



Organische Schadstoffe in Böden: Übersicht und Handlungsbedarf

Andreas Gubler, Armin Keller, Daniel Wächter, Thomas Bucheli

November 2016

Der Boden ist eine unserer Lebensgrundlagen. Böden können Schadstoffe filtern, zu viele Schadstoffe beeinträchtigen jedoch den Boden und seine Funktionalität. In unserer Industriegesellschaft ist eine grosse Zahl organischer Verbindungen im Umlauf. Dazu gehören Biozide, Pflanzenschutzmittel, Weichmacher, Flammenschutzmittel, diverse Zusätze in Haushalts- und Pflegeprodukten und viele weitere. Ein Teil davon gelangt in die Umwelt und verteilt sich in Boden und Gewässer, wo einige Substanzen aufgrund ihrer Toxizität ein Risiko bergen. Dabei können Böden je nach Substanz und Gehalt auch als sekundäre Quellen für Gewässer oder Atmosphäre wirken. Während für Gewässer umfangreiche Untersuchungsprogramme bestehen, konnten im Boden bisher nur einzelne besonders problematische und gesetzlich regulierte Substanzgruppen untersucht werden. Angesichts der enormen Anzahl an Substanzen, die letztlich in den Boden gelangen und sich dort anreichern können, stehen wir vor einer grossen Herausforderung. Damit wir schädliche Entwicklungen im Boden rechtzeitig erkennen können, sind Anstrengungen für gezielte Bodenuntersuchungen erforderlich, die idealerweise mit dem Gewässerschutz zu koordinieren sind. Dieses Factsheet fasst kurz bisherige Erkenntnisse zu organischen Schadstoffen in Böden zusammen und leitet Handlungsempfehlungen für Politik und Wissenschaft ab.

Titelbild: Der Wissensstand über organische Schadstoffe in Böden gleicht einem Eisberg:
Wir sehen bisher nur die Spitze, und wissen nicht was sich im Boden verbirgt

Der Boden bildet die Lebensgrundlage für Menschen, Tiere und Pflanzen. Das Ökosystem Boden erfüllt aber noch viele weitere essentielle Funktionen. Besonders hervorzuheben sind die so genannten Regulierungsfunktionen: Der Boden ist wichtig für die Regulierung des Nährstoff- und des Wasserhaushalts, ist gleichzeitig aber auch Filter und Puffer für viele Schadstoffe. Wird die Schadstoffbelastung jedoch zu gross, ist das Ökosystem Boden beeinträchtigt. Dies wirkt sich nicht nur auf den Boden selbst, sondern auch auf die Qualität von Oberflächengewässer und Grundwasser negativ aus. Damit wir auch in Zukunft sauberes Wasser trinken und auf Schweizer Böden gesunde Nahrungs- und Futtermittel produzieren können, braucht es zielgerichtete Monitoringprogramme. Diese sind wichtige Vorsorgeinstrumente, um schädliche Entwicklungen frühzeitig zu erkennen.

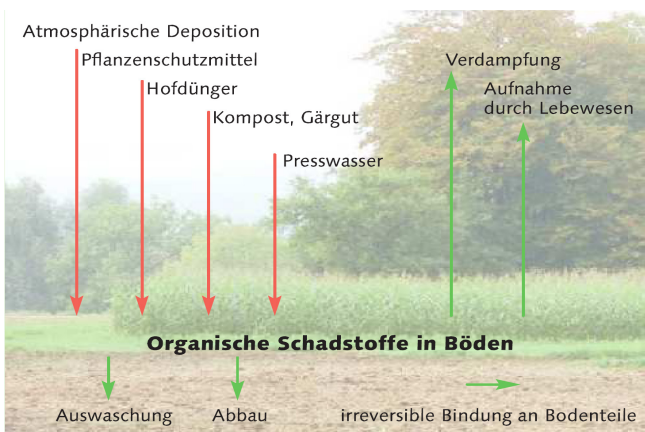
Drei Eintragspfade Organische Schadstoffe gelangen generell über drei Pfade in die Böden: gezielt und parzellenscharf (z. B. als **Pflanzenschutzmittel, PSM**), indirekt als Verunreinigung in Hofdüngern, Kompost und anderen Recyclingdüngern (z. B. **Antibiotika**), oder diffus durch atmosphärische Deposition (z. B. **polyzyklische aromatische Kohlenstoffe, PAK**). Die Bedeutung der drei Eintragspfade variiert dabei je nach Substanzklasse. So gelangten beispielsweise **polychlorierte Biphenyle (PCB)** früher vorwiegend über Klärschlamm in die Böden, während für PAK die Einträge über die Atmosphäre dominieren.



Die archivierten Bodenproben der NABO ermöglichen einen Blick zurück in die Vergangenheit.

Sammelgefäss Boden Einmal im Boden, durchlaufen organische Schadstoffe eine Reihe von Verteilungs- und Umwandlungsprozesse (Grafik oben). Je nach Substanzeigenschaften können sie verflüchtigen, auswaschen (beispielsweise Oberflächenabfluss, Drainage, Verlagerung – allesamt Prozesse, welche auch zu einem zeitverzögerten Eintrag in die Gewässer führen können), sich an Bodenteilchen anlagern, oder sogar irreversibel gebunden werden. In letzterem Fall entziehen sie sich sowohl den verschiedenen chemischen und biologischen Abbauprozessen, wie auch dem chemischen Nachweis. Die Aufnahme durch Bodenorganismen und Pflanzen ist gemessen an der gesamten Schadstoffmenge in der Regel eher gering – aus Sicht der Nahrungs- und Futtermittelsicherheit kann sie jedoch durchaus relevant sein.

Altbekannte Schadstoffe im Griff... **POPs** gerieten wegen ihrer Langlebigkeit und Toxizität bereits relativ früh in den Fokus von Wissenschaft und Behörden. Die Stockholm-Konvention enthält Regeln zu aktuell 29 POPs. Hierzulande enthält die Verordnung über Belastungen des Bodens (**VBBö**) Grenzwerte für vier Gruppen organischer Schadstoffe: **Polychlorierte Dioxine (PCDD)**, **Furane (PCDF)**, **PCB** und **PAK**. Untersuchungen zeigten, dass diese Substanzen in Schweizer Böden omnipräsent sind, die Konzentrationen in der Regel jedoch deutlich unter den Grenzwerten liegen (sog. Hintergrundbelastung).¹⁻⁴ Neben dem Zustand (Status) wurde auch die Entwicklung über die Zeit untersucht: Während der letzten 30 Jahre blieben die Gehalte der schweren **PAK** stabil, jene der leichten

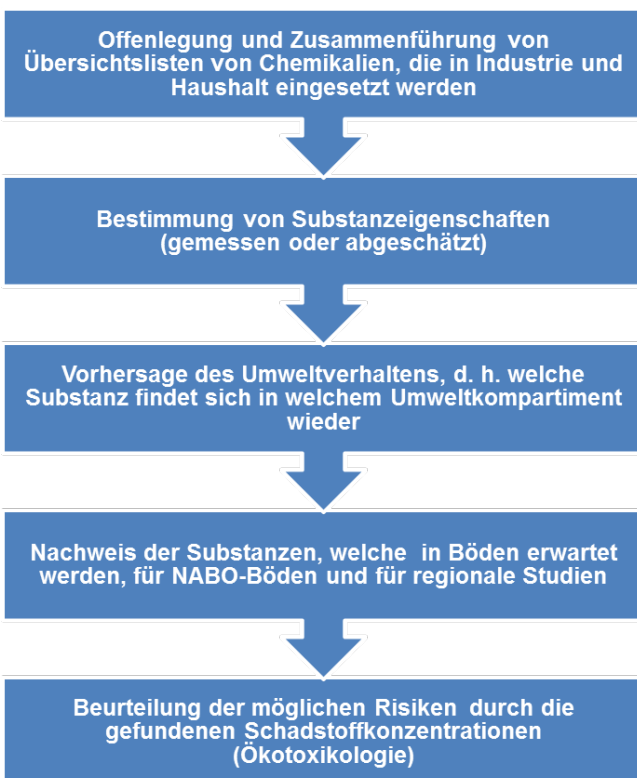


Mögliche Eintritts- und Austrittspfade für Schadstoffe in und aus den Böden.

PAK waren gar rückläufig.⁵ Auch für **PCB** geben die zeitlichen Verläufe derzeit keinen Anlass zur Besorgnis. Für **Chlorparaffine** sind die Resultate nicht eindeutig und bedürfen weiterer Abklärungen.⁶

...aber was ist mit den Unmengen an neuen Chemikalien?

Angesichts der grossen Vielfalt an organischen Verbindungen und deren Freisetzung aus verschiedenen Quellen (Haushalts- und Pflegeprodukte, Industriechemikalien, Biozide, ...) gleicht die Aufgabe des Umweltmonitorings der sprichwörtlichen Suche nach der Nadel im Heuhaufen. Weltweit sind rund 91'700 Substanzen in Gebrauch, deren 18'000 sind für den Schweizer Markt registriert. Zwischen dem Inverkehrbringen neuer Substanzen, ihrem Auftreten im Boden und der daraus resultierenden Konsequenzen für Mensch, Tier und Umwelt vergehen oft Jahrzehnte. Deshalb hinken Umweltanalytik und Gesetzgeber der Entwicklung permanent hinterher. Zur Früherkennung potentieller Problemsubstanzen wurde daher ein mehrstufiges Prozedere vorgeschlagen:⁷

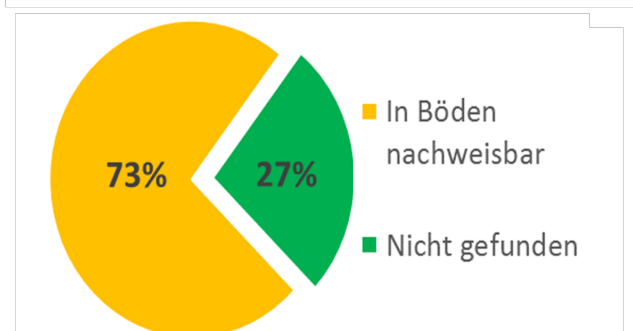


Die beschriebene Methodik wurde 2014 bis 2016 durch Agroscope, ETHZ und Eawag im Pilotprojekt „Früherkennung organischer Schadstoffe (FROSCH)“ getestet.⁸ Die Studie ging von rund 18'000 Substanzen aus, die in Industrie und Haushalt eingesetzt werden. Mit dem oben genannten Vorgehen konnte die Anzahl in Schritt 2 und 3 auf 521 halogenierte organische Verbindungen eingegrenzt werden. Hiervon wurden 16 in der Umwelt eindeutig nachgewiesen, darunter einige **PSM**, **PFOS** (POP gem. Stockholm-Konvention) und **Triclosan**. Zudem wurden Hinweise auf 30 weitere Verbindungen gefunden.

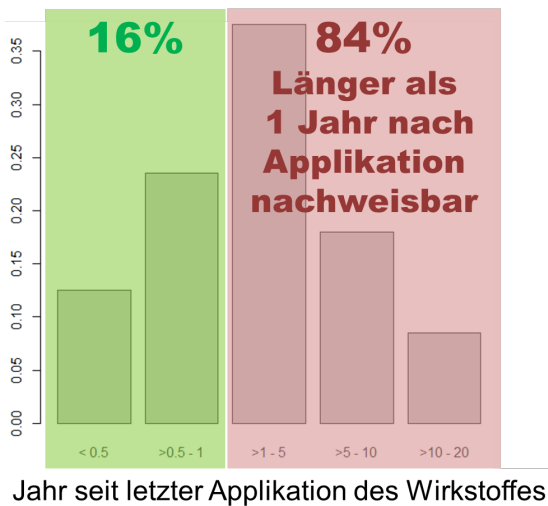
Pflanzenschutzmittel sind aus unserer modernen Landwirtschaft nicht mehr wegzudenken. In der Schweiz sind rund 250 Wirkstoffe zugelassen. Im Durchschnitt werden auf landwirtschaftlich genutzten NABO-Standorten jährlich 10 **PSM**-Wirkstoffe ausgebracht, wobei grosse Schwankungen zwischen den Kulturen bestehen. Eine Pilotstudie zeigte: der Wirkstoff ist in 2 von 3 Fällen auch längere Zeit nach der Anwendung im Boden nachweisbar (Grafik unten). **Atrazin** wurde gar in 85 % der Bodenproben nachgewiesen. Ähnliche Untersuchungen für Fließgewässer zeigten, dass **PSM** und deren Abbauprodukte ganzjährig in Bächen und Flüssen vorhanden sind. Der Boden ist folglich sowohl Senke als auch Quelle für **PSM**.

Ein **PSM**-Monitoring sollte nach denselben Prinzipien erfolgen, wie oben generell für organische Schadstoffe beschrieben: Aus der grossen Anzahl an Substanzen werden aufgrund von Anwendungsdaten, Substanzeigenschaften, Expertenwissen und allenfalls vorhandenen Resultaten

Nachweis ausgebrachter und untersuchter Pflanzenschutzmittel



Die Pilotstudie untersuchte 80 Wirkstoffe auf 14 Grasland, Acker-, Obst-, und Rebbau-Standorten.



Die Mehrheit der in der Pilotstudie nachgewiesenen Wirkstoffe waren länger als ein Jahr im Boden.

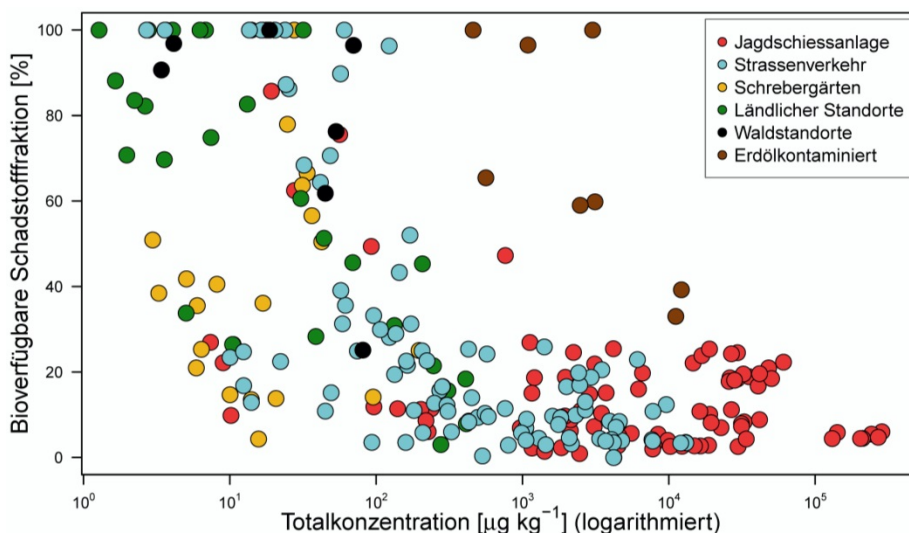
aus Pilotstudien mögliche Substanzen für ein Monitoring ausgewählt. Anschliessend erfolgt ein erstes Screening auf diese Substanzen. Seit Anfang 2016 arbeiten NABO und die Gruppe Umweltanalytik von Agroscope an einem entsprechenden Screening für 40 PSM-Substanzen im NABO-Messnetz. Angesichts der grossen Anzahl von PSM-Wirkstoffen ist dies jedoch nur ein erster kleiner Schritt.

Antibiotika werden in der modernen Tierhaltung in grossen Mengen eingesetzt. Der überwiegende Teil der Wirksubstanzen wird durch die Tiere in unveränderter Form wieder ausgeschieden. Die **Antibiotika** gelangen in Gülle und Mist und landen somit letztlich auf den Feldern. Dies wird mit Sorge betrachtet, da es die Ausbreitung von Antibiotikaresistenzen fördern könnte. Bezüglich Häufigkeit und Konzentrationen von **Antibiotika** in Schweizer Landwirtschaftsböden gibt es keine aktuellen Untersuchungen im Sinne einer Zu-

standserhebung. Vorhandene Resultate stammen von experimentellen Versuchen. Im Rahmen der Strategie Antibiotikaresistenzen (StAR) des Bundes sollte diese Lücke geschlossen werden (StAR Massnahme 3.5.2), die Finanzierung der dazu nötigen Arbeiten ist bislang jedoch nicht zustande gekommen. Leider wird auch das Nationale Forschungsprogramm "Antimikrobielle Resistenz" (NFP 72) die bestehenden Wissenslücken im Boden nicht schliessen, da sich unter den bewilligten Projekten, die 2017 ihre Arbeit aufnehmen, der Boden nur am Rande thematisiert wird.

Verfügbarkeit und das damit einhergehende Umweltisiko organischer Schadstoffe im Boden hängen von verschiedenen Faktoren ab. Einerseits haben die Boden- und Standorteigenschaften grossen Einfluss, andererseits auch die Eigenschaften der jeweiligen Schadstoffe. Weiter ist auch die Schadstoffquelle von grosser Bedeutung, wie die Grafik unten verdeutlicht: Diese zeigt die bioverfügbaren Fraktionen von **PAK** in ausgewählten Böden in Abhängigkeit des Totalgehaltes und der Schadstoffquelle.⁹ Auffallend ist die grosse Bandbreite bei tiefen Konzentrationen und die eher geringeren verfügbaren Gehalte bei hohen Totalkonzentrationen. Bei gleichen Totalgehalten sind PAK aus Öl leichter verfügbar als aus Russ und aus ländlichen Böden besser verfügbar als aus städtischen.

Die möglichen Schäden durch kurz- und langfristig bestehende Schadstoffkonzentrationen im Boden können nur richtig abgeschätzt werden, wenn die Situation umfassend betrachtet wird. Im Falle von **PSM** ist dementsprechend auch der jeweilige Nutzen (bzw. der Schaden beim PSM-Verzicht) zu berücksichtigen.



Je nach Quelle und Standort ist die Verfügbarkeit der organischen Schadstoffe unterschiedlich.

Datenquellen:

Totalkonzentrationen – Fachstelle Bodenschutz des Kantons Zürich & NABO;

Bioverfügbare Fraktion – Bartolomé 2018⁹

Generelle Handlungsempfehlungen

Aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse empfehlen wir für den Bodenschutz verschiedene Massnahmen, deren Schwerpunkte bei **PSM** und **Antibiotika** liegen. Diese Substanzgruppen sind insbesondere auch für die aquatischen Systeme von grosser Relevanz. So entfallen heutzutage beispielsweise 40 % der chemischen Verunreinigungen, die im Rhein bei Basel gefunden werden, auf **PSM** und weitere 40 % auf **Arzneimittel** (Quelle: Eawag News 73, 2012).

- **Regionale Studie zu PSM-Rückständen** Erhebung des PSM-Einsatzes für Fallstudiengebiete und Untersuchung der Böden auf entsprechende Rückstände; vorzugsweise in Zusammenarbeit mit analogen Untersuchungen in Oberflächen- und/oder Grundwasser (NAQUA, NADUF). Ableitung von Risikoindikatoren auf Basis von Applikationsraten, Boden- und Wirkstoffeigenschaften.
- **Untersuchung der ökotoxikologischen Relevanz der PSM-Rückstände in Böden** Entwicklung eines Beurteilungsschemas analog zu aquatischen Systemen unter Berücksichtigung von Bioverfügbarkeit und Auswirkungen auf Bodenlebewesen.
- **Festlegung gesetzlicher Grenzwerte** für PSM auf der Basis der beiden obigen Schritte.
- **Screening auf Antibiotikarückstände & -resistenzen in Schweizer Böden** Erhebung der Antibiotikarückstände und -resistenzen in Schweizer Landwirtschaftsböden unter typischer Bewirtschaftung (StAR Massnahme 3.5.2).
- **Identifizierung potentieller Risikosubstanzen bezüglich Boden** gemäss dem oben beschriebenen Ansatz (Punkte 1-5) ohne der Einschränkungen des Pilotprojektes (FROSCH).

Handlungsempfehlungen für die Bodenbeobachtung NABO

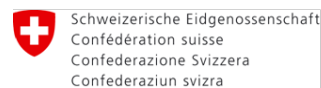
- **PSM-Monitoring im Boden auf Feldskala** Untersuchung zu **PSM**-Rückständen an Monitoring-Standorten (NABO und KABOs), deren Fruchtfolge und **PSM**-Einsatz bekannt sind.
- **Verstärkte Zusammenarbeit und Vernetzung zwischen den verschiedenen Umwelt-Monitoringprogrammen** wie NABO, NADUF, NAQUA, NABEL, ...

Weiterführende Literatur

- 1 P. Schmid, E. Gujer, M. Zenegg, T. D. Bucheli, A. Desaulles. 2005. Correlation of PCDD/F and PCB concentrations in soil samples from the Swiss soil monitoring network (NABO) to specific parameters of the observation sites. Chemosphere 58: 227-234.
- 2 A. Desaulles, S. Ammann, F. Blum, R. Brändli, T. Bucheli. 2007. PAK- und PCB-Gehalte in Böden der Schweiz. Ergebnisse der Nationalen Bodenbeobachtung 1995/1999. NABO-Bericht. Bibliographie Nr. 172.
- 3 A. Desaulles, S. Ammann, F. Blum, R. C. Brändli, T. D. Bucheli, A. Keller. 2008. PAH and PCB in soils of Switzerland – status and critical review. J. Environ. Monit. 10: 1265-1277.
- 4 R. C. Brändli, T. D. Bucheli, S. Ammann, A. Desaulles, A. Keller, F. Blum, W. A. Stahel. 2008. Critical evaluation of PAH source apportionment tools using data from the Swiss soil monitoring network. J. Environ. Monit. 10: 1278-1286.
- 5 A. Gubler, D. Wächter, F. Blum, T. D. Bucheli. 2015. Remarkably constant PAH concentrations in Swiss soils over the last 30 years. Environ. Sci.: Processes Impacts 17: 1816-1828. DOI: 10.1039/c5em00344j
- 6 C. Bogdal, N. Niggeler, J. Glüge, P. Diefenbacher, D. Wächter, K. Hungerbühler. 2017. Temporal trends of chlorinated paraffins and polychlorinated biphenyls in Swiss soils. Envir. Pollut.: accepted.
- 7 T. Bucheli, A. Keller. 2010. Wie Nadeln im Heuhaufen. Organische Schadstoffe. UFA-Revue 4: 52-53.
- 8 T. Bucheli et al. 2016. Final report of the project „Früherkennung von künftigen organischen Schadstoffen in der Umwelt (FROSCH)“. Interner Bericht Agroscope z.H. Bundesamt für Umwelt (BAFU).
- 9 N. Bartolomé. 2018. Passive Sampling in Soils Contaminated with Polycyclic Aromatic Hydrocarbons - From ex Situ to in Situ Applications. ETH Zürich, Dissertation No. 25211. <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000286387>

Impressum

Andreas Gubler, Armin Keller, Daniel Wächter, Thomas Bucheli



Eidgenössisches Departement
für Wirtschaft, Bildung und Forschung
WBF

Agroscope



nationale bodenbeobachtung
observatoire national des sols
osservatorio nazionale dei suoli
swiss soil monitoring network

Kontakt

Andreas Gubler, Agroscope, NABO
andreas.gubler@agroscope.admin.ch

Thomas Bucheli, Agroscope, Umweltanalytik
thomas.bucheli@agroscope.admin.ch

Reckenholzstrasse 191, 8046 Zürich