

Studie zu Cadmium-Gehalt in Böden bzw. Cadmium-Transfer Boden–Nahrungspflanzen

# Cadmium-Gehalt in Böden und Nahrungspflanzen: Nur vereinzelt Probleme

*In den Böden der Stadtzürcher Familiengärten sind die Totalgehalte an Cadmium meist erhöht bis stark erhöht. Die Böden der landwirtschaftlichen Nutzflächen im Kanton Zürich weisen im allgemeinen kaum oder nur geringfügig über der geogenen (naturbedingten) Grundlast liegende Totalgehalte an Cadmium auf. Ausnahmen bilden hier die Proben aus einem generell höher belasteten Gebiet in der Gemeinde Küsnacht sowie von einigen weiteren belasteten Einzelstandorten, die gezielt untersucht wurden; diese Proben weisen zum Teil sehr hohe Totalgehalte an Cadmium auf. Der Gehalt an Cadmium in den untersuchten Nahrungspflanzen liegt im allgemeinen unter den Toleranzwerten der Fremd- und Inhaltsstoff-Verordnung (FIV). Eine zu beachtende Ausnahme bilden auch hier in einer Nachuntersuchung analysierte Proben von Getreidekörnern aus dem Gebiet Küsnachter Berg, in welchen erhöhte, in zwei Fällen sogar über dem Grenzwert der FIV liegende Cadmium-Gehalte festgestellt wurden. Das sind – kurz zusammengefasst – die wichtigsten Ergebnisse einer Studie, die das Ingenieurbüro Niederer+Pozzi im Auftrag und unter Leitung der Fachstelle Bodenschutz im AGW und in Zusammenarbeit mit dem Kantonalen Labor erarbeitet hat.*

Anlass für die nachfolgend vorgestellte Studie waren die im Kanton Zürich in Familiengärten häufig und auf landwirtschaftlichen Nutzflächen in Einzelfällen stark erhöhten Cadmium-Gehalte in Böden. Aufgrund der allgemein bestehenden Unsicherheit bezüglich des Transfers von Cadmium aus dem Boden in die Pflanzen erteilte die Fachstelle Bodenschutz (FaBo) im Amt für Gewässerschutz und Wasserbau (AGW) den Auftrag für eine Studie mit folgenden Zielen:

- 1 Auswertung der komplementären, in den Familiengärten der Stadt Zürich und in landwirtschaftlich genutzten Gebieten des Kantons Zürich gewonnenen Datensätze über Cadmium-Konzentrationen in Böden und in Pflanzen unter Berücksichtigung der erfassten Bodenkenngrößen.

- 1 Analyse und Bewertung des Risikos, das sich – ausgehend von den in den Zürcher Untersuchungen gemessenen Cadmium-Gehalten in Böden und Pflanzen – für den Menschen ergibt.
- 1 Zusammenfassung des aktuellen Kenntnisstandes aus der Literatur zum Thema Aufnahme von Cadmium in die Nahrungs- und Futterpflanzen.

## Ergebnisse

### Projekte und Probenahmestandorte

Ausgewertet wurden die Ergebnisse von 248 parallel entnommenen Boden- und Pflanzenproben aus drei Projekten mit ähnlichen Zielsetzungen:

- 1 Boden- und Pflanzenuntersuchungen in Familiengärten der Stadt Zürich (Familiengärten; 77 Proben),
- 1 Schwermetallbelastung des Bodens im Gebiet Küsnachter Berg (Küsnacht; 42 Proben)
- 1 sowie Cadmium-Transfer Boden–Pflanze in landwirtschaftlich genutzten Gebieten des Kantons Zürich (Ackerbau ZH; 130 Proben).

### Untersuchte Pflanzenarten

Folgende Nahrungs- und Futterpflanzen oder Teile davon wurden in die Untersuchungen einbezogen: Bohnen, Erbsen, Fenchel, Gras, Hafer, Karotten, Kartoffelknollen, Kohl, Kohlrabi, Kopfsalat, Krautstiel, Lauch, Maiskörner, Maispflanze, Patissons, Petersilie, Raps, Roggenkörner, Rübe, Rübennkraut, Sellerie, Spinat, Wintergerstekörner, Winterweizenkörner, Zucchetti, Zuckerrübe, Zwiebel.

Das Schwergewicht der Untersuchungen lag bei den Kartoffelknollen (148 Proben), den Maispflanzen (25 Proben) und dem Gras (14 Proben); es sind dies Produkte, die von

**Redaktionelle Verantwortung für diesen Beitrag:**  
**Amt für Gewässerschutz und Wasserbau – AGW**  
**Fachstelle Bodenschutz – FaBo**  
**Dr. Thomas Wegelin**  
**8090 Zürich**  
**Telefon 01 259 32 78**

BODEN

Menschen bzw. Tieren in hohen Mengen konsumiert werden und daher als mögliche Cadmium-Quellen im Hinblick auf denkbare Beeinträchtigungen der Gesundheit von grosserer Bedeutung sind.

## Bodenkenngrössen

### Gartenböden

Die im Rahmen der Studie untersuchten Gartenböden sind generell neutral bis leicht

## Was ist Cadmium?

Das Schwermetall Cadmium ist ein natürlicher Bestandteil der Erdkruste. In industriellen Prozessen wurde es zum vielfältigen Nutzen des Menschen angereichert. Die Einsatzbereiche von Cadmium in Farben, Kunststoffen, Korrosionsschutzbeschichtungen und Batterien sind die bekanntesten Beispiele für seine umfassende Verwendung. Als Ergebnis des vor allem in früheren Zeiten unkontrollierten und unsachgemässen Umgangs mit cadmiumhaltigen Stoffen entstanden lokale Belastungen der Umwelt.

Cadmium in Böden wird nicht abgebaut und meist kaum verlagert. Darum wird Cadmium auch bei sehr langsamem, aber langandauerndem Eintrag, z. B. durch Deposition aus verunreinigter Luft, im Boden angereichert. Der Bedeutung dieses für lebende Organismen hochtoxischen Elementes wird in der Verordnung über Schadstoffe im Boden (VSBo) Rechnung getragen. Die VSBo regelt die Überwachung und Beurteilung der Belastung des Bodens mit Schadstoffen und ist auf den langfristigen Schutz der Bodenfruchtbarkeit im Sinne der Multifunktionalität der Böden gemäss Art. 2 VSBo ausgerichtet. Die Richtwerte der VSBo eignen sich jedoch nicht zur Beurteilung von Risikosituationen, die sich aus erhöhten Schwermetallgehalten im Boden für die Gesundheit des Menschen ergeben können.

Zum Übergang der Schwermetalle aus belasteten Böden in die Nahrungs- und Futterpflanzen bestehen zahlreiche – zum Teil widersprüchliche – Angaben in der Literatur. Das Element Cadmium weist in Abhängigkeit von den Bodenbedingungen und von der Pflanzenart ein vielfältiges Transferverhalten Boden – Pflanze auf. In der Literatur nur lückenhaft vertreten sind gesamthafte Betrachtungen zur toxikologischen Relevanz des Cadmium-Übergangs vom Boden über die Nahrungspflanzen in den menschlichen Körper.



**Bodenprobenahme auf einem Kartoffelfeld:** Die Probenentnahme erfolgt in der Regel auf einer Fläche von zehn mal zehn Metern mit sechzehn Einstichen, aus denen eine repräsentative Mischung für die Laboruntersuchung hergestellt werden kann. Die Cadmium-Gehalte in den Kartoffelknollen unterscheiden sich in den Zürcher Untersuchungen nicht von den Durchschnittswerten des Monitorings über die gesamte Schweiz.

alkalisch, haben hohe Kationenaustauschkapazitäten (KAK) und sehr hohe Humusgehalte. Die Gärten stellen im Rahmen der Siedlungsflächen einen Nutzungstyp dar, der sich von den als Siedlungsgebiete im kantonalen Rasternetz 1989 erfassten Standorten bezüglich der Bodenkenngrossen grundsätzlich unterscheidet und sich durch ein hohes Rückhaltevermögen für Cadmium auszeichnet.

### Landwirtschaftlich genutzte Böden

Die Mehrheit (etwa 75 Prozent) der im hier besprochenen Bericht ausgewerteten Bodenproben von landwirtschaftlich genutzten Gebieten des Kantons Zürich ist neutral bis leicht alkalisch und hat für die Bewirtschaftungsart typische Kationenaustauschkapazitäten (KAK) und Humusgehalte. Unter diesen Bedingungen ist mit einer sehr geringen Löslichkeit und Pflanzenverfügbarkeit von Cadmium zu rechnen. Bei einzelnen Proben (pH-Wert unter 6,5, KAK unter 10 mval/100 g) ist aufgrund der Bodeneigenschaften eine vermehrte Aufnahme von Cadmium in die Pflanzen nicht auszuschliessen. Der ausgewertete Datensatz aus landwirtschaftlichen Nutzungen ist bezüglich der Bodenkenngrossen für den Kanton Zürich repräsentativ.

### Totalgehalte an Cadmium in Böden

Bei Ausschluss der Proben im Gebiet Küssnacht am Rigi (Durchschnittswert 1,72 ppm),

wo gezielt mit Cadmium belastete Standorte beprobt wurden, entspricht die Häufigkeitsverteilung der Cadmium-Totalgehalte auf landwirtschaftlich genutzten Parzellen (Projekt Ackerbau ZH; Durchschnittswert 0,36 ppm) weitgehend der entsprechenden Verteilung in der Rasternetzuntersuchung des Kantons Zürich (1989) – Nutzungsart Landwirtschaft. Die analysierte Stichprobe ist bezüglich der Cadmium-Totalgehalte für den Kanton Zürich repräsentativ.

Die Häufigkeitsverteilung der Cadmium-Totalgehalte in Böden der Familiengärten zeigt, dass diese Nutzungsart allgemein zu erhöhten Cadmium-Gehalten (Durchschnittswert 1,24 ppm) führte, die höher liegen als entsprechende im kantonalen Rasternetz ermittelten Werte für die Siedlungsgebiete (Durchschnittswert 0,38 ppm) bzw. für die landwirtschaftlich genutzten Flächen (Durchschnittswert Rasternetz 0,36 ppm).

Der Richtwert für den Totalgehalt (nach eidgenössischer Bodenschutzverordnung – VSBo) von 0,8 ppm wird im Projekt Ackerbau ZH auf 18 Prozent, im Gebiet Küssnacht am Rigi auf 64 Prozent und in den Familiengärten auf 69 Prozent der beprobten Standorte überschritten.

Der Bodenwert III von 5 ppm, der nach EIKMANN und KLOKE «auf keinen Fall überschritten werden sollte» und Sanierungsmassnahmen bzw. Umnutzungen erfordert, wird im Gebiet Küssnacht am Rigi bei 31 Pro-

zent und in den Familiengärten bei vier Prozent der Proben überschritten.

### Cadmium–Zink-Verhältnis

Mit Ausnahme der Bodenproben im Gebiet Küsnachter Berg und einigen Einzelproben liegt das Massenverhältnis von Cadmium zu Zink unter 0,015. Infolge der Cadmium–Zink-Interaktion sind bei klärschlamm- oder -kompostbehandelten Böden unter dieser Verhältniszahl keine die menschliche Gesundheit gefährdenden Cadmium-Gehalte in Pflanzen zu erwarten. Diese in neuester Literatur dokumentierten Erkenntnisse sind durch weitere Untersuchungen zu bestätigen.

### Lösliche Gehalte im Boden

Die allgemein tiefen löslichen Gehalte unter dem halben Richtwert (nach VSBo) von 30 ppb weisen darauf hin, dass Cadmium bei den auftretenden – oben unter «Bodenkenngrößen» beschriebenen – Bodenbedingungen (landwirtschaftlich genutzte Gebiete des Kantons Zürich und Familiengärten der Stadt Zürich) im Boden gebunden und in der Regel schlecht pflanzenverfügbar ist.

### Cadmium-Gehalte...

#### ...in den Kartoffelknollen

Die Cadmiumgehalte in den Kartoffelknollen unterscheiden sich in den Zürcher Untersuchungen nicht von den Durchschnittswerten des Monitorings über die gesamte Schweiz. Sämtliche Gehalte liegen unter dem Toleranzwert der Fremd- und Inhaltsstoff-Verordnung (FIV) von 100 µg/kg Frischsubstanz und sind nicht erhöht.

Bei den vorwiegend neutralen bis leicht alkalischen Bodenverhältnissen bewirken auch stark erhöhte Cadmium-Totalgehalte in Böden (Untersuchung in den Familiengärten der Stadt Zürich) keine Erhöhung der Cadmium-Gehalte in den Kartoffelknollen.

Bei Kartoffelknollen sind keine statistisch signifikanten Sortenunterschiede im Cadmium-Gehalt festzustellen.

#### ...in anderen Nahrungspflanzen

Bei den untersuchten Nahrungspflanzen liegen die Cadmium-Gehalte – von Ausnahmen abgesehen – unterhalb der Toleranzwerte der FIV und sind nicht erhöht. Die vereinzelt leicht über dem Toleranzwert liegenden Gehalte bei Winterweizen und Karotten fallen in den Bereich jener Cadmium-Gehalte, wie sie

1987 im gesamtschweizerischen Monitoring für eine Reihe von Knollengemüsearten und Getreideprodukten im Sinne einer für die Schweiz typischen Verteilung von Schwermetallgehalten ermittelt wurden. Im Rahmen einer Nachuntersuchung der FaBo im Gebiet Küsnachter Berg wurden jedoch in sieben Proben von Getreidekörnern (Weizen, Roggen, Gerste) erhöhte Gehalte an Cadmium gemessen, die über dem Toleranzwert von 100 µg/kg und in zwei Fällen über dem Grenzwert von 300 µg/kg liegen. Diese Getreidekörner gelten gemäss FIV als verunreinigt bzw. für die menschliche Ernährung als ungeeignet.

#### ...der Futterpflanzen

Die Cadmiumgehalte der Futterpflanzen liegen, mit Ausnahme von vier Grasproben, unter dem Höchstgehalt von 1000 µg Cadmium/kg Trockensubstanz (TS) gemäss Futtermittelbuch-Verordnung. Bei vier Grasproben von den stark belasteten Parzellen im Gebiet Küsnachter Berg liegen die Cadmium-Gehalte leicht über dem Höchstwert von 1000 µg/kg TS (höchster gemessener Wert 1240 µg/kg TS).

### Beziehungen zwischen Cadmium-Gehalten...

#### ...in Böden und in Kartoffelknollen

Unter den in den landwirtschaftlich genutzten Gebieten des Kantons Zürich und in den Familiengärten der Stadt Zürich herrschenden Wachstumsbedingungen sind die Cad-

mium-Gehalte in den Kartoffelknollen – bei einer kleinen Schwankungsbreite der Werte auf einem tiefen Niveau – zufällig verteilt und nicht von den Cadmium-Gehalten im Boden oder von den Bodenparametern pH-Wert und Humusgehalt abhängig. Bei allgemein niedrigen löslichen Gehalten im Boden wurden keine erhöhten Cadmium-Gehalte in den Kartoffelknollen gemessen.

#### ...in Böden und in Gras sowie Silomais

Der Cadmium-Gehalt von Gras und Silomais – beides Pflanzen mit einer im Verhältnis zur Masse grossen Blattoberfläche – korreliert gut mit dem Totalgehalt (nach VSBo) und dem löslichen Gehalt (nach VSBo) an Cadmium im Boden.

## Risikoanalyse und Risikobewertung

### Schadstoffpotential des Cadmiums

In den Familiengärten der Stadt Zürich besteht flächendeckend ein hohes Schadstoffpotential hinsichtlich der Cadmium-Konzentrationen im Boden.

Auf den nicht oder geringfügig mit Cadmium belasteten Parzellen, die auf dem weit aus grössten Teil der landwirtschaftlich genutzten Gebieten des Kantons Zürich getroffen werden, ist das Schadstoffpotential des Cadmiums im Boden sehr gering und



In den landwirtschaftlich genutzten Flächen des Kantons erbrachten die Untersuchungen bezüglich Cadmium-Gehalt und Cadmium-Transfer nur in Einzelfällen problematische Werte. Besondere Aufmerksamkeit ist dabei den Getreidekulturen zu schenken, weil einerseits Getreidearten einen erhöhten Cadmium-Transfer Boden – Pflanze aufweisen und andererseits Brotgetreide einen quantitativ hohen Anteil unseres Nahrungsmittelkorbs ausmacht.

unterscheidet sich kaum vom Schadstoffpotential der geogenen (naturbedingten) Grundbelastung mit Cadmium. Auf vereinzelt vorkommenden stark belasteten Flächen, die nur einen Bruchteil der Ackerbaufläche des Kantons Zürich ausmachen, besteht lokal ein hohes Schadstoffpotential. Die hohen Cadmium-Gehalte auf zahlreichen Parzellen im Gebiet Küsnachter Berg stellen im Kanton Zürich einen Ausnahmefall dar.

## Übergang des Cadmiums vom Boden in die Pflanzen

Die Cadmium-Gehalte in den Nahrungs- und den Futterpflanzen sind – trotz teilweise sehr hohen Totalgehalten an Cadmium im Boden – nicht oder in Einzelfällen nur geringfügig erhöht. Diese Aussage hat für die in den Familiengärten und in den landwirtschaftlich genutzten Gebieten des Kantons Zürich angetroffenen, repräsentativen Bodenverhältnisse eine uneingeschränkte Gültigkeit. Wie die Nachuntersuchung von Getreidekörnern im Gebiet Küsnachter Berg zeigt, ist bei Pflanzen mit einem erhöhten Cadmium-Transfer aus stark belasteten Gebieten Vorsicht geboten.

Von dieser Ausnahme abgesehen, sind die Wirkungen des teilweise hohen Schadstoffpotentials im Bereich des Aufnahmepfades Boden–Pflanze–(Tier)–Mensch stark eingeschränkt, weil bei den im Untersuchungsgebiet vorherrschenden Bodenbedingungen (siehe oben unter «Bodenkenngrößen») das Cadmium im Boden gebunden und seine Pflanzenverfügbarkeit gering ist.

## Gefährdung des Menschen

Abgesehen von der bezüglich der Cadmium-Gehalte im Brotgetreide noch nicht ausreichend dokumentierten Ausnahmesituation im Gebiet Küsnachter Berg verursachen die nur in Einzelfällen geringfügig erhöhten, sonst aber im Bereich der Durchschnittswerte für unbelastete Böden liegenden Cadmium-Gehalte in Nahrungs- und Futterpflanzen aus den Zürcher Studien kein erhöhtes Risiko für die Gesundheit des Menschen. Für die besondere Risikogruppe der Selbstversorger ergibt sich bei einer im ungünstigsten Fall auftretenden Erhöhung der Cadmium-Gehalte in Nahrungsmitteln um einen Faktor zwei eine Verdoppelung der nahrungsbedingten Aufnahme von Cadmium und somit eine Ausschöpfung des FAO/WHO-Richtwertes von etwa 50 Prozent, was keine Gesundheitsgefährdung darstellt.



Im Gebiet Küsnachter Berg, wo die Böden auf grösseren Flächen erhöhte Cadmium-Gehalte aufweisen, wurde eine Nachuntersuchung auf einer stark Cadmium-belasteten Fläche durchgeführt, um genaueren Aufschluss über die je nach Pflanzenkultur unterschiedlichen Bedingungen für den Cadmium-Transfer Boden–Pflanze zu erhalten. Zu erkennen von links nach rechts: Futtererbsen, Roggen (hinten), Futterrüben, Gerste (hinten) und Kartoffeln.

## Prognosen

Die nach Inkrafttreten der eidgenössischen Luftreinhalte-Verordnung (LRV) und der Stoffverordnung (StoV) eingetretene entscheidende Verringerung der Cadmium-Emissionen lässt für die nächsten Jahrzehnte keine für den Transfer Boden–Pflanze relevante Erhöhung der Cadmium-Gehalte im Boden erwarten.

## Massnahmen

### Sondersituation im Gebiet Küsnachter Berg

Aufgrund der in einigen Einzelfällen stark erhöhten Cadmium-Gehalte in Getreidekörnern werden in dieser Gegend – nach einer Überprüfung der erhaltenen Messwerte – Produktionsbeschränkungen für Kulturen mit einem erhöhten Cadmium-Transfer in die Pflanzen erwogen. Der Vollzug der Lebens- und der Futtermittelverordnung obliegt dem Kantonalen Labor bzw. dem Landwirtschaftsamt.

### Überwachung

Eine zentrale Bedeutung kommt der langfristigen Überwachung der Bodenreaktion und im Bedarfsfall der entsprechenden Kalkung sowie der genügenden Zufuhr organischer Substanz zu. Die günstige Situation hinsichtlich der geringen Mobilität und Pflanzenverfügbarkeit des Cadmiums im Boden

bleibt bei einer Aufrechterhaltung der gegenwärtigen Bewirtschaftung sowohl in den Familiengärten wie auch in den landwirtschaftlich genutzten Gebieten des Kantons Zürich stabil. Besondere Massnahmen zur Stabilisierung des günstigen Zustandes sind derzeit nicht notwendig.

### Verminderung der Cadmium-Einträge

Zur Verminderung der künftigen Cadmium-Einträge in Böden werden folgende Massnahmen empfohlen:

- 1 Überwachung der Qualität und der Ausstragmengen von Klärschlamm, Kompost und phosphathaltigen Mineraldüngern gemäss Stoffverordnung in landwirtschaftlich genutzten Gebieten.
- 1 Düngung entsprechend dem Nährstoffentzug der Pflanzen sowie Überwachung der eingesetzten Kompostmenge und -qualität in Familiengärten; Überwachung der punktuellen Cadmium-Emissionen gemäss Luftreinhalteverordnung.
- 1 Waschen und Schälen von Gemüse: Die Gemüse aus Familiengärten sowie Landwirtschaftsprodukte von stark belasteten Parzellen sind vor dem Verzehr gründlich zu waschen und/oder gegebenenfalls zu schälen.