

Quecksilbergehalte in Böden und Pflanzen im Bereich historischer Bergbaugebiete des Nordpfälzer Berglandes

Lore Steubing und Andrea Vogel*

Synopsis

In the mountainous region of Nordpfalz the mercury content of the soil of back gardens, existing on historic mining waste dumps, reaches up to 403 mg/kg dry-substance. Relating to the soil values the accumulation of this trace element in cultivated plants is very low. The transfer factors on Hg-contaminated soils are clearly lower than on uncontaminated. The mercury content of some plant species show a dependence on the level of soil contamination. The accumulation rate of mercury of the examined plants is species- and organ-specific. Exceedings of the approximate values for food (BGA-Richtwerte) are only detected in some vegetables.

Quecksilber, historischer Bergbau, Hausgärten, Böden, Gemüse, Obst, Transferkoeffizienten

mercury, historic mining waste dumps, back gardens, soil, vegetables, fruit, transfer coefficient

1 Einleitung

In Rheinland-Pfalz sind im Nordpfälzer Bergland eine Vielzahl kleinerer und größerer Quecksilbervererzungen vorhanden, die vom 15. Jahrhundert an bis zum letzten Weltkrieg abgebaut wurden. Inzwischen sind die ehemaligen Halden und Verhüttungsbereiche von Wald überwachsen, in Ackerflächen und Grünland umgewandelt oder werden wohnbaulich genutzt. Erste Befunde von HINZMANN (1991) und STEUBING et al. (1991) über hohe Quecksilbergehalte von Böden und Pflanzen im Raume Mörsfeld und Kirchheimbolanden waren Anlaß für eine systematische Beprobung von Hausgärten und landwirtschaftlich genutzten Flächen, die in der Nähe ehemaliger Halden liegen. Nachfolgend wird über Quecksilberkonzentrationen in Böden und Pflanzen aus der Ortschaft Stahlberg und deren Bewertung berichtet.

2 Das Untersuchungsgebiet

Das Nordpfälzer Bergland ist aus geologischer Sicht Teil des permo-karbonen Saar-Nahe Beckens. Dort kam es

während des Rotliegend-Vulkanismus zur Bildung hydrothermalen, oberflächennaher Quecksilbervererzungen, zu denen sich Arsen, Antimon, Barium und Silber gesellten. Die Mehrzahl der ehemaligen Bergbaubetriebe befindet sich in dem durch die Städte Bad Kreuznach, Kirchheimbolanden und Kaiserslautern eingegrenzten Gebiet (Abb. 1). Zu den regionalen Zentren gehört Stahlberg, ein Dorf mit 200 Einwohnern. Die nachfolgenden Analysen beziehen sich auf den Quecksilbergehalt in den Böden der dortigen Hausgärten und den Transfer des Elementes in die angebauten Nutzpflanzen.

Anorganisches Quecksilber liegt in den Böden des Untersuchungsgebietes zu etwa 90% als Zinnober (HgS) vor, hinzutreten elementares Quecksilber (Hg^0), Amalgame (Ag_xHg_y) und Quecksilberhalogene (z.B. Hg_2Cl_2). Gebundene metallorganische Quecksilberverbindungen befinden sich in der zur festen Bodensubstanz gehörenden Humusschicht. Außerdem ist mit »freien« organischen Hg-Verbindungen (vorrangig Methyl- und Dimethyl-Hg) zu rechnen, die auf bakterielle Umsetzung im Boden zurückführbar sind.

3 Material und Methoden

Sandstein, Tonstein, Sediment und Silt aus dem Rotliegenden bilden das Ausgangsgestein der Böden in den Hausgärten in und um Stahlberg. Für die Bodenanalysen wurden Mischproben verwendet, die aus jeweils 10 Einzelproben aus 0–30 cm Tiefe bestanden. Nach Lufttrocknung erfolgte ein Absieben, so daß nur die Fraktion < 2 mm in einer Kugelmühle gemahlen und analysiert wurde. Zeitgleich mit den Bodenproben wurden in den Gärten Kulturpflanzen entnommen, sofort von größeren Schmutzpartikeln befreit und zum Transport in Kühtaschen verpackt. Im Labor erfolgten – in Abhängigkeit von der zu analysierenden Pflanzenart – eine Auftrennung in Wurzeln, Knollen, Blätter und Früchte sowie eine sehr gründliche Reinigung. Das lufttrockene Pflanzenmaterial wurde in handelsüblichen Kaffeemøhlen gemahlen und wie die Bodenproben bis zur Analyse in Polyethylenröhrchen gelagert.

In den Böden wurden die pH-Werte nach VDLUFA-Vorschrift (VDLUFA 1991) in CaCl_2 -Aufschlammung gemessen, sowie die Gesamtgehalte an Kohlenstoff und Stickstoff mit Hilfe der Pyrolyse-Gaschromatographie (Elementaranalyse nach Dumas) ermittelt.

* Herrn Prof. Dr. Reinhard Bornkamm zum 65. Geburtstag gewidmet

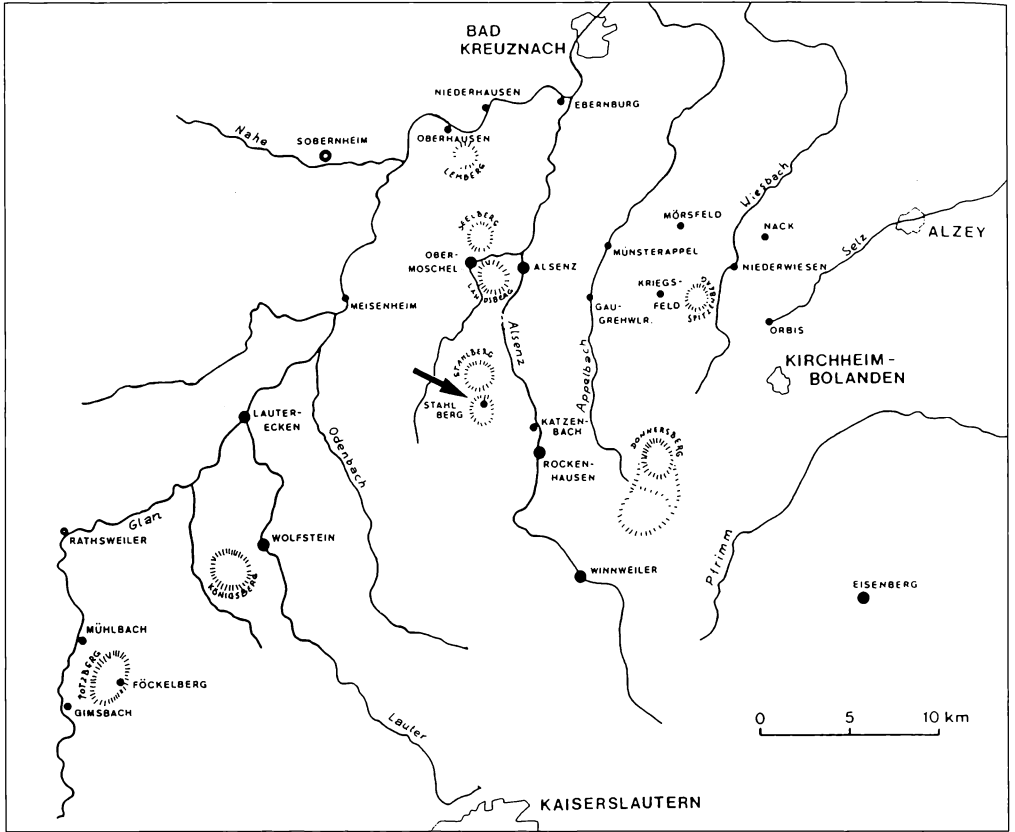


Abb. 1
Das historische Quecksilber-Bergbauzentrum im Nordpfälzer Bergland mit dem Untersuchungsgebiet Stahlberg (nach Haneke 1992, verändert)

Fig. 1
The historical mercury mining area of the mountainous region of Nordpfalz with the study area Stahlberg

Der Quecksilbergehalt der Boden- und Pflanzenproben wurde mit der Direkten Zeeman-Atom-Absorptions-Spektrometrie unmittelbar aus dem gemahlene Material bestimmt (STEUBING et al. 1980). Bestimmungsgrenzen für Quecksilber waren nach DIN 32645 (1994) für den Boden 0,002 mg/kg TS (Einwaage bis 500 mg) und für das Pflanzenmaterial 0,002–0,001 mg/kg TS (Einwaage 50–100 mg).

Aus den Quecksilber-Gesamtgehalten des jeweiligen Trockenmaterials von Pflanzen und Boden erfolgte die Berechnung des Transferkoeffizienten. Die zur statistischen Auswertung benutzten Verfahren gehören zum Programmpaket SPSS/PC+. Die Berechnung von linearen Regressionen erfolgte mit dem Verfahren REGRESSION. Alle Zeichnungen wurden mit dem Programm PLOTIT erstellt.

4. Ergebnisse und Diskussion

Quecksilbergehalte der Böden

Entscheidende Faktoren für die Verfügbarkeit von Schwermetallen im Boden sind neben dem pH-Wert der Humus- und der Tongehalt (BLUME 1990). Der pH-Wert der als »lehmiger Sand« eingestuft Stahlberger Gartenböden liegt zwischen 6,2–7,2 (Abb. 2), der Kohlenstoffgehalt zwischen 2790 und 6280 mg/100 g Trockensubstanz (TS), ein Hinweis auf stark humose bis sehr stark humose Böden. Die Gehalte an Stickstoff schwanken zwischen 259–500 mg/100 g TS (Abb. 2). Das C/N-Verhältnis der Stahlberger Böden ist mit Werten von 9,1–18,5 hoch bis sehr hoch.

Als »Normalwerte« für Gesamtquecksilber in Böden von Haus- und Kleingärten gelten bis zu 0,5 mg/kg TS (EIKMANN, KLOKE & LÜHR 1991). Nach der Klärschlamm-Verordnung (ABFKLÄRV 1992) darf be-

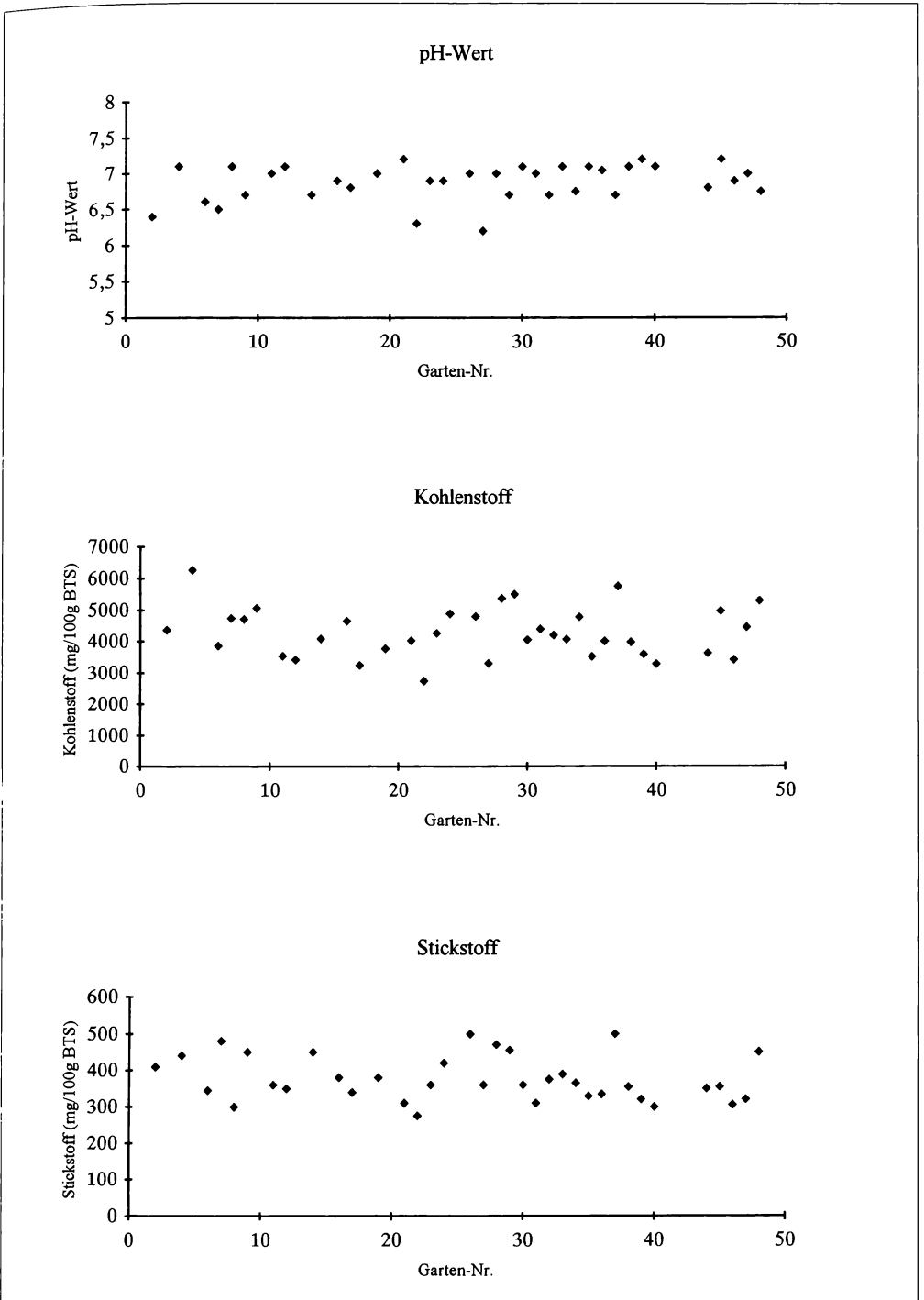


Abb. 2
Verteilung der pH-Werte, der Kohlenstoff- und Stickstoff-
gehalte in Gartenböden aus Stahlberg (von links nach rechts
anzsteigender Hg-Gehalt, BTS = Bodentrockensubstanz)

Fig. 2
Distribution of pH-values, the carbon and nitrogen contents
of back gardens of Stahlberg (increasing mercury content
from left to right, BTS = dry-substance soil)

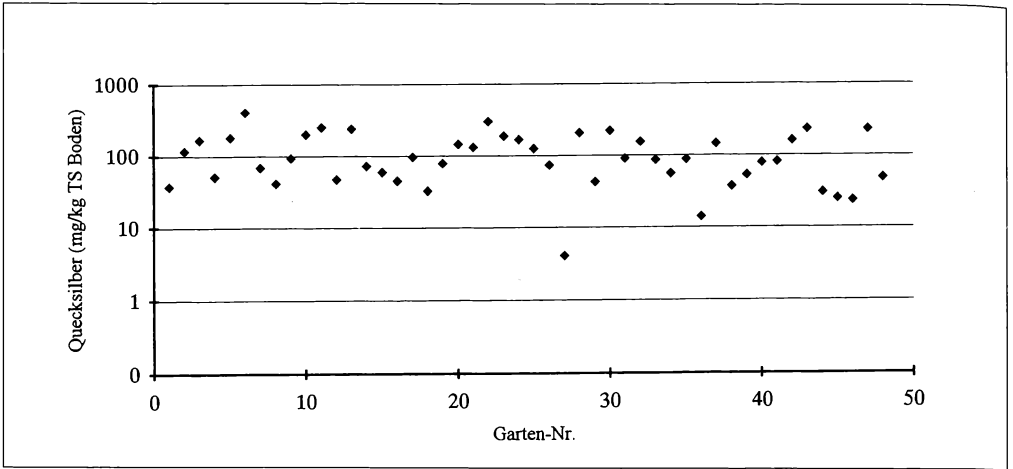


Abb. 3
Verteilung der Quecksilbergehalte in Gartenböden aus Stahlberg

Fig. 3
Distribution of the mercury contents of back gardens of Stahlberg

reits bei einem Gehalt von 1 mg Hg/kg TS im Boden kein weiterer Klärschlamm aufgebracht werden. Überschreiten die Konzentrationen an Quecksilber im Boden den sogenannten C-Wert der HOLLANDLISTE (1989) von 10 mg/kg TS »ist es notwendig, kurzfristig eine Sanierungsstudie durchzuführen und Entscheidungen hinsichtlich der Vorbereitung von Sanierungsmaßnahmen zu treffen«.

In allen Gartenböden der Ortschaft Stahlberg wurde nicht nur der Richtwert der Klärschlamm-VO überschritten, sondern auch – bis auf eine Ausnahme – eine deutliche Überschreitung des C-Wertes festgestellt (Abb. 3). Der höchste gemessene Quecksilbergehalt betrug 403 mg Hg/kg TS. 98 % der Böden wiesen Konzentrationen über 11 mg Hg/kg TS, 42 % solche über 100 mg Hg/kg TS auf.

Quecksilbergehalte in Pflanzen

Wie Tabelle 1 zeigt, wird Quecksilber nicht in gleichem Maße von den angebauten Pflanzenarten angereichert. In Kartoffelknollen fanden sich die geringsten Quecksilberkonzentrationen. Obwohl sich Rote Bete und Karotte, ebenso wie die Kartoffel, in unmittelbarem Bodenkontakt befinden, enthielten sie sehr wenig Quecksilber. Ähnlich niedrige Werte ließen sich in Erdbeere, Brombeere und Himbeere sowie in Rhabarberstielen feststellen. Wie beim Obst waren die Quecksilberkonzentrationen der Fruchtgemüse ebenfalls sehr gering. Bei Weißkohl und Kopfsalat traten Hg-Gehalte in derselben Größenordnung auf, wie sie bei den Frucht- und Wurzelgemüsen zu verzeichnen waren.

Von EL-BASSAM (1978) werden als häufige Gesamtquecksilbergehalte in Pflanzen 0,005–0,01 mg/

kg TS angegeben. BLUME (1990) nennt als »Normalgehalte« in Pflanzenmaterial bis 0,5 mg Hg/kg TS. Nach SCHUSTER (o. J.) liegt der Hg-Gehalt bei Gemüse normalerweise im unteren ppb-Bereich (1 ppb = 0,001 mg/kg), während AICHBERGER (1976) in 22 Gemüsearten von einem Wiener Markt einen Durchschnittswert von 0,01 mg Hg/kg fand. Bei Kartoffeln, Frucht- und Wurzelgemüse sowie den Obstarten und dem Rhabarber aus Stahlberg lagen demnach die Werte in »normalen« Konzentrationsbereichen. Dagegen konnten bei Endivien, Grünkohl und Spinat deutlich höhere Akkumulationen, bei letzterem bis zu 0,2 mg Hg/kg Frischsubstanz (FS), ermittelt werden.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, daß nicht nur eine artspezifische, sondern ebenso eine organspezifische Anreicherung an Quecksilber vorliegt, wie sie auch bei anderen Schwermetallen angetroffen wird. So lagen für Obst, Frucht- und Wurzelgemüse sowie Kartoffeln die Hg-Werte in ähnlicher Größenordnung vor, während in Blattgemüse sehr viel höhere Quecksilberkonzentrationen gemessen wurden.

Vielfach dienen Pflanzenteile, wie z.B. Karottenblätter, nicht dem menschlichen Verzehr, sondern werden an Haustiere verfüttert oder wandern auf den Kompost. Tabelle 2 gibt Auskunft über den Hg-Gehalt von Blättern, die häufig einem solchen Verwendungszweck zugeführt werden. Die Tabelle ermöglicht zusätzlich den Vergleich der Hg-Konzentrationen verschiedener Organe derselben Pflanzenart. Die Blätter von Rhabarber, Rote Bete, Karotte und Kartoffel waren sehr viel höher mit Quecksilber kontaminiert als die entsprechenden Stiele, Wurzeln und Knollen. Bei der Kartoffel fanden sich, obwohl sorgfältig ge-

Tab. 1
Gesamt-Quecksilbergehalte von Böden und GartenpflanzenTab. 1
Total mercury contents of soils and garden plants

Pflanzenart *)	Probenzahl (Bd./Pfl.)	Bodengehalte (mg Hg/kg TS) von ... bis	Pflanzengehalte (mg Hg/kg FS) von ... bis	Richtwert **)- überschreitungen
				Richtwert: 0,02
Kartoffel	16	2 – 282	0,0002 – 0,0007	-
				Richtwert: 0,03
Brombeere/Himbeere (O)	7	37 – 296	0,001 – 0,003	-
Erdbeere (O)	4	33 – 181	0,002 – 0,005	-
Rhabarberstiele	18	14 – 403	0,0001 – 0,003	-
				Richtwert: 0,05
Buschbohne (F)	6	45 – 238	0,0004 – 0,003	-
Gurke (F)	6	33 – 403	0,001 – 0,01	-
Rote Bete (W)	8	6 – 238	0,0004 – 0,001	-
Karotte (W)	17	2 – 403	0,0003 – 0,007	-
Weißkohl (B)	9	6 – 249	0,001 – 0,002	-
Kopfsalat (B)	9	15 – 403	0,002 – 0,04	-
Endivien (B)	16	14 – 403	0,006 – 0,09	x
Grünkohl (B)	15	33 – 403	0,015 – 0,09	x
Spinat (B)	13	14 – 403	0,014 – 0,2	x

*) Einteilung der Pflanzenarten, wie sie in den Listen des BGA geführt werden:

O = Obst, F = Fruchtgemüse, W = Wurzelgemüse, B = Blattgemüse

**) nach BGA (1994)

Tab. 2
Gesamt-Quecksilbergehalte unterschiedlicher PflanzenorganeTab. 2
Total mercury contents of different plant organs

Pflanzenart	Organ	Pflanzengehalte Maximalwerte (mg Hg/kg TS)	Organ	Pflanzengehalte Maximalwerte (mg Hg/kg TS)
Rhabarber	Blätter	1,18	Stiele	0,027
Rote Bete	Blätter	1,69	Wurzel	0,007
Karotte	Blätter	2,52	Wurzel	0,062
Radieschen	Blätter	3,01	-	-
Kartoffel	Blätter	6,12	Knolle	0,003
	(Schale)	31,84		

bürstet und gewaschen, die höchsten Hg-Gehalte in den Schalen.

Zur Beurteilung des Belastungsgrades der »Gartenabfälle« wird die Futtermittel-Verordnung (BGBl. 1993) herangezogen. In dieser sind für Quecksilber – je nach Futtermittelart – Höchstgehalte von 0,4 bzw. 0,2 mg Hg/kg festgeschrieben. In allen in Tabelle 2 aufgeführten Blattarten und Kartoffelschalen übersteigen die Quecksilberwerte den Höchstgehalt der Fut-

termittel-VO von 0,4 mg/kg um ein Vielfaches. Daher eignen sich diese auf den kontaminierten Stahlberger Böden erzeugten Gemüseabfälle nicht zur Verfütterung an Haustiere.

Bekannt ist die hohe Schwermetallakkumulation in Pilzen. Im Untersuchungsgebiet Stahlberg erreichten Wiesenchampignons Hg-Gehalte bis zu 85,5 mg/kg FS, im Gegensatz zu 1,5 mg/kg FS in Pilzen derselben Art von nicht Hg-kontaminierten Böden (LO-

RENZ, KOSSEN & KÄFERSTEIN 1978). Die hohe Affinität des Hg zur organischen Substanz, die für Kormophyten einen gewissen Schutz vor überhöhten Hg-Gehalten bedeutet, führt nach FATHI & LORENZ (1980) bei den saprophytisch lebenden Pilzen zu einer verstärkten Anreicherung, was durch die vergleichsweise intensive Nutzung des Substrates bedingt ist.

Die für Stahlberger Böden berechneten Transferkoeffizienten sind in Tabelle 3 aufgeführt. Bei allen Pflanzenarten der Hausgärten weisen sie große Schwankungsbreiten auf. Dies entspricht den Ergebnissen von KLOKE (1994), wonach der Transferfaktor keine konstante Größe ist, sondern stets eine gewisse Spannbreite aufweist, die von der Elementkonzentration im Boden und von der Pflanzenart abhängig ist.

Für die Nutzpflanzen in den Stahlberger Gärten wurden Hg-Transferkoeffizienten zwischen 0,00001 und 0,02 errechnet. SAUERBECK (1985) ermittelte für unkontaminierte Böden Transferkoeffizienten zwischen 0,01 und 0,1, als Maximalwert 0,5. Bei der Mehrzahl der Gartenkulturen in Stahlberg lagen die Transferfaktoren deutlich niedriger als bei Pflanzen auf Hg-unkontaminierten Böden. Lediglich bei Grünkohl, Kopfsalat, Endivien und Spinat, d.h. Arten, bei

denen häufig Richtwertüberschreitungen vorkamen, konnte der von SAUERBECK genannte Transferwert von 0,01 erreicht werden.

Trotz der großen Spannweite der Transferkoeffizienten wurde bei einer Reihe von Pflanzenarten eine Korrelation zwischen dem Quecksilbergehalt des Bodens und dem der Art festgestellt. In Abbildung 4 sind als Beispiele für die Akkumulation des Schwermetalls in Pflanzen in Abhängigkeit von der Bodenkonzentration die Regressionsgeraden für Kartoffeln und Spinat dargestellt.

Entgegen der Aussage von RASP et al. (1990), nach denen im Gelände Quecksilber erst ab einer Konzentration von 200 mg Hg/kg Boden von Pflanzenwurzeln aufgenommen wird, erfolgte im Untersuchungsgebiet bereits bei deutlich niedrigeren Bodenkonzentrationen eine Aufnahme von Quecksilber. So führte ein Bodenwert von 74 mg Hg/kg TS bei Spinat zu einer Anreicherung von 1,9 mg Hg/kg TS in den Blättern und damit zu einer vielfachen Überschreitung des Normalgehaltes. Ähnliche Ergebnisse nennen KLASINK & MÄLHOP (1978), die bei ihren Experimenten einen Anstieg des Spurenelementes in der Trockenmasse von Salat und Bohnen ab 10 mg Hg/kg im Boden fanden.

Obwohl in den Stahlberger Böden hohe Quecksilberkonzentrationen vorliegen, sind dort keine Schädigungssymptome oder Ertragsdepressionen beobachtet worden. Dies steht im Widerspruch zu den Ergebnissen vieler Experimente. In Untersuchungen von KLOKE (1974) wurden bei einem Gehalt von etwa 50 mg/kg Hg im Boden bei Möhren und Buschbohnen Ertragsdepressionen festgestellt, ab etwa 500 mg/kg war kein Wachstum mehr möglich. EL-BASAM (1978) konstatierte bei entsprechenden Gefäßversuchen eine Beeinträchtigung des Pflanzenwachstums ab 50 mg Hg/kg, Gehalte > 1000 mg Hg/kg verursachten Chlorosen, Nekrosen und andere Absterberscheinungen.

Als Erklärung kann neben der artspezifischen Aufnahme von Quecksilber auch die Abhängigkeit von der Bindungsform, in der das Schwermetall vorliegt, angeführt werden. Im Untersuchungsgebiet stocken die angebauten Kulturen vornehmlich auf lehmigen Sanden, in denen schwer lösliches Zinnober mit etwa 90 % die dominante Quecksilberform darstellt. Alle untersuchten Stahlberger Böden wiesen pH-Werte zwischen 6 und 7,5 auf. Da eine Mobilisierung des Quecksilbers nach BLUME (1990) und SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL (1989) erst ab pH 4 beginnt, ist in den Stahlberger Böden aufgrund des Säuregrades kaum mit einer Überführung in eine besser pflanzenverfügbare Form zu rechnen.

Mikrobielle Prozesse können allerdings zu anderen Bindungsformen führen, die leichter pflanzenverfügbar sind (FATHI & LORENZ 1980). Elementares Quecksilber und Dimethylquecksilber sind infolge ih-

Tab. 3
Quecksilber-Transferfaktoren für Pflanzenarten
aus Hg-belasteten Gärten in Stahlberg

Tab. 3
Mercury transfer factors for plant species from Hg-contaminated back gardens of Stahlberg

Pflanzenart*	Transferfaktoren** von ... bis
Brombeere/Himbeere (O)	0,0001 – 0,0004
Kartoffel	0,00001 – 0,001
Rhabarberstiele	0,00001 – 0,001
Rote Bete (W)	0,00002 – 0,001
Buschbohne (F)	0,0001 – 0,001
Karotte (W)	0,0001 – 0,001
Gurke (F)	0,0002 – 0,001
Erdbeere (O)	0,0003 – 0,001
Weißkohl (B)	0,0001 – 0,002
Grünkohl (B)	0,001 – 0,01
Kopfsalat (B)	0,001 – 0,01
Endivien (B)	0,002 – 0,01
Spinat (B)	0,004 – 0,02

*) O = Obst, F = Fruchtgemüse, W = Wurzelgemüse, B = Blattgemüse

**) Transferkoeffizient = mg Hg/kg TS Pflanze / mg Hg/kg TS Boden

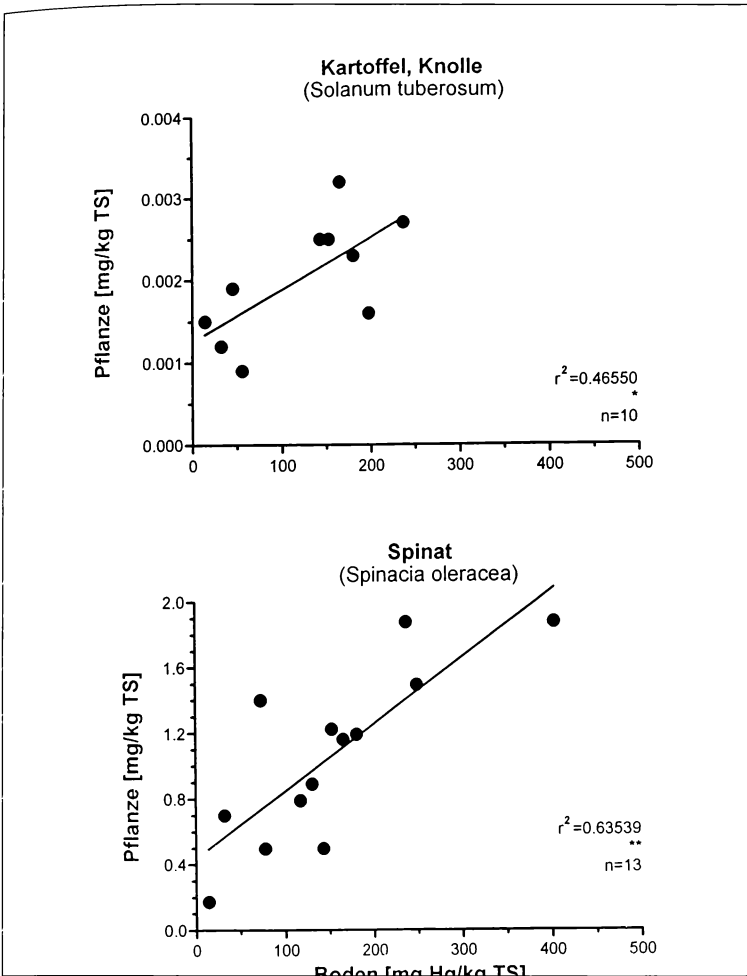


Abb. 4

Gesamt-Quecksilbergehalt in Kartoffelknollen und Spinatblättern in Abhängigkeit vom Gesamt-Quecksilbergehalt des Bodens.

r^2 Bestimmtheitsmaß = Anteil der erklärten Streuung an der Gesamtstreuung

n Anzahl

* Irrtumswahrscheinlichkeit $p \leq 0,05$

** Irrtumswahrscheinlichkeit $p \leq 0,01$

*** Irrtumswahrscheinlichkeit $p \leq 0,001$

Fig. 4

Total mercury content of potato tubers and spinach leaves depending on the total mercury content of the soil

res hohen Dampfdruckes gasförmig und vermögen daher aus dem Boden zu entweichen. So stellten SIEGEL & SIEGEL (1988) bei steigender Lufttemperatur eine Konzentrationszunahme des Spurenelementes in Pflanzenblättern fest. Dies bedeutet, daß Quecksilbergehalte in Pflanzen sowohl aus dem Boden (Absorption durch die Wurzeln) als auch aus der Luft (Aufnahme durch die Blätter) stammen können. Mit beiden Kontaminationspfaden ist zu rechnen (STAI-GER 1983). Die Höhe des Anteils an dampfförmigem, durch die Stomata aufgenommenem Quecksilber am Hg-Gesamtgehalt in den oberirdischen Pflanzenorganen ist jedoch ungeklärt (PADBERG 1991).

Grundlage für die Beurteilung der Hg-Kontamination in pflanzlichen Lebensmitteln sind die »Richtwerte zur Beurteilung der Gehalte von Schwermetallen in Gemüse, Obst, Fleisch, Milch und anderen Grundnahrungsmitteln«, die jährlich aktualisiert vom Bundesgesundheitsamt (BGA) herausgegeben werden. Während nach Tabelle 1 die Hg-Gehalte in Kartoffeln, in den

verschiedenen Obstarten, in Frucht- und Wurzelgemüsen die BGA-Richtwerte nicht überschritten, waren unter den Blattgemüse mehrere Arten, die klare Richtwertüberschreitungen aufwiesen. Vom Anbau und Verzehr dieser Arten muß daher abgeraten werden.

5 Zusammenfassung

Im Nordpfälzer Bergland weisen die auf ehemaligen Bergwerkshalden befindlichen Hausgärten Quecksilbergesamtgehalte maximal bis 403 mg Hg/kg Bodentrockensubstanz auf. Die Anreicherung des Elementes in den angebauten Pflanzen ist in Relation zur Bodenkontamination gering. Die Transferfaktoren sind niedriger als in Hg-unbelasteten Böden. Für verschiedene Pflanzenarten wurde eine Abhängigkeit der Pflanzengehalte von der Bodenkontamination festgestellt. Die Akkumulation von Quecksilber durch Pflanzen erfolgt art- und organspezifisch. In Obst,

Frucht- und Wurzelgemüsen sowie Kartoffeln finden sich nur geringe Hg-Anreicherungen, während bei einigen Blattgemüse-Arten Überschreitungen der BGA-Richtwerte für Lebensmittel zu verzeichnen waren.

Dem Ministerium für Umwelt und Landwirtschaft Rheinland-Pfalz sei für die finanzielle Unterstützung des Projektes gedankt.

6 Literatur

- AICHBERGER, K. (1976): Quecksilbergehalte von Getreide und Marktgemüse. Die Bodenkultur 27, 367–375.
- BGA (1994): Richtwerte für Schadstoffe in Lebensmitteln. Bundesgesundhbl. 5/94. 230–231 & Bundesgesundhbl. 8/94, 367.
- BGBl. (1993): Futtermittelverordnung vom 27. April 1993. In: LIENHOP, E. (1993): Handbuch der Fleischwarenherstellung. Rechtsbestimmungen, Bd. II; Stand Sept. 1993.
- BLUME, H.-P. (Hrsg.) (1990): Handbuch des Bodenschutzes. Bodenökologie und -belastung – Vorbeugende und abwendende Schutzmaßnahmen. Ecomed, Landsberg.
- DIN 32645 (1994): Nachweis-, Erfassungs- und Bestimmungsgrenze. Ermittlung unter Wiederholbedingungen. Begriffe, Verfahren, Auswertung.
- EIKMANN, T., KLOKE, A. & LÜHR, H.-P. (1991): IWS-Bodenwert-Listen. In: Institut für Wassergefährdende Stoffe, Berlin (IWS): Ableitung von Sanierungswerten für kontaminierte Böden. IWS-Schriftenreihe; Bd. 13.
- EL-BASSAM, N. (1978): Spurenelemente: Nährstoffe und Gift zugleich. Kali-Briefe 14, 255–272.
- FATHI, M. & LORENZ, H. (1980): Bindungsformen von Hg, Cd und Pb in Biotopen. Verhalten in der Nahrungskette und Vorkommen in Nahrungsmitteln. Metabolismus in Pflanze, Tier und Mensch. Literaturstudie. ZEBS-Berichte 1/1980. Dietrich Reimer Verlag, Berlin.
- HINZMANN, S. (1991): Mineralogie, Geochemie und Ökologie des Quecksilbers in historischen Bergbaugebieten von Rheinland-Pfalz. Diss. FB Geowissenschaften, Mainz.
- HOLLANDLISTE (1988): Leitfaden zur Bodensanierung in den Niederlanden. Teil II. Deutsche Übersetzung im Auftrag des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bonn 1989.
- KLASINK, A. & MÄHLHOP, R. (1978): Quecksilberaufnahme von Phaseolusbohnen und Kopfsalat aus Böden mit unterschiedlichem Gehalt an Ton, Humus und Kalk, ermittelt in Gefäßversuchen. Landw. Forsch. Sonderh. 35, 365–376.
- KLOKE, A. (1974): Tolerierbare Gehalte verschiedener Elemente in Böden in Bezug auf ihre Pflanzenverträglichkeit. In: Fachl. Stellungn. z. Rechtsverordn. d. § 15 Abfallbeseitigungs-Gesetz. Inst. f. Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Berlin-Dahlem.
- KLOKE, A. (1994): Schwermetalle und Pflanzensorten. AID Verbraucherdienst 39, 155–158.
- LORENZ, H., KOSSEN, M.-T. & KÄFERSTEIN, F.K. (1978): Blei-, Cadmium- und Quecksilbergehalte in Speisepilzen. Bundesgesundhbl. 21 (13), 202–207.
- PADBERG, S. (1991): Quecksilber im terrestrischen Ökosystem. Untersuchungen von Transport- und Umsetzungsmechanismen am Beispiel einer Meßstation im Sauerland. Berichte Forschungszentrum Jülich–2534.
- RASP, H., KOCH, E. & HARMS, H. (1992): Quecksilber in Boden und Pflanze. Seminar LUFA Speyer 7, 536–546.
- SAUERBECK, D. (1985): Funktion, Güte und Belastbarkeit des Bodens aus agrilkulturchemischer Sicht. Materialien zur Umweltforschung 10. Rat von Sachverständigen für Umweltfragen. Kohlhammer, Stuttgart.
- SCHEFFER, F. & SCHACHTSCHABEL, P. (1989): Lehrbuch der Bodenkunde. Enke, Stuttgart.
- SCHUSTER, E. (o. J.): Quecksilber kontaminierte Böden. Eine Literaturstudie zur Einschätzung des Verhaltens von Quecksilber und seiner Verbindungen. Materialien, Bayr. Staatsminist. f. Landesentwicklg. u. Umweltfragen, München.
- SIEGEL, S.M. & SIEGEL, B.Z. (1988): Temperature determinations of plant-soil-air mercury relationship. Water Air Soil Pollution 40, 443–448.
- STAIGER, K. (1983): Zur Bewertung der Quecksilberaufnahme über den Pflanzensproß. – Archiv f. Acker- und Pflanzenbau u. Bodenk. 27, 279–286
- STEBING, L., GROBECKER, K.H. & HANEKE, J. (1991): Quecksilber in Boden und Pflanze. UWSF – Z. Umweltchem. Ökotox. 3 (6), 332–334.
- STEBING, L., GROBECKER, K.H. & KURFÜRST, U. (1980): Zeeman-Atomabsorption zur Bestimmung von Schwermetallen in Pflanzen. Staub-Reinhalt. Luft 40. Nr. 12, 537–540.
- VDLUFÄ (1991): Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik. Methodenbuch. Band. I: Die Untersuchung von Böden. Verein Deutscher Landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalten (Hrsg.) VDLUFÄ-Verlag, Darmstadt.

Adresse

Prof. Dr. Dr. h.c. Lore Steubing
 Andrea Vogel
 Justus-Liebig-Universität
 Institut für Pflanzenökologie
 Heinrich-Buff-Ring, 35390 Gießen

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie](#)

Jahr/Year: 1996

Band/Volume: [25_1996](#)

Autor(en)/Author(s): Steubing Lore, Vogel Andrea

Artikel/Article: [Quecksilbergehalte in Böden und Pflanzen im Bereich historischer Bergbaugebiete des Nordpfälzer Berglandes 115-122](#)