

25 Jahre nationale Bodenbeobachtung im Schweizer Wald

Reto Giulio Meuli
Peter Schwab

Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART (CH)*
Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART (CH)

25 years of soil monitoring at forest sites in Switzerland

The national soil monitoring network (Nabo) consists of 105 sites across Switzerland, 28 of which are located in forests. After 25 years already seven forest sites (25%) were more or less damaged by storms. Two of them had to be abandoned for a decade to recover. Concerning precautionary soil protection the legal guide value is exceeded at three forest sites for cadmium and at one site also for chromium. These sites are all based on Jurassic limestone, and it is well known that residuals of limestone weathering can be rich in cadmium. Hence, the enrichment is supposed to be of geogenic origin. In the Canton Ticino the top soil at Novaggio site exceeds the guide value for lead. Here, anthropogenic origin is very likely. The analysis of the organic pollutants PAH and PCB in the third sampling campaign revealed moderate concentrations with a maximum lower than or equal to $\frac{2}{3}$ of the corresponding guide value. Based on the results of the first four sampling campaigns it can be concluded that only small changes in the measured heavy metal concentrations in the top soils at the 28 Nabo sites were found. The most dynamic element is lead. Most of the concentrations are far below the guide values, the same holds for the organic pollutants PAH and PCB.

Keywords: soil monitoring, heavy metals, organic pollutants
doi: 10.3188/szf.2010.0517

* Reckenholzstrasse 191, CH-8046 Zürich, E-Mail reto.meuli@art.admin.ch

Die Überwachung der Bodenfruchtbarkeit ist eine Aufgabe des Bundes. Da Böden mit beeinträchtigter Bodenfruchtbarkeit kaum oder nur mit enormen finanziellen Anstrengungen regeneriert werden können, hat das Vorsorgeprinzip beim Bodenschutz besonderes Gewicht. Aus diesem Grund initiierte das damalige Bundesamt für Umweltschutz (BUS), das heutige Bundesamt für Umwelt (Bafu), bereits Mitte der 1980er-Jahre die nationale Bodenbeobachtung zur Messung der anorganischen Schadstoffe (Nabo). Zusammen mit dem Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) wurde ein Referenznetz für die Beobachtung von diffusen Belastungen auf und in den Böden eingerichtet. Gesetzliche Grundlagen finden sich im Artikel 44 des Bundesgesetzes vom 7. Oktober 1983 über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz, USG, SR 814.01) und in der Verordnung vom 1. Juli 1998 über Belastungen des Bodens (VBBo, SR 814.12) sowie in der Verordnung vom 9. Juni 2006 über die landwirtschaftliche Forschung (VLF, SR 915.7). Die Wahl der Standorte – die Vorgabe waren rund 100 Dauerbeobachtungsflächen – erfolgte sowohl nach Art der Bodennutzung als auch

nach geografischen Kriterien sowie immissionsökologisch unterschiedlichen Nutzungs- und Bewirtschaftungstypen (Desaules & Studer 1993). Die heute insgesamt 104 Dauerbeobachtungsflächen (Abbildung 1) umfassen neben den 28 Waldstandorten auf die sich die nachfolgenden Ausführungen in diesem Beitrag beziehen – auch 33 Acker- und 26 Dauerwieslandstandorte, vier Rebstandorte, drei Intensivobstanlagen, vier Gemüseanbau-, zwei Stadtpark- und vier Schutzstandorte.

Die Stichprobenflächen im Wald erstrecken sich von Jussy am südwestlichen Ufer des Genfersees im Westen bis nach Sent im Unterengadin im Osten sowie von Marthalen im Norden bis Novaggio im Süden. Sie liegen zwischen 380 und 1690 m ü. M.

Zweck und Ziele

Die Nabo bildet das Referenznetz für die in der Schweiz durchgeführten Bodenuntersuchungen. Mittels jährlich durchgeführter Ringtests für Analytiklabors werden der Austausch und die Vergleich-

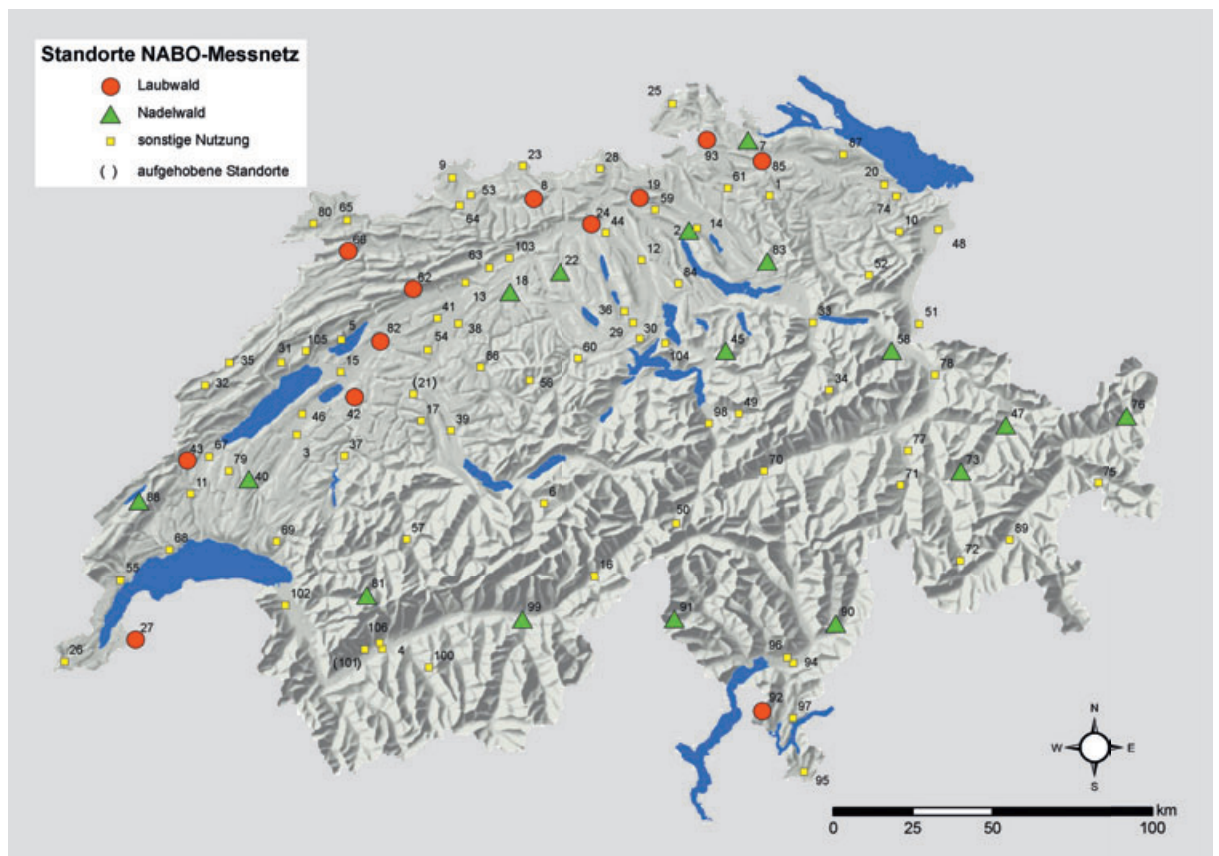


Abb 1 Messnetz der nationalen Bodenbeobachtung (Nabo).

barkeit mit anderen Messnetzen, insbesondere den kantonalen Bodenüberwachungsnetzen (Kabo) sichergestellt (Ammann & Desales 2009).

Die Ziele der Nabo lassen sich in zwei Kategorien aufteilen. Einerseits sollen die einzelnen Messkampagnen den aktuellen Zustand der Böden aufzeigen (Nabo-Status), dazu zählen auch die Analysen von neuen, bisher nicht untersuchten Substanzen zur Früherkennung von möglichen Problemstoffen (u.a. persistente organische Verbindungen wie z.B. PAK). Andererseits wird angestrebt, mittels langjähriger Messreihen Aussagen über den zeitlichen Verlauf der Bodenbelastungen in den Schweizer Böden zu machen und das Prozessverständnis zu erweitern (Nabo-Trend). Insbesondere Beurteilungen von getroffenen Umweltmassnahmen bedürfen langer Zeitreihen.

Bodenprobenarchiv

Das Probenarchiv mit rund 10000 getrockneten Bodenproben, die seit 1986 entnommen wurden, sowie zusätzlichen rund 1000 bei -20°C gefrorenen Oberbodenproben ermöglicht es, retrospektiv das Auftreten von neuen Stoffen zu untersuchen. Mithilfe des bis ins Jahr 1880 zurückreichenden Bodenprobenarchivs an der Rothamsted Experimental Station nördlich von London wurden beispielsweise retrospektiv die atmosphärischen Depositionsraten über mehrere Jahrzehnte rekonstruiert (Jones et al 1987). Die Proben können zudem, analog einem Fall

in Deutschland, zur Beweissicherung einer regionalen Verunreinigung beigezogen werden (Spörlein & Hangen 2009).

Material und Methoden

An allen Nabo-Standorten wurde im Rahmen der Erstbeprobung in den 1980er-Jahren zusätzlich zu den bis heute periodisch entnommenen Flächenmischproben eine Profilgrube bis zum unverwitterten Ausgangsmaterial geöffnet, horizontweise Bodenprobenmaterial entnommen und auf die wichtigsten anorganischen Schadstoffe (insbesondere die Schwermetalle Blei, Cadmium, Chrom, Cobalt, Kupfer, Nickel, Quecksilber und Zink) sowie weitere Bodenkenngrößen hin untersucht (Desales & Studer 1993). Die Standorte werden im 5-Jahres-Turnus beprobt. Pro Standort werden jeweils vier Flächenmischproben bestehend aus 25 Einzeleinstichen aus 0–20 cm Tiefe entnommen. Die 10×10 m grossen Dauerbeobachtungsflächen (Abbildung 2) sind mit Magneten versichert und können auf wenige Zentimeter genau wieder aufgefunden werden.

Im Rahmen der Zweit- und Drittbeprobungen wurden die Archivproben der Erstbeprobung jeweils erneut aufgeschlossen und mitgemessen. Die Analysresultate jeder neuen Beprobungsrunde wurden mithilfe der erneut gemessenen Proben der Ersterhebung auf ein für alle Beprobungsrunden gültiges Niveau korrigiert (Ammann 2010, Desales & Da-

hinden 2000). Systematische Fehler in der Analytik der einzelnen Beprobungsrunden können mit dieser Methode eliminiert werden. Unter der Voraussetzung, dass die untersuchten Elementgehalte in den getrockneten Archivproben stabil sind, sind die Resultate damit direkt vergleichbar. In Auswertungen von Ringversuchsproben erwiesen sich die getrockneten Feinerdeproben für Schwermetalle über zehn und für PAK über sieben Jahre als stabil (Bürgin et al 2007, Desaulles et al 1996).

Mit einem Hohlmeißelbohrer von 2.5 cm Innendurchmesser wird aus den 25 Quadranten jeweils eine vollständige Probe aus 0–20 cm Tiefe ab Bodenoberkante inklusive einer eventuell vorhandenen organischen Auflage entnommen und zu einer Mischprobe vereinigt. Die so gewonnenen vier Mischproben werden bei 40 °C getrocknet, mit einem Backenbrecher zerkleinert und die Feinerdefraktion < 2 mm abgesiebt. Seit 2005 werden zusätzlich die Siebrückstände (Skelett, Wurzeln etc.) gewogen und seit 2008 archiviert. Darüber hinaus werden die Feldfeuchte und das Raumgewicht bestimmt. Diese sogenannten Begleitparameter können später zur Interpretation der Ergebnisse beigezogen werden und liefern nicht selten die erforderlichen Zusatzkenntnisse zur Interpretation von unerwarteten Ergebnissen.

Synergien zu bestehenden Messnetzen

Insgesamt sieben der 28 Nabo-Waldstandorte befinden sich in der Nähe von Flächen der langfristigen Waldökosystemforschung (LWF) der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und

Landschaft (Thimonier et al 2001). Es sind dies die Nabo-Standorte 19 (Lägern), 27 (Jussy), 45 (Alpthal), 47 (Davos), 62 (Bettlach), 73 (Alvaneu), 83 (Wald) und 92 (Novaggio). Diese Synergien sollen in Zukunft vermehrt genutzt werden. So wurde zum Beispiel kürzlich eine Zusammenarbeit zur Untersuchung der Kohlenstoff- und Stickstoffdynamik über die letzten 25 Jahre gestartet.

Vivian und Lothar

Der Sturm Vivian Ende Februar 1990 und der Orkan Lothar im Dezember 1999 haben auch auf den Nabo-Standorten ihre Spuren hinterlassen. Der Standort Mels, ein Fichtenstandort, wurde durch Vivian stark in Mitleidenschaft gezogen und konnte 1993 aufgrund der Brombeeren und des Wurfholzes nur mit sehr viel Aufwand wiederbeprobt werden. Bei der bis anhin letzten Probenahme im Jahr 2008 hat der Jungwuchs, meist Laubholz, die Brombeeren zurückgebunden. Noch weit einschneidendere Auswirkungen hatte der Orkan Lothar. Insgesamt sechs Nabo-Standorte waren betroffen, vier davon stark. Die Standorte St-Cierges und Galmwald wurden so stark beeinträchtigt, dass die Probenahme zu Beginn der 2000er-Jahre aufgrund der Bodenveränderungen (St-Cierges) respektive des Wurfholzes (Galmwald) verunmöglicht war. Diese beiden Standorte konnten 2009 wieder beprobt werden, am Standort Galmwald musste aber auf eine Fläche in unmittelbarer Nachbarschaft ausgewichen werden. An den Standorten Lägern und Staffelbach wurde der gesamte Baumbestand zerstört.

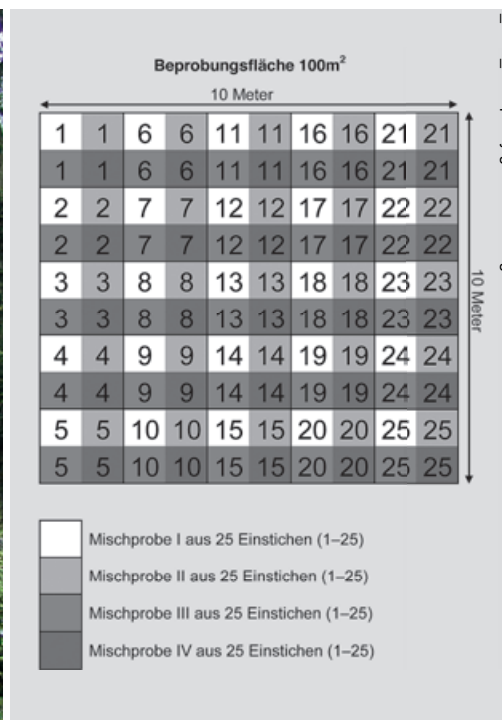


Abb 2 Probenahme der Flächenmischprobe 0–20 cm am Standort 90, Sta Maria GR (links). Probenahmeplan zur Entnahme von 4 Mischproben aus je 25 Einstichen (rechts).

Downloaded from http://meridian.allenpress.com/szf/article-pdf/161/12/517/1966136/szf_2010_0517.pdf by guest on 08 August 2024

Element	Cadmium (Cd)		Cobalt (Co)		Chrom (Cr)		Kupfer (Cu)		Quecksilber (Hg)		Nickel (Ni)		Blei (Pb)		Zink (Zn)	
	1	4	1	4	1	4	1	4	1	4	1	4	1	4	1	4
N	25	25	25	25	24	24	25	25	25	25	23	23	25	25	25	25
Minimum	0.08	0.08	1.41	0.94	12.50	10.57	3.37	3.72	0.07	0.04	6.92	7.20	14.35	14.76	22.11	20.65
10%	0.10	0.10	2.92	2.68	14.23	15.19	4.32	4.55	0.09	0.06	10.23	8.78	17.62	18.23	30.54	29.86
Mittelwert	0.32	0.31	5.78	5.65	26.42	25.96	11.95	11.88	0.15	0.11	21.97	21.56	30.24	30.47	52.52	51.23
Median	0.20	0.21	5.16	4.82	22.73	22.31	11.20	10.50	0.14	0.10	19.10	17.58	29.95	31.41	48.29	46.65
90%	0.79	0.77	9.94	10.17	42.03	41.29	21.52	20.83	0.22	0.16	40.11	38.20	43.84	43.85	88.18	81.72
Maximum	1.26	1.22	13.10	13.32	59.32	60.99	29.92	29.82	0.33	0.27	43.69	44.62	72.34	64.02	99.07	99.40
Richtwert (RW)	0.8	0.8	–	–	50	50	40	40	0.5	0.5	50	50	50	50	150	150
N > RW	3	3	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0

Tab 1 Vergleich typischer Gehalte der anorganischen Schadstoffe in der Erst- und Vierterhebung. Richtwerte gemäss Verordnung vom 1. Juli 1998 über Belastungen des Bodens (VBBo, SR 814.12).

Erhebung/Jahr	Blei (Pb)		Organischer Kohlenstoff (Corg)
	Konzentration (mg/kg TS)	Variationskoeffizient (%)	Gehalt (%)
1/1988	72.34	6.44	11.67
2/1993	65.39	10.41	8.88
3/1998	95.15	11.55	10.62
4/2003	64.02	4.89	9.11

Tab 2 Konzentration und Variationskoeffizient von Blei sowie Gehalt von organischem Kohlenstoff in den vier Mischproben (0–20 cm) am Standort Novaggio 1988–2003.

wird am Standort Novaggio mit einem Gehalt von 64 mg/kg TS überschritten. Dieser Standort weist im Oberboden einen pH-Wert (CaCl₂) von 3.8 auf und ist profulumfassend karbonatfrei. Der im Rahmen der Erstbeprobung im Jahr 1988 festgestellte ausgeprägte Gradient für Blei (der Gehalt nimmt von 116 mg/kg TS in 0–5 cm auf 21.8 mg/kg TS in 15–35 cm ab; Desaulles & Studer 1993) wurde im knapp 300 m entfernten LWF-Bodenprofil Novaggio bestätigt (Blaser et al 2005). Solche Konzentrationsgradienten weisen auf vorherrschende Einträge über die Atmosphäre hin.

Ergebnisse und Diskussion

Bodenzustand

Die Resultate der vierten Erhebung (2000–2004) zeigen, dass an vier der insgesamt 28 Nabo-Waldstandorte die in der VBBo festgelegten Richtwerte für Bodenbelastungen überschritten werden. Die drei Standorte mit einer Überschreitung des Cadmiumrichtwerts (0.8 mg/kg Trockensubstanz [TS]) liegen ausnahmslos im Jura, der Standort Rothenfluh (1.03 mg/kg TS) im Kanton Basel-Landschaft, St-Ursanne (1.08 mg/kg TS) im Kanton Jura und L'Abbaye (1.22 mg/kg TS) im Kanton Waadt. Die Ausgangsgesteine an den drei Standorten sind Dogger- und Malmkalke. Cadmiumanreicherungen in den Verwitterungsrückständen dieser Kalke können zu erhöhten Cadmiumgehalten im Boden führen (Dubois et al 2002, Prudente et al 2002, Quezada-Hinjosa et al 2009). Diese Standorte weisen bis in den Oberboden einen pH-Wert (CaCl₂) zwischen 6.3 und 7.0 auf, die Cadmiumverfügbarkeit und die Gefahr einer Auswaschung sind demzufolge gering (Scheffer & Schachtschabel 2002).

Der Standort Rothenfluh weist überdies auch eine Überschreitung des Richtwerts für Chrom auf (Richtwert: 50 mg/kg TS, gemessen: 61 mg/kg TS). Aufgrund erhöhter Chromgehalte in tieferen Horizonten ist die Richtwertüberschreitung mit grosser Wahrscheinlichkeit geogenen Ursprungs (Desaulles & Studer 1993). Der Richtwert für Blei (50 mg/kg TS)

Zeitliche Entwicklung

Vergleicht man die Werte der Erst- mit den referenzierten Werten der Viertbeprobung (Tabelle 1), stellt man fest, dass sich die Konzentration anorganischer Schadstoffe über alle 25 Nabo-Waldstandorte, für die Resultate sowohl der Erst- als auch der Vierterhebung vorliegen, kaum verändert haben.

Neben Quecksilber, das unter anderem aufgrund des relativ hohen Dampfdruckes schwierig zu messen ist, weist Blei die grösste Dynamik der untersuchten Schadstoffe auf. Die höchsten Bleiwerte werden am Standort Novaggio gemessen. Ein Blick auf den Verlauf der Konzentrationen im Oberboden (0–20 cm Tiefe) von der Erst- bis Vierterhebung zeigt einen Zickzackverlauf (Tabelle 2). Grosse Unterschiede zwischen den vier Erhebungszeitpunkten lassen sich auch bei den Variationskoeffizienten der vier Mischproben pro Erhebung feststellen. Die gemessenen Konzentrationen des organischen Kohlenstoffes (Corg) variieren ebenfalls beträchtlich und weisen einen ähnlichen Verlauf auf wie die Bleikonzentrationen.

Die einzige plausible Erklärung für diese nicht gerichteten, markanten Veränderungen der Blei- und Corg-Konzentrationen über einen Zeitraum von jeweils fünf Jahren ist, dass die relative Beprobungstiefe bei sich folgenden Erhebungen verändert wurde. Wie Abbildung 3 zeigt, weist der Boden in Novaggio eine grosse Heterogenität auf. Diese lässt

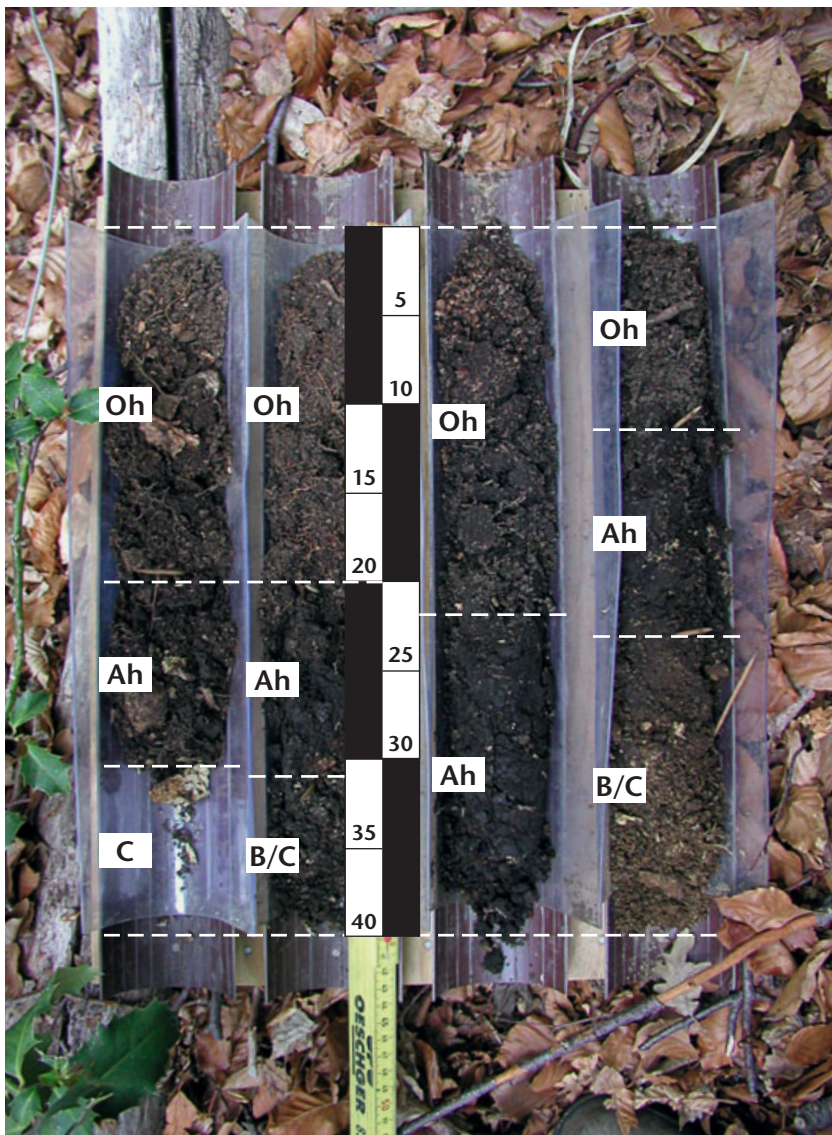


Abb 3 Vergleich von vier Kernbohrungen in 0–40 cm Tiefe des Nabo-Standes 92, Novaggio. Neben dem unterschiedlich mächtigen Auflagehorizont (Oh) variiert auch die Ausprägung des Ah-Horizontes von Bohrkern zu Bohrkern beträchtlich.

sich aufgrund der Vierfachbeprobung quantifizieren. Der Variationskoeffizient beträgt für Blei zwischen 4.9 und 11.6% (Tabelle 2). An Waldstandorten mit einer organischen Auflage wie beispielsweise in Novaggio dürften unterschiedliche äussere Bedingungen (Feuchte, Jahreszeit, Temperatur etc.) zu einem Quellen und Schrumpfen der organischen Auflage führen. Zusammen mit den beschriebenen, starken Konzentrationsgradienten im Bodenprofil kann dies zu zeitlich stark schwankenden Gehalten, einem sogenannten Grundrauschen, in den Oberbodenproben führen. Weitere Abklärungen auf der Ebene der Einzelstandorte sind Gegenstand laufender Arbeiten. Aufgrund der bisherigen Erfahrungen kann festgehalten werden, dass der Erhebung von Begleitparametern wie beispielsweise Raumgewicht, Feldfeuchte oder Skelettgehalt eine zentrale Rolle bei der Interpretation von zeitlichen Veränderungen der «Schlüsselgrössen» in der Bodendauerbeobachtung zukommt.

Organische Schadstoffe

Mit dem Inkrafttreten der VBBo im Jahr 1998 wurden erstmals auch Richtwerte für ausgewählte organische Schadstoffe wie die Summe der polychlorierten Dibenzo-p-Dioxine und polychlorierten Dibenzofurane (PCDD/F), die Summe der 16 Leitsubstanzen nach EPA¹ der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK), Benzo-a-Pyren (BaP) sowie Prüf- und Sanierungswerte für die Summe der sieben Kongenere gemäss IRMM² der polychlorierten Biphenyle (PCB) gesetzlich festgelegt. Diese Schadstoffe gelten wegen ihrer Toxizität und Persistenz sowie ihres ubiquitären Vorkommens als problematisch. Aufgrund der starken Bindungen an die organische Substanz finden sich erhöhte Gehalte organischer Schadstoffe vorwiegend in oberflächennahen Bodenschichten (Gisi et al 1997, Krauss et al 2000).

Im Rahmen der Drittbeprobung (1995–1999) wurde der Gehalt an PAK und PCB in den Flächenmischproben sämtlicher Nabo-Standorte untersucht (Desaules et al 2009, Desaules et al 2008). Die in Tabelle 3 dargestellten Resultate für die Nadel- und Laubwaldstandorte zeigen, dass die an den 28 Nabo-Waldstandorten gemessenen Konzentrationen weit unterhalb der Richtwerte der VBBo liegen. An einem einzigen Waldstandort liegt die PAK-Konzentration knapp über zwei Dritteln des Richtwertes. Dieser Standort befindet sich unweit des Siedlungsgebietes der Stadt Frauenfeld.

Folgerungen und Ausblick

Die 28 Waldstandorte des Nabo-Referenzmessnetzes haben in den 25 Jahren seit Messbeginn wertvolle Erkenntnisse über die Dynamik von Waldböden geliefert. Die beiden Stürme Vivian (1990) und Lothar (1999) haben insgesamt sieben der 28 Dauerbeobachtungsflächen mehr oder weniger in Mitleidenenschaft gezogen.

Basierend auf den bisher vier ausgewerteten Probenahmekampagnen im Zeitraum zwischen 1985 und 2004 kann festgehalten werden, dass über alle 28 Nabo-Waldstandorte gesehen die Konzentrationen aller gemessenen anorganischen Parameter im Oberboden nur geringfügig variieren und im Vergleich mit den gesetzlichen Richtwerten auf einem generell erfreulich tiefen Niveau liegen. Gleiches gilt auch für die im Rahmen der dritten Erhebung untersuchten organischen Schadstoffe PAK und PCB. Die Resultate zeigen aber auch, dass allfällige Konzentrationsänderungen – wie am Beispiel Blei gezeigt – standortspezifisch auf ihre Plausibilität hin zu überprüfen sind. Insbesondere müssen Grundrauschen und tatsächliche Konzentrationsänderungen

¹ Environmental Protection Agency der USA

² Institute for Reference Materials and Measurements

	Laubwald			Nadelwald		
	PAK ₁₆	BaP	PCB ₇	PAK ₁₆	BaP	PCB ₇
n	10	10	12	16	16	16
Minimum	84.3	6.7	1.4	79.4	2.1	1.3
10%	93.9	7.3	1.7	91.8	3.3	1.7
Mittelwert	222.8	17.1	2.5	249.6	21.9	3.2
Median	175.9	11.9	2.0	220.6	14.7	2.3
90%	515.9	42.0	3.3	486.4	51.8	6.1
Maximum	675.3	61.4	5.7	508.5	56.2	8.3
Richtwert	1000	200	(20*)	1000	200	(20*)

Tab 3 Charakteristische Gehalte von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK₁₆), Benzo-a-Pyren (BaP) und polychlorierten Biphenylen (PCB₇) in µg/kg der 12 Laub- und 16 Nadelwaldstandorte des Nabo-Referenzmessnetzes. Richtwerte gemäss Verordnung vom 1. Juli 1998 über Belastungen des Bodens (VBBo, SR 814.12). * In der Schweiz ist kein Richtwert für PCB₇ festgelegt. In Klammer angegeben ist der in den Niederlanden gültige Zielwert.

gen getrennt werden können. Artefakte sind durch eine vertiefte Erforschung der Ursachen auf der Ebene des einzelnen Standorts sowie durch standardisierte und detailliert beschriebene Arbeitsabläufe so weit als möglich zu minimieren. Erste Schritte sind mit der systematischen Erfassung der Probenmenge, der Probenverluste, der Siebrückstände und der Bestimmung des Skelettgehaltes in die Wege geleitet. In der Analytik sind zusammen mit den neusten Erhebungen daher auch immer ältere Proben desselben Standortes zu analysieren, um die Messbeständigkeit sicherzustellen.

Veränderungen in der Pedosphäre beschränken sich nicht auf die obersten 20 cm des Bodens. Damit die Prozesse gesamtheitlicher erfasst und interpretiert und auch neue Fragestellungen adäquat beantwortet werden können (z.B. Kohlenstoffvorrat und -sequestrierung), sind in Zukunft Untersuchungen notwendig, die das gesamte Bodenprofil umfassen.

Für die Trennung effektiver Konzentrationsveränderungen vom Grundrauschen sind im Hinblick auf Zeitreihenanalysen an ausgewählten Standorten kürzere Beprobungsintervalle für eine begrenzte Zeitdauer erforderlich. Damit kann die am Standort vorhandene kurzzeitliche Variabilität, beispielsweise im Jahresverlauf, erfasst werden.

Für Waldstandorte sind physikalische und biologische Untersuchungen noch komplexer als bei Acker- oder Gründlandstandorten (Schwab et al 2006). Die Gründe dafür liegen in erster Linie in der grösseren räumlichen Variabilität von Waldböden gegenüber Landwirtschaftsböden. Damit wird die Interpretation der Resultate schwieriger. Im Monitoringprogramm Nabo, das auf eine Dauer von mehreren Jahrzehnten ausgelegt ist, muss einerseits Kontinuität gewährleistet sein, andererseits erfordern neue Erkenntnisse Flexibilität und damit verbunden eine Optimierung des bestehenden Messnetzes und der Methoden. Nur mit einem solchen dualen Vorgehen können die festgelegten Ziele erreicht werden. ■

Eingereicht: 12. Februar 2010, akzeptiert (mit Review): 4. Oktober 2010

Literatur

- AMMANN S (2010) Bodenbiologische Dauerbeobachtung: Anforderungen an die Messqualität. Bull Bodenkd Ges Schweiz 30: 57–62.
- AMMANN S, DESAULES A (2009) VBBo-Ringanalysenbericht 2008. Zürich: Forsch.anstalt Agroscope. 61 p.
- BLASER P, ZIMMERMANN S, LUSTER J, WALTHERT L, LÜSCHER P (2005) Waldböden der Schweiz. Band 2. Regionen Alpen und Alpensüdseite. Bern: Hep 920 p.
- BÜRGIN R, RUCKSTUHL A, AMMANN S (2007) Auswertungen mehrjähriger Ringanalysen von Schadstoffen in Bodenproben. Winterthur: Zürcher Hochschule Winterthur, Datenanalyse und Prozessdesign, Semesterarbeiten. 67 p.
- DESAULES A, AMMANN S, BLUM F, BRÄNDLI RC, BUCHELI TD (2009) PAK- und PCB-Gehalte in Böden der Schweiz. Zürich: Forsch.anstalt Agroscope. 87 p.
- DESAULES A ET AL (2008) PAH and PCB in soils of Switzerland – Status and critical review. J Environ Monit 10: 1265–1277.
- DESAULES A, DAHINDEN R (2000) Nationales Boden-Beobachtungsnetz – Veränderungen von Schadstoffgehalten nach 5 und 10 Jahren. Bern: Bundesamt Umwelt Wald Landschaft, Schriftenreihe Umwelt 320. 129 p.
- DESAULES A, DAHINDEN R, LISCHER P (1996) Untersuchungen zum Nachweis der zeitlichen Stabilität von Schwermetall- und Fluoranalysen in archivierten Bodenproben im Hinblick auf die Dauerbeobachtung. Mitt Gebiete Lebensm Hyg 87: 230–243.
- DESAULES A, STUDER K (1993) NABO – Nationales Bodenbeobachtungsnetz. Messresultate 1985–1991. Bern: Bundesamt Umwelt Wald Landschaft, Schriftenreihe Umwelt 200. 134 p.
- DUBOIS JP, BENITEZ N, LIEBIG T, BAUDRAZ M, OKOPNIK F (2002) Le cadmium dans les sols du haut Jura suisse. In: Baize D, Tercé M, editors. Les éléments traces métalliques dans les sols. Approches fonctionnelles et spatiales. Paris: Institut national de la recherche agronomique. pp. 33–52.
- GISI U, SCHENKER R, SCHULIN R, STICHER H (1997) Bodenökologie. Stuttgart: Thieme, 2 ed. 350 p.
- JONES KC, SYMON CJ, JOHNSTON AE (1987) Retrospective analysis of an archived soil collection. I metals. Sci Total Environ 61: 131–144.
- KRAUSS M, WILCKE W, ZECH W (2000) Polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorinated biphenyls in forest soils: depth distribution as indicator of different fate. Environ Pollut 110: 79–88.

- PRUDENTE D, BAIZE D, DUBOIS JP (2002) Le cadmium naturel dans une forêt du haut Jura français. In: Baize D, Tercé M, editors. Les éléments traces métalliques dans les sols. Approches fonctionnelles et spatiales. Paris: Institut national de la recherche agronomique. pp. 53–70.
- QUEZADA-HINJOSA RP, MATERA V, ADATTE T, RAMBEAU C, FÖLLMI KB (2009) Cadmium distribution in soils covering Jurassic oolitic limestone with high Cd contents in the Swiss Jura. *Geoderma* 150: 287–301.
- SCHEFFER F, SCHACHTSCHABEL P (2002) Lehrbuch der Bodenkunde. Heidelberg: Spektrum, 15 ed. 593 p.
- SCHWAB P, WEISSKOPF P, OBERHOLZER H, SCHEID S, BERLI M (2006) Langzeitbeobachtung von physikalischen und biologischen Bodeneigenschaften. Pilotprojekt LAZBO – Teil 4 Folgerungen, Empfehlungen und Ausblick für die Langzeitbeobachtung. Zürich: Eidgenöss. Forschungsanstalt Agrarökologie Landbau. 27 p.
- SPÖRLEIN P, HANGEN E (2009) Bodendauerbeobachtung – ein Archiv für die Zukunft. *Bodenschutz* 14: 77–79.
- THIMONIER A, SCHMITT M, CHERUBINI P, KRÄUCHI N (2001) Monitoring the Swiss forest: building a research platform. www.wsl.ch/info/mitarbeitende/schmitt/Monitoring_CH.pdf (4.10.2010).

25 Jahre nationale Bodenbeobachtung im Schweizer Wald

Die nationale Bodenbeobachtung (Nabo) betreibt über die Schweiz verteilt insgesamt 105 Langzeitbodenbeobachtungsflächen, 28 davon im Wald. In den 25 Jahren sind ein Viertel dieser Standorte mehr oder weniger durch Stürme beschädigt worden. Zwei Standorte mussten vorübergehend sistiert werden. Im Sinne des vorsorglichen Bodenschutzes weisen die gesetzlich festgelegten Richtwerte für die langfristige Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit eine besondere Bedeutung auf. An drei Waldstandorten werden Richtwertüberschreitungen für Cadmium festgestellt, einer dieser Standorte weist zudem eine Richtwertüberschreitung für Chrom auf. Es ist seit Längerem bekannt, dass Rückstandsreicherungen aus der Kalkverwitterung zu erhöhten Gehalten im Boden führen können. Im Gegensatz dazu ist die Überschreitung des Richtwertes für Blei am Standort Novaggio im Kanton Tessin mit grosser Wahrscheinlichkeit auf atmosphärische Einträge zurückzuführen. Insgesamt haben sich die Gehalte der gemessenen Schwermetalle im Oberboden über die 15 Jahre gesehen kaum verändert. Die grösste Dynamik weist Blei auf. Da der Kohlenstoffgehalt aber in gleichem Masse variiert, werden unterschiedliche Probenahmetiefen bei sich folgenden Beprobungen aufgrund von unterschiedlichen äusseren Bedingungen als wahrscheinlichste Erklärung angenommen. Die Analysen der organischen Schadstoffe PAK und PCB zeigen, dass die maximalen Gehalte an den 28 Nabo-Waldstandorten in der Regel kleiner sind als 68% des entsprechenden Richtwertes. Basierend auf den Resultaten der ersten vier Beprobungsrunden kann gefolgert werden, dass generell die Änderungen in den Schwermetallkonzentrationen im Oberboden der 28 Nabo-Waldstandorte nur geringfügig waren und dass die Konzentrationen weit unterhalb der Richtwerte liegen, dies gilt auch für die bisher einmal gemessenen PAK- und PCB-Konzentrationen.

25 ans d'observation nationale des sols en forêt

L'observation nationale des sols (NABO) compte au total 105 sites d'observation de longue durée, répartis dans toute la Suisse, dont 28 en forêt. En 25 ans, un quart de ces sites a déjà été plus ou moins endommagé par des tempêtes, et l'observation sur deux d'entre eux a dû être interrompue temporairement. Dans le contexte de la protection des sols, les valeurs indicatives légales revêtent une importance particulière. Trois sites présentent une teneur excessive en cadmium, et l'un d'entre eux en chrome également. On sait depuis longtemps que les produits de l'érosion du calcaire peuvent être riches en cadmium et de ce fait responsables de ces teneurs accrues. Quant au dépassement de la valeur indicative pour le plomb sur le site de Novaggio, canton du Tessin, il est probablement dû à une déposition atmosphérique. De façon générale, la concentration des métaux lourds, mesurée dans le sol de surface, n'a quasiment pas changé ces quinze dernières années. Le plomb manifeste la plus grande dynamique. Mais comme la teneur en matière organique varie de façon similaire, des différences dans la profondeur lors de l'échantillonnage, causées par des conditions naturelles diverses, semblent l'explication la plus probable. L'analyse des polluants organiques HAP et BPC démontre que leur teneur maximale est en règle générale inférieure aux 68% de la valeur indicative sur les 28 sites NABO en forêt. Des résultats des quatre premiers échantillonnages, il ressort que les concentrations en métaux lourds n'ont que très peu varié dans les 20 premiers centimètres du sol des 28 sites NABO en forêt. La plupart des valeurs sont en outre nettement inférieures aux valeurs indicatives. Cette conclusion vaut également pour les polluants organiques HAP et BPC dont les concentrations ont déjà fait l'objet d'une mesure.