

Umwelt

Stoffbilanzen für Parzellen der Nationalen Bodenbeobachtung

Armin Keller und André Desaulles, Agroscope FAL Reckenholz, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, CH-8048 Zürich

Auskünfte: Armin Keller, E-Mail: armin.keller@fal.admin.ch, Fax +41 (0)1 377 72 01, Tel. +41 (0)1 377 72 07

Zusammenfassung

Auf 48 landwirtschaftlich genutzten Messparzellen der Nationalen Bodenbeobachtung (NABO) wurden für die Jahre 1996 bis 2001 Bilanzen für Cadmium (Cd), Kupfer (Cu), Blei (Pb) und Zink (Zn) auf Basis von parzellenscharfen Bewirtschaftungsangaben berechnet. Berücksichtigt wurden Einträge über Hof-, Mineral- und Abfalldünger, Pflanzenschutzmittel und atmosphärische Deposition sowie Austräge über das Erntegut. Für die Mehrheit der Parzellen wurden ausgeglichene Ein- und Austräge festgestellt, die in der Summe einer Konzentrationszunahme im Boden von weniger als 1 % des jeweiligen Richtwertes in einem Jahrzehnt entsprechen. Zunahmen der Bodenkonzentration von mehr als 1 % in einem Jahrzehnt wurden hingegen für Cd in sieben, für Cu in zehn und für Zn in zwanzig der 48 NABO-Parzellen prognostiziert. Auf einigen Parzellen waren stark erhöhte Einträge von Zink über Hofdünger und von Kupfer über Pflanzenschutzmittel oder Hofdünger zu verzeichnen. Die geschätzten Schwermetallzunahmen können bis zu 5 % für Cu und Zn bei intensiver Tierhaltung oder sogar 21 % beim Cu im Rebbau des jeweiligen Richtwertes in einem Jahrzehnt betragen. Die Ergebnisse dieser Bilanzstudie dienen der Früherkennung und Prognose von Veränderungen der Schadstoffbelastung im Boden und ergänzen somit die im NABO zeitlich wiederholten Bodenmessungen. Denn nur durch diese können die Prognosen verifiziert und die effektive Veränderung im Boden festgestellt werden.

Mit dem Ziel, Schadstoffbelastungen im Boden frühzeitig erkennen und prognostizieren zu können, wurde 1985 das Nationale Bodenbeobachtungsnetz (NABO) eingerichtet. Dieses umfasst derzeit landesweit 105 Dauerbeobachtungsflächen mit unterschiedlicher Landnutzung (Desaulles und Studer 1993; Desaulles und Dahinden 2000). Mit zeitlich wiederholten Messungen wird an diesen Standorten die jeweils aktuelle Schadstoffkonzentration im Boden erfasst, um so Veränderungen der Schadstoffbelastung direkt nachweisen zu können (direktes Monitoring). Mit diesem direkten Monitoring können aber die Ursachen von Veränderungen im Boden nicht eruiert werden. Diese sind mit der Bilanzierung der stofflichen Ein- und Austräge, das heisst dem indirekten Monitoring, zu erfassen. Dieses dient zudem der Identifizierung der wichtigsten Eintragspfade

sowie der Prognose von Konzentrationsveränderungen im Boden. Auf Basis der Bilanzergebnisse können geeignete Massnahmen zur Vermeidung von Schadstoffeinträgen in Böden umgesetzt werden. Solche Massnahmen zielen insbesondere auf den umweltgerechten Einsatz von landwirtschaftlichen Hilfsstoffen wie Hof-, Mineral- und Abfalldünger sowie Pflanzenschutzmittel ab (BUWAL 1996).

Vermeidungsmassnahmen aufgrund von Stoffbilanzen sind allerdings nur dann gerechtfertigt, wenn diese zuverlässig und genau sind (Keller *et al.* 2002). Für das indirekte Monitoring im NABO-Messnetz wird deshalb eine Stoffbilanzierungsmethode angewandt, die es erlaubt, Unsicherheiten sowie die räumliche und zeitliche Variation in den Bilanzdaten in der Berechnung mit einzubeziehen. Im Folgenden

werden für 48 landwirtschaftlich genutzte NABO-Parzellen Ergebnisse dieser Bilanzmethode für Cadmium (Cd), Kupfer (Cu), Blei (Pb) und Zink (Zn) der Jahre 1996 bis 2001 vorgestellt. Eine umfassende Beschreibung der Stoffbilanzen findet sich in Keller *et al.* (2004).

Landwirtschaftsbetriebe im NABO-Messnetz

Von den landesweit 105 Standorten im NABO-Messnetz (Abb. 1) befinden sich 70 auf landwirtschaftlich genutzten Flächen. Von diesen werden für 48 Standorte seit 1996 jährlich die Bewirtschaftung mit parzellenscharfen Mengenangaben der eingesetzten Hilfsstoffe und der Ernte sowie die wichtigsten Kennzahlen der bewirtschafteten Betriebe erfasst. Die Betriebe wurden auf Basis der Typologie FAT99 (FAT 2000) klassifiziert, um die Stoffbilanzen entsprechend zu gruppieren. Kombinierte Betriebe mit den Schwerpunkten Veredlung (13 Betriebe) und Verkehrsmilch-Ackerbau (10 Betriebe) sowie andere kombinierte Betriebe (8 Betriebe) sind die häufigsten Betriebstypen für die Dauerbeobachtungsflächen im NABO-Messnetz. Insgesamt betreiben etwa drei Viertel der Betriebe Viehhaltung, wobei die Spanne der Grossvieheinheiten (GVE) von maximal 0,1 bis 2,7 GVE/ha reicht. Der Median beträgt 1,1 GVE/ha. Die landwirtschaftliche Nutzfläche der Betriebstypen ist sehr unterschiedlich und betrug durchschnittlich 27 ha. Jeweils ein Drittel der 48 Parzellen wurde in

den Jahren 1996 bis 2001 ackerbaulich genutzt. Andere Nutzungen waren Wiesen und Weiden (10 Betriebe) sowie Spezialkulturen mit Obstbau und Rebbau (je 3 Betriebe) oder Gemüsebau (2 Betriebe, Abb. 2).

Bilanzierungsdaten

In einem ersten Schritt wurden für die Elemente Cd, Cu, Pb und Zn die Einträge durch Hof- und Mineräldünger, Klärschlamm und Pflanzenschutzmittel sowie die Austräge durch das Erntegut berücksichtigt. Mögliche Veränderungen der Konzentration der Stoffe im Boden durch Erosion, Verlagerung oder Bodenbewirtschaftung sollen in einem weiteren Schritt mit einem erweiterten Bilanzierungsmodell mit einbezogen werden. Die für die Jahre 1996 bis 2001 gemittelten Ein- und Austräge werden in g/ha und Jahr berechnet. Der Nettoflux eines Stoffes gibt die Differenz aus Ein- und Austrägen eines Stoffes im Boden an. Positive Werte bedeuten eine Nettoanreicherung des Stoffes, negative Werte einen Nettoentzug.

Zusätzlich zu den Schwermetallbilanzen wird die Bilanz für Phosphor (P) für die Parzellen berechnet, um einerseits die Bewirtschaftungsangaben auf ihre Plausibilität hin überprüfen zu können und andererseits die Nutzungsintensivität abzuschätzen. Die Konzentrationswerte der jeweiligen Hilfsstoffe und Kulturpflanzen stützen sich auf umfangreiche Untersuchungen und Literaturdaten ab. Für die komplette Auflistung der verwendeten Bilanzdaten und Literaturquellen wird auf Keller *et al.* (2004) verwiesen.

Unsicherheit von Bilanzierungsdaten

Die Bilanzierungsdaten basieren in der Regel auf einer Vielzahl von Untersuchungen mit unterschiedlichem zeitlichen und

NABO Messnetz

- Bodenerhebung
- Bodenerhebung und Stoffbilanz

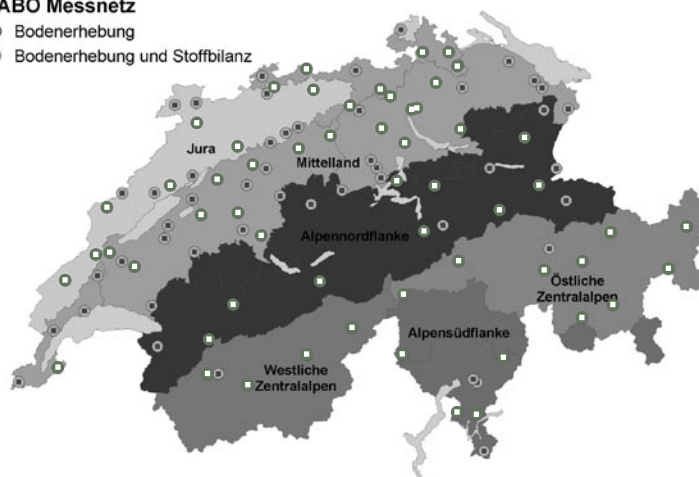


Abb. 1. Das Nationale Bodenbeobachtungsnetz der Schweiz (NABO): Zusätzlich zu Bodenmessungen werden Ein- und Austräge von Schwermetallen und Phosphor bilanziert.

Abb. 2. Ein- und Austräge von Schwermetallen werden im NABO-Messnetz vorwiegend für Grasland- und Ackerbaustandorte und für einige Spezialkulturen bilanziert. Das Bild zeigt eine Bodenprobenahme auf einem Gemüsebaustandort im Tessin. (Foto: Peter Schwab, Agroscope FAL Reckenholz)

räumlichen Bezug und können nicht ohne weiteres zur Berechnung der Stoffbilanzen verknüpft werden. Abhängig von der Messmethode, der Probenahme und dem Stichprobenumfang können Bilanzierungsdaten zudem qualitativ sehr unterschiedlich sein. Beispielsweise beziehen sich die aktuellen Messwerte für Schwermetallgehalte in Hofdünger auf eine landesweite Studie von Menzi und Kessler (1998), in der etwa 1'100 Hofdüngerproben auf etwa 30 Betrieben genommen wurden. Da diese Messwerte aufgrund bestimmter Faktoren eine grosse Streuung aufweisen, ist ein mittlerer Schwermetallgehalt für einen Hofdüngertyp kaum aussagekräftig. Folglich muss die in der Untersuchung gemessene Streuung der Messdaten vollumfänglich in der Stoffbilanz berücksichtigt werden. Zu diesem Zweck wurde eine stochastische Bilanzierungsmetho-

de entwickelt, die es erlaubt, die Unsicherheit sowie räumliche und zeitliche Variation von Bilanzdaten in der Berechnung der Stoffbilanzen mit einzubeziehen (Keller *et al.* 2001, 2002). Mit der Methode werden die Stoffbilanzen für alle gemessenen und damit wahrscheinlichen Schwermetallgehalte der landwirtschaftlichen Hilfsstoffe, Kulturpflanzen und atmosphärischen Deposition berechnet und der Einfluss der Streuung einzelner Bilanzgrößen auf den Nettoflux mit einer Unsicherheitsanalyse bestimmt.

Geringere Einträge von Cadmium und Blei

Im Vergleich zu Bilanzstudien, welche in der Schweiz zu Beginn der neunziger Jahre durchgeführt wurden (von Steiger und Baccini 1990; Desales und Studer 1993), sind die in unserer Studie festgestellten Cd- und Pb-Ein-

träge tendenziell niedriger. Dies ist unter anderem auf die geringeren atmosphärischen Einträge dieser Schwermetalle aufgrund von Luftreinhaltemassnahmen zurückzuführen.

Der mittlere Cd-Nettoflux der 48 NABO-Parzellen variierte insgesamt zwischen -1,1 und 6,2 g/ha und Jahr und deutet somit für die Bilanzperiode 1996 bis 2001 sowohl auf Zunahmen als auch auf Abnahmen von Cd im Boden hin. Etwa die Hälfte der Parzellen zeigte ausgeglichene Ein- und Austräge beim Cd. Zwischen den verschiedenen Betriebstypen waren die Unterschiede gering (Tab. 1). Cd-Nettofluxe von mehr als 2,0 g/ha und Jahr wurden vor allem für Parzellen mit vermehrten Mineraldüngergaben, insbesondere mit Supertriple, Thomaskorn oder binären Phosphor-Kalium-Dünger, festgestellt. Abbildung 3 gibt für

eine solche Parzelle die Cd-Bilanz inklusive Unsicherheitsanalyse wieder. Der atmosphärische Eintrag betrug für diese Parzelle 0,9 g/ha und Jahr, der Cd-Eintrag über Mineraldünger 3,9 g/ha und Jahr (Abb. 3a). Über das Erntegut wurde für diese Parzelle etwa wieder ein Drittel der Cd-Menge ausgetragen. Hieraus resultierte ein Cd-Nettoflux von durchschnittlich 3,5 g/ha und Jahr mit einer Standardabweichung von $\pm 0,9$ g/ha und Jahr (Abb. 3b). Dies entspricht einer marginalen Cd-Zunahme im Oberboden (0 bis 20 cm Tiefe) von etwa 0,01 mg/kg in einem Jahrzehnt (Annahme: Raumgewicht $1'300 \text{ kg/m}^3$).

Die Unsicherheit in der Cd-Bilanz wurde durch die Streuung der Messdaten für die Cd-Konzentration der verschiedenen Mineraldünger (36 %), Pflanzen (32 %) und der Einträge über die

Atmosphäre (18 %) verursacht (Abb. 3c). Je nach Zielsetzung einer Stoffbilanzierung kann die erreichte Genauigkeit der Nettofluxe genügen oder muss verbessert werden. Letzteres kann für das genannte Beispiel mit zusätzlichen Messungen der Cd-Konzentration für die verwendeten Mineraldünger und Pflanzen erreicht werden.

Die Pb-Deposition betrug 21 bis 39 g/ha und Jahr und war generell die Hauptquelle der Pb-Einträge in den Böden der NABO-Parzellen. Der Pb-Nettoflux der Parzellen lag zwischen -10,5 und 81,5 g/ha und Jahr (Tab. 1), wobei Nettofluxe oberhalb etwa 40 g/ha und Jahr für vier Parzellen auf Klärschlammgaben zurückzuführen war. Die Unterschiede der Pb-Bilanzen zwischen den Betriebstypen waren klein. Die geringen Pb-Einträge über Hofdünger wurden in der

Tab. 1. Stoffbilanzen der Jahre 1996 bis 2001 von 48 landwirtschaftlich genutzten Parzellen im NABO-Messnetz klassifiziert nach Betriebstyp.

Betriebstyp:	Ackerbau	Spezialkulturen	Kombiniert Andere	Kombiniert Verkehrsmilch Ackerbau	Kombiniert Veredlung	Verkehrsmilch
Anzahl Betriebe	4	8	8	10	13	5
Mittlere Landw. Nutzfläche in ha	33,7	9,5	37,2	36,2	25,8	14,2
Mittlere Tierdichte in GVE ¹ /ha	0,2	bis 0,1	1,0	1,0	2,2	1,4
Cd-Nettoflux² in g/ha und Jahr						
Minimum	-0,4	-0,7	-0,4	-0,6	-1,1	0,1
Maximum	2,1	6,2	1,4	5,2	1,7	4,0
Median	-0,1	1,1	0,2	0,9	0,2	0,4
Cu-Nettoflux in g/ha und Jahr						
Minimum	-35,5	-25,0	10,0	-31,4	49,7	2,4
Maximum	58,2	2170,8	81,7	278,9	249,3	109,5
Median	-0,6	114,7	33,5	8,2	82,6	88,5
Pb-Nettoflux in g/ha und Jahr						
Minimum	8,8	19,4	12,2	2,6	-10,5	14,0
Maximum	21,3	40,1	35,3	81,5	21,2	43,3
Median	14,5	23,6	18,5	13,0	14,6	15,7
Zn-Nettoflux in g/ha und Jahr						
Minimum	-128,5	-136,7	99,8	-94,3	220,0	64,7
Maximum	249,5	952,3	485,3	839,0	1538,3	661,3
Median	107,9	93,6	279,8	149,0	499,6	531,5
P-Nettoflux in kg/ha und Jahr						
Minimum	-23,8	-8,1	-12,5	-11,3	-8,9	-7,8
Maximum	1,5	14,4	7,1	13,9	40,4	12,4
Median	-13,6	6,3	-1,6	-1,5	3,8	3,3

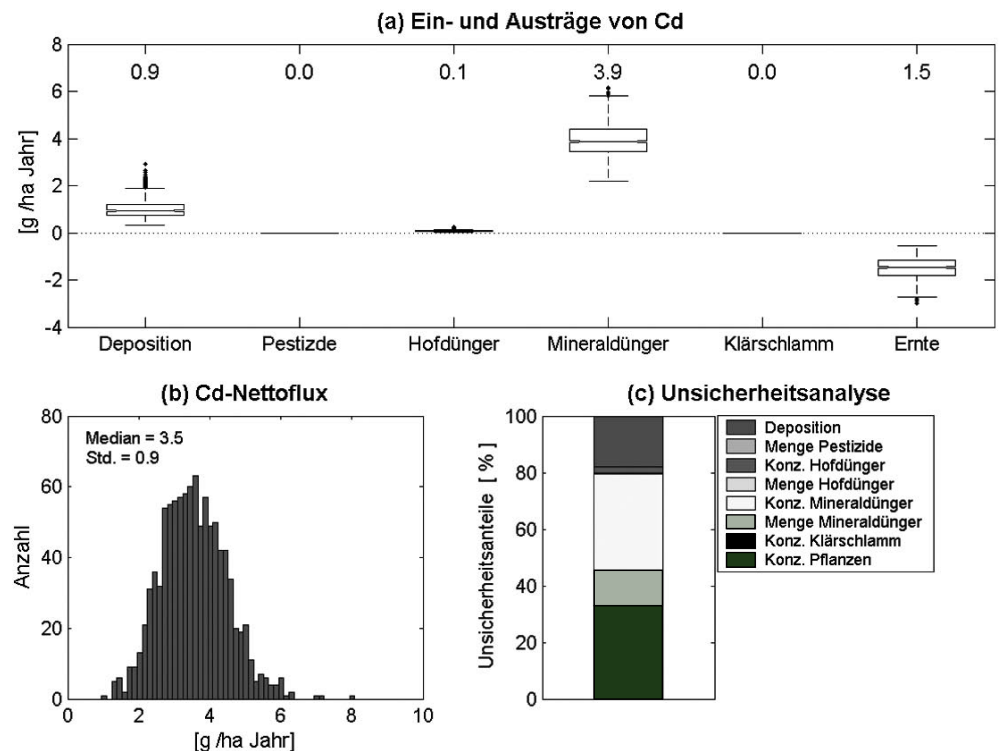
¹GVE: Grossvieheinheiten; ²Nettoflux: Einträge minus Austräge in g/ha und Jahr

Regel durch den Ernteaustrag kompensiert.

Vereinzelt hohe Kupfereinträge

Die Cu-Nettofluxe variierten zwischen -35,5 und 279 g/ha und Jahr (Tab.1). Für drei Rebbau-parzellen waren hingegen durch die regelmässige Anwendung von kupferhaltigen Pflanzenschutzmitteln Cu-Nettofluxe von 1'472 bis 2'174 g/ha und Jahr zu verzeichnen. Dies würde einem jährlichen Anstieg der Cu-Konzentration im Boden von rund 1 mg/kg bei einem Raumgewicht von 1'300 kg/m³ entsprechen. Die Cu-Konzentration im Boden der drei Rebbauflächen überschreitet den Richtwert von 40 mg/kg (VBBO 1998) um das fünf- bis zehnfache und lässt deshalb eine intensive Anwendung der Pflanzenschutzmittel über Jahrzehnte hinweg vermuten. Solch hohe Cu-Einträge und Cu-Konzentrationen in rebbaulich genutzten Böden sind kein Einzelfall und wurden bereits in früheren Untersuchungen dokumentiert (Desaules und Studer 1993 Gsponer 1996).

Die Unterschiede der Cu-Nettofluxe der sonstigen Parzellen hingen stark vom Hofdüngereinsatz ab. Infolgedessen waren in der Regel die Cu-Nettofluxe von Parzellen der Betriebstypen mit dem höchsten Viehbesatz pro Fläche am höchsten. Diese Cu-Einträge sind vor allem durch den Einsatz von Futtermittel und Futtermittelzusatzstoffe bedingt, welche aus Gründen der Tiergesundheit und zur Leistungsförderung sowohl mit Spurenelementen als auch mit Makroelementen wie beispielsweise Cu und Zn angereichert sind. Schultheiss *et al.* (2004) zeigten für 20 Tierproduktionsbetriebe in Deutschland, dass Futtermittel und Futtermittelzusatzstoffe die wesentlichen Eintragsquellen für Cu und Zn in Hofdüngern darstellen.



Für die Mehrheit der NABO-Parzellen wurden dem Boden 40 bis 60 % der Cu-Einträge mit dem Erntegut wieder entzogen. Die atmosphärischen Cu-Einträge lagen zwischen 1,7 und 21,5 g/ha und Jahr und trugen in Betrieben mit Viehhaltung weniger als zehn Prozent zu den Gesamteinträgen bei. Insgesamt sind die prognostizierten Veränderungen der Cu-Konzentration für die extensiv genutzten Parzellen marginal. Jene für die oben genannten Betriebstypen mit dem höchsten Viehbesatz weisen auf eine schleichende Akkumulation von Cu im Oberboden (0-20 cm) von bis zu 1,0 mg/kg in einem Jahrzehnt hin. Eine Reduzierung der Cu-Einträge kann für diese Fälle durch den Einsatz von Futtermittelzusatzstoffen erreicht werden, welche weniger mit Cu angereichert sind.

Relevante Zinkeinträge über Hofdünger

Mit Ausnahme der Spezialkulturen gleicht das Muster der Zn-Einträge für die Betriebstypen dem der Cu-Einträge. Bedingt

durch die Zn-Zusatzstoffe in Futtermitteln dominierte für Tierhaltungsbetriebe der Zn-Eintrag über Hofdünger (310 bis 1'900 g/ha und Jahr). Weitere bedeutende Zn-Fluxe waren die atmosphärische Deposition (80 bis 127 g/ha und Jahr) sowie der Austrag über das Erntegut (30 und 540 g/ha und Jahr). Für einige Parzellen waren auch Zn-Einträge über Pflanzenschutzmittel oder Klärschlamm relevant. Insgesamt variierten die Zn-Nettofluxe der 48 NABO-Parzellen zwischen -129 und 952 g/ha und Jahr. Zn-Entzüge wurden in der Regel für Parzellen mit keinem oder geringem Hofdüngereinsatz festgestellt.

Die durchschnittlich höchsten Zn-Nettofluxe wiesen die Parzellen der Betriebe mit der höchsten Tierdichte auf (Tab. 1). Da für diese Betriebe die P-Bilanz wesentlich durch den Hofdünger bestimmt wird, findet sich ein enger Zusammenhang zwischen den Zn- und P-Einträgen auf den Parzellen. Die P-Bilanz kann deshalb die Interpretation von Schadstoffbilanzen unterstützen.

Abb. 3. Cadmiumbilanz am Beispiel einer ackerbaulich genutzten NABO-Parzelle eines kombinierten Betriebes mit Schwerpunkt Verkehrsmilch und Ackerbau (1,1 GVE/ha) bestehend aus (a) Boxplot der Ein- und Austräge, (b) Histogramm der Nettofluxe und (c) Unsicherheitsanalyse. Der Boxplot zeigt jeweils den 50-Prozent-Interquartilsbereich der Werte (Box), sowie Median (mittlere Linie in der Box) und das 10-prozentige und 90-prozentige Quartil.

Abb. 4. Zinkbilanz am Beispiel einer als Wiese und Weide genutzten NABO-Parzelle eines kombinierten Betriebes mit Schwerpunkt Veredlung (2,3 GVE/ha) bestehend aus (a) Boxplot der Ein- und Austräge, (b) Histogramm der Nettofluxe und (c) Unsicherheitsanalyse. Der Boxplot zeigt jeweils den 50-Prozent-Interquantiilsbereich der Werte (Box), sowie Median (mittlere Linie in der Box) und das 10-prozentige und 90-prozentige Quartil.

In Abbildung 4 ist als Beispiel die Zn-Bilanz für eine Dauerweide mit hohen Schweine- und Rindergüllegaben eines kombinierten Veredlungsbetriebes dargestellt, welche einen P-Überschuss von 15,2 kg P/ha und Jahr aufwies. Die Zn-Einträge über Hofdünger von 1'201 g/ha und Jahr wurden zu etwa 40 % über die Futterpflanzen dem Boden wieder entzogen (Abb. 4a), woraus ein mittlerer Zn-Nettoflux von 875 g/ha und Jahr resultierte (Abb. 4b). Die Unsicherheit in der Zn-Bilanz wurde zu etwa drei Viertel durch die Streuung der Zn-Konzentration im Hofdünger erklärt (Abb. 4c). Vor allem weisen Hofdünger von Schweine- und Kälbermast relativ hohe Zn-Gehalte mit einer breiten Streuung auf (Menzi und Kessler 1998). Überdies trugen sowohl unsichere Mengenangaben für den applizierten Hofdünger als auch die Variation der Zn-Konzentration in den Futterpflanzen zur Unsicherheit in der Zn-Bilanz bei.

Für eine Wiese eines kombinierten Veredlungsbetriebs mit ei-

nem Viehbesatz von 2,8 GVE/ha und hohen Hofdüngergaben lag der Zn-Nettoflux bei 1,54 kg/ha und Jahr. Zn-Einträge in dieser Größenordnung wurden auch in anderen Bilanzstudien für spezialisierte Tierhaltungsbetriebe festgestellt (Moolenaar und Lexmond 1998; Keller und Schulin 2003). In diesen Bilanzstudien wurde ein jährlicher Zuwachs der Zn-Konzentration im Oberboden (0-20 cm) von rund 0,5 bis 1,5 mg/kg prognostiziert. Um langfristig die Bodenfruchtbarkeit zu erhalten, ist deshalb für solche Betriebe eine Reduzierung der Zn-Frachten über den Hofdünger angezeigt.

Stoffbilanzen validieren

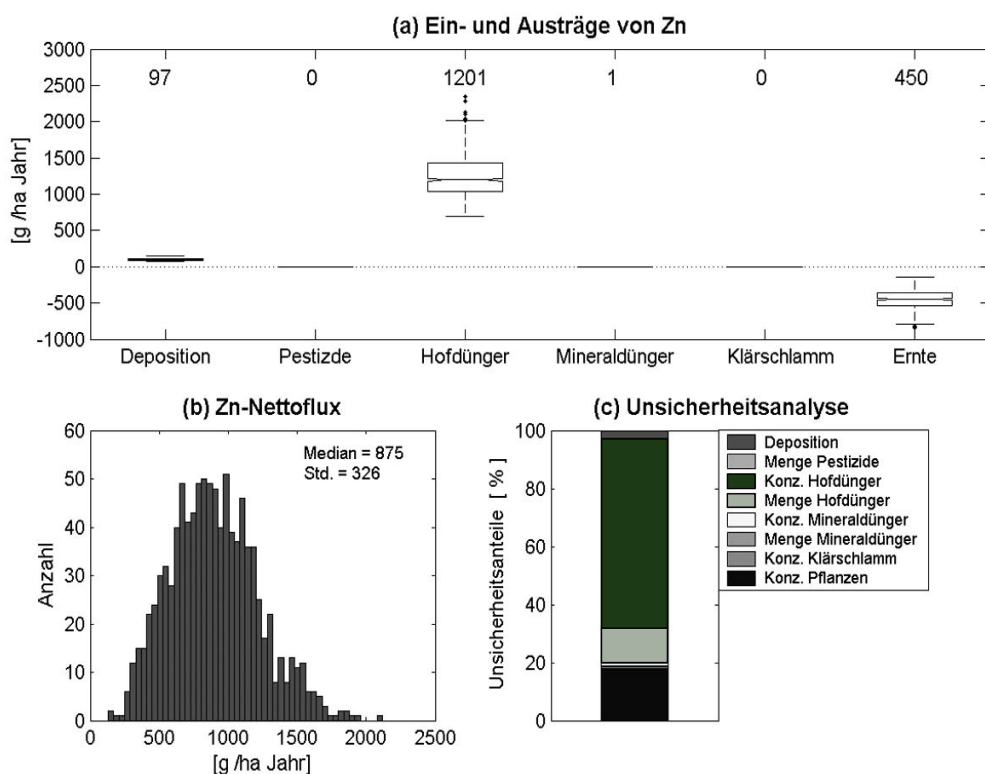
Im Vergleich zu Bilanzstudien, welche zu Beginn der neunziger Jahre durchgeführt wurden, weisen neuere Studien im Allgemeinen auf eine Verminderung der Schwermetalleinträge in landwirtschaftlich genutzten Böden hin. Dies wird insbesondere auf eine veränderte Düngungspraxis und niedrigere atmosphärische Einträge zurückgeführt. Unsere Ergebnisse für die NABO-Par-

zellen der Zeitperiode von 1996 bis 2001 belegen diesen Trend, insbesondere für die Schwermetalle Cd und Pb. Allerdings können diese geringeren stofflichen Einträge derzeit noch nicht mit direkten Messungen im Boden bestätigt werden. Hierzu sind in Zukunft weitere Bodenmessungen erforderlich. Nur so können negative zeitliche Veränderungen der Schadstoffbelastung in Böden definitiv ausgeschlossen und effektive Veränderungen im Boden als Resultierende von Stoffflüssen und bodendynamischen Prozessen bestimmt werden.

Die Wirksamkeit von präventiven Massnahmen zur Vermeidung von Schadstoffeinträgen in Böden kann mit der Bilanzmethode betriebs- und standortspezifisch geplant werden. In der Regel wird eine erhöhte Schadstoffakkumulation im Boden jedoch durch eine Überlagerung von mehreren Eintragspfaden verursacht. Daher müssen Massnahmen zur Reduzierung von Schadstoffeinträgen in Böden an mehreren Quellen ansetzen. Zu nennen sind vor allem folgende Massnahmen:

- eine umweltgerechte Düngung, die dem Pflanzenbedarf und den Bodenvorrat an Nährstoffen berücksichtigt (BUWAL 1996),
- eine behutsame Anwendung von Cd-reichen Mineraldüngern wie zum Beispiel Triple-Superphosphat,
- ein an die landwirtschaftliche Nutzfläche und an den Betrieb angepasster Viehbesatz,
- sowie eine reduzierte Anwendung von mit Cu und Zn angereicherten Futtermittelzusätzen.

Diesbezüglich wird in einer weiteren Bilanzstudie die Auswirkung mit der Einführung der



Integrierten Produktion auf die Schadstoffbilanz von landwirtschaftlich genutzten Parzellen im NABO-Messnetz untersucht.

Literatur

- BUWAL, 1996. Erläuterungen zur Düngung und Umwelt. Vollzug Umwelt. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), 3003 Bern, 75 S.
- Desaulles A. und Studer K., 1993. Nationales Bodenbeobachtungsnetz – Messresultate 1985-1991. Schriftenreihe Umwelt Nr. 200. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (Hrsg.), CH-3003 Bern, 149 S.
- Desaulles A. und Dahinden R., 2000. Nationales Boden-Beobachtungsnetz - Veränderungen von Schadstoffgehalten nach 5 und 10 Jahren. Schriftenreihe Umwelt Nr. 320. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (Hrsg.), CH-3003 Bern, 129 S.
- FAT, 2000. Neue Methodik für die Zentrale Auswertung von Buchhaltungsdaten an der Agroscope FAT. Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik, 8356 Tänikon. Schweiz, 17 S.
- Gsponer R., 1996. Ursachendifferenziertes Vorgehen zur verdachtsorientierten Erkundung von Schwermetallbelastungen im Boden. Dissertation ETH Zürich. 8000 Zürich, 203 S.
- Keller A., von Steiger B., van der Zee S.E.A.T.M. and Schulin R., 2001. A stochastic empirical model for regional heavy metal balances in agroecosystems. *J. Environ. Qual.* **30**, 1976-1989.
- Keller A., Abbaspour K.C. and Schulin R., 2002. Assessment of Uncertainty and Risk in Modeling Regional Heavy-Metal Accumulation in Agricultural Soils. *J. Environ. Qual.* **31**, 175-187.
- Keller A. and Schulin R., 2003. Phosphorus and heavy metal balances of agro-ecosystems and their uncertainty sources. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* **66**, 271-284
- Keller A., Rossier N. und Desaulles A., 2004. Schwermetallbilanzen von Landwirtschaftsparzellen im Nationalen Bodenbeobachtungsnetz der Schweiz. Schriftenreihe der Agroscope FAL. Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, CH-8046 Zürich. (im Druck)
- Menzi H. and Kessler J., 1998. Heavy Metal Content of Manure in Switzerland. In J. Martinez (ed.), Proc. of the FAO-Network on Recycling Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture (RAMIRAN 98). Rennes, France. May 1998, 495-506.
- Moolenaar S.W. and Lexmond T.M., 1998. Heavy-metal balances of agro-ecosystems in the Netherlands. *Netherlands J. Agric. Sci.* **46**, 171-192.
- Schultheiss U., Döhler H., Roth U., Eckel H. et al., 2004. Erfassung von Schwermetallströmen in landwirtschaftlichen Tierproduktionsbetrieben und Erarbeitung einer Konzeption zur Verringerung der Schwermetalleinträge durch Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft in Agrarökosysteme. Umweltbundesamt Berlin. Texte 06/04. 14191 Berlin, 130 S.
- VBBo (1998). Verordnung über Belastungen des Bodens, SR 814.12.
- Von Steiger B. und Baccini P., 1990. Regionale Stoffbilanzierung von landwirtschaftlichen Böden mit messbarem Ein- und Austrag. Nationales Forschungsprogramm «Boden». Report Nr. 38. Liebefeld-Bern, 65 S.

RÉSUMÉ

Bilans de substances sur des parcelles de l'observation nationale des sols (NABO)

De 1996 à 2001, des bilans du cadmium (Cd), cuivre (Cu), plomb (Pb) et zinc (Zn) ont été effectués sur 48 parcelles agricoles du Réseau national d'observation des sols (NABO), à partir des données fournies par les exploitants. Ont été pris en compte les apports par les engrais de ferme, engrais minéraux et engrais de déchets, par les produits phytosanitaires, les dépôts atmosphériques et les exportations via les récoltes. Dans la majorité des cas, on constate des bilans quasiment équilibrés qui correspondent dans l'ensemble à une augmentation inférieure à un pourcent de la valeur indicative en l'espace d'une décennie. On prévoit en revanche des augmentations supérieures à un pourcent sur une décennie dans le cas de 7 parcelles sur 48 pour le Cd, 10 pour le Cu et 20 pour le Zn. Sur quelques parcelles, on observe d'importants apports de zinc par les engrais de ferme et de cuivre par les produits phytosanitaires ou les engrais de ferme. Les hausses des charges en métaux lourds telles qu'évaluées peuvent atteindre en l'espace d'une décennie jusqu'à 5 % (Cu et Zn, élevages intensifs), voire 21 % (Cu en terrains viticoles) de la valeur indicative correspondante. Les résultats de la présente étude sont utiles au dépistage précoce et au pronostic des variations des teneurs en polluants dans les sols, et viennent compléter les mesures dans les sols effectuées à intervalles réguliers. En effet, seules les mesures permettent de vérifier les pronostics et de confirmer les variations effectives.

SUMMARY

Element balances of sites of the Swiss Soil Monitoring Network (NABO)

We calculated balances for cadmium (Cd), copper (Cu), lead (Pb) and zinc (Zn) on basis of field-specific data for agricultural land use for 48 sites of the Swiss Soil Monitoring Network (NABO) for the period 1996 to 2001. The balance approach used considered inputs by animal manure, mineral and waste fertilizer, pesticides and atmospheric deposition as well as outputs by crops. For the majority of the sites we found that the outputs were about in the same order as the inputs resulting in soil accumulation rates of less than 1 % of the guide value within one decade. Increasing soil concentrations larger than 1 % of the guide value within one decade were predicted at seven (Cd), ten (Cu) and twenty (Zn) of the 48 NABO-sites. Furthermore, at some sites we estimated large inputs of Zn by animal manure and of Cu by pesticides and animal manure. The predicted increase for those cases was up to 5 % of the guide value within one decade for Cu and Zn at intensive husbandry farms and up to 21 % for Cu at vineyards. In conclusion, the element balance provides the identification and prediction of temporal changes of pollutants in soil. They complement the repeated soil measurements of the NABO. Only with such repeated soil measurements the element balances can be validated and the real changes in soil concentration determined.

Key words: soil monitoring, flux balance, heavy metals, fertilization, agricultural farms