliche Sorten einer gleichen Pflanzenart unterschiedlich auf Umwelteinflüsse reagieren. Der Mensch macht sich diese Anpassungsfähigkeit der Pflanzen zunutze, indem er ertragreichere Sorten züchtet. In der Schweiz wird die Züchtung neuer Getreidesorten an den Landwirtschaftlichen Forschungsanstalten in Changins und Zürich-Reckenholz und von verschiedenen Saatgutproduzenten erforscht. Hauptziele der Zucht sind Steigerung der Qualität (Eiweissgehalt, Gehalt hochwertiger Gluteinproteine, Fallzahl, usw.), der Resistenz gegenüber Krankheiten, Witterung o.ä. und des Ertrags (16). Oftmals werden dabei unerwünschte Nebeneffekte übersehen, zum Beispiel die Fähigkeit, mit unterschiedlichen Akkumulations- und Transferraten Schwermetalle anzureichern. Die heute in der Schweiz gebräuchlichsten Weizensorten sind: Arina, Galaxie, Runal, Titlis und Greina (16). Die Forschung nach wenig Cadmium akkumulierenden Weizensorten liegt auch im wirtschaftlichen Interesse, da viele Weizen produzierende Länder auf zwar Cadmium belasteten aber landwirtschaftlich wertvollen Böden Getreide erzeugen, wie beispielsweise Kanada (28).

Bislang gibt es dazu noch kaum Ergebnisse aufgrund gross angelegter, und vor allem langfristiger Untersuchungen auf Böden mit besonders hohen Cadmiumgehalten. Forschungen zu Aufnahme und Transport des Cadmiums in der Pflanze sind meist Laborversuche (14, 17, 27). Diese Untersuchungen sind statistisch meistens nicht aussagekräftig, da sie auf geringen Probenzahlen [(18): $n=5-13$ pro Sorte; (10): $n=4$ pro Sorte] oder Gefässversuchen (2) beruhen. Sie können somit auch nicht in Anbauempfehlungen münden.

1994/95 wurden erhöhte Cadmium-Werte in zwei Getreideproben des Gebietes Blauen-Nenzlingen festgestellt (19, 20). Daraufhin erfolgten 1996 und 1998 zwei grossflächige Erhebungen zur Akkumulation von Cadmium in Brotweizen, deren Ergebnisse in *Genolet & Dubois* (20), *Wenk et al.* (19) und *Frossard et al.* (18) veröffentlicht wurden. 2003 erfolgte eine dritte Beprobung, die im vorliegenden Bericht besprochen wird.

Aus den oben aufgeführten Arbeiten ergibt sich eine Reihe neuer Fragestellungen:

- Wie reihen sich die Ergebnisse des langfristigen Monitorings von Blauen-Nenzlingen in die heutige Forschung ein?
- Entsprechen die anlässlich der Untersuchung des Cadmiumtransfers vom Boden ins Getreide 1996 und 2003 gemessenen Cadmium-Totalgehalte des Bodens, den von *Genolet & Dubois* (20) prognostizierten?
- Lassen sich Zusammenhänge zwischen einzelnen Bodenparametern und dem Cadmiumgehalt des Weizens feststellen?
- Welche Resultate ergibt der Sortenvergleich bezüglich der Akkumulation, wenn die Ergebnisse aller Untersuchungen zusammen ausgewertet werden?
- Welche Empfehlungen können den Landwirten gegeben werden?

Material und Methoden

Gesetzgebung in der Schweiz

Die schweizerische Gesetzgebung regelt den qualitativen Schutz der Böden in der Verordnung über Belastungen des Bodens (1). Verschiedene Werte instrumentalisieren den Umgang mit belasteten Böden (Tab. 1). Die Bodenfruchtbarkeit – im Sinne der Multifunktionalität und der Regenerationsfähigkeit des Bodens – ist bei Belastung unterhalb des Richtwertes langfristig gewährleistet und die Nutzung uneingeschränkt möglich. Bei Belastungen zwischen dem Richt- und dem Prüfwert ist die Bodenfruchtbarkeit beeinträchtigt, es besteht aber noch keine Nutzungsgefährdung. Oberhalb des Prüfwertes ist eine Nutzungsgefährdung möglich; es muss geprüft werden, welche Nutzungen möglich sind. Oberhalb des Sanierungswertes ist die Nutzungsgefährdung gegeben (21); es gilt ein Nutzungsverbot und unter bestimmten Bedingungen eine Sanierungspflicht.

Tabelle 1

Gesetzliche Werte für Cadmium in Boden und Weizen (in mg/kg TM). Der Grenzwert wurde von Frisch- zu Trockenmasse umgerechnet.

Valeurs légales pour le cadmium dans le sol et le blé (en mg/kg MS);

Legal values for cadmium in soil and wheat (in mg/kg DM)

1: VBB0; 2: FIV

	<i>Cdt (mg/kg TM)</i> <i>Cd Totalgehalt</i> <i>des Bodens</i> Valeur totale en Cd du sol Soil's total Cd content	<i>Cdl (mg/kg TM)</i> <i>Löslicher Cd Gehalt</i> <i>des Bodens</i> Valeur soluble en Cd du sol Soil's soluble Cd content	<i>Cdw (mg/kg TM)</i> <i>Cd Gehalt des</i> <i>Weizens</i> Teneur en Cd du blé Wheat's Cd content
RW: Richtwert ¹ <i>valeur indicative</i> <i>guide level</i>	0,8	0,02	–
PW: Prüfwert ¹ <i>seuil d'investigation</i> <i>investigation limit</i>	2,0	0,02	–
SW: Sanierungswert ¹ <i>seuil d'assainissement</i> <i>sanitation level</i>	30	0,1	–
GW: Grenzwert ² <i>valeur limite</i> <i>boarder value</i>	–	–	0,23

Die zulässige Belastung der Lebensmittel wird in der Verordnung über Fremd- und Inhaltsstoffe in Lebensmitteln (2) mit Toleranz- und Grenzwerten geregelt. Wird ein Toleranzwert überschritten, ist das Lebensmittel verunreinigt oder sonst

im Wert beeinträchtigt. Liegt die Belastung über dem Grenzwert, ist das Produkt nicht mehr für die menschliche Ernährung geeignet und muss als Futtermittel verwendet oder vernichtet werden. Die FIV (2) wurde im März 2002 revidiert: Per 01.05.2002 wurde der Grenzwert für Cadmium in Weizen von 0,3 auf 0,2 mg Cd/kg FM gesenkt, der Toleranzwert aufgehoben. Unter der Annahme, dass frische Getreidekörner 15 % Feuchte enthalten, wird für den Vergleich der auf Trockenmasse berechneten Resultate ein um 15 % höherer Grenzwert von 0,23 mg Cd/kg TM verwendet.

Beprobung und Probenaufbereitung

2003 wurden 44 Weizen- und Bodenproben auf jeweils ca. 12 m² genommen: Vom Boden wurden mit einem 30 mm Stechbohrer zwölf Einzelproben aus 0–20 cm Tiefe zu einer Mischprobe vereinigt; vom Weizen wurde ca. 1 kg Ähren entnommen. Die Probenahme erfolgte in mindestens 10 m Abstand vom Wegrand; mit einer Ausnahme handelt es sich hierbei um unversiegelte Feldwege. Die Bodenproben wurden luftgetrocknet, gemörsert (*zerstampft*), auf <2 mm gesiebt, von Skelett- und Pflanzenanteilen befreit und bei 40 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Die Totalgehalte des Cadmiums und anderer Schwermetalle wurde mittels ICP-OES bestimmt (Perkin Elmer 4100 DV). Die Messung der löslichen Cadmiumgehalte erfolgte mittels einem elektrothermischen Atomabsorptionsspektrometer (Perkin Elmer 4100 ZL). Der pH wurde in einer CaCl₂-Lösung potentiometrisch mittels kombinierter Glaselektrode gemessen.

Die entspelzten Körnerproben wurden gemahlen, in Quarzgefäßen mit HNO₃ und H₂O₂ unter Hochdruck aufgeschlossen und mittels ICP-MS gemessen (Perkin-Elmer Elan 6100). Zur Qualitätssicherung des Analyseverfahrens wurden ISE-Ringversuchsproben mitaufgeschlossen und gemessen, sowie einige Proben doppelt aufgeschlossen und gemessen. Die früheren Beprobungen und Probenaufbereitungen sind ausführlich geschildert in *Wenk et al.* (19) und *Frossard et al.* (18).

Die Beprobungen der Jahre 1996 und 2003 wurden in Zusammenarbeit mit den betroffenen Landwirten durchgeführt. Die Proben stellen einen Ausschnitt der im Untersuchungsgebiet tatsächlich angebauten Weizensorten dar (Tab. 2). 1998 wurden die Proben im Rahmen eines Anbauversuches auf speziell ausgesuchten Flächen gezogen. Die Gesamtzahl der Probenpaare (Boden/Weizen) beläuft sich auf 143.

Bei den Proben aus der Getreideannahmestelle handelt es sich um Mischproben aus Einzelkörnern, welche bei der Umschüttung vom Erntewagen des Landwirtes ins Zwischenlager kontinuierlich mengenproportional entnommen wurden. Sie widerspiegeln den durchschnittlichen Cadmiumgehalt eines oder mehrerer Felder. Dementsprechend können diesen Proben keine präzisen Bodendaten zugeordnet werden.

Tabelle 2

Anzahl der Probenpaare (Boden/Weizen) der in den verschiedenen Beprobungsjahren untersuchten Weizensorten

Nombre des paires d'échantillons (sol/blé) des variétés de blé prises durant les différentes années d'échantillonnage

Number of sampling pairs (soil/wheat) of the wheat breeds taken in the different sampling years

Weizensorte	1996	1998	2003	nTot
Titlis	–	13	20	33
Arina	12	5	6	23
Arina & Tamaro (1:1)	18	–	–	18
Lona	1	9	5	15
Greina	1	–	8	9
Runal	–	9	–	9
Tamaro	–	9	–	9
Arina & Tamaro (1:2)	6	–	–	6
Boval	–	5	–	5
Danis	–	5	–	5
Galaxie	–	5	–	5
Titlis & Greina	–	–	2	2
Titlis & Runal	–	–	2	2
Arbola	1	–	–	1
unbekannt	–	–	1	1

Resultate

Resultate 2003

Von den 44 untersuchten Bodenproben weisen 21 *Cadmium-Totalgehalte* (Cdt) unterhalb des Richtwertes auf (Abb. 1a). Weitere 20 liegen zwischen diesem und dem Prüfwert. Lediglich drei Proben übersteigen letzteren (2,1; 2,27; 2,72 mg Cdt/kg TM Boden).

Die im Jahr 2003 beprobten *Weizensorten* sind: Titlis, Greina, Arina und Lona; hinzu kommen ein Titlis/Greina und ein Titlis/Runal Gemisch sowie eine nicht eruierte Weizensorte (Tab. 2). Von den insgesamt 44 Proben liegen 29 unter dem halben Grenzwert (früherer Toleranzwert), 13 zwischen diesem und dem Grenzwert und zwei über dem Grenzwert. Titlis weist eine weite Streuung über alle Werte auf. Diese ist auch bei den anderen Sorten angedeutet, aber aufgrund der geringeren Probenzahl nicht sehr deutlich.

Alle Weizenproben, die auf Böden mit einem Cdt unterhalb des Prüfwertes gezogen wurden, weisen keine Überschreitung des Grenzwertes auf. Beide über dem Grenzwert liegenden Weizenproben, weisen einen Cdt im Boden über dem Prüfwert auf (Abb. 1a).

Bezüglich der *löslichen Cadmiumgehalte* (Cdl) liegen lediglich 11 der 44 Bodenproben oberhalb der Bestimmungsgrenze von 0,002 mg/kg TM (Abb. 2). Für die Darstellung in Abbildung 1 wurde den nicht bestimmbar Proben ein fiktiver Wert von 0,001 zugeordnet.

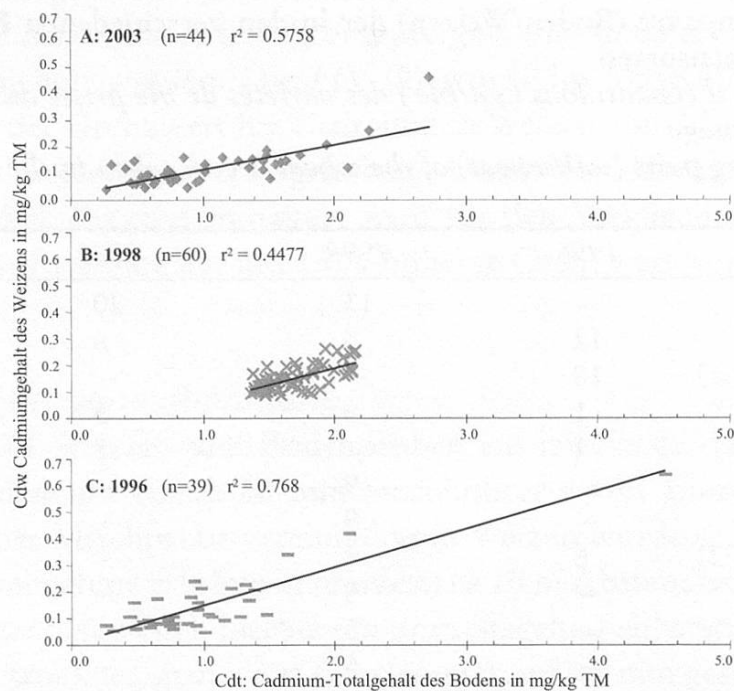


Abbildung 1 Cadmiumgehalt des Weizens in Abhängigkeit des Cadmium-Totalgehaltes des Bodens.

Teneur en Cd du blé en dépendance de la teneur totale en cadmium du sol.

Cd content of the wheat in dependance of the soil's total cadmium content.

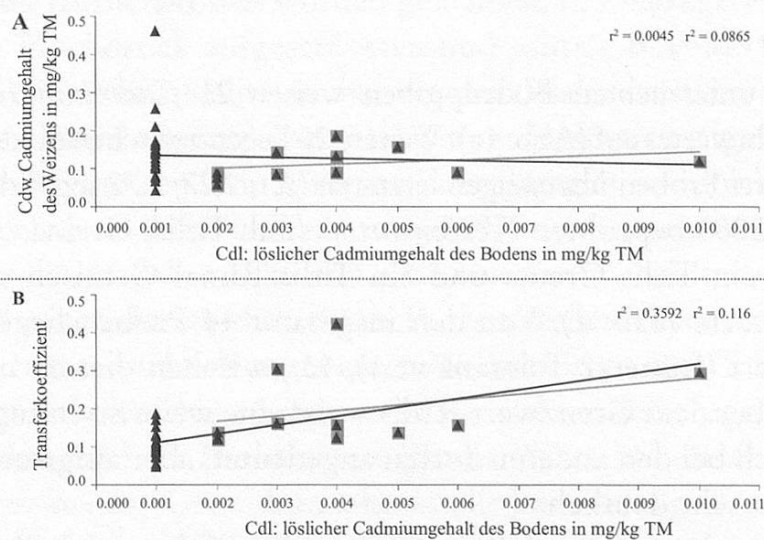


Abbildung 2 Einfluss des löslichen Cadmiumgehaltes des Bodens auf A: den Cadmiumgehalt im Weizen und B: den Transferkoeffizienten (nur Beprobung 2003); grau: nur Proben mit >0,002 mg Cd/kg TM, schwarz: alle.

Influence de la teneur en Cd soluble des sols sur A: la teneur en Cd du blé et B: le coefficient de transfert. gris: seulement échantillons avec >0,002 mg Cd/kg TM, noir: tous.

Influence of the soil's soluble Cd on A: the Cd content of wheat and B: the transfercoefficient. grey: only samples with >0,002 mg Cd/kg TM, black: all.

Bei der Korrelation der löslichen Cadmiumgehalte des Bodens mit den Cadmiumgehalten des Weizens (Cdw) (Abb. 2a) weist die lineare Regression für die bestimmbareren Cdl Proben eine leichte Übereinstimmung steigender Cdl- und steigender Cdw-Gehalte aus. Werden jedoch die nicht bestimmbareren Proben hinzugezogen, wird deutlich, dass kein Zusammenhang zwischen Cdl- und Cdw-Gehalten herzustellen ist. Die beiden Standorte mit Weizenproben, deren Cadmiumgehalt über dem Grenzwert liegt, einen nicht bestimmbareren Cdl-Gehalt aufweisen.

Dasselbe gilt für die Korrelation der Cdl mit dem Transferkoeffizienten (Abb. 2b). Der Transferkoeffizient ist ein indexierter Wert des Verhältnisses des Schwermetallgehaltes in der Pflanze und dem Schwermetallgehalt im Boden eines Probenpaares (Verhältnis Cdw/Cdt), der bei ähnlichem Cdt des Bodens und ähnlichen Umweltbedingungen als Mass für das Anreicherungsvermögen in der Pflanze betrachtet werden kann (18). Obwohl die Steigung der linearen Regression einen Zusammenhang andeutet, ist aus der Darstellung deutlich ersichtlich, dass die höchsten Transferkoeffizienten nicht bei den höchsten Cdl-Gehalten liegen.

Resultate 1996 bis 2003

Abbildung 1 zeigt die Probenpaare aller Beprobungsjahre. 1998 sind alle Weizenproben im Rahmen eines Anbauversuches auf Böden gezogen worden, die zwischen 1,4 und 2,2 mg Cdt/kg TM aufweisen. Die Daten weisen auf eine lineare Abhängigkeit hin, doch r^2 bleibt $<0,5$. Die Probenpaare der Jahre 1996 und 2003 hingegen weisen eine breite Streuung des Cadmium-Totalgehaltes im Boden auf. Die lineare Regression ($r^2 > 0,5$) weist auf eine Abhängigkeit des Cdw vom Cdt hin.

In Abbildung 3 sind die Probenpaare aller drei Jahre zusammen dargestellt. Optisch ist in der Punktwolke eine Zunahme des Cdw bei steigendem Cdt wahrnehmbar. Bei einzelnen Cdt können jedoch ganz unterschiedliche Cdw auftreten. Ab 1,6 mg Cdt/kg TM Boden finden sich Weizenproben mit Grenzwertüberschreitungen. Bis 2,0 mg Cdt/kg TM Boden bleiben sie jedoch die Ausnahme. Ab 2,0 mg Cdt/kg TM Boden ist eine deutliche Zunahme der Grenzwertüberschreitungen im Weizen festzustellen. Dabei gilt: a) Weizenproben überschreiten den Grenzwert nie auf Böden, deren Cdt unter dem Richtwert liegt; b) Drei der Weizenproben überschreiten den Grenzwert auf Böden, deren Cdt zwischen dem Richtwert und dem Prüfwert liegt; c) Von den 13 Weizenproben auf Böden, deren Cdt knapp über dem Prüfwert liegt, überschreiten sechs den Grenzwert nicht, sechs weitere knapp und eine deutlich; d) Weizenproben überschreiten den Grenzwert deutlich auf Böden, deren Cdt deutlich über dem Prüfwert liegt.

Rechts in Abbildung 3 sind die in der Getreideannahmestelle 1998 und 2003 gezogenen Proben dargestellt. Da diese Mischproben gesamte Felder repräsentieren, kann ihnen kein Cadmium-Totalgehalt im Boden zugeordnet werden. 1998 liegt eine Weizenprobe mit 0,326 mg Cdw/kg TM deutlich über dem heute zulässigen Grenzwert, allerdings unter dem bis 2002 gültigen Grenzwert von 0,345 mg Cdw/kg TM. 2003 weist eine Probe den gemessenen Cd-Gehalt von genau 0,230 mg Cdw/kg TM auf. In beiden Fällen handelt es sich um die Sorte Titlis.

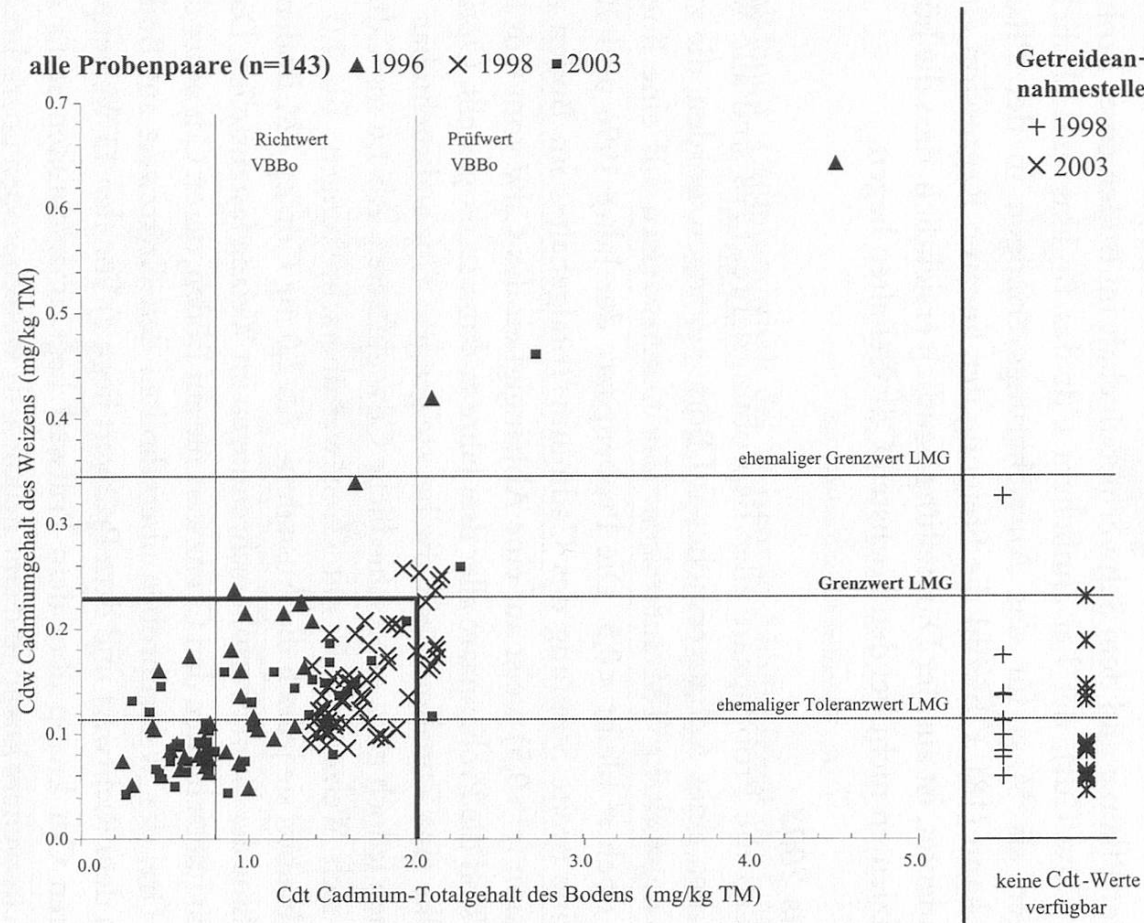


Abbildung 3 Cadmiumgehalt des Weizens in Abhängigkeit des Cadmium-Totalgehaltes des Bodens. Darstellung aller Proben der Beprobungsjahre 1996, 1998 und 2003; LMG: Lebensmittelgesetzgebung [FIV (2)], VBBö (1); Die Grenzwerte beziehen sich auf die Trockenmasse. Das Bestimmtheitsmass der Regressionsberechnungen beträgt: nicht linear: $r^2=0,61$; linear: $r^2=0,51$

Teneur en Cd du blé en dépendance de la teneur totale en cadmium du sol de toutes les paires d'échantillons.

Cd content of the wheat in dependance of the soil's total cadmium content of all sampling pairs.

Abbildung 4 vergleicht die Cadmiumgehalte des Weizens (C_{dw}) und die Cadmium-Totalgehalte des Bodens (C_{dt}) jedes Probenpaares. Sie sind nach Sorte und von oben nach unten abnehmender Probenzahl (n) dargestellt. Auf die Darstellung der Gemische und der Sorten mit $n < 9$ wird verzichtet. Es zeigt sich:

1. Die C_{dt} -Gehalte der Böden, auf denen die verschiedenen Weizensorten gepflanzt wurden, sind sehr unterschiedlich.
So wurde Greina hauptsächlich auf Böden unterhalb des Richtwertes beprobt. Titlis und Arina weisen die beste Verteilung auf, obwohl ein Überwiegen der C_{dt} zwischen Richt- und Prüfwert festzustellen ist. Auch Runal, Tamaro, Lona und die übrigen Sorten wurden hauptsächlich auf Böden beprobt, die zwischen Richt- und Prüfwert liegen.
2. Der in der jeweiligen Punktwolke angedeutete Anstieg des C_{dw} bei steigendem C_{dt} wird durch die lineare Regression verdeutlicht. Obwohl die Aufschlüsselung nach Sorten unterschiedliche Resultate liefert, weist die lineare Regression vor allem bei Arina, Lona, Runal und Tamaro mit $r^2 > 0,5$ auf eine starke Abhängigkeit des C_{dw} vom C_{dt} hin. Diese lineare Abhängigkeit wird auch bei Betrachtung aller Probenpaare (Abb. 3) deutlich.

Abbildung 5 stellt die Transferkoeffizienten (C_{dw} geteilt durch C_{dt}) der Weizensorten dar. Bei den Sorten mit geringer Probenzahl – ausgenommen Greina – liegen die Minimal- nahe bei den Maximalwerten, während die Sorten mit hoher Probenzahl grössere Unterschiede aufweisen. Die Maximalwerte liegen oft ein Vielfaches über den Mittelwerten. Der Einfluss der Probenanzahl pro Sorte beeinträchtigt so die Vergleichbarkeit. Um Extremwerte einerseits darstellen, andererseits aber auch abgrenzen zu können, wurden für die Sorten mit den höchsten Extremwerten – Titlis und Greina – sowohl die Gesamtzahl der Proben dargestellt als auch der 80%-Bereich (höchste und niedrigste Werte entfernt). Der Transferkoeffizient schwankt zwischen 0,077 für Danis und 0,124 für Arina.

Der Zusammenhang zwischen dem Bodenreaktionszustand (pH) und dem Transferkoeffizienten ist in Abbildung 6 dargestellt. In den verschiedenen Reaktionszuständen befindet sich eine unterschiedliche Anzahl Probenpaare: Es überwiegen Proben aus dem sehr schwach alkalischen und dem sehr schwach sauren Zustand. Um den Einfluss dieser Unterschiede zu eliminieren, wird in Abbildung 6b der gemittelte Transferkoeffizient pro Reaktionszustand dargestellt. In beiden Abbildungen wird das in der Punktwolke optisch angedeutete Gefälle, von hohen zu niedrigen Transferkoeffizienten bei steigendem pH, durch die Kurve der nicht linearen Regression verdeutlicht. Alle Proben mit Transferkoeffizient $< 0,1$ weisen einen $pH > 6$ auf. Der Grossteil der Proben mit Transferkoeffizient $0,1 < x < 0,3$ liegt über $pH\ 6$ (82 %); nur wenige (18 %) liegen unter $pH\ 6$. Alle Proben mit Transferkoeffizient $> 0,3$ weisen einen $pH < 5,5$ auf.

Der Vergleich der Bodenproben der Jahre 1996 und 2003 mit der mittels Kriging [geostatistisches Interpolationsverfahren (29, 30)] von *Genolet & Dubois* (20) erstellten Karte «Estimation des concentrations en Cadmium par krigeage ordinaire

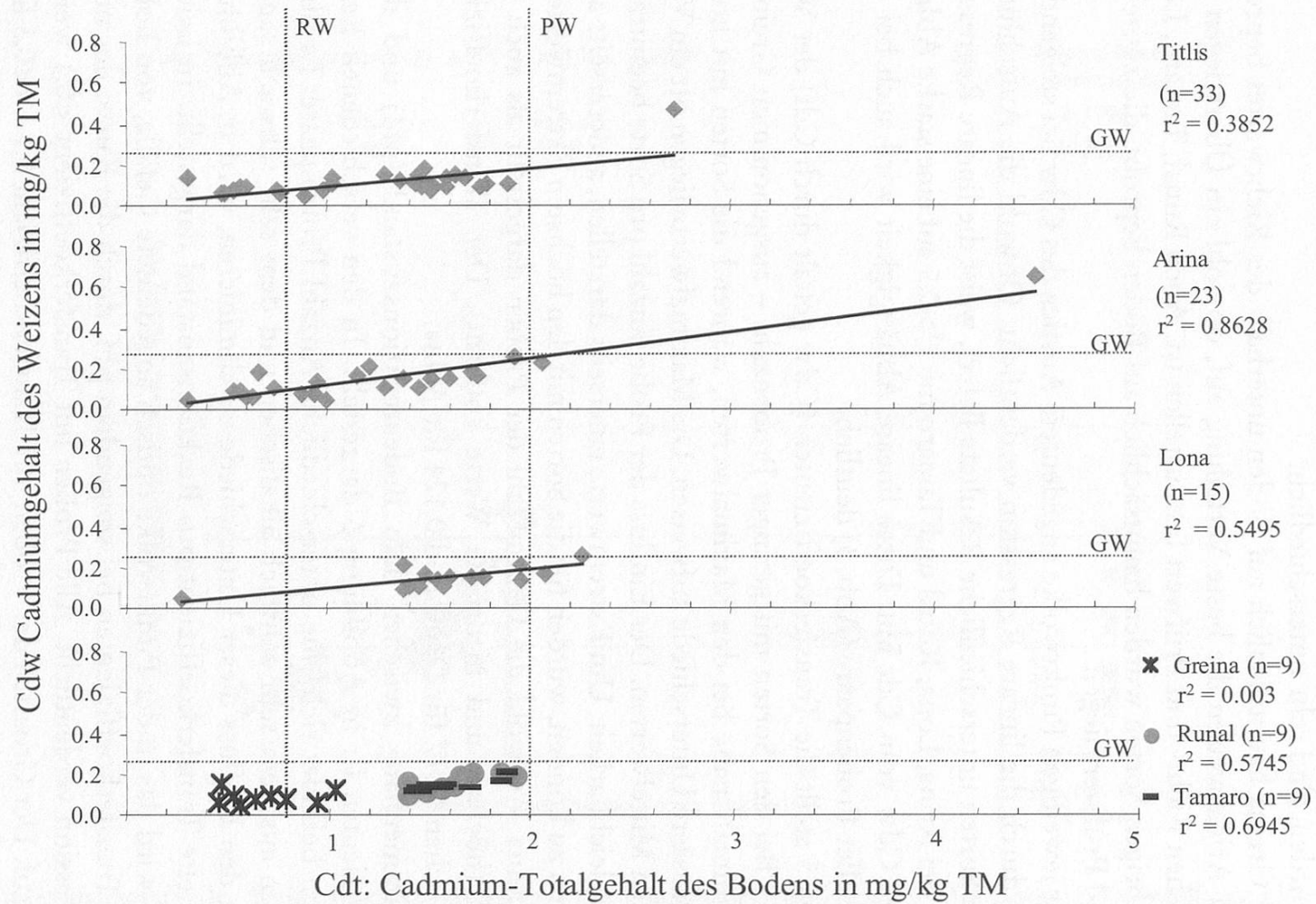


Abbildung 4 Cadmiumgehalte des Getreides in Abhängigkeit der Cadmium-Totalgehalte (Cdt) des Bodens, nach Sorte gegliedert, nach Richt-, Prüf- und Grenzwert segmentiert.

Teneur en Cd du blé en dépendance de la teneur totale en cadmium du sol, ordonnée par variété de blé.

Cd content of the wheat in dependance of the soil's total cadmium content, ordred by wheat breed.

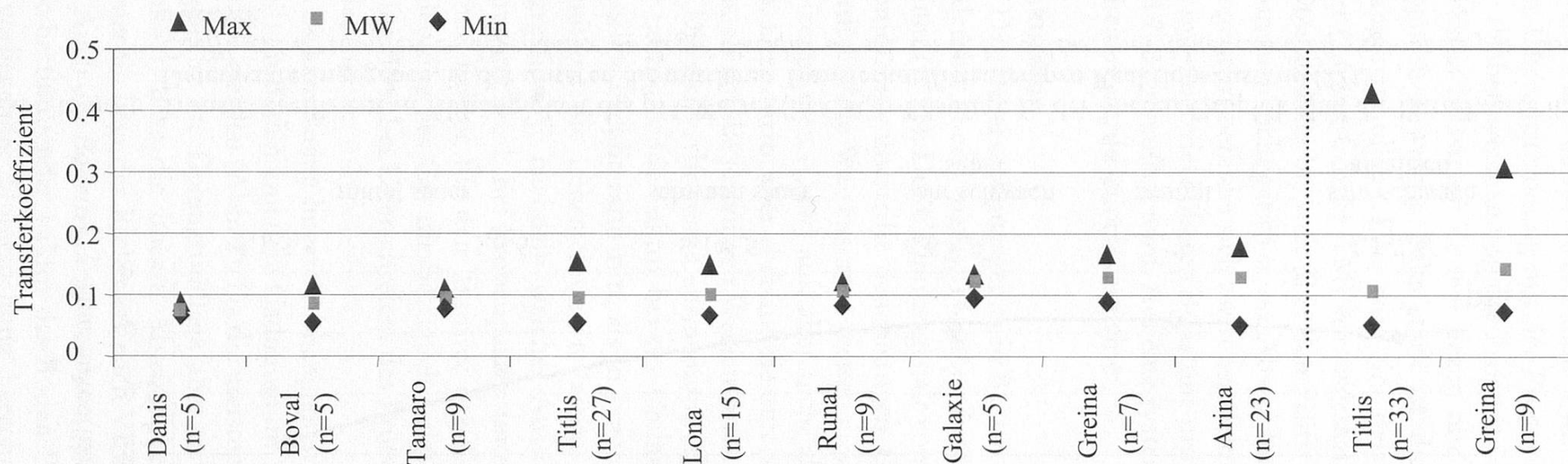


Abbildung 5 Darstellung der minimalen, mittleren und maximalen Transferkoeffizienten der Getreidesorten, gegliedert nach aufsteigendem MW: Aufgrund der überdurchschnittlichen Maximalwerte von Titlis und Greina (rechts), ist für diese der 80 %-Bereich dargestellt.

Coefficient de transfert minimal, moyen et maximal des variétés de blé. En raison des valeurs maximales extrêmes de Titlis et Greina (à droite), le secteur de 80 % a été représenté pour celles-ci.

Minimal, middle and maximal transfer coefficient of the wheat breeds. Due to the extreme maximum values of Titlis and Greina (on the right), the 80 % sector is shown for them.

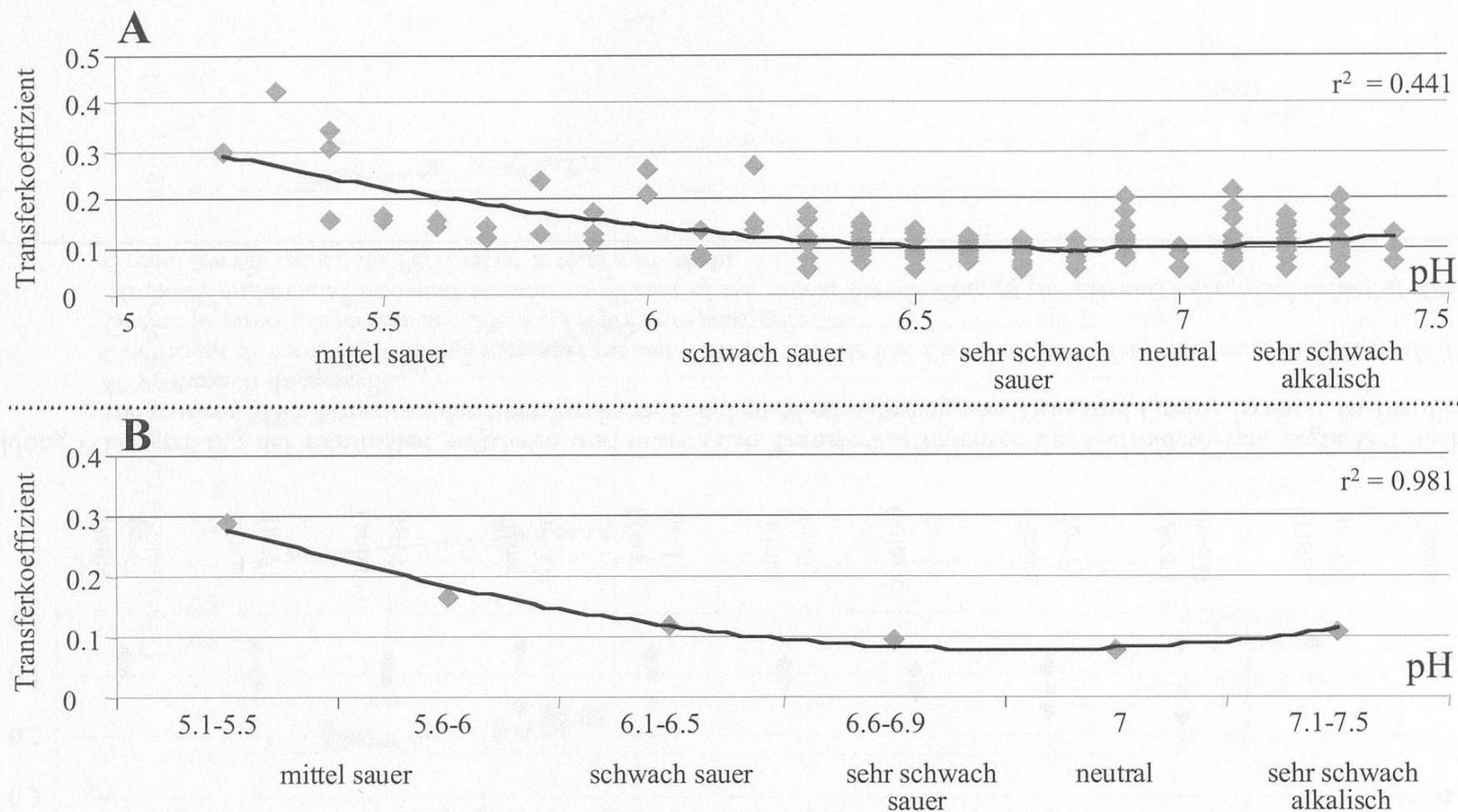


Abbildung 6 Transferringkoeffizient in Abhängigkeit des pH-Wertes (in CaCl_2 -Lösung): In der oberen Graphik sind die Einzelwerte der Datenpaare angegeben, in der unteren die mittleren Transferringkoeffizienten pro Reaktionszustand (22).
 Coefficient de transfert en dépendance du degré d'acidité du sol. En B, les valeurs individuelles ont été regroupées par classe d'acidité.
 Transfer coefficient in dependance of the soil's acidity degree. In B the single values have been grouped to acidity classes.

(blocs de 60×60 m)» weist südlich km 255,5 (Schweizer Koordinatensystem) eine gute Übereinstimmung mit der Prognose auf. Die meisten nördlich davon gelegenen Proben weichen von der Prognose ab. Aus dem Bereich «Vor Langg» – der am stärksten belasteten Zone – liegen nur zwei Proben vor, von denen eine von der Prognose abweicht. Sehr stark ist die Abweichung zwischen «Oberfeld» und «Langimatthollen». Hier wird eine Belastung von höchstens dem doppelten Richtwert (1,6 mg Cdt/kg TM) vorausgesagt, de facto reicht der Cdt der Bodenproben 1996 und 2003 bis weit über den Prüfwert (bis 3,6 mg Cdt/kg TM). Eine ähnliche, wenn auch nicht gar so starke Abweichung findet sich im Bereich des «Usserfeldes». Umgekehrt befindet sich zwischen dem «Usserfeld» und «Hinterhasli» ein Bereich, der mit einer viel höheren Belastung prognostiziert wird, als er mit den Proben 1996 und 2003 gemessen wird. Auf eine systematische Cross-Validation mit den früheren Arbeiten wurde jedoch verzichtet.

Diskussion

Das Untersuchungsgebiet in Blauen-Nenzlingen liegt mit Cadmiumgehalten im Boden bis über 4 mg/kg TM über dem schweizerischen und europäischen Durchschnitt (5, 23). Der Cadmiumgehalt von 12 der 143 Weizenproben des langfristigen Monitorings übertrifft den heutigen Grenzwert (Abb. 3), bei drei Proben sehr deutlich. Alle Weizensorten weisen eine weite Streuung des Cadmiumgehaltes der Weizenproben (Cdw) auf, aber nicht alle Sorten zeigen Grenzwertüberschreitungen. Dies dürfte aber eher auf die unterschiedliche Anzahl Proben zurückzuführen sein, als auf die jeweiligen Weizensorten.

Die weitverbreitete Lehrmeinung (1, 2), der *Cadmium-Totalgehalt* im Boden sei der bestimmende Faktor bei der Cadmium Aufnahme durch die Pflanze, wird in aktueller Fachliteratur oftmals in Frage gestellt (7, 8, 24). Die vorliegenden Daten bestätigen die Lehrmeinung teilweise. So ändert sich die Steigung der linearen Regression, je nachdem welcher Ausschnitt der Probenmenge (Abb. 1, Abb. 4) betrachtet wird. Bei Probenpaaren unter dem Richtwert ist Cdt nicht der bestimmende Faktor für den Transfer des Cadmiums vom Boden in die Pflanze. Die Bedeutung des Cdt diesbezüglich steigt bis zum Prüfwert, bleibt aber in toto eher gering. Erst bei Überschreiten des Prüfwertes wird Cdt zum bestimmenden Transferfaktor.

Es kann keine lineare Abhängigkeit zwischen den *löslichen Cadmiumgehalten* (Cdl) im Boden und dem Cadmium im Weizen oder dem Transferkoeffizienten festgestellt werden (Abb. 2). Da die meisten Proben unterhalb der Bestimmungsgrenze liegen, ist die Datengrundlage aber zu gering für eine sichere Aussage. Es wäre denkbar, dass die lineare Abhängigkeit bei höheren Cdl-Gehalten (26) steigt; immerhin liegt der Richtwert nach VBBo für Cdl bei 0,02 mg Cd/kg TM (Tab. 1).

Auch der *Bodenreaktionszustand* (pH) ist laut Lehrmeinung ein für Schwermetalle bestimmender Faktor des Boden-Pflanzen-Transfers. Dies kann aufgrund der in vorliegender Untersuchung berechneten Korrelationskoeffizienten nicht mit

Sicherheit bestätigt werden, eine Beobachtung die auch Wenzel et al. (10) gemacht haben. Die lineare Regression weist jedoch einen Zusammenhang zwischen pH und Transferkoeffizient aus (Abb. 6), der bei Zusammenfassung der Proben in Klassen sehr hoch ist. Die nicht lineare Regressionsberechnung deutet einen Wiederanstieg des Transferkoeffizienten im schwach alkalischen Zustand an (Abb. 6b). Da die in Blauen-Nenzlingen untersuchten Böden den pH von 7,5 nicht übersteigen, lässt sich diese Aussage aber nicht erhärten. Ein Hinweis auf Analogien in anderen Untersuchungsgebieten findet sich bei *Sappin-Didier* (7).

Zur Bestimmung, welche Weizensorten wieviel Cadmium akkumulieren, wird der *Transferkoeffizient* (1) herangezogen. Er ist ein indexierter Wert des Verhältnisses des Schwermetallgehaltes in der Pflanze und dem Schwermetallgehalt im Boden eines Probenpaares (Verhältnis C_{dw}/C_{dt}), der bei ähnlichem C_{dt} des Bodens und ähnlichen Umweltbedingungen als Mass für das Anreicherungsvermögen in der Pflanze betrachtet werden kann (18). Der Transferkoeffizient variiert für die Einzelproben sehr stark, von 0,049 bis 0,426 (Abb. 5). Er zeigt sich im Mittelwert der einzelnen Weizensorten jedoch stabiler, mit einem Schwankungsbereich zwischen 0,09 und 0,124, wenn die Extremwerte nicht berücksichtigt werden (80 %-Bereich). Diese Ausgliederung ist gerechtfertigt, da die Proben mit dem höchsten Transferkoeffizienten auf den sauersten Böden gezogen wurden. Titlis kann somit zu den drei gering akkumulierenden Weizensorten gezählt werden (Tamaro: 0,090; Titlis: 0,092; Lona: 0,095).

Der *Sortenvergleich* ergibt im wesentlichen dieselben Resultate, wie sie *Frossard* (18) nachwies. 2003 wurden vor allem jene Weizensorten beprobt, die früher schon zahlreicher vertreten waren. Dies führt dazu, dass die einzelnen Weizensorten mit sehr unterschiedlichen Probenanzahlen vertreten sind (Tab. 2), was eine statistische Auswertung, beziehungsweise den Vergleich der Sorten, erschwert. Es führt auch dazu, dass nur bei den Sorten Titlis und Arina die Cadmium-Totalgehalte im Boden eine weite Bandbreite aufweisen. Dies wiederum liegt v.a. an der Beprobung von 1998, die auf Versuchsflächen durchgeführt wurde, die einen relativ homogenen C_{dt} aufwiesen (über dem Richtwert bis knapp über dem Prüfwert). Greina gehörte nicht zu diesem Anbauversuch und wurde während aller Beprobungsjahre anscheinend nur auf Böden mit geringem C_{dt} angepflanzt (Abb. 4). Wie die grosse Variabilität der Cadmiumgehalte im Weizen zeigt (Abb. 4), ist es in Freilandversuchen dringend nötig, pro untersuchtem Parameter (Sorte, C_{dt} , C_{dl} , pH, Bodentyp usw.) eine ausreichende Probenzahl zu erheben, um statistisch auswertbare Daten zu erhalten. Empfehlenswert wäre $n=25$ oder grösser pro Parameter.

Mittels *Kriging* wurde 1996 eine Karte erstellt, um die räumliche Verbreitung des Cadmiumgehaltes der Böden zu schätzen. Die Schätzung beruht auf 168 Bodenproben. Die 1996 und 2003 durchgeführten Untersuchungen des Cadmiumtransfers vom Boden ins Getreide liefern zusätzliche 96 Bodenproben, anhand derer die Karte visuell aber nicht durch Cross-Validation überprüft wird: Entsprechen die Cadmium-Totalgehalte in der südlichen Hälfte des Untersuchungsgebietes weitge-

hend den von der Kriging-Karte prognostizierten, so zeigen sich starke Abweichungen von der Prognose in der nördlichen Hälfte. Ein Vergleich mit der von *Genolet & Dubois* (20) publizierten Karte der Probenahmestandorte zeigt, dass die stärksten Abweichungen in jenen Gebieten zu finden sind, in denen keine Verdichtungsproben gezogen wurden. Leider betrifft dies auch jene Zone, die als am stärksten belastete ausgewiesen wurde.

Bezogen auf die gesetzlichen Werte der *VBBo* lassen sich beim gegenwärtigen Stand der Untersuchung folgende Aussagen machen: Auf unter dem Richtwert liegenden Böden gezogener Weizen überschreitet den Grenzwert nach Lebensmittelgesetz nie (Abb. 3). Auf Böden, deren Cdt zwischen Richt- und Prüfwert beziehungsweise knapp oberhalb des letzteren liegt, ist eine Überschreitung des Grenzwertes selten. Je mehr der Cdt den Prüfwert übersteigt, desto eher wird auch der Grenzwert im Weizen überstiegen. Einzelne Proben können aber von dieser Grundregel abweichen.

Die Weizenproben aus der Getreideannahmestelle (Abb. 5) laufen bestätigen die Ergebnisse der Untersuchungen. Deutlich zu erkennen ist die Streuung der Cadmiumgehalte bei der am meisten beprobten Weizensorte Titlis. Sie ist auch bei anderen Sorten Galaxie, Greina und Lona angedeutet. Erfreulich ist, dass in beiden Beprobungsjahren die jeweils gültigen Grenzwerte nicht überschritten wurden und dass die durchschnittliche Cadmium-Belastung im Weizen von 0,13 auf 0,1 mg Cd/kg TM abgenommen hat. Da den Proben keine Bodendaten zugeordnet werden können, lässt sich für diese Beprobungen leider kein Zusammenhang zum Cdt erstellen.

Schlussfolgerungen und Ausblick

- Wie reiht sich das Projekt Blauen-Nenzlingen in die aktuelle Forschung ein?
 - ▶ Das langfristige Monitoring in Blauen-Nenzlingen stellt eine umfassende Freiland-Beprobung sowohl des Bodens als auch des Getreides dar, was bislang selten ist.
 - ▶ Wird die Beprobung fortgesetzt, empfiehlt es sich, auf eine statistisch auswertbare Probenmenge pro Parameter Wert zu legen.
 - ▶ Eine intensive Beprobung von Weizen, der auf Böden mit Cdt > 2 mg/kg TM gezogen wurde, wäre von wissenschaftlichen Interesse, da solche Daten kaum vorliegen. Dies war im vorliegenden Fall nicht möglich, da die Landwirte aufgrund der veröffentlichten Anbauempfehlungen den Anbau von Weizen auf stark belasteten Böden vermeiden.
- Entsprechen die 1996 und 2003 gemessenen Cadmium-Totalgehalte des Bodens den mittels Kriging prognostizierten?
 - ▶ Die Bodenproben entsprechen in mehreren Zonen des Untersuchungsgebietes nicht den von der Kriging-Karte prognostizierten Cdt, insbesondere in den stark belasteten Gebieten. Ursache hierfür ist die beschränkte Anzahl der Bodenproben, die dem Kriging in den nördlichen Zonen des Untersuchungsgebietes zugrunde liegt. Aus Aufwandgründen wurde auf eine cross-validation und ein erneutes Kriging mit dem erweiterten Datensatz verzichtet.

- Lassen sich Zusammenhänge zwischen einzelnen Bodenparametern und dem Cadmiumgehalt des Weizens feststellen?
 - ▶ Es kann eine Korrelation zwischen Cadmiumtotalgehalt (Cdt) des Bodens und Cadmiumgehalt des Weizens nachgewiesen werden, die mit zunehmendem Cdt an Bedeutung gewinnt. Unterhalb des Richtwerts ist jedoch keine Korrelation nachweisbar.
 - ▶ Der Bodenreaktionszustand (pH) scheint einen Einfluss auf den Transferkoeffizienten und damit auf die Aufnahmerate des Cadmiums durch die Pflanze zu besitzen.
 - ▶ Es kann kein Zusammenhang zwischen den löslichen Cadmiumgehalten des Bodens und dem Cadmium im Weizen festgestellt werden.
- Welche Resultate ergibt der Sortenvergleich bezüglich der Akkumulation?
 - ▶ Aufgrund der Transferkoeffizienten lassen sich die Sorten zwar von schwächer zu stärker akkumulierenden gliedern, letztendlich sind die Unterschiede aber minim.
- Empfehlungen an die Landwirte:
 - ▶ Auf Böden, deren Cadmium-Totalgehalt unter dem Prüfwert liegt, kann Brotweizen angebaut werden.
 - ▶ Bei einem über dem doppelten Richtwert liegenden Cadmium-Totalgehalt des Bodens, empfiehlt sich allerdings eine regelmässige Kontrolle im Sinne der Eigenverantwortung der Produzenten.
 - ▶ Böden, deren Cadmium-Totalgehalt über dem Prüfwert liegen, eignen sich kaum zum Anbau von Brotweizen.
 - ▶ Zu beachten ist, dass auch der Bodenreaktionszustand einen Einfluss auf den Schwermetalltransfer vom Boden in die Pflanze haben kann. Somit sollte der Weizenanbau auf mittel sauren bis sauren Böden ($\text{pH} < 6$) einer Kontrolle unterliegen, auch wenn die Böden nur schwach (unter dem Richtwert) mit Cadmium belastet sind.
 - ▶ Da die Bandbreite der Schwankung des Transferkoeffizienten sehr eng ist, erweist sich eine Sortenempfehlung als schwierig. Aufgrund der vorhandenen Datenlage lassen sich noch am ehesten die Sorten Tamaro, Titlis und Lona empfehlen, allerdings unter dem Vorbehalt, dass sie auf Böden gezogen werden, deren Cadmium-Totalgehalte unterhalb des Prüfwertes liegen und die allenfalls nur schwach sauer sind.
- Das Fehlen von Weizenfeldern in den am höchsten belasteten Bereichen des Untersuchungsgebietes und die seit 1996 stark gesunkenen Höchstgehalte des Cadmiums in den einzelnen Weizenproben und in den Sammelproben der Getreideannahmestelle bestätigen, dass die betroffenen Landwirte auf den Anbau von Brotweizen in den belasteten Gebieten verzichten.

Zusammenfassung

Die Böden und der darauf angebaute Brotweizen im Gebiet Blauen/Nenzlingen können natürlicherweise mit Cadmium belastet sein. 2003 wurde das Gebiet neu beprobt. Die Ergebnisse werden mit den bisherigen Daten und der Literatur verglichen. Untersucht werden 143 Boden- und Weizenproben. Oberhalb des Richtwertes (0,8 mg Cdt/kg TM Boden) besteht mit steigendem Cadmium-Totalgehalt des Bodens (Cdt) eine Korrelation zum Cadmiumgehalt des Weizens. Der Cdt wird oberhalb des Prüfwertes (2 mg Cdt/kg TM Boden) zum bestimmenden Transferfaktor. Es besteht jedoch keine Korrelation unterhalb des Richtwertes. Ein niedriger Bodenreaktionszustand (pH) scheint die Aufnahmerate des Cadmiums durch den Weizen zu steigern, so dass es auch auf gering belasteten Böden zu Überschreitungen des Lebensmittelgrenzwertes kommen kann. Die löslichen Cadmiumgehalte des Bodens weisen keine Korrelation zum Cadmiumgehalt des Weizens auf. Die verschiedenen Sorten können von schwächer zu stärker akkumulierenden gegliedert werden, die Unterschiede sind aber minim. Schliesslich erlauben die Ergebnisse, Empfehlungen und Massnahmen für den Weizenanbau zu formulieren.

Résumé

Les sols et le blé de la région de Blauen/Nenzlingen peuvent être contaminés naturellement en Cadmium. En 2003 a eu lieu une nouvelle prise d'échantillons. Les résultats ont été comparés aux dates antérieures et à la littérature. 143 échantillons de sol et de blé sont examinés. Au delà de la valeur indicative (0,8 mg Cdt/kg MS), une corrélation est mise en évidence entre la teneur croissante en Cadmium total du sol (Cdt) et la teneur en Cadmium du blé. Au delà du seuil d'investigation (2 mg Cdt/kg MS), le Cdt devient le facteur de transfert déterminant. Cependant il n'existe aucune corrélation au-dessous de la valeur indicative. Un bas degré d'acidité du sol (pH) semble augmenter le grade d'absorption du Cadmium par le blé, ce qui peut provoquer l'outrepassement de la valeur limite pour aliments même sur des sols faiblement contaminés. La teneur en Cadmium soluble du sol ne montre aucune corrélation avec la teneur en Cadmium du blé. Les différentes variétés de blé peuvent être ordonnées de moindre à plus forte accumulation, mais les différences sont minimes. Finalement, les résultats permettent de formuler des conseils et mesures concernant la culture du blé.

Summary "Long-Term Monitoring of Cadmium in Soils and Wheat in Blauen/Nenzlingen, Basel-Landschaft"

The soils and the wheat of Blauen/Nenzlingen can naturally be polluted with Cadmium. In 2003 a new survey took place. The results are discussed with earlier data and literature. 143 soil and wheat samples are analysed. Above the guide level (0,8 mg Cdt/kg DM), a correlation is established between the soil's growing Cadmium total content (Cdt) and the wheat's Cadmium content. Above the investigation limit (2,0 mg Cdt/kg DM), Cdt becomes the determining transfer factor. How-

ever, there is no correlation beneath the guide level. A low degree of soil's acidity (pH) seems to increase the Cadmium accumulation by wheat, so that the boarder value of foodstuff can be exceeded even on weakly polluted soils. The soil's soluble Cadmium contents (Cdl) show no correlation to the wheat's Cadmium content. The different wheat breeds can be ordered from weakly to stronger accumulating, but the differences are minimal. Finally, the results allow the formulation of recommendations and measures for wheat cultivation.

Key words

Cadmium, soil, wheat, transfer coefficient, accumulation, monitoring

Literatur und URL's

- 1 *VBBo*: Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBo), SR 814.12. Bundesamt für Bauten und Logistik. Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, Bern (1998)
- 2 *FIV*: Verordnung über Fremd- und Inhaltsstoffe in Lebensmitteln (Fremd- und Inhaltsstoffverordnung, FIV), SR 817.021.23. Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, Bern 1995, geändert (2002)
- 3 *Alloway B.J. (Hrsg.)*: Schwermetalle in Böden – Analytik, Konzentrationen, Wechselwirkungen. Springer Verlag Berlin Heidelberg (1999)
- 4 *Merian E. (Ed.)*: Metals and Their Compounds in the Environment – Occurrence, Analysis and Biological Relevance. 803-852, VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim (1991)
- 5 *SU32*: Cadmium in der Schweiz. Schriftenreihe Umweltschutz Nr. 32 Hrsg. Bundesamt für Umweltschutz, Bern (1984)
- 6 *Tong M.*: S'attaquer à la racine du problème – Des chercheurs tentent de réduire l'absorption de cadmium dans le blé des Prairies. Nouvelles du RCCT (printemps 2002) – besucht am 28.08.2004; http://www.uoguelph.ca/cntc/publicat/cntc_news/2002/cntcnewss02-fre.pdf
- 7 *Sappin-Didier V., Brayette S., Jade C., Baize D., Masson P. et Mench M.*: Phytodisponibilité du cadmium pour le blé. Rôle des paramètres pédologiques et agronomiques (programme QUASAR). in: Les éléments traces métalliques dans les sols: approches fonctionnelles et spatiales. Baize D. et Tercé M. (Eds) INRA (2001)
- 8 *Sappin-Didier V., Mench M., Baize D., Brayette S., Jade C. and Masson P.*: Relationship between indicators of Cd exposure and Cd in wheat grain (QUASAR programme, FRANCE). 6th Int Conf. Biogeochemistry Trace Elements, Guelph. pp 596 (2001)
- 9 *Puschenreiter M. and Horak O.*: Influence of different soil parameters on the transfer factor soil to plant of Cd, Cu and Zn for wheat and rye. Die Bodenkultur – Austrian Journal of Agricultural Research 51. Band Heft 1 (2000)
- 10 *Wenzel W.W., Blum W.E.H., Brandstetter A., Jockwer F., Köchl A., Oberforster M., Oberländer H.E., Riedler C., Roth K. and Vladeva I.*: Effects of soil properties and cultivar on cadmium accumulation in wheat grain. Z. Pflanzenernähr. Bodenk., 159, 609–614. VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim (1996)
- 11 *Wenzel W.W. and Jockwer F.*: Accumulation of heavy metals in plants grown on mineralised soils of the Austrian Alps. Environmental Pollution 104, 145–155 (1999)
- 12 *Klose R.*: Sortenabhängige Cadmiumaufnahme bei Winterweizen. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft – besucht am 28.08.2004
<http://www.smul.sachsen.de/de/wu/Landwirtschaft/lfl/fachinformationen/ressourcenschutz/cadmium>
- 13 *NFP22*: Schwermetallgehalte in den Böden der Schweiz. Bericht 40 des nationalen Forschungsprogrammes «Nutzung des Bodens in der Schweiz» (NFP22). Liebefeld-Bern (1989)

- 14 *Tanner V.*: Auswirkungen von Cadmium auf das Wachstum, den Wasser- und den Nährstoffhaushalt unterschiedlich Cd-resistenter Kulturpflanzen bei verschiedenen Umgebungsbedingungen. Inauguraldissertation der Phil.-Nat. Fakultät der Uni Bern (1992)
- 15 *Herren T. and Feller U.*: Transport of cadmium via xylem and phloem in maturing wheat shoots: Comparison with the translocation of zinc, strontium and rubidium. *Ann. Bot.*, **80**: 623–628 (1997)
- 16 *Fossati D. & Brabant C.*: Die Weizenzüchtung in der Schweiz. *AGRARForschung – Journal of Swiss Agricultural Research* **10** (11–12): 447–458, Posieux (2003)
- 17 *Page W.A. et Feller U.*: Transport du cadmium, du zinc du manganèse, du cobalt et du nickel, dans le système racinaire et vers les feuilles de jeunes plantes de blé. In: *Devenir et Effets des Contaminants Métalliques dans les Agrosystèmes et Ecosystèmes terrestres – Influence de l'usage des sols. Résumés des communications orales et des posters*, ISA Lille (2003)
- 18 *Frossard R., Bono R., Schmutz D., Buser A., Simon P., Wenk P. und Schaub H.*: Cadmium in acht Weizensorten – Ergebnisse eines Anbauversuchs in Nenzlingen, Basel-Landschaft; *Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg.* **91**, 473–483 (2000)
- 19 *Wenk P., Bono R., Dubois J.-P. und Genolet F.*: Cadmium in Böden und Getreide im Gebiet Blauen/Nenzlingen, Basel-Landschaft. *Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg.* **88**, 570–592 (1997)
- 20 *Genolet F. et Dubois J.-P.*: Etude de la teneur en cadmium dans les sols de la région de Blauen-Nenzlingen (Canton de Bâle-Campagne). Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, IATE-Pédologie et Amt für Umweltschutz und Energie, Lausanne et Liestal (1996)
- 21 *BUWAL*: Erläuterungen zur Verordnung von 1. Juli 1998 über Belastungen des Bodens (VBBo). Hrsg.: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern (2001)
- 22 *AG Boden*: Bodenkundliche Kartieranleitung. 4. Auflage Hannover (1994)
- 23 *BUSTAT*: Umweltstatistik Schweiz – Boden. In der Reihe Statistik der Schweiz des Bundesamtes für Statistik, Bern (1996)
- 24 *Mench M., Baize D., Sappin-Didier V., Sagot S., Sterckeman T. and Courbe C.*: Trace elements contents in winter wheat grain depending on soil types (QUASAR programme, France). 6th Int Conf. Biogeochemistry Trace Elements, Guelph (2001)
- 25 *Wu J., Norvell W.A., Hopkins D.G. and Welch R.M.*: Spatial Variability of Grain Cadmium and Soil Characteristics in a Durum Wheat Field. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **66**: 268–275 (2002)
- 26 *Norvell W.A., Wu J., Hopkins D.G. and Welch R.M.*: Association of Cadmium in Durum Wheat Grain with Soil Chloride and Chelate-Extractable. *Soil Cadmium. Soil Sci. Soc. Am. J.* **64**: 2162–2168 (2000)
- 27 *Harris N.S. and Taylor G.J.*: Cadmium uptake and translocation in seedlings of near isogenic lines of durum wheat that differ in grain cadmium accumulation. (article available from: www.biomedcentral.com/1471-2229/4/4 – besucht am 28.08.2004)
- 28 *Fox S.*: Breeders address cadmium levels in durum wheat. Western Grains Research Foundation – besucht am 28.08.2004; http://www.westerngrains.com/endow/1993_07.html
- 29 Werkzeuge zur numerischen Modellierung – Räumliche Interpolation. Universität Münster – besucht am 30.08.2004
http://ifgivor.uni-muenster.de/vorlesungen/Num_Modellierung/Raum_Interpol/KrigingSemiar_3_Teil.html
- 30 *von Waldow H.*: Einführung in die Geostatistik. FU Berlin (1998) – besucht am 30.08.2004
<http://www.geog.fu-berlin.de/~jkrywkwow/harald/geostatistik/referat.html#as-h2-2202>

Kontaktadresse: Amt für Umweltschutz und Energie BL, Roland Bono, Fachstelle Bodenschutz, Rheinstrasse 29, CH-4410 Liestal, E-Mail: roland.bono@bud.bl.ch, www.bl.ch/boden