

## Vergleich von indirektem und direktem Monitoring von Schadstoffflüssen auf NABO-Parzellen

André Desaules<sup>1</sup>, Armin Keller, Nicolas Rossier

### Einleitung

Die Aussage, dass die Schadstoffbilanzierung ein Instrument der Bodenschutzvorsorge sei, impliziert einerseits einen engen Zusammenhang zwischen Schadstoffflüssen (indirektes Monitoring) und tatsächlich gemessenen Veränderungen von Schadstoffgehalten im Boden (direktes Monitoring) und andererseits, dass die Kenntnis der Schadstoffflüsse eine Anreicherung im Boden verhindern oder vermindern helfe. Die Ziele dieser Arbeit sind die Überprüfung der ersten Aussage mit vorliegenden Ergebnissen im Rahmen der Nationalen Boden-Beobachtung (NABO) der Schweiz (BUWAL 1993, 2000) und die Ableitung von Schlussfolgerungen für die zweite Aussage.

### Methoden und Daten

**Indirektes Monitoring ( $\text{g ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ ):** Hinweise zur verwendeten Bilanzierungsmethode finden sich in Rossier et al. (2003). Es wird angenommen, dass die zeitliche Veränderung der Schadstoffgehalte im Oberboden (0–20 cm) ein Bilanzergebnis der Einträge aus der Atmosphäre und durch landwirtschaftliche Hilfsstoffe sowie der Ernteausträge ist. Mögliche Veränderungen durch Erosion, Verlagerung oder Bodenbewirtschaftung werden nicht berücksichtigt. Die Daten zur diffusen atmosphärischen Deposition wurden von bestehenden Depositionsmessnetzen und Moosmonitoring in der Schweiz entnommen. Die gezielten Einträge durch landwirtschaftliche Hilfsstoffe und Ernteausträge sind aus parzellenscharfen Angaben der Ausbringfrachten bzw. Ernten und entsprechenden Schadstoffkonzentrationen aus der Literatur berechnet. Unsicherheiten in den Bilanzdaten wurden auf Basis eines stochastischen Ansatzes und anschliessender Simulation der Bilanzen berücksichtigt (Keller et al. 2002). Dieser Ansatz erlaubt somit die erreichbare Genauigkeit der Nettobilanzen zu quantifizieren.

**Direktes Monitoring ( $\text{mg kg}^{-1} \text{5a}^{-1}$ ):** Das Vorgehen der Dauerbeobachtung im NABO-Messnetz ist in BUWAL (2000) beschrieben. Die Veränderungen von Schadstoffgehalten werden im Oberboden (0–20 cm) auf Dauerbeobachtungsflächen ( $10 \times 10 \text{ m}^2$ ) mit Mischproben aus Rasterbeprobungen (25 Einstiche) in 4-facher Wiederholung im Abstand von 5 Jahren gemessen.

Zum Vergleich des indirekten- und direkten Monitorings wurden die Nettofluxe ( $\text{g ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ ) in eine Konzentrationsveränderung ( $\text{mg kg}^{-1} \text{5a}^{-1}$ ) für die Probentiefe 0–20 cm und das jeweilige Trockenraumgewicht (bulk density) ( $\text{g cm}^{-3}$ ) umgerechnet. Für letzteren Parameter wurde bei der Umrechnung ein Variationskoeffizient (CV) von 30 % angenommen.

### Ergebnisse

Ein erster Vergleich zwischen berechneten Jahreseinträgen und gemessenen Gehaltsveränderungen von Pb, Cu, Cd und Zn im Oberboden (0–20 cm) an 14 Dauerbeobachtungsflächen verschiedener Landnutzung (Ackerbau, Grasland, Intensiv-Kernobst- und Rebbau) zeigte eine überwiegend schlechte Übereinstimmung (Desaules 1993). Nur in 15 (27 %) von insgesamt 56 Fällen (14 Standorte  $\times$  4 Elemente) stimmten die berechneten und gemessenen Veränderungen nahezu überein. Weiterhin zeigte der Vergleich Unterschiede von bis zu zwei Größenordnungen zwischen Messung und Bilanz auf. In dieser Studie wurden allerdings die Ernteausträge und Unsicherheiten in den Bilanzen nicht berücksichtigt.

In einer neuen Studie zum indirekten Monitoring wurden die Cd, Cu, Pb und Zn -Bilanzen auf 48 landwirtschaftlich genutzten NABO-Parzellen der Periode 1996–2001 mittels der oben genannten stochastischen Methode berechnet (Rossier et al. 2003). Dies erlaubt vorläufig einen Vergleich von direktem und indirektem Monitoring an 6 NABO-Standorten (Fig. 1). Die Landnutzungen entsprechen denen der oben erwähnten Untersuchung, doch die Standorte sind bis auf Nr. 4 verschieden.

Zum Vergleich der Ergebnisse wurde eine Übereinstimmung bei einer Überschneidung der einfachen Standardabweichung der mittleren Veränderungen postuliert. Der Vergleich zeigte eine Übereinstimmung in 11 (46 %) von 24 Fällen (6 Standorte  $\times$  4 Elemente) und wies damit gegenüber der oben erwähnten Studie eine erhöhte Übereinstimmung um 19 % auf.

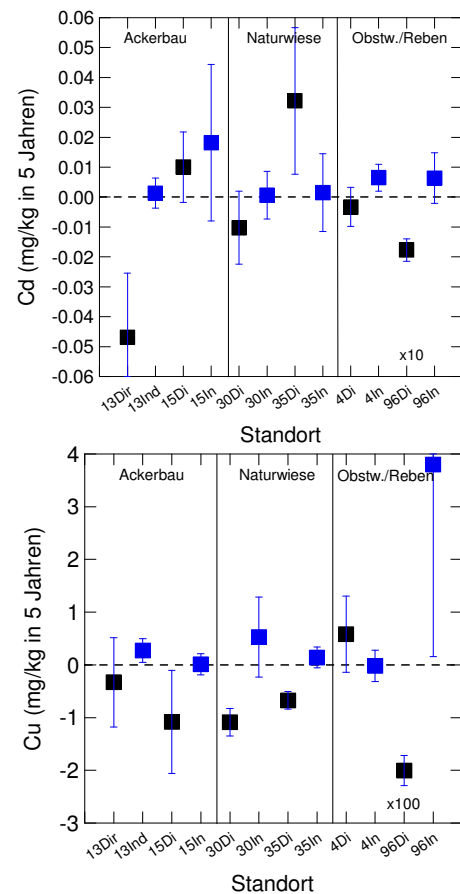


Fig. 1: Vergleich von direktem (xxDi) und indirektem (xxIn) Monitoring an 6 NABO-Standorten (xx) mit verschiedener Landnutzung. Die Error Bars geben die Standardabweichungen wieder. Fehlende Error bars in den Bilanzen bedeuten, dass die berücksichtigten Unsicherheitsquellen für diesen Standort nicht relevant waren.

<sup>1</sup> Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Postfach, CH-8046 Zürich, Schweiz.  
[andre.desaules@fal.admin.ch](mailto:andre.desaules@fal.admin.ch), [www.NABO.admin.ch](http://www.NABO.admin.ch)

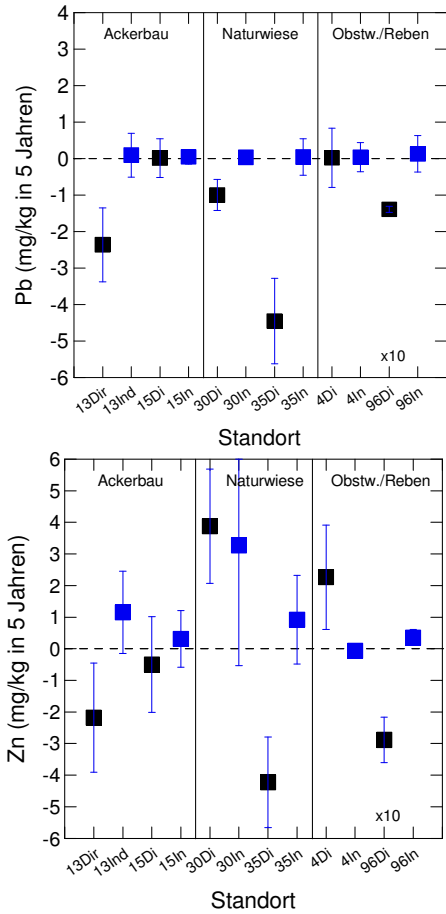


Fig 1: (Fortsetzung)

**Diskussion**

Der Vergleich der Ergebnisse beider Monitoringinstrumente an lediglich 6 Standorten kann nicht als repräsentativ für alle NABO-Standorte angesehen werden, erlaubt jedoch erste Rückschlüsse. Die gefundene Übereinstimmung in nur ca. der Hälfte der Fälle kann nicht als befriedigend angesehen werden. Es wurde deutlich, dass insbesondere die gemessenen Abnahmen der Schadstoffkonzentrationen im Oberboden mit der gegenwärtigen Bilanzierungsmethode nicht prognostiziert werden können. Prozesse der Bodendynamik, wie z.B. Erosion und Bodendurchmischung durch Bodenbearbeitung oder Bioturbation, können ebenfalls zu Gehaltsveränderungen im Oberboden führen, wie schematisch in Figur 2 darstellt

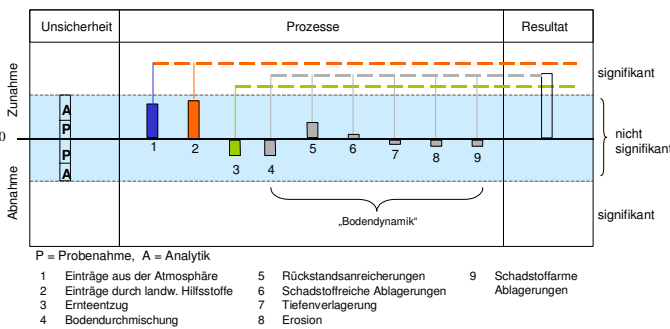


Fig. 2. Resultierende Gehaltsveränderung im Oberboden (0 – 20 cm) als Summe verschiedener Prozesse.

Das direkte Monitoring integriert sowohl die bekannten als auch die (noch) unbekannt Prozesse, die zu Gehaltsveränderungen führen können. Je nach Standortbedingungen und landwirtschaftlicher Nutzung dominieren unterschied-

liche Prozesse, die sich in ihren Wirkungen aufsummieren, aber auch neutralisieren können. Einzelne Prozesswirkungen innerhalb des Unsicherheitsbereiches des direkten Monitorings bleiben maskiert und werden erst im Endresultat manifest. Dies ist einer der Hauptgründe, warum sich die Kausalforschung mit Hilfe des indirekten Monitorings so schwierig und unzuverlässig gestaltet. Sind an einem Standort jedoch bestimmte Prozesse bzw. Einträge so dominant, dass sie alle anderen bei weitem überlagern, sind die Ursachen leicht zu identifizieren. Dies gilt beispielsweise für die hohen Zn-Einträge über Hofdünger bei Standort Nr. 30 (Naturwiese) oder für die grosse Abnahme der Schadstoffgehalte durch eine tiefe Bodenbearbeitung beim Standort Nr. 96 (Rebbau).

Die Erwartung, dass die Ergebnisunsicherheiten des indirekten Monitorings aufgrund der geringeren Datenqualität deutlich grösser seien als jene des auf standortbezogenen Messungen basierenden direkten Monitorings, trifft hier nicht zu; oft ist es sogar umgekehrt. Ein Grund dafür ist der für das Trockenraumgewicht angenommene hohe CV von 30 %. Mit grossen Unsicherheitsbereichen wird der Grad der stochastischen Übereinstimmung (Überschneidung der Unsicherheitsbereiche) erhöht. Dies ist jedoch nicht erstrebenswert, denn dadurch sinkt der Grad der kausalen Aussagekraft.

**Schlussfolgerungen**

Damit die Messergebnisse des direkten Monitorings für die Validierung des indirekten Monitorings brauchbar sind, muss auch die Umrechnungsgrösse Trockenraumgewicht (bulk density) mit der selben Genauigkeit und Zuverlässigkeit gemessen werden, wie jene der Schadstoffgehalte.

Die Schadstoffbilanzierung kann ihre Aufgabe als Instrument der Bodenschutzvorsorge bzw. die quantitative Erfassung der Immissionen verschiedener Schadstoffquellen (Quellenevaluation) nur erfüllen, wenn sie in ein adäquates und stochastisches Modell eingebettet ist; dazu gehört auch die Quantifizierung der Gehaltsveränderungen durch relevante bodendynamische Prozesse.

**Literatur**

BUWAL (1993): Nationales Bodenbeobachtungsnetz – Messresultate 1985-1991. Schriftenreihe Umwelt Nr. 200. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (Hrsg.), CH-3003 Bern.

BUWAL (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.

Desaules, A. (1993): Soil monitoring in Switzerland by the NABO-Network: objectives, experiences and problems. In: Schulin, R. et al. (eds): Soil monitoring: early detection and surveying of soil contamination and degradation. Basel, Birkhäuser. pp 7-24.

Keller, A., Abbaspour, K.C., Schulin, R. (2002): Assessment of Uncertainty and Risk in Modeling Regional Heavy-Metal Accumulation in Agricultural Soils. J. Environ. Qual. 31: 175-187.

Rossier, N., Keller, A., Desaules, A. (2003): Schadstoffflüsse auf NABO-Parzellen. (in diesem Heft)