

Schwermetalleinträge in Landwirtschaftsböden

Karin LINGG, Reto MEULI und Rainer SCHULIN, Institut für terrestrische Ökologie der ETH Zürich, Fachbereich Bodenschutz, CH-8952 Schlieren

In der Landwirtschaft werden Dünger und Pflanzenschutzmittel verwendet, die je nach Produkt grössere oder kleinere Mengen an Schwermetallen enthalten. Jahrzehntelanger Hilfsstoffeinsatz kann so zu Schwermetallanreicherungen führen. Bei einer Erhebung auf acht Landwirtschaftsparzellen im zürcherischen Furttal ergaben sich für Cadmium, Chrom, Kupfer und Zink beträchtliche hilfsstoffbedingte Einträge, die elementspezifisch einen Anteil von 5 bis 50 % gemessen an den Totalgehalten in Oberböden ausmachten.

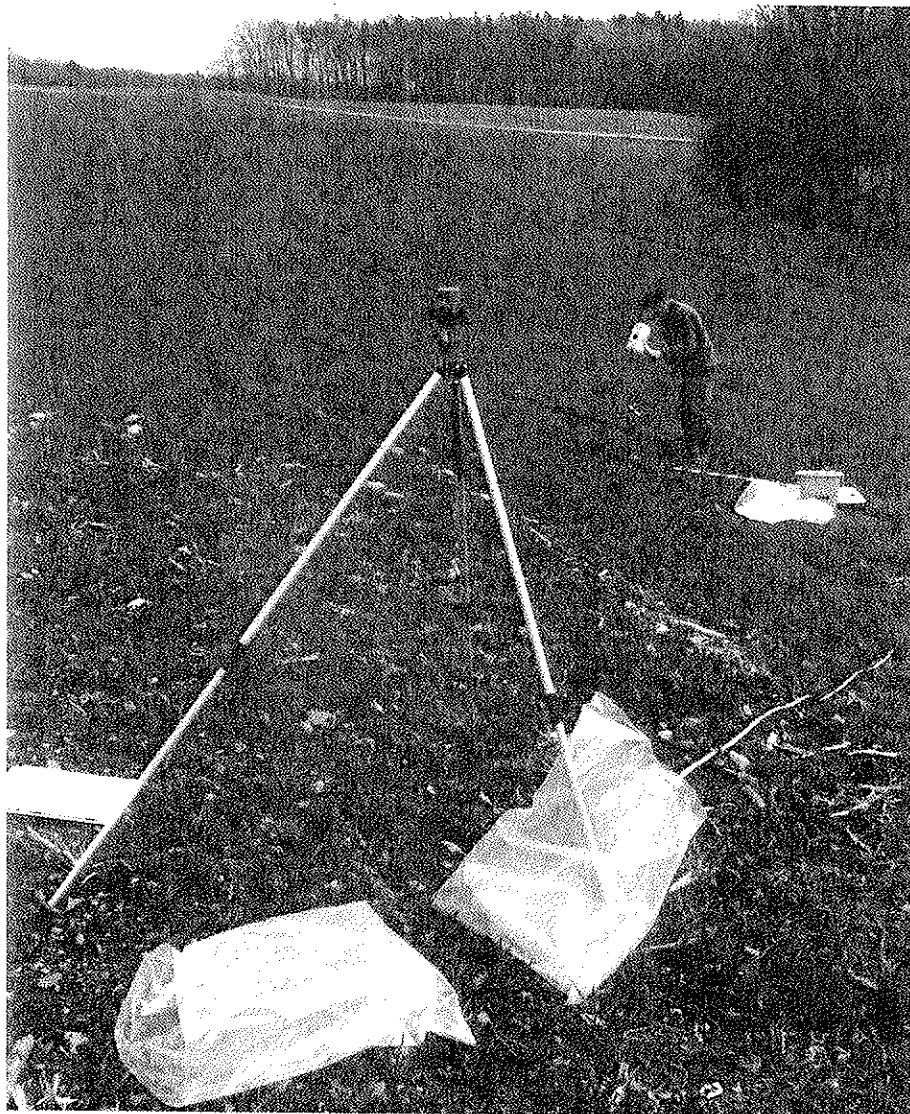
Ziel des Bodenschutzes ist es, die Fruchtbarkeit des Bodens langfristig zu erhalten. Dazu ist es notwendig, die Anreicherung von schädlichen Stoffen, unter anderem Schwermetallen frühzeitig zu erkennen. Als Methode zur regionalen Früherkennung von Schwermetallbelastungen der Landwirtschaftsböden wurde das Stoffbuchhaltungsmodell PROTERRA (Obrist *et al.* 1993) entwickelt und bisher in einigen Kantonen angewendet. Parzellenbezogene Aussagen sind damit aber nicht möglich, da unter anderem durch die unterschiedliche Bewirtschaftung grosse Unterschiede in der Schwermetallbelastung zwischen einzelnen Parzellen einer Region entstehen können.

Am Institut für terrestrische Ökologie wird ein Modell entwickelt, das die Stufe Parzelle in die regionale Schwermetallbilanzierung miteinbezieht. Beim Teilgebiet Landwirtschaft ging es in einem ersten Schritt einerseits darum, die Bedeutung der langjährigen Schwermetalleinträge mit den landwirtschaftlichen Hilfsstoffen im Vergleich zur atmosphärischen Deposition abzuschätzen. Andererseits sollte aufgezeigt werden, ob Zusammenhänge zwischen der Bewirtschaftung und der Schwermetallbelastung der Böden bestehen. Ein Zwischenziel liegt darin, Bewirtschaftungstypen bilden zu können.

Schwermetalleinträge in Landwirtschaftsparzellen erfolgen über Dünger und Pflanzenschutzmittel, sowie über die atmosphärische Deposition. Zur Erhebung der langjährigen Einträge der Schwermetalle Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel und Zink wurden im zürcherischen Furttal acht Landwirtschaftsparzellen mit verschiedenen Bewirtschaftungsformen ausgewählt. Dabei haben wir die hilfsstoff- und depositionsbedingten

Einträge der letzten 45 Jahre, von 1950 bis 1994, aufsummiert. Die ausgewählten Parzellen gehörten zu fünf Betrieben. Es handelte sich dabei um vier Ackerbaubetriebe mit Rindviehhaltung. Ein Betrieb stellte 1970 auf viehlose Produktion um.

Drei der ausgewählten Parzellen waren Dauerwiesen, bei den restlichen fünf handelte es sich um Fruchtfolgeflächen. Schwermetallanreicherungen in den Böden, hochgerechnet aus den langjährigen Einträgen durch den Hilfsstoffeinsatz und der atmosphärischen Deposition konnten für Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer und Zink festgestellt werden. Die Bedeutung der beiden Eintragspfade im Vergleich zu den gemessenen Totalgehalten war stark elementabhängig. Die Nickeleinträge waren im Vergleich zu den gemessenen Total-



Einmessung des Standortes und Bodenprobenahme mit dem Humax-Bohrgerät.

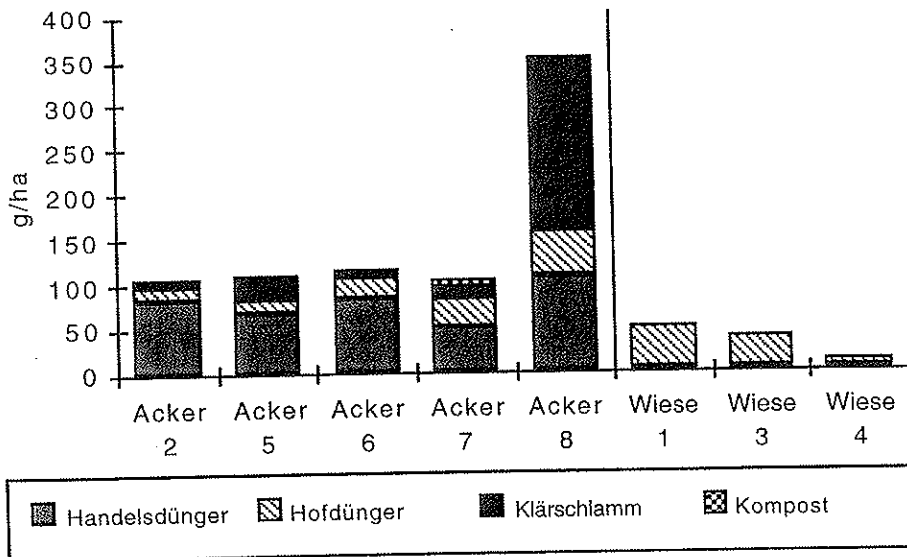


Abb. 1. Cadmiumeinträge durch Dünger und Pflanzenschutzmittel im Zeitraum von 1950 bis 1994 (in g/ha).

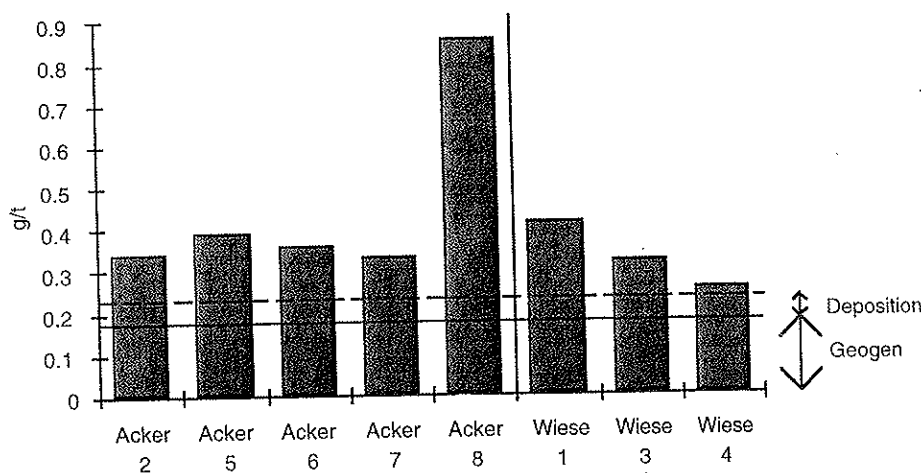


Abb. 2. Gemessene Cadmium-Totalgehalte der Böden im Vergleich mit dem geschätzten geogenen Anteil und dem Anteil aus der atmosphärischen Deposition im Zeitraum von 1950 bis 1994 (in g/t).

gehalten vernachlässigbar klein. Die Nickelgehalte der Böden sind fast ausschliesslich geogenen Ursprungs. Von weiteren Ausführungen wird daher abgesehen.

Blei aus der Luft

Die langjährigen Bleieinträge durch die atmosphärische Deposition waren bedeutend grösser als die Einträge aus der Landwirtschaft. Sie betragen umgerechnet im Mittel 20 % der gemessenen Totalgehalte, während der Hilfsstoffeinsatz einen durchschnittlichen Anteil von 4 % ausmachte. Auf der Seite der Landwirtschaft lieferte der Klärschlamm zusammen mit dem Kompost die grössten Bleieinträge.

Cadmium im Klärschlamm und Rohphosphat

Die über 45 Jahre hinweg aufsummierten hilfsstoffbedingten Cadmiumeinträge

mussten zu einem bedeutenden Teil dem Handelsdüngereinsatz angelastet werden. Bei häufiger Klärschlammwendung, das heisst etwas mehr als zehn Einsätzen im beschriebenen Zeitraum, wie dies bei der Parzelle Nr. 8 der Fall war, dominierte dagegen der Schwermetalleintrag via Klärschlammdüngung (Abb. 1). Der Hauptteil der handelsdüngerbedingten Cadmiumeinträge auf die exemplarisch untersuchten Parzellen verursachte der Einsatz von Superphosphat, Triplesuperphosphat sowie von gewissen Mehrnährstoffdüngern. Cadmium kommt natürlicherweise zusammen mit dem Rohphosphat vor, dem Ausgangsstoff für die oben erwähnten Dünger. Je nach geographischer Herkunft des Rohphosphates können unterschiedliche Cadmiumgehalte gefunden werden (Obrist *et al.* 1993). Bei den Einträgen aus der Landwirtschaft lag der durchschnittliche Anteil am gemessenen Cadmium-Totalgehalt bei 5 bis 15 %.

Der Eintrag von Cadmium über die atmosphärische Deposition (Abb. 2) lag im betrachteten Zeitraum von 1950 bis 1994 etwa in der gleichen Grössenordnung wie der Eintrag über den Hilfsstoffeinsatz, was auch Baccini und von Steiger (1993) in einer flächenbezogenen Untersuchung im Unteren Bünztal feststellten.

Hohe Chromeinträge mit Thomasschlacke

Die Chromeinträge waren fast ausschliesslich auf die Düngung mit Thomasmehl oder Thomaskali zurückzuführen, die als Phosphor- oder kombinierte Phosphor-Kali-Dünger verwendet werden. Sie bestehen aus Schlacken der Stahlproduktion und enthalten beträchtliche Konzentrationen an Chrom. Der prozentuale Anteil der Chromeinträge aus der Landwirtschaft gemessen an den Totalgehalten betrug im Mittel zwischen 35 und 50 %. Via Deposition gelangten unbedeutende Mengen an Chrom auf den Boden.

Kupfer-Fungizide im Kartoffelbau

Die Kupfereinträge über die Hilfsstoffe konnten grösstenteils auf den langjährigen Einsatz von kupferhaltigen Fungiziden, Hofdünger und Klärschlamm zurückgeführt werden. Die Einträge über den Handelsdünger waren hingegen unbedeutend. Die grössten Kupferflüsse wurden durch den Gebrauch von kupferhaltigen Fungiziden im Kartoffelbau ausgelöst. Bei den Einträgen via Hofdünger spielen Schweinegülle und -mist eine Rolle, wie auch aus Abbildung 3 ersichtlich wird. Bei der Parzelle 8 wurden wegen dem teilweisen Einsatz von Schweinemist etwa doppelt so hohe Einträge berechnet wie bei den übrigen Parzellen. Die Bedeutung des Klärschlammes hing stark von der Düngungshäufigkeit ab. Zwei bis drei Düngungen genügte, um etwa die Grössenordnung an Kupfereinträgen durch den jahrzehntelangen Hofdüngereinsatz zu erreichen (Abb. 3).

Die Kupfereinträge durch die atmosphärische Deposition (Abb. 4) waren durchschnittlich um eine Grössenordnung kleiner als die Summe aller hilfsstoffbedingten Einträge. Der prozentuale Anteil der Kupfereinträge aus der Landwirtschaft gemessen an den analysierten Totalgehalten der Böden betrug im Mittel zwischen 10 und 25 %, während die Deposition um-

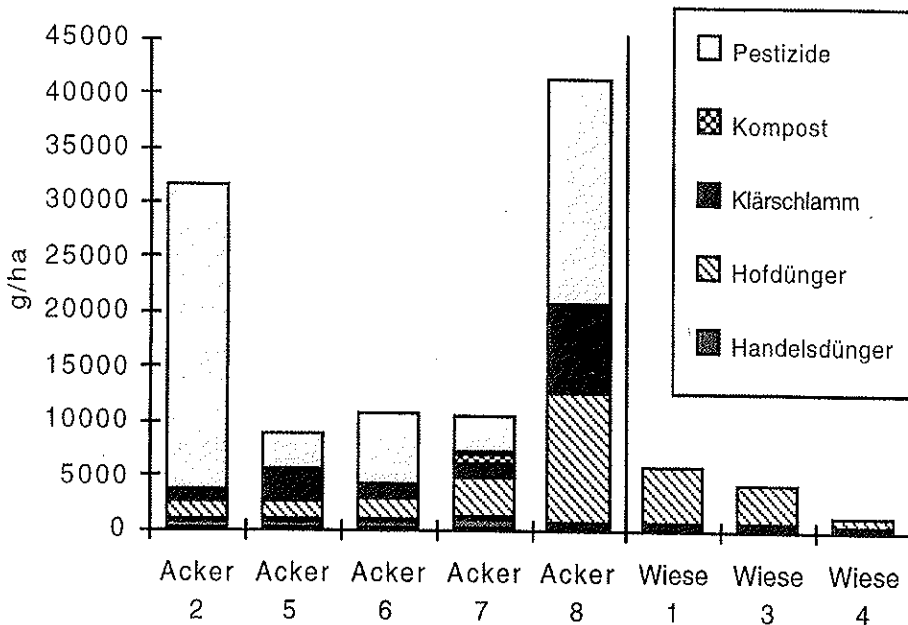


Abb. 3. Kupfereinträge durch Dünger und Pflanzenschutzmittel im Zeitraum von 1950 bis 1994 (in g/ha).

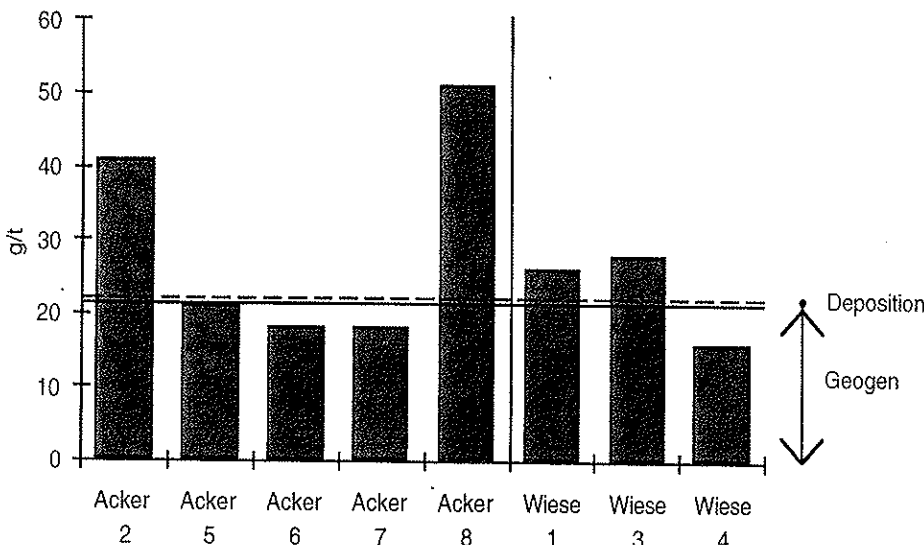


Abb. 4. Gemessene Kupfer-Totalgehalte der Böden im Vergleich mit dem geschätzten geogenen Anteil und dem Anteil aus der atmosphärischen Deposition im Zeitraum von 1950 bis 1994 (in g/t).

Tab. 1. Gemessene Schwermetall-Totalgehalte (2M HNO₃-Auszug gemäss VSBo) in den Böden der acht ausgewählten Parzellen im zürcherischen Furttal

Parz.	Bewirtschaftung	Schwermetall-Totalgehalte in g/t					
		Blei	Cadmium	Chrom	Kupfer	Nickel	Zink
1	Dauerwiese	29	0,4	20	26	23	65
2	Fruchtfolgefläche	25	0,3	28	41	30	87
3	Dauerwiese	25	0,3	22	28	24	75
4	Dauerwiese	23	0,3	22	16	30	49
5	Fruchtfolgefläche	21	0,4	28	21	27	53
6	Fruchtfolgefläche	21	0,4	20	18	22	48
7	Fruchtfolgefläche	24	0,3	24	18	27	57
8	Fruchtfolgefläche	31	0,9	44	51	35	96
Richtwerte gemäss VSBo		50	0,8	75	50	50	200
Häufige Oberbodengehalte CH (BUWAL 1993)		16-38	0,1-0,5	13-38	6-35	6-40	35-89

Zur Stoffbilanzierung

Für die ausgewählten Parzellen lagen Analysen der Schwermetall-Totalgehalte als 2M HNO₃-Auszüge gemäss Verordnung über Schadstoffe im Boden (VSBo 1986) vor. Diese Werte (Tab. 1) gaben Auskunft über den aktuellen Belastungszustand der Böden (Meuli, unveröffentlichte Ergebnisse). Im Rahmen einer Diplomarbeit am Institut für terrestrische Ökologie (Lingg 1995) wurden die langjährigen Schwermetalleinträge aus der Landwirtschaft und der atmosphärischen Deposition, die zum erwähnten Belastungszustand beigetragen haben, erhoben.

Die hilfsstoffbedingten Einträge von Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel und Zink haben wir als parzellenbezogene Schwermetallflüsse über den Zeitraum von 1950 bis 1994 (45 Jahre) aufsummiert. Zur Berechnung der Schwermetallflüsse wurden die Elementkonzentrationen der einzelnen Hilfsstoffe mit den jeweiligen ausgebrachten Hilfsstoffmengen, den Güterflüssen, multipliziert (Baccini und von Steiger 1993). Die Werte zu den Elementkonzentrationen wurden aus der Literatur übernommen (BUWAL 1993; Gsponer 1990). Die Güterflüsse haben wir aufgrund von schriftlichen und mündlichen Informationen der Betriebsleiter abgeschätzt.

Die Grundlage für die Abschätzung der atmosphärischen Schwermetall-Deposition bildeten die Werte des NABO-Standortes Dällikon (BUWAL 1993) aus dem Jahr 1985. Diese sind in Relation zu den geschätzten Schwermetall-Emissionen in der Schweiz (BUS 1987) seit 1950 gesetzt und für die Jahre 1950 bis 1994 hochgerechnet worden. Die Deposition wurde im gesamten Furttal als homogen betrachtet.

Weitere Schwermetall-Eintrags- beziehungsweise Austragspfade wurden vernachlässigt. Baccini und von Steiger (1993) zeigten in der regionalen Stoffbilanzierung, dass diese um mindestens eine Grössenordnung kleiner waren als die hilfsstoff- und depositionsbedingten Einträge. Die Einträge aus der Landwirtschaft und der Deposition wurden zu Schwermetallgehalten (g/t) im Boden umgerechnet und als langjährige, vom Menschen verursachte Anreicherungen im Boden betrachtet. Um die Bedeutung der Schwermetalleinträge aus der Landwirtschaft und der Deposition abzuschätzen, wurden die ermittelten Schwermetallgehalten mit den gemessenen Totalgehalten sowie mit den gesteinsbedingten Gehalten (Tuchschmid 1995) verglichen.

$$\text{Güterfluss} \times \text{Stoffkonzentration} = \text{Stofffluss}$$

$$\left[\frac{\text{Gutmasse} \times \text{Stoffmasse}}{\text{Zeit}} \right] = \left[\frac{\text{Stoffmasse}}{\text{Zeit}} \right]$$

gerechnet einen Anteil von 3 bis 5 % aufwies.

Zink im Klärschlamm und Hofdünger

Die hilfsstoffbedingten Zinkeinträge wurden hauptsächlich durch den Hofdünger-

und Klärschlammzusatz bestimmt. Der prozentuale Anteil der Einträge aus der Landwirtschaft gemessen an den Totalgehalten der Böden betrug im Mittel zwischen 10 und 20 %.

Der Eintrag von Zink über die atmosphärische Deposition lag im betrachteten Zeitraum von 1950 bis 1994 etwa in der gleichen Grössenordnung wie der Eintrag über den Hilfsstoffeinsatz. Baccini und von Steiger (1993) machten dieselbe Feststellung.

Fazit

Es zeigte sich, dass gewisse Typologierungen von Bewirtschaftungsformen möglich sind und bei der Erfassung von Schwermetalleinträgen angewendet werden können. Bezüglich Schwermetallbelastung kann zwischen Wiesenparzellen und Fruchtfolgeflächen unterschieden werden. Zusätzlich spielt aber auch das Düngeregime eines Betriebes eine wichtige Rolle. Generell kann festgehalten werden, dass die Bedeutung einzelner Hilfsstoffe am Gesamteintrag elementabhängig ist.

Bei Blei, Chrom und Zink konnten keine engen Beziehungen zwischen den hilfsstoffbedingten Einträgen und den gemessenen Totalgehalten gefunden werden. Bei Cadmium und Kupfer gab es hingegen Zusammenhänge.

Blei wurde hauptsächlich via Deposition eingetragen. Mit der Einführung von Katalysatoren sind die Bleiimmissionen stark zurückgegangen, so dass die Bedeutung der Bleieinträge aus der Landwirtschaft zunehmen wird. Insbesondere sollte dabei die Entwicklung der Bleikonzentrationen im Klärschlamm und Kompost sowie deren Anwendung als Dünger im Auge behalten werden.

Beim Cadmium waren die langjährigen Einträge aus der Luft und aus der Landwirtschaft etwa gleich hoch. Der Hauptteil der hilfsstoffbedingten Einträge musste dem Klärschlamm und gewissen Handelsdüngern angerechnet werden.

Chromeinträge fanden hauptsächlich bei der Düngung mit Thomasschlacke statt.

Beim Kupfer fielen besonders der Kartoffelanbau mit Kupferfungizid-Anwendung sowie die Klärschlammdüngung ins Gewicht.

Die langjährigen Zinkeinträge durch Deposition und landwirtschaftliche Hilfsstoffe - hauptsächlich Hofdünger und Klärschlamm - waren von der gleichen Grössenordnung.

LITERATUR

Baccini P. und von Steiger B., 1993. Die Stoffbilanzierung landwirtschaftlicher Böden - Eine Methode zur Früherkennung von Bodenveränderungen. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 156, 45-54.

BUS, 1987. Vom Menschen verursachte Schadstoff-Emissionen in der Schweiz 1950 - 2010. Schriftenreihe Umweltschutz Nr. 76. Bundesamt für Umweltschutz (BUS). Bern. 167 S.

BUWAL, 1993. Nationales Bodenbeobachtungsnetz, Messresultate 1985-1991. Schriftenreihe Umwelt Nr. 200. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL). Bern. 134 S.

Gsponer R., 1990. Schwermetalle in Düngemitteln: Ein Diskussionsbeitrag. Amt für Gewässerschutz und Wasserbau des Kantons Zürich, Fachstelle Bodenschutz. Zürich. 26 S.

Lingg K., 1995. Schwermetalleinträge in Landwirtschaftsböden durch Hilfsstoffe. Diplomarbeit Institut für terrestrische Ökologie der ETH Zürich. 55 S.

Obrist J., von Steiger B., Schulin R., Schärer F. und Baccini P., 1993. Regionale Früherkennung der Schwermetall- und Phosphorbelastung von Landwirtschaftsböden mit der Stoffbuchhaltung «Protera». *Landwirtschaft Schweiz* 6 (9), 513-518.

Tuchschnid M.P., 1995: Quantifizierung und Regionalisierung von Schwermetall- und Fluorgehalten bodenbildender Gesteine der Schweiz. Schriftenreihe Umwelt-Materialien, BUWAL Bern, 1995. 130 S.

VSBö, 1986. Verordnung über Schadstoffe im Boden. EDMZ. Bern. 17 S.

RÉSUMÉ

Accumulation de métaux lourds dans les sols agricoles par des engrais et des pesticides

Huit parcelles agricoles de la région Furtal près de Zurich, exploitées en rotation ou prairie permanente, ont été choisies pour étudier les apports de métaux lourds dus à l'utilisation d'engrais ou de pesticides. Les métaux lourds considérés sont le cadmium, le chrome, le cuivre, le nickel, le plomb et le zinc.

Les apports d'origine agricole entre 1950 et 1994 ont été calculés sur la base des données des chefs d'exploitation sur les quantités d'engrais et de pesticides appliqués ainsi que des teneurs en métaux lourds trouvées dans la littérature. Les apports additionnés ont ensuite été comparés avec la déposition atmosphérique estimée pour la même période et avec les teneurs totales du sol (extrait HNO₃ 2M d'après l'Osol).

Les engrais et les pesticides ont apporté des quantités de chrome et de cuivre considérables. Entre 35 et 50 % de chrome par rapport à la concentration totale dans le sol étaient d'origine agricole, presque exclusivement causés par les scories Thomas. Les 10 à 25 % de cuivre

d'origine agricole étaient attribués en premier lieu aux apports de fongicides et de boues d'épuration.

Les apports de cadmium et de zinc dus à l'agriculture ont été comparables à ceux provenant de la déposition atmosphérique. 10 à 20 % de zinc et 5 à 15 % de cadmium par rapport aux teneurs du sol étaient d'origine agricole. Les engrais de ferme ont apporté du zinc, certains engrais du commerce phosphatés du cadmium et les boues d'épuration les deux éléments.

Les apports de plomb, par contre, ont été dominés par la déposition atmosphérique. Durant la période considérée, ils se sont élevés à environ 20 % de la teneur dans le sol. Enfin, le nickel dans le sol est presque exclusivement d'origine géogène.

SUMMARY

Input of heavy metals into agricultural soils by fertilizers and pesticides

In the region of Furtal near Zurich the input of heavy metals by fertilizers and pesticides was investigated for eight agricultural fields, that were either used as grassland or in crop rotation. The heavy metals considered in this study are cadmium, chromium, copper, lead, nickel and zinc.

Based on effectively used quantities of fertilizers and pesticides and in consideration of the heavy metal concentrations given by literature, the total input for the period 1950 - 1994 was calculated. The resulting amounts were compared with the estimated input by atmospheric deposition as well as with the analysed total concentrations (2M HNO₃ extract acc. VSBö ordinance relating to pollutants in soil).

Fertilizers and pesticides led to a relevant input of chromium and copper. The longterm input of chromium by agriculture amounted to 35 - 50 % of the analysed total concentration. Chromium input was mainly due to the utilization of Thomas slag. Regarding copper it was mainly the use of fungicides and sewage sludge that accounted for about 10 - 25 % of the analysed total concentrations.

Deposition and fertilizers each accounted for about half (50 %) of the cadmium and zinc input. For zinc the average input by agriculture amounted to 10 - 20 % of the total concentration, whereas cadmium amounted to 5 - 15 %. The input was mainly caused by manure (Zn), by some phosphate fertilizers (Cd) and by sewage sludge (Zn and Cd).

The input of lead was dominated by atmospheric deposition, averaging at 20 % of the analysed total concentration. On the other hand the nickel concentration in soils was found to be mainly geogenic.

KEY WORDS: agriculture, fertilizers, heavy metals, material flux, pesticides