

> Nationale Bodenbeobachtung (NABO) 1985–2004

*Zustand und Veränderungen der anorganischen Schadstoffe
und Bodenbegleitparameter*



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

> Nationale Bodenbeobachtung (NABO) 1985–2004

*Zustand und Veränderungen der anorganischen Schadstoffe
und Bodenbegleitparameter*

Impressum

Herausgeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

Autoren

Reto Giulio Meuli, Peter Schwab, Daniel Wächter und Stefan Ammann

Begleitung Bund

Roland von Arx und Fabio Wegmann; Abteilung Boden, Sektion Bodenschutz; Samuel Vogel und Anton Candinas; BLW Direktionsbereich Strategie und Evaluation, Fachbereich Ökologie

Siehe auch Verdankung Seite 94

Zitierung

Meuli R.G., Schwab P., Wächter D., Ammann S. 2014: Nationale Bodenbeobachtung (NABO) 1985–2004. Zustand und Veränderungen der anorganischen Schadstoffe und Bodenbegleitparameter. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 1409: 94 S.

Gestaltung

Ursula Nöthiger-Koch, 4813 Uerkheim

Titelbild

NABOsite53, Gempen, Acker und Kunstwiese neben Kirschbäumen

PDF-Download

www.bafu.admin.ch/uz-1409-d

(eine gedruckte Fassung liegt nicht vor)

Diese Publikation ist auch in französischer Sprache verfügbar.
Die Anhänge 3 bis 5 sind nur in deutscher Sprache vorhanden.

> Inhalt

Abstracts	5		
Vorwort	7		
Zusammenfassung	8		
Einleitung	10		
<hr/>			
1 Grundlagen	13		
1.1 NABO-Referenzmessnetz	13		
1.1.1 Konzeptionelle Grundlagen	13		
1.1.2 Betrieb	15		
1.2 Messprozess und -programm	16		
1.2.1 Datengrundlage	16		
1.2.2 Beschreibung des gesamten Messprozesses	18		
1.2.3 Quantifizierung der Messqualität	19		
1.2.4 Wiederholbarkeit und Messbeständigkeit in der Boden-Dauerbeobachtung	20		
1.2.5 Messprogramm und -verfahren	22		
1.2.6 Bestimmungsgrenzen	23		
1.3 Referenzierungssystem	23		
1.3.1 Das Prinzip	23		
1.3.2 Überprüfung des Referenzierungssystems	26		
1.3.3 Beurteilung Qualität des Referenzierungssystems	27		
1.4 Datenauswertungen und Darstellungen	28		
1.4.1 Verwendete Datensätze	28		
1.4.2 Beurteilungsgrundlagen	28		
1.5 Datenpublikation	28		
<hr/>			
2 Ergebnisse und Diskussion	29		
2.1 Messqualität	29		
2.1.1 Messbeständigkeit der Analytik	30		
2.1.2 Zeitlicher Verlauf der Laborwiederholpräzision	31		
2.1.3 Mischproben aus der zeitgleichen Analytik	32		
2.1.4 Mischproben aus dem Labordatensatz	33		
2.1.5 Zeitlicher Verlauf der Probenahmewiederholpräzision	34		
2.1.6 Zeitlicher Verlauf der Standortwiederholpräzision	35		
2.1.7 Einfluss unterschiedlicher Analysezeitpunkte auf die Präzision	36		
2.1.8 Vergleich der Laborwiederholpräzision mit der Standortwiederholpräzision	37		
2.1.9 Vergleich der Laborwiederholpräzision und der Probenahmewiederholpräzision	38		
2.1.10 Vergleich der Probenahmewiederholpräzision mit der Standortwiederholpräzision	39		
2.2 Qualität des Referenzierungssystems	40		
2.3 Zustand in der Vierterhebung (Statusberichterstattung)	45		
2.3.1 Übersicht über die Schadstoffdaten	46		
2.3.2 Übersicht über die Bodenkennwerte	53		
2.4 Zeitliche Entwicklung 1985–2004 (Trendberichterstattung)	54		
2.4.1 Anorganische Schadstoffe	54		
2.4.2 Bodenkennwerte	63		
2.5 Ursachen gemessener Veränderungen	66		
2.5.1 Effektive Veränderungen	66		
2.5.2 Methodisch bedingte Veränderungen	69		
<hr/>			
3 Folgerungen	73		
3.1 Anforderungen an den Messprozess in der Boden-Dauerbeobachtung	73		
3.1.1 Vergleichbarkeit der Bodenproben eines Standortes (Ort, Raum, Zustand, Zeit)	73		
3.1.2 Vergleichbarkeit der Probenbehandlung	74		
3.1.3 Nachweis der Messbeständigkeit und Gewährleistung der analytischen Vergleichbarkeit	74		
3.2 Messprogramm	75		
3.3 Zustand des Messnetzes bei der Vierterhebung	75		
3.4 Zeitliche Entwicklung	76		
<hr/>			
4 Ausblick	78		
4.1 Messnetzergänzung	78		
4.1.1 Erweiterung Messparameter	78		
4.1.2 Erweiterung Referenzmessnetz	80		
4.2 Ergänzung des NABO-Referenzmessnetzes durch repräsentative Zustandserhebungen	80		
4.3 Verknüpfung des direkten Monitorings und Stoffflussbilanzierungen zur Erstellung von regionalen Fallstudien	81		

Anhang	83
A1 Landnutzungseinteilung	83
A2 Erklärung Box-Plot	86
A3 Wiederholbarkeit und Messbeständigkeit	88
A4 Status	88
A5 Trend: Verlauf der Messparameter	88
<hr/>	
Literatur	89
Verzeichnisse	91
Glossar	93
Dank	94

> Abstracts

In this report, the referencing system which has been applied by the Swiss Soil Monitoring Network (NABO) since the beginning of its activities is examined for the first time through the concurrent analysis of all archive samples. The system's fundamental importance for soil monitoring is thereby demonstrated. Ensuring analytical comparability over time is crucial for the correct interpretation of the time series gathered in permanent soil monitoring. The study of inorganic contaminant levels in the topsoil over a period of 15 years displays no significant increases apart from of copper and zinc at intensively farmed grassland sites. These observed increases were examined by analyzing the material flow balance and can be explained by animal feed additives entering the soil via farmyard manure.

Im vorliegenden Bericht wird das von der Nationalen Bodenbeobachtung (NABO) seit Beginn angewendete Referenzierungssystem erstmals durch die zeitgleiche Analyse aller Archivproben überprüft und seine fundamentale Bedeutung für die Bodenbeobachtung gezeigt. Die Gewährleistung der analytischen Vergleichbarkeit über die Zeit ist das Kernstück für die korrekte Interpretation der erhobenen Zeitreihen in der Boden-Dauerbeobachtung. Die Ergebnisse der über eine Zeitspanne von 15 Jahren untersuchten anorganischen Schadstoffe zeigen, dass – von Kupfer und Zink an den intensiv genutzten Graslandstandorten abgesehen – keine nennhaften Zunahmen im Oberboden stattfinden. Die festgestellten Zunahmen für Kupfer und Zink lassen sich aufgrund der Resultate der Stofffluss-Bilanzierungen auf Futtermittelzusätze zurückführen, die über Hofdünger in den Boden gelangen.

Dans le présent rapport, le système de référencement utilisé par l'Observatoire national des sols (NABO) depuis ses débuts fait pour la première fois l'objet d'une vérification au moyen d'une analyse simultanée de tous les échantillons archivés, et son importance capitale pour l'observation du sol est démontrée. La garantie de la reproductibilité analytique dans le temps est la pièce maîtresse pour une interprétation correcte des séries temporelles relevées dans le cadre de l'observation à long terme des sols. Les résultats liés aux polluants inorganiques étudiés sur une période de quinze ans ne montrent pas d'augmentation notable dans la couche supérieure du sol, à l'exception des concentrations de cuivre et de zinc dans les terrains soumis à une exploitation herbagère intensive. D'après les résultats du bilan des flux de substances, l'augmentation des apports de cuivre et de zinc est due aux additifs contenus dans les aliments pour animaux, arrivant dans le sol par le biais des engrais de ferme.

Keywords:

Long term soil monitoring,
Referencing system,
Temporal trends,
Inorganic contaminants

Stichwörter:

Boden-Dauerbeobachtung,
Referenzierungssystem,
zeitliche Entwicklung,
anorganische Schadstoffe

Mots-clés:

Observation à long terme des
sols, système de référencement,
développement temporel,
polluants inorganiques

Nel presente rapporto, il sistema di riferimento utilizzato sin dall'inizio dalla Rete nazionale di osservazione dei suoli (NABO) viene per la prima volta esaminato mediante l'analisi contemporanea di tutti i campioni archiviati e ne viene illustrata l'importanza fondamentale per l'osservazione dei suoli. La garanzia della comparabilità analitica nel tempo è l'elemento centrale per l'interpretazione corretta delle serie temporali di dati rilevate nell'ambito del monitoraggio a lungo termine dei suoli. I risultati relativi agli inquinanti inorganici esaminati su un periodo di 15 anni non evidenziano aumenti significativi nello strato di suolo campionato (eccezion fatta per il rame e lo zinco nei prati utilizzati in modo intensivo). In base ai risultati dei bilanci dei flussi di materiale, gli incrementi evidenziati per il rame e lo zinco sono riconducibili agli additivi per mangimi che finiscono nel suolo attraverso il letame di fattoria.

Parole chiave:

**Monitoraggio a lungo termine
dei suoli, sistema di riferimento,
andamento temporale,
inquinanti inorganici**

> Vorwort

Der Boden unter unseren Füßen ist die Grundlage der menschlichen Existenz. Ohne die dünne Schicht zwischen Pflanzendecke und Gestein gäbe es kein Leben auf dem Festland. Im Erdreich wurzeln unsere Kulturpflanzen, die uns ernähren. Im gesamten Naturhaushalt spielt der Boden eine zentrale Rolle: Er ist Wasser- und Kohlenstoffspeicher, Filter und Nährstoffdepot sowie Lebensraum für unzählige Tiere, Pflanzen und Mikroorganismen. Quantität und Qualität des Bodens bestimmen massgeblich die Trinkwasserqualität, das Klima, die Biodiversität und die Ausprägung der Vegetation. Ein fruchtbarer Boden ist deshalb von herausragender ökologischer, wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Bedeutung, insbesondere bildet er die Grundlage für die Ernährung einer wachsenden Bevölkerung.

Im Gegensatz zur Luft oder zum Wasser in den Bächen und Flüssen erneuert sich der Boden nur sehr langsam; die Bildung von Erde aus Muttergestein kann Tausende von Jahren in Anspruch nehmen. Der Boden hat deshalb ein Langzeitgedächtnis. Stark beeinträchtigte Böden sind über Jahrzehnte hinaus in ihren Funktionen gestört. Oft kann die Fruchtbarkeit belasteter Böden kaum je vollständig wieder hergestellt werden. Nutzen wir also unsere Böden sorgfältig – vorausschauend und mit dem nötigen Wissen.

In der Schweiz gibt es seit 1985 eine Nationale Bodenbeobachtung (NABO). Auf über 100 repräsentativen Standorten werden stoffliche Veränderungen in den Böden langfristig erfasst und dokumentiert mit dem Ziel, unerwünschte Entwicklungen frühzeitig zu erkennen. Mit diesem Instrument können Erfolge und Misserfolge der gesetzlichen, politischen und umwelttechnischen Massnahmen im Bodenschutz aufgezeigt werden. Der vorliegende Bericht präsentiert die Daten der ersten bis vierten Erhebung. Die Resultate zeigen, dass die in den letzten Jahrzehnten getroffenen Umweltmassnahmen bei der Reduktion der Schwermetallemissionen im Allgemeinen greifen und die Schwermetallkonzentrationen in den meisten Gebieten nicht weiter ansteigen. Sie zeigen aber auch klar die Herausforderung in Gebieten mit intensiver Schweineproduktion.

Mit der zunehmenden Überbauung von fruchtbarem Kulturland, dem Klimawandel, dem Biodiversitätsverlust, neuen Schadstoffen oder der Zunahme von Naturgefahren sind in den letzten Jahren weitere Problemfelder beim Bodenschutz in den Fokus gerückt. Im Rahmen der Umweltbeobachtung, in der die NABO ein wichtiger Bestandteil ist, müssen diese neuen Themen aufmerksam verfolgt werden. Je früher bezüglich der verschiedenen Bodenfunktionen relevante Veränderungen erkannt werden, desto einfacher und günstiger lassen sich korrigierende Massnahmen umsetzen.

Gérard Poffet
Vizedirektor
Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Dominique Kohli
Vizedirektor
Bundesamt für Landwirtschaft (BLW)

> Zusammenfassung

Mit dem vorliegenden Bericht werden die Ergebnisse der Vierterhebung im Rahmen der Nationalen Bodenbeobachtung (NABO) und die Entwicklungen an den rund 100 NABO-Referenzmessstandorten über die vier Erhebungszeitpunkte vorgestellt. Damit wird eine Zeitspanne von Mitte der 1980er Jahre bis 2004 abgedeckt.

Die in den letzten Jahren getroffenen Umweltschutzmassnahmen wie z. B. das Verbot von verbleitem Benzin, das Klärschlammausbringungsverbot und der Einbau von Filteranlagen in Kehrlichtverbrennungsanlagen zur Vermeidung von Schwermetallkontaminationen in Böden scheinen zu greifen. Die Gehalte der untersuchten Elemente in den obersten 20 cm des Bodens sind über die 15 Jahre praktisch konstant.

Dies gilt auch für die Anzahl der Richtwertüberschreitungen nach der Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBO). Rund 5 % aller NABO-Referenzmessstandorte weisen Richtwertüberschreitungen für Cadmium, 4 % für Chrom und 5 % für Nickel auf, die aufgrund der hohen geogenen Gehalte zustande kommen. Dagegen stehen für Kupfer (8 % aller Standorte) und Blei (5 %) primär anthropogene Quellen im Vordergrund. Richtwertüberschreitungen für Kupfer entstehen z. B. durch langjährigen Pflanzenschutzmitteleinsatz in Rebbergen und Spezialkulturen. So weisen die drei Rebbaustandorte Gehalte auf, die über dem Prüfwert für Futterpflanzenanbau liegen. Im Falle von Umnutzungen ist dies zu berücksichtigen. Bei Blei sind primär diffuse Quellen in Siedlungsgebieten (Stadtparkstandorte) sowie Kontaminationen in einem ehemaligen Schiessgebiet des Militärs für die Richtwertüberschreitungen verantwortlich.

Mit dem Vorliegen von vier Erhebungen können erstmals an einzelnen NABO-Referenzmessstandorten Gehaltsveränderungen mit einer guten Aussagesicherheit nachgewiesen werden. So können bei den intensiv genutzten Graslandstandorten die gemessenen Zunahmen der Kupfer- und Zink-Gehalte mit grosser Wahrscheinlichkeit als effektive Veränderungen betrachtet werden, da an diesen Standorten über die Beobachtungszeit von 15 Jahren monotone und relevante Zunahmen gemessen wurden. Die an diesen Standorten erhobenen Stofffluss-Bilanzierungen im Zeitraum von 1996 bis 2001 bestätigen die in den Bodenproben gemessenen Zunahmen, wenn auch nicht im selben Ausmass. Als Quellen können gemäss dieser Bilanzierungsstudie Kupfer- und Zink-haltige Futtermittelzusätze angenommen werden, die über Hofdünger in den Boden gelangen. Diese These wird durch die Zunahme der Phosphor-Gehalte an den meisten dieser Standorte unterstützt, da diese Anreicherungen auf hohe Frachten durch Hofdünger hinweisen.

Erstmals werden neben den anorganischen Schadstoffen auch die Begleitparameter Phosphor-Gehalt (HNO_3 -Auszug) und pH-Wert sowie der organische Kohlenstoffgehalt in die Berichterstattung aufgenommen. Dabei zeigt sich, dass diese Bodenkennwerte wichtige Bestandteile in einer integralen Berichterstattung darstellen. Einerseits sind sie für die ökologische Interpretation der Zustandsveränderungen von grosser Wichtigkeit und andererseits stellen sie zum jetzigen Zeitpunkt das einzige belastbare

Beurteilungskriterium zur Vergleichbarkeit der Proben eines Standortes über die Zeit dar. Mit Hilfe der Bodenkennwerte lassen sich sowohl nicht plausible Veränderungen als auch mögliche Ursachen von Gehaltsveränderungen nachweisen.

Die Kohlenstoff-Gehalte an den NABO-Referenzmessstandorten haben sich über die 15 Jahre praktisch nicht verändert. Dies wird besonders dann relevant, wenn die Schweiz sich in Zukunft entschliesst, im Rahmen des nationalen Treibhausgasreportings neben Wald- auch Landwirtschaftsböden als CO₂-Quellen/Senken anrechnen zu lassen.

Über alle NABO-Referenzmessstandorte betrachtet, sind an 50 % der Standorte die pH-Veränderungen über 15 Jahre im Bereich von $\pm 0,25$ pH-Einheiten, d. h. die Veränderungen sind sehr gering. An den extensiv genutzten Graslandstandorten und den Waldstandorten, insbesondere an den Nadelwaldstandorten, fällt der pH-Wert nach 10 Jahren deutlich ab und steigt 15 Jahre nach der Ersterhebung wieder an. Dieser Verlauf wird auf Unterschiede bei der Probenahme zurückgeführt.

Um gesicherte Aussagen zu effektiven Veränderungen der Gehalte in der Boden-Dauerbeobachtung machen zu können, ist es zwingend notwendig, die gemessenen Gehalte (Direktes Monitoring) mit begleitenden Stofffluss-Bilanzen (Indirektes Monitoring) zu vergleichen. Damit lassen sich mögliche Ursachen der Veränderungen wie z. B. erhöhte Kupfer- und Zink-Einträge durch Hofdünger plausibilisieren. Zudem ist zu berücksichtigen, dass unveränderte Gehalte nicht bedeuten, dass kein Trend hinsichtlich der Stoffflüsse auftritt. Eine langfristige Erfassung der Stoffvorräte und -flüsse ist notwendig. Dies erhöht schliesslich die Aussagesicherheit der gemessenen Gehaltsveränderungen. Umgekehrt können aus den Messwerten des NABO-Referenzmessnetzes und den Stoffflusserhebungen Prognose-Modelle zur Früherkennung entwickelt werden und diese anschliessend mit den fortschreitenden Erhebungswerten validiert werden.

Neben den Bodenproben aus der Vierterhebung und den entsprechenden Referenzproben aus der Ersterhebung wurden im Rahmen dieser Messkampagne zusätzlich auch die Archivproben der Zweit- und Dritterhebung aufgeschlossen und erneut analysiert. Damit stehen für diese Trendberichterstattung drei verschiedene Datensätze (validierter Labordatensatz, referenzierter Datensatz und zeitgleich gemessener Datensatz) zur Verfügung. Wie die Ergebnisse in diesem Bericht zeigen, lassen sich durch die Referenzierung der Analysenresultate Laboreffekte weitgehend eliminieren. Das heisst, dass Veränderungen in der chemischen Probenaufbereitung und Unterschiede in der Analytik zu verschiedenen Erhebungszeitpunkten durch das Referenzierungssystem korrigiert werden können.

> Einleitung

Ausgangslage, Begründung, Herausforderung

Die globale Verknappung der Umweltressourcen wie Nahrungsmittel, Wasser und fruchtbarer Boden rücken in der gesellschaftlichen Wahrnehmung zunehmend in den Vordergrund. Während in den Medien aber vor allem Aspekte des Klimawandels oder die Wasserknappheit vorherrschen, blieb bisher weithin unbeachtet, dass laut neuerer Studien zur Entwicklung der Weltbevölkerung und der erforderlichen Nahrungsmittel noch vor der Verknappung der Ölvorkommen (Peak Oil) eine Verknappung der landwirtschaftlich nutzbaren Böden (Peak Soil) zu erwarten ist (Shiva 2008). Im kürzlich vom Bundesamt für Landwirtschaft veröffentlichten Diskussionspapier «Land- und Ernährungswirtschaft 2025» (BLW 2010) nimmt die Bodenqualität, d. h. der Schutz von Landwirtschaftsböden zur Nahrungsmittelproduktion, eine dominante Rolle ein. Auch die Debatten um Anbau und Nutzung von Biotreibstoffen sowie Energiepflanzen oder die Ausbringung von Gärrückständen aus Biogasanlagen zeigen die zunehmende Bedeutung und den zunehmenden Druck auf die Ressource Boden. So sind gemäss dem Bericht des Bundesrates in Erfüllung des Postulats Stadler vom 29. Mai 2008 die ackerfähigen Flächen zwischen 1979/1985 und 1992/1997 um 2,1 % zurückgegangen und es muss von einem weiteren Flächenverlust bei besonders produktiven Böden ausgegangen werden.

Die Beurteilung des Schutzgutes Boden erfordert wissenschaftlich fundierte (sog. belastbare) Daten. Damit die Veränderungen des Bodenzustandes und der Bodenfunktionen mit Messdaten dokumentiert und eingeleitete Massnahmen auf ihre Wirksamkeit hin überprüft werden können, benötigt man langfristige, zuverlässige Zeitreihen an ausgewählten Standorten (Langzeitmonitoring). Diese Boden-Dauerbeobachtung ist folglich ein zentrales Element im vorsorgenden Umweltschutz. Aufgrund der zentralen Steuerungsfunktion des Bodens im gesamten Naturhaushalt nimmt die Boden-Dauerbeobachtung folglich auch eine integrale Stellung und Querschnittsfunktion im Rahmen der gesamten Umweltbeobachtung ein. Der Boden hat einen hohen Indikatorwert für die Stoffkreisläufe in Ökosystemen. Viele Umweltparameter, welche in der Atmosphäre, Biosphäre, Hydrosphäre und Lithosphäre gemessen bzw. beobachtet werden, können direkt oder indirekt durch Prozesse im Boden beeinflusst werden und umgekehrt.

Veränderungen in den Stoffkonzentrationen finden im Boden in der Regel nur langsam statt. Die Boden-Dauerbeobachtung stellt folglich hohe Anforderungen an die Datenqualität. Messreihen über Jahrzehnte benötigen rigorose Qualitätsanforderungen, damit sie miteinander verglichen werden können. Eine der grössten Herausforderung besteht darin, tatsächliche Veränderungen von methodisch bedingten Veränderungen zu unterscheiden. Dies setzt voraus, dass man die vorhandenen standörtlichen und zeitlichen Variabilitäten erfassen und quantifizieren kann.

Ein zentraler Aspekt und eine der grössten Herausforderungen an ein Langzeitmonitoring ist die Transparenz und Reproduzierbarkeit der einzelnen Schritte von der Probenahme bis und mit zur Analyse im Labor. Darüber hinaus werden besondere Anforderungen an die Sicherung der Datenqualität über die Zeit (Jahrzehnte) gestellt. Die Qualität der Bodenanalysen in der Schweiz wird seit 1989 mit einem jährlichen Ringanalyseprogramm erhoben. Das Programm, an dem sich rund 30 Laboratorien beteiligen, umfasst diejenigen Schadstoffe, die in der Verordnung über die Belastungen des Bodens (VBBo) aufgeführt sind. Das Analytiklabor der Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon, in dem die NABO-Analysen durchgeführt werden, nimmt regelmässig an diesen Ringversuchen teil (Wächter 2012).

Sämtliche im Rahmen der Boden-Dauerbeobachtung entnommenen Bodenproben werden archiviert und stehen für weitere Analysen zur Beantwortung neuer Fragestellungen zur Verfügung. Das Bodenprobenarchiv umfasst über 12 000 getrocknete und gesiebte sowie rund 2000 tiefgekühlte Proben.

Auftrag und Ziele

Veranlassung

Anfangs der 1980er Jahre wiesen die Ergebnisse von Bodenuntersuchungen erstmals auf die mögliche Gefährdung oder bereits vorhandene Beeinträchtigung der Bodenfruchtbarkeit durch Luftverunreinigungen aus Verbrennungsmotoren und industriellen Anlagen, durch Ausbringung von Klärschlamm, Kompost oder Schweinegülle sowie durch Anwendung von Schädlingsbekämpfungsmitteln oder mineralischen Düngern hin. Im Zentrum standen ausgewählte Schwermetalle, die in überhöhten Konzentrationen zu Wachstumsreduktionen führen oder für Mensch, Tier und Pflanzen toxisch sein können. Die Aufgabe der behördlichen Boden-Dauerbeobachtung ist es, die aktuelle Grundbelastung mit Schadstoffen festzustellen und die künftige Entwicklung dieser Belastung zu verfolgen, da Böden, die zu hohe Schadstoffgehalte aufweisen, nur sehr schwer oder überhaupt nicht saniert werden können.

Gesetzliche Grundlagen

Der Auftrag für das NABO-Referenzmessnetz basiert auf Art. 44 des Umweltschutzgesetzes (USG 1983) und wird in Art. 3 der Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBo 1998) und den entsprechenden Erläuterungen (BUWAL 2001) konkretisiert. Hauptziel ist die landesweite Beurteilung der Bodenbelastungen und die räumliche und zeitliche Früherkennung und Prognose von Veränderungen. Das Referenzmessnetz soll langfristig die für die verschiedenen Landnutzungen typischen Belastungen der Böden der Schweiz erfassen. Der Auftrag zielt darauf, die Bodenbelastung und ihre Entwicklung sowie den Erfolg von Umweltschutzmassnahmen zu beurteilen. Im Sinne der Nachhaltigkeit und Vorsorge gemäss Art. 1 des USG gehört die Früherkennung und Prognose von Bodenbelastungen mit zum Auftrag der Nationalen Bodenbeobachtung.

Mit der VBBo von 1998 wurde vom Gesetzgeber der Auftrag von den chemischen Bodenbelastungen auf die bodenphysikalischen und bodenbiologischen Belastungen ausgedehnt. Diese Auftragerweiterung wird zur Zeit schrittweise umgesetzt. Die

Bodenbeobachtung leistet zudem einen Beitrag zur Kontrolle der ökologischen Nachhaltigkeit (Erhaltung der natürlichen Lebensgrundlagen), wie sie im Landwirtschaftsgesetz (LwG 1998) und in der Verordnung zur Beurteilung der Nachhaltigkeit in der Landwirtschaft (VBNL) gefordert wird. Die Ergebnisse der Nationalen Bodenbeobachtung sind Bestandteil des Geobasisdatenkataloges der Geoinformationsverordnung (GeoIV 2008), der Ausführungsverordnung des Geoinformationsgesetzes (GeoIG 2007), das die Verwaltung, den Zugang und Nutzung von Geobasisdaten durch die Behörden regelt.

International bestehen seit dem Beitritt der Schweiz am 1.4.2006 zur Europäischen Umweltagentur (EUA) Pflichten für eine standardisierte Berichterstattung von Umweltinformationen, wie auch im Rahmen weiterer internationaler Konventionen (z. B. Kyoto-Protokoll). Darüber hinaus hat der Bundesrat am 16. Dezember 2009 eine Vereinbarung¹ über die Zusammenarbeit im Bereich Boden mit dem Joint Research Center (JRC) der Europäischen Kommission abgeschlossen.

Die Hauptziele der Boden-Dauerbeobachtung sind die Erfassung des aktuellen Bodenzustandes, die langfristige Beobachtung von schleichenden Bodenzustandsveränderungen und damit verknüpft die Früherkennung von unerwünschten Schädigungen im Hinblick auf die Quellenerfassung und den Quellenstopp. Mit Hilfe von langfristigen Zeitreihen können Prognosen (Trendanalysen) betreffend der zukünftigen Entwicklung erstellt werden. Eine weitere wichtige Aufgabe der Boden-Dauerbeobachtung ist die Überprüfung der Wirksamkeit von getroffenen Umweltschutzmassnahmen.

Abgrenzung der Berichterstattung

Der vorliegende Bericht erfasst und beurteilt einerseits die Bodenbelastungen im NABO-Referenzmessnetz der Vierterhebung (Probenahmejahre 2000–2004) (sog. Zustands- oder Statuserfassung), andererseits werden Aussagen und Bewertungen über den zeitlichen Verlauf der Entwicklung von Beginn der Messkampagne 1985 bis 2004 gemacht, d. h. es werden die Entwicklungen über die vier Zeitschritte der Erst- bis Vierterhebung ausgewiesen (sog. Trendberichterstattung). Dieser Bericht baut auf den Berichterstattungen zur Ersterhebung (Desaules & Studer 1993) der Zweiterhebung (Desaules & Dahinden 2000) sowie der Dritterhebung (Desaules et al. 2006) auf.

¹ www.news.admin.ch/message/index.html?lang=de&msg-id=30723

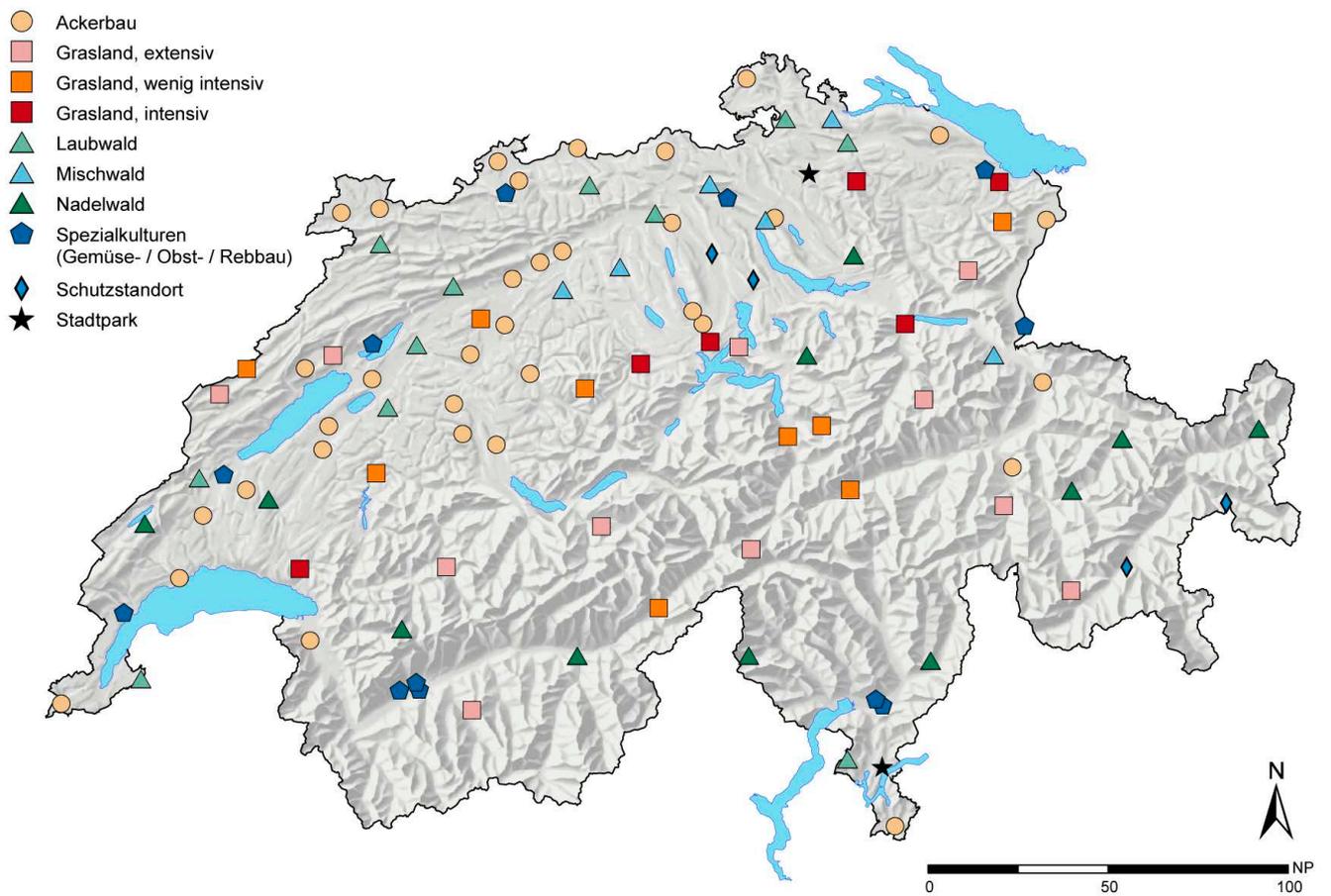
1 > Grundlagen

1.1 NABO-Referenzmessnetz

1.1.1 Konzeptionelle Grundlagen

Abb. 1 > Übersichtskarte der Schweiz mit den insgesamt 106 Standorten des NABO-Referenzmessnetzes

Verteilung der 106 NABO-Referenzstandorte gruppiert nach der Nutzungskategorie.



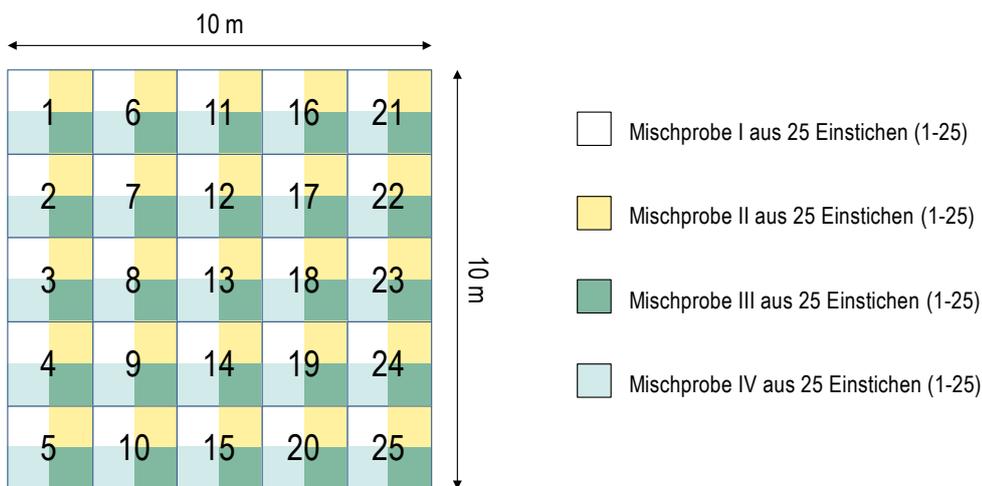
Das NABO-Referenzmessnetz wurde Mitte der 1980er Jahre aufgebaut und umfasst aktuell 104 Dauerbeobachtungsstandorte, die über die gesamte Schweiz verteilt sind. Die Auswahl und geographische Verteilung der NABO-Standorte erfolgte nach einem Rahmenkonzept, das eine Gewichtung nach vermuteten Immissionen und naturräumlichen Kriterien vornahm sowie unterschiedliche Nutzungs- und Bewirtschaftungstypen berücksichtigte. Rund 50 % der Standorte liegen im Landwirtschaftsgebiet, 30 % im Wald und 20 % im extensiv genutzten Freiland (Alpweiden u.a.). Die räumliche Verteilung und die Hauptlandnutzungsgruppen sind in Abb. 1 dargestellt.

Ausführliche Angaben zu den NABO-Referenzmessstandorten Nr. 1–102 sind im Bericht von Desaulles & Studer (1993), Angaben zu den Standorten Nr. 103–105 in Desaulles & Dahinden (2000) publiziert.

Die Probenahme erfolgt in einem 5-jährigen Zyklus auf eingemessenen und mit Magneten versicherten Beprobungsflächen von 100 m² – den NABO-Referenzmessstandorten – gemäss Hämmann und Desaulles (2003). Wie aus dem Probenahmeplan (Abb. 2) hervorgeht, werden an jedem Standort vier Mischproben aus je 25 Einzelproben entnommen. Die Referenz-Probentiefe beträgt 20 cm ab Terrainoberfläche. Als Probenahmegerät dient ein Hohlmeisselbohrer (Halbrohr) aus Einfachstahl von 2,5 cm Innendurchmesser. Die vier Mischproben werden in eindeutig beschrifteten Plastiksäcken ins Labor gebracht und aufbereitet. Weiterführende Informationen zum NABO-Referenzmessnetz und detaillierte Angaben zur Probenvorbereitung sind in den Berichten (Desaulles & Dahinden 2000, Desaulles et al. 2006, Desaulles & Studer 1993) zu finden.

Abb. 2 Probenahmeplan der Flächenmischproben

Probenahmekonzept für die Flächenmischproben I bis IV (0–20 cm).



1.1.2 Betrieb

Die Standorte im NABO-Referenzmessnetz sind natürliche, ungeschützte Standorte und folglich diversen Eingriffen ausgesetzt, so z. B. Landnutzungsänderung oder Naturereignissen wie etwa Stürmen. Zusätzlich besteht bei solch langfristigen Arbeiten auch die Möglichkeit, dass sich menschliche Fehler einschleichen. Zwischen 1985 und 2004 wurden die in Tab. 1 aufgeführten NABO-Flächen davon betroffen:

Tab. 1 > Angaben zu den NABO-Referenzmessstandorten mit Besonderheiten in den Erhebungen zwischen 1985 und 2004

Standort	Eingriff	Konsequenz
2 Zürichberg	Falscher Probenahmeort der Nachbeprobung Ersterhebung	Vom Zeitreihendatensatz ausgeschlossen
19 Lägern	Sturmschäden Lothar 1999 Probleme beim Auffinden	Probenahme für Vierterhebung erst 2005 (statt 2004)
22 Staffelbach	Sturmschäden Lothar 1999	Gesamter Baumbestand vernichtet, Entwicklung offen
40 St. Cierges	Sturmschäden Lothar 1999	Keine Beprobung im Rahmen der Vierterhebung → Vom Zeitreihendatensatz ausgeschlossen
42 Galmwald	Sturmschäden Lothar 1999	Keine Beprobung im Rahmen der Vierterhebung → Vom Zeitreihendatensatz ausgeschlossen
58 Mels	Sturmschäden Vivian 1990	Bestockungsänderung nach den Sturmschäden durch Vivian, von einem Nadelwald hin zu einem Mischwald
67 Method	Kein Zutritt zur Parzelle	Keine Beprobung im Rahmen der Vierterhebung → Vom Zeitreihendatensatz ausgeschlossen
96 Gudo	Neuterrassierung, Charakter des Standortes verändert	Vom Zeitreihendatensatz ausgeschlossen
101 Chamoson	Überschüttung, Charakter des Standortes verändert	Standort nach Dritterhebung aufgegeben
103 Härkingen	Erstbeprobung im Rahmen der Dritterhebung	Vom Zeitreihendatensatz ausgeschlossen
104 Küssnacht	Erstbeprobung im Rahmen der Dritterhebung	Vom Zeitreihendatensatz ausgeschlossen
105 Neuenburg	Erstbeprobung im Rahmen der Dritterhebung	Vom Zeitreihendatensatz ausgeschlossen
106 Vétroz	Erstbeprobung 2006 im Rahmen der Fünfterhebung, Ersatz für 101	Keine Daten in diesem Bericht

Seit Beginn des Langzeitmonitorings 1985 haben auf verschiedenen NABO-Referenzmessstandorten Landnutzungsänderungen stattgefunden, so dass eine im Vergleich zur dritten NABO-Trendberichterstattung (Desaules et al. 2006) aktualisierte und verfeinerte Landnutzungseinteilung notwendig wurde (siehe Anhang A1). Darin wird bei Graslandstandorten neben den intensiven und extensiven Landnutzungen neu zusätzlich eine Zwischenkategorie mit wenig intensiver Landnutzung ausgeschieden. Die Waldstandorte werden neu in Laub-, Misch- und Nadelwald eingeteilt. Die Standorte der Nutzungskategorie Mischwald sind meist frühere Nadelwaldstandorte, die aufgrund extremer Sturmschäden oder Änderungen in der Waldnutzung neu eine gemischte Bestockung aus Laub- und Nadelholz aufweisen.

1.2 **Messprozess und -programm**

1.2.1 **Datengrundlage**

In diesem Bericht werden die folgenden drei Datensätze verwendet:

- > Validierter Labordatensatz (Abb. 3)
- > Referenzierter Datensatz (siehe Kap. 1.3)
- > Zeitgleicher Datensatz (Abb. 4)

Der validierte Labordatensatz beinhaltet die Messergebnisse, die zu den verschiedenen Erhebungszeitpunkten analysiert wurden.

Abb. 3 Validierter Labordatensatz

Schematische Darstellung der validierten Labordaten. Die Farben geben den Analysenzeitpunkt und die Symbole den Probenahmezeitpunkt an. In diesem Fall sind die beiden Zeitpunkte identisch.

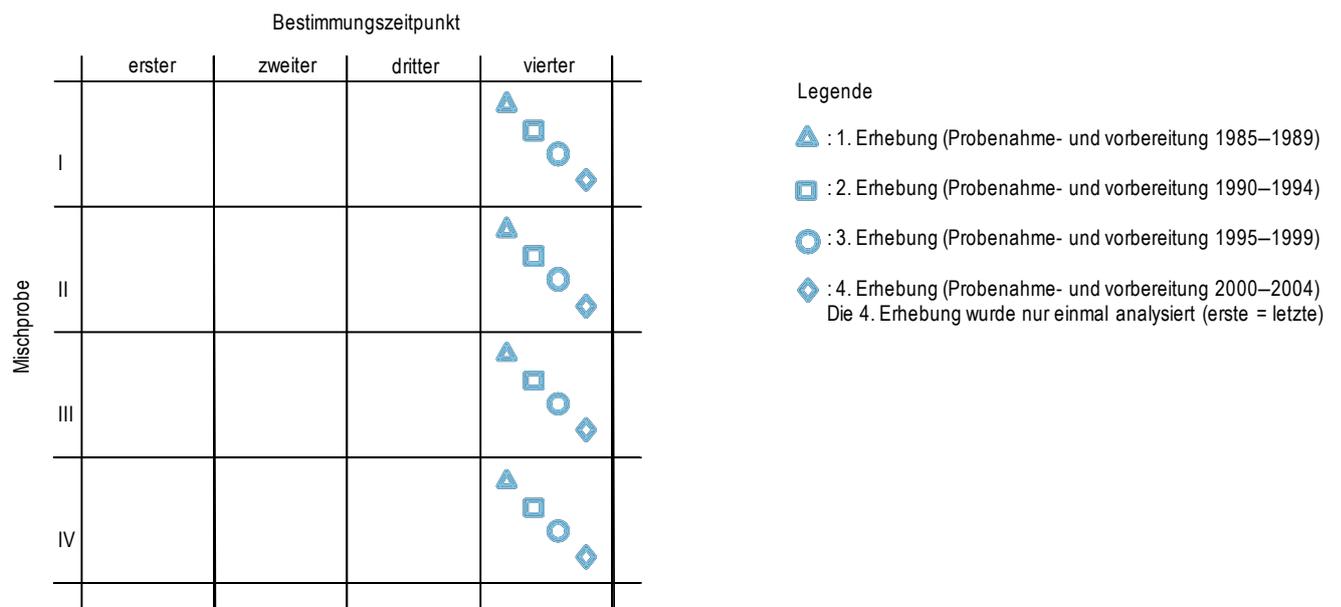


Die NABO-Trendberichterstattung erfolgt – wie bis anhin – mit dem referenzierten Datensatz. Dieser berechnet sich aus den validierten Labordaten (Abb. 3) und der Standortreferenzprobe (siehe Kap. 1.3).

Für die vorliegende Berichterstattung sind zur Überprüfung des Referenzierungssystems (siehe Kap 1.3.2 & 2.1) alle Archivproben aus der Erst- bis Dritterhebung nochmals aufgeschlossen und analysiert worden. Diese Analysen bilden den zeitgleichen Datensatz (Abb. 4).

Abb. 4 Zeitgleicher Datensatz

Schematische Darstellung der zeitgleich gemessenen Daten. Blau bedeutet, dass alle Analysen zum Zeitpunkt der Vierterhebung gemacht wurden.

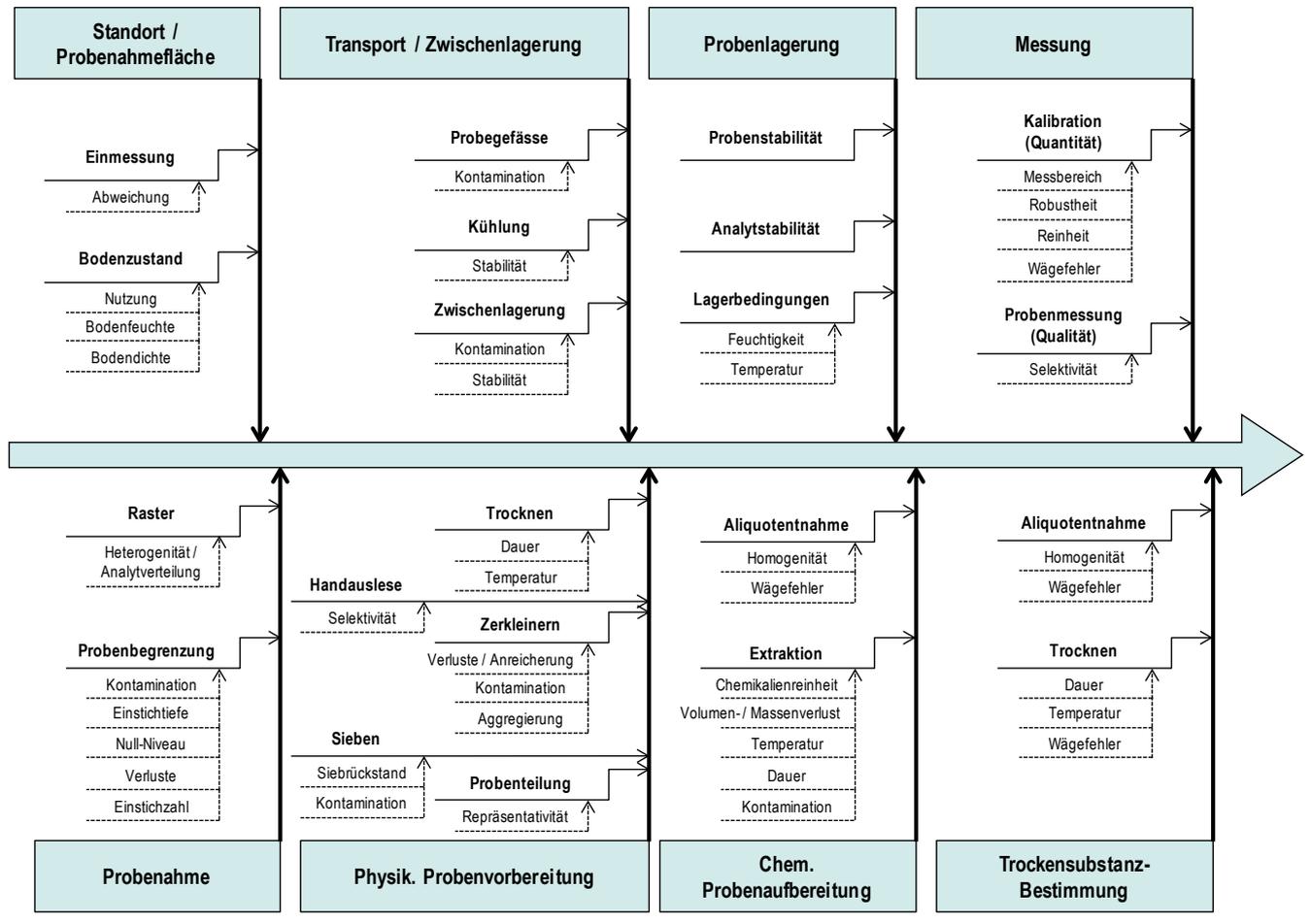


1.2.2 Beschreibung des gesamten Messprozesses

Der gesamte Messprozess lässt sich wie in Abb. 5 dargestellt auf die Teilprozesse Standort, Probenahme, Transport und Zwischenlagerung, physikalische Probenvorbereitung, Probenlagerung, chemische Probenaufbereitung, Messung und Trockensubstanz-Bestimmung aufteilen. Die Teilschritte Standort bis und mit Probenlagerung wirken sich auf die Archivproben aus. Einflüsse der chemischen Probenaufbereitung und die Messung selber wirken sich auf die Laborresultate aus und sind somit für alle aus denselben Archivproben entnommenen Laborproben identisch. In Abb. 5 sind die wichtigsten Einflussgrößen der einzelnen Teilprozesse detailliert aufgeführt. Das Ursache-Wirkungs-Diagramm zeigt, dass die gesamte Messunsicherheit für die Analyse von Bodenproben sich aus allen diesen Teilprozessen zusammensetzt und folglich sämtliche Teilprozesse für eine umfassende Unsicherheitsanalyse evaluiert und quantifiziert werden müssen.

Abb. 5 > Ursache-Wirkungs-Diagramm (Fishbone) des Messprozesses

Das Fishbone-Diagramm zeigt die möglichen Unsicherheiten innerhalb der Messkette auf.

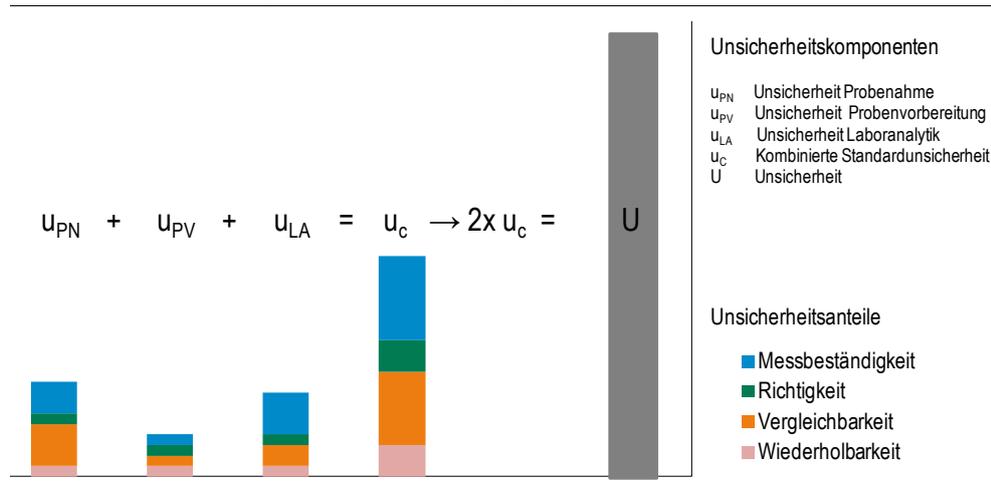


1.2.3 Quantifizierung der Messqualität

Ohne geeignete Quantifizierung der Messqualität können Messdaten nicht vollständig interpretiert und beurteilt werden, deshalb müssen die einzelnen Messunsicherheiten aus den Teilschritten der gesamten Prozesskette quantifiziert werden. Die Messunsicherheit des gesamten Messprozesses, als quantitatives Mass der Messqualität, addiert sich aus den Varianzen der einzelnen Unsicherheitskomponenten (Ramsey & Ellison 2007). Die Unsicherheitskomponenten lassen sich in Unsicherheitsanteile wie z. B. Wiederholbarkeit, Vergleichbarkeit, Richtigkeit und Messbeständigkeit aufteilen. In Abb. 6 sind sowohl die Unsicherheitskomponenten als auch die -anteile schematisch dargestellt. Gemäss Ramsey & Ellison (Ramsey & Ellison) kann die Gesamtunsicherheit U als 2-fache addierte Unsicherheit (U_c) geschätzt werden. Für die Boden-Dauerbeobachtung sind die Wiederholbarkeit (zeitgleich) und die Beständigkeit des Messprozesses (über einen Zeitraum) die bedeutendsten Unsicherheitsanteile.

Abb. 6 > Unsicherheitskomponenten und-anteile im Messprozess

Schematische Darstellung der Unsicherheitskomponenten und- anteile.



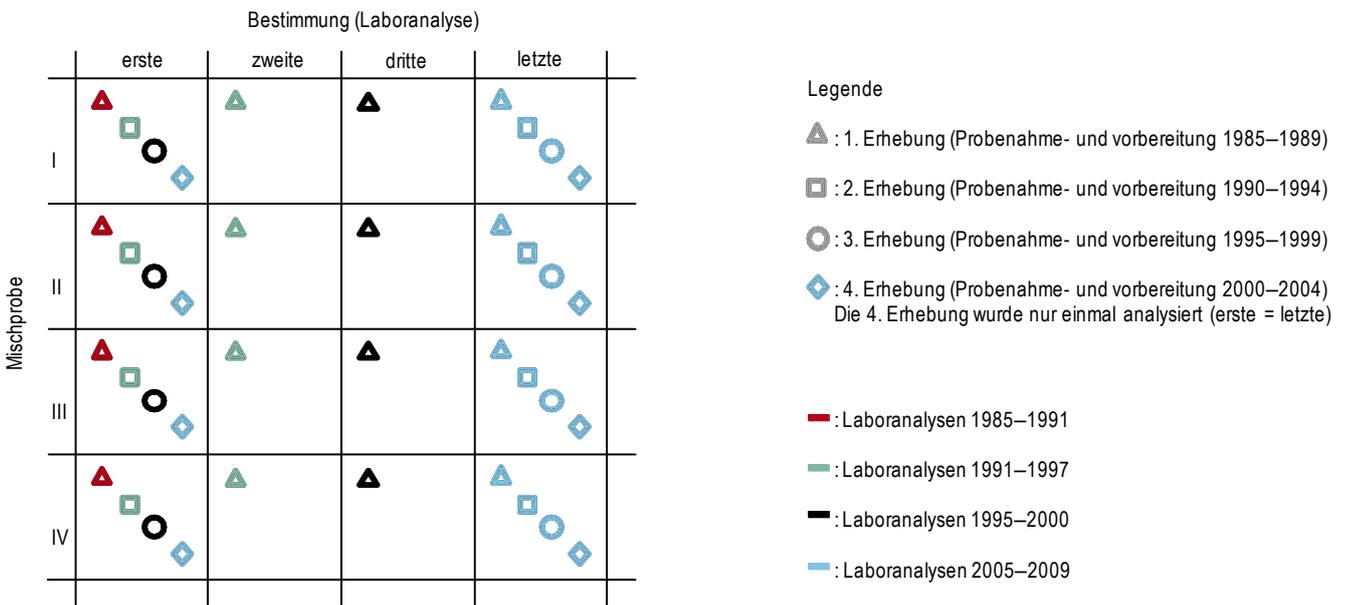
Eine eindeutige Trennung in die einzelnen Unsicherheitskomponenten und weiter in die darin enthaltenen Unsicherheitsanteile ist mit den zur Verfügung stehenden Informationen nicht möglich. Die vorhandenen Daten lassen jedoch eine Zweiteilung in die Unsicherheitskomponenten Probenahme (inklusive Probenvorbereitung) und Laboranalytik zu (UBA 2011). Im Rahmen dieses Berichtes wird der Fokus auf die für die Dauerbeobachtung bedeutenden Unsicherheitsanteile Wiederholbarkeit und Messbeständigkeit gelegt (Kap. 2.1). Die Unsicherheitsanteile Richtigkeit und Vergleichbarkeit fliessen teilweise in die Messbeständigkeit ein. Eine ausführliche Auswertung der Vergleichbarkeit und Richtigkeit findet man in den zwei Berichten zu den Probenahmeringversuchen von Wagner et al. (2001) und Desales und Dahinden (1994) sowie in den VBBo-Ringanalysenberichten (Wächter 2012).

1.2.4 Wiederholbarkeit und Messbeständigkeit in der Boden-Dauerbeobachtung

Abb. 7 zeigt schematisch die verfügbaren Daten für die Überprüfung der Wiederholbarkeit und der Messbeständigkeit (siehe Glossar).

Abb. 7 > Überblick über die verfügbaren Datensätze für die Überprüfung der Wiederholbarkeit und Messbeständigkeit

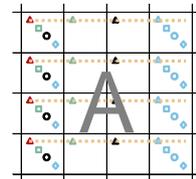
Schematische Darstellung aller gemessenen Proben.



In den Kapiteln 1.2.4.1 bis 1.2.4.6 werden die verschiedenen Anwendungsmöglichkeiten, die sich aus den verschiedenen Datensätzen ergeben, erläutert. Der Versuchsplan zeichnet sich dadurch aus, dass er ausbalanciert ist. Dies bedeutet, dass immer die gleichen Standorte, die gleiche Anzahl Proben und Bestimmungen für die Auswertungen verwendet werden. Dies können je nach Fragestellung und Datensatz unterschiedlich viele sein.

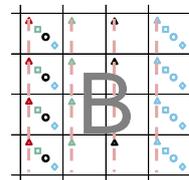
1.2.4.1 Messbeständigkeit der Analytik (Datensatz A)

Aus den Archivproben der Ersterhebung wurde bei jedem Analysenzyklus eine Laborprobe entnommen und analysiert. Da immer die gleiche Archivprobe verwendet wurde, hatten die Probenahme und -vorbereitung keinen Einfluss auf die Resultate. Mit dieser Auswertung lassen sich die Messbeständigkeit und Wiederholbarkeit der Laboranalyse quantifizieren.



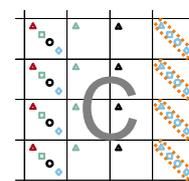
1.2.4.2 Zeitlicher Verlauf der Laborwiederholpräzision (Datensatz B)

Es wurden wiederum alle Bestimmungen der Archivproben der Ersterhebung ausgewertet. Diesmal wurde jedoch für jeden Analysezcyklus die Wiederholbarkeit aus den vier Mischproben bestimmt. Daraus lässt sich einerseits für die Ersterhebung die Standortwiederholpräzision, d. h. die Wiederholbarkeit des Messprozesses und andererseits die zeitliche Entwicklung der Laborwiederholpräzision quantifizieren.



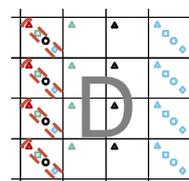
1.2.4.3 Mischproben aus der zeitgleichen Analytik (Datensatz C)

Zum gleichen Zeitpunkt wurden sowohl die Mischproben der Vierterhebung als auch die Archivproben der Erst-, Zweit- und Dritterhebung desselben Standortes aufgeschlossen und analysiert. Es fließen neben der effektiven Schadstoffänderung über die vier Erhebungen noch die Beständigkeit und die Güte der Wiederholbarkeit der Probenahme und -vorbereitung sowie allfällige Veränderungen durch die Archivierung ein. Die Messbeständigkeit der Analytik fließt dagegen nicht in diesen Datensatz ein. Unter der Voraussetzung, dass die Probenbeständigkeit über die vier Erhebungen gegeben ist, enthält der Datensatz C die kleinste Messunsicherheit, da alle Proben eines Standortes in der gleichen Serie «zeitgleich» und mit derselben Kalibration gemessen werden.



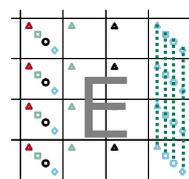
1.2.4.4 Mischproben aus dem validierten Labordatensatz (Datensatz D)

Sowohl Probenahme als auch Analyse fanden in unterschiedlichen Zyklen statt. Es fließen neben der effektiven Schadstoffänderung die Beständigkeit und Wiederholbarkeit der Probenahme und der Laboranalytik ein. Dieser Datensatz besitzt die grösstmögliche Messunsicherheit. Der Vergleich mit Datensatz C ermöglicht eine Aussage über die Grössenordnung der Labormessbeständigkeit.



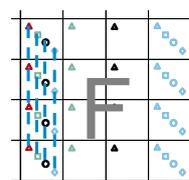
1.2.4.5 Zeitlicher Verlauf der Probenahmewiederholpräzision (Datensatz E)

Es wurden die gleichen Daten wie bei Datensatz C (zeitgleiche Analytik) ausgewertet. Diesmal wurde jedoch für jeden Probenahmezyklus (Erhebung) die Wiederholbarkeit aus den vier Mischproben bestimmt. Daraus lässt sich einerseits für die Vierterhebung die Standortwiederholpräzision, d. h. die Wiederholbarkeit des Messprozesses und andererseits die zeitliche Entwicklung der Probenahmewiederholpräzision quantifizieren.



1.2.4.6 Zeitlicher Verlauf der Standortwiederholpräzision (Datensatz F)

Es werden die gleichen Daten wie bei Datensatz D (validierte Labordaten) ausgewertet. Diesmal wird jedoch für jeden Probenahmezyklus (Erhebung) die Wiederholbarkeit der Probenahme und der Analytik aus den vier Mischproben bestimmt. Die Wiederholbarkeit verbessert sich mit gut ausgebildetem Personal und durch einen robusten Messprozess sowie durch präzises, sorgfältiges Arbeiten.



In Tab. 2 werden die unterschiedlichen Einflüsse der Probenahme und -vorbereitung und der Analytik auf die einzelnen Datensätze dargestellt.

Tab. 2 > Übersicht der Datensätze und Einflussfaktoren aus der Analytik, Probenahme und -vorbereitung

Einfluss durch	Datensatz A	Datensatz B	Datensatz C	Datensatz D	Datensatz E	Datensatz F
	Messbeständigkeit*	Laborwiederholpräzision*	Mischproben aus der zeitgleichen Analytik	Mischproben aus dem Labordatensatz	Probenahme-wiederholpräzision*	Standort-wiederholpräzision*
Probenahme und -vorbereitung						
Standort	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Beständigkeit	Nein	Nein	Ja	Ja	Nein	Nein
Wiederholbarkeit	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Zeitpunkt	Nein	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja
Analytik						
Beständigkeit	Ja	Nein	Nein	Ja	Nein	Nein
Wiederholbarkeit	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Zeitpunkt	Ja	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja

* Begriffe sind im Glossar definiert

1.2.5 Messprogramm und -verfahren

Das Analysenprogramm 2005–2009 beschränkt sich auf die Schwermetallgehalte im Boden (0–20 cm) gemessen im Totalgehalt gemäss VBBo (1998). Mit Ausnahme von Fluor, das nach heutigen Erkenntnissen aufgrund des Quellenstopps (ChemRRV 2005) in der Schweiz kein akutes Problem darstellt, wurden sämtliche Elemente der VBBo Cadmium, Chrom, Kupfer, Quecksilber, Molybdän, Nickel, Blei und Zink sowie Kobalt analysiert. Molybdän wurde erstmals in das Analysenprogramm aufgenommen. Zudem wurde im HNO₃-Auszug auch der Phosphor-Gehalt bestimmt.

Von Quecksilber abgesehen, wurden die Messungen mit einem Atomemissionspektrometer mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-AES) von Varian durchgeführt. Quecksilber wurde mittels Kaltdampf-Fluoreszenzspektroskopie gemessen. Die Analysen wurden an der Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART durch den Supportbereich analytische Chemie durchgeführt. Sämtliche Resultate werden in Milligramm pro Kilogramm Bodentrockensubstanz (mg/kg TS) angegeben.

Daneben wurden die Bodenkennwerte pH-Wert (CaCl₂), organischer Kohlenstoffgehalt gemäss FAL-Referenzmethode (FAL et al. 1996 ff.) und Phosphor aus dem HNO₃-Extrakt bestimmt.

Die Bestimmungsmethoden der früheren Erhebungen gehen aus Tab. 3 hervor.

1.2.6 Bestimmungsgrenzen

Die Bestimmungsgrenzen (siehe Glossar) der einzelnen Elemente sind in Tab. 3 aufgeführt. Mit Ausnahme von Cadmium, Quecksilber und Molybdän liegen sie deutlich tiefer als die Bereiche der häufig vorkommenden Gehalte. Für Cadmium hat die Umstellung von ICP-MS auf ICP-AES eine markante Erhöhung der Bestimmungsgrenze zur Folge, für Molybdän können mit der vorliegenden Methode die für die NABO-Standorte typischen Hintergrundgehalte nicht quantitativ erfasst werden, über 80 % der Messwerte liegen unter der Bestimmungsgrenze.

Tab. 3 > Bestimmungsgrenzen in mg/kg Trockensubstanz

Element	Ersterhebung ¹	Zweiterhebung ¹	Dritterhebung ^{1,4}	Vierterhebung ⁵	Häufige Gehalte ² (80 % der Werte)
Cd	0,01	0,01	0,01	0,19	0,119–0,511
Cu	2,5	2,5	1,0	1,5	7,05–39,24
Pb	10,0	10,0/0,13 ³	2,5	2,2	16,73–41,40
Zn	4,0	4,0	2,5	9,8	39,32–95,86
Hg ⁷	0,005	0,005	0,005	0,075	0,049–0,159
Cr	5,5	5,5	0,5	0,4	14,69–41,82
Ni	5,0	5,0	0,5	1,2	8,06–42,10
Co	0,1	0,1	0,01	0,4	3,45–10,85
Mo	-	-	-	0,764	0,764 ⁶
P	-	-	-	28	303–1342

¹ gilt nur für die NABO-Standorte 1–102; die Ersterhebung der Standorte 103–105 erfolgte 1999.

² 10 % – 90 % Quantilwerte der referenzierten Gehalte der Vierterhebung (2000–2004), referenzierter Datensatz

³ Umstellung von FAAS auf GAAS im Juli 1993

⁴ Umstellung auf ICP-MS ab Januar 1995

⁵ Messungen mit ICP-AES

⁶ > 80 % aller Bestimmungen kleiner Bestimmungsgrenze

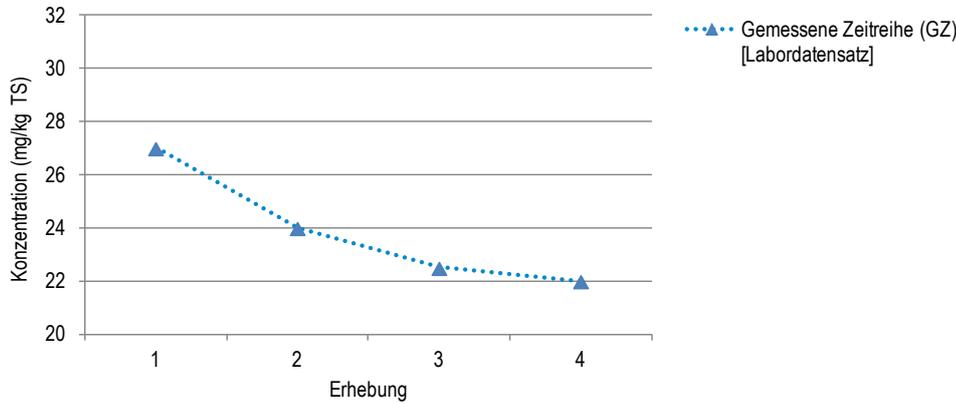
⁷ Bestimmungen der Erst- bis Dritterhebung durch externes Labor

1.3 Referenzierungssystem

1.3.1 Das Prinzip

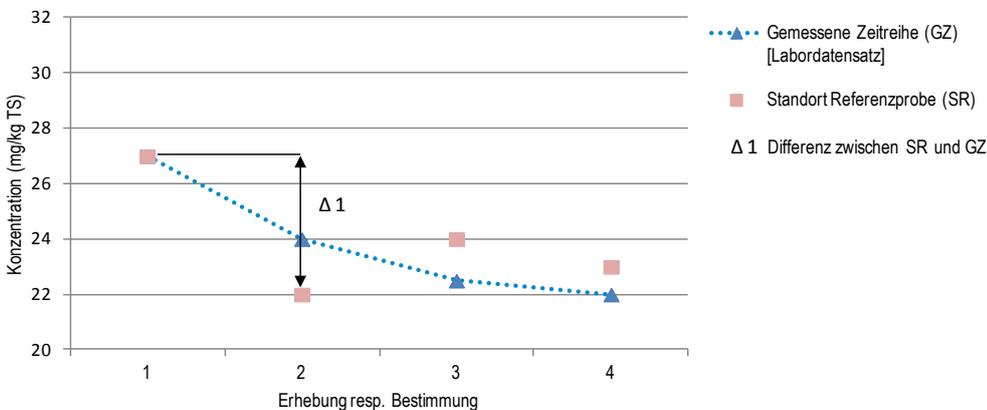
Die in Abb. 8 beispielhaft dargestellte gemessene Zeitreihe über 15 Jahre der Erst- bis Vierterhebung zeigt eine monotone Abnahme der Gehalte von rund 27 mg/kg in der Ersterhebung auf rund 22 mg/kg in der Vierterhebung. Da zwischen den einzelnen Erhebungen sowohl die Analysengeräte als auch das Laborpersonal zumindest teilweise gewechselt haben, fließen neben den tatsächlichen Veränderungen auch sämtliche Laboreffekte in diese durch das Labor geprüften Daten (Labordatensatz) ein.

Abb. 8 > Gemessene Zeitreihe



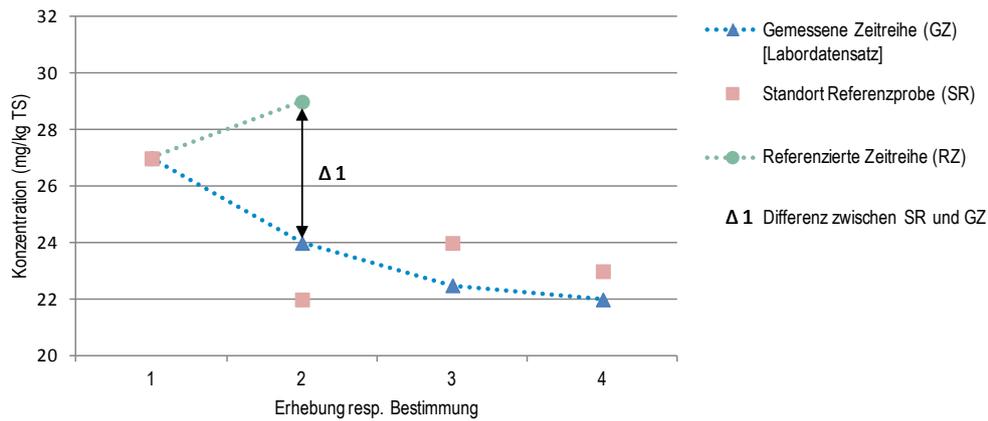
Damit dieser Laboreffekt eliminiert werden kann, wird die Probe derselben Mischprobe und desselben Standortes der Ersterhebung jeweils zusammen mit der Probe der neuen Erhebung – also nach 5, 10 und 15 Jahren – wieder in derselben Serie mitgemessen. Die Resultate der nach 5, 10 und 15 Jahren wiederholten Messung der Ersterhebung, sog. Standort-Referenzprobe, sind in Abb. 9 rosa dargestellt. Unter der Annahme, dass die archivierte Standort-Referenzprobe keine Veränderung erfahren hat und bei idealer Messbeständigkeit des Labors, ist der Erwartungswert für die Standort-Referenzprobe nach 5 Jahren gleich dem Wert aus der Ersterhebung. Wie in Abb. 9 gezeigt, weicht der tatsächlich gemessene Gehalt der Standort-Referenzprobe aber um rund 5 mg/kg ab ($\Delta 1$ in Abb. 9). Da gezeigt wurde, dass die archivierten NABO-Proben über mindestens 13 Jahre stabil sind (Bürgin et al. 2007), ist der gemessene Gehaltsunterschied auf eine unvollständige Messbeständigkeit in der Laboranalyse (sog. Laboreffekt) zurückzuführen. Damit die Ergebnisse der vier Erhebungen direkt vergleichbar werden, muss dieser Laboreffekt eliminiert werden.

Abb. 9 > Standort Referenzproben



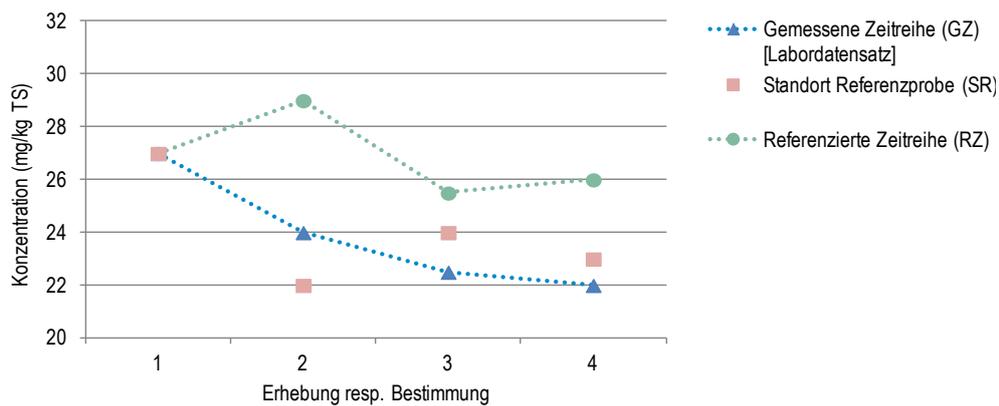
In unserem Beispiel bedeutet dies, dass der effektive Gehalt in der Zweiterhebung von 24 mg/kg auf 29 mg/kg ($\Delta 1$) korrigiert werden muss (Abb. 10).

Abb. 10 > Referenzierte Zeitreihe



Werden diese Korrekturen nun für jede Erhebung durchgeführt, entsteht die referenzierte Zeitreihe (Abb. 11), die die Basis der NABO-Trendberichterstattung darstellt. Die Gesamtheit der referenzierten Zeitreihen für die gemessenen Elemente bildet den referenzierten Datensatz.

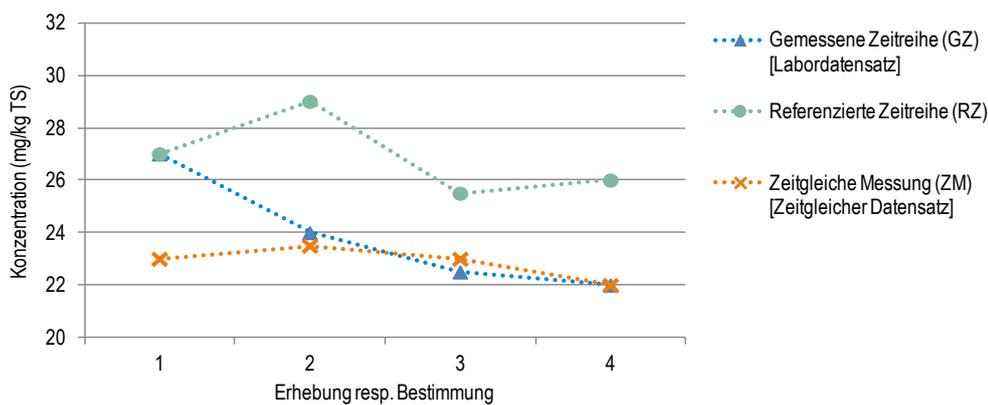
Abb. 11 > Referenzierte und gemessene Zeitreihe



1.3.2 Überprüfung des Referenzierungssystems

Im Rahmen der Vierterhebung wurde geprüft, ob das in der Nationalen Bodenbeobachtung angewendete Referenzierungssystem (siehe Kap. 1.3.1) den Laboreffekt tatsächlich eliminieren kann, d. h. ob damit korrekte Ergebnisse erzielt werden können. Zu diesem Zweck wurden zwischen November 2005 und April 2009 sämtliche Flächenmischproben der Erst- bis Vierterhebung eines NABO-Standortes in derselben Serie mit derselben Kalibration nochmals gemessen – sog. zeitgleiche Messung – die in Abb. 12 orange dargestellt ist. Dies wurde für alle NABO-Referenzmessstandorte wiederholt. Die Gesamtheit der so gewonnenen Werte bildet den zeitgleichen Datensatz, ein Datensatz, der im Rahmen der NABO-Berichterstattung bisher einmalig ist.

Abb. 12 > Gemessene, referenzierte und zeitgleich gemessene Zeitreihe

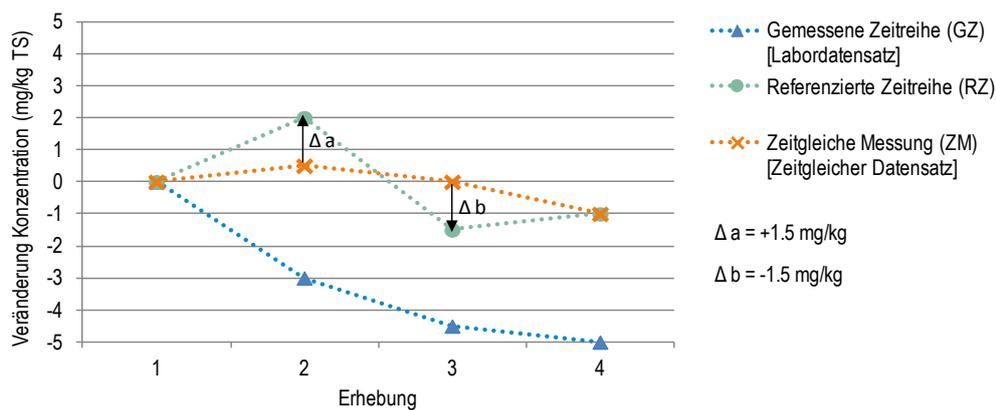


1.3.3 Beurteilung Qualität des Referenzierungssystems

Die Zeitreihen aus dem zeitgleich gemessenen Datensatz weisen die höchst mögliche analytische Präzision auf, da alle Proben in der gleichen Serie und der gleichen Kalibrierung bestimmt wurden. Daher kann angenommen werden, dass mit den zeitgleichen Messwerten die tatsächlichen Gehaltsveränderungen an einem Standort am besten wiedergegeben werden. Die Qualität des Referenzierungssystems kann folglich aufgrund der Abweichungen zwischen den gemessenen Veränderungen nach fünf und zehn Jahren im referenzierten Datensatz und denjenigen im zeitgleichen Datensatz quantifiziert werden. Ausgehend vom Beispiel in Abb. 12 ist das Prinzip in Abb. 13 dargestellt. Dazu werden die Veränderungen der Gehalte von der Erst- bis Vierterhebung der beiden Zeitreihen dargestellt. Die Abweichung der referenzierten Zeitreihe ist in der Zweiterhebung um 1,5 mg/kg grösser und in der Dritterhebung um 1,5 mg/kg kleiner als jene der zeitgleich gemessenen Zeitreihe. Für dieses Beispiel gilt daher: Durch die Zeitreihenanalyse aus referenzierten Daten wird eine zusätzliche Unsicherheit verursacht, die im Bereich zwischen -1,5 bis +1,5 mg/kg liegt.

Wie aus dem Beispiel der gemessenen Gehalte in Abb. 12 bzw. der gemessenen Veränderungen (Abb. 13) ersichtlich ist, sind die Verläufe des referenzierten und des zeitgleichen Datensatzes sehr ähnlich, der Verlauf des Labordatensatzes dagegen weicht deutlich davon ab und führt zu anderen Schlussfolgerungen. Der Korrekturmechanismus verbessert die Auswertungs- und Interpretationsbasis.

Abb. 13 > Vergleich der Veränderung zur Ersterhebung der Zeitreihen aus dem referenzierten zum zeitgleich gemessenen Datensatz



1.4 Datenauswertungen und Darstellungen

Die Auswertungen erfolgen für das gesamte Standortkollektiv sowohl stratifiziert nach Landnutzung als auch auf Ebene der Einzelstandorte. Letztere sind vorwiegend im Anhang aufgeführt, im Textteil beschränkt sich die einzelstandörtliche Darstellung auf einzelne, exemplarische Beispiele.

Die Auswertungen basieren analog der Drittberichterstattung (Desaules et al. 2006) auf den Mittelwerten für Einzelstandortbetrachtungen und auf den Medianwerten für Standortgruppen. Standortgruppen mit einem ausreichend grossen Stichprobenumfang werden als Box-Plots (siehe Anhang A2) dargestellt, solche mit weniger als fünf Werten als Punkte.

1.4.1 Verwendete Datensätze

Für die Auswertungen sind folgende Datensätze relevant:

- > Prüfdatensatz Kap. 2.1
- > Statusdatensatz Kap. 2.3
- > Zeitreihendatensatz Kap. 2.4
- > Validierter Labordatensatz Kap. 2.2 und 2.5
- > Referenzierter Datensatz Kap. 2.2 und 2.5
- > Zeitgleicher Datensatz Kap. 2.2 und 2.5

Die Definitionen sind im Glossar aufgeführt.

1.4.2 Beurteilungsgrundlagen

Die Beurteilung der Schadstoffgehalte orientiert sich an den gesetzlich festgelegten Richt-, Prüf- und Sanierungswerten in Anhang I der Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBo 1998). Für Kobalt wird der in der Verordnung über Schadstoffe im Boden (VSBo 1986) aufgeführte Richtwert als orientierender Vorsorgewert herangezogen.

Veränderungen zwischen zwei Messzeitpunkten im referenzierten Datensatz werden als relevant betrachtet, wenn die Veränderung mehr als 5 % des Richtwertes beträgt. Auf eine Unterscheidung zwischen signifikanten und nicht signifikanten Gehaltsveränderungen wird aufgrund der methodischen Unzulänglichkeiten bei der Quantifizierung einzelner Unsicherheitsbudgets im gesamten Messprozess verzichtet.

1.5 Datenpublikation

Die Berichte der Nationalen Bodenbeobachtung NABO werden auf der BAFU-Internetseite www.nabo.admin.ch publiziert. Die Anhänge A3 bis A5 dieses Berichtes sind nur elektronisch verfügbar.

2 > Ergebnisse und Diskussion

Dieses Kapitel beginnt mit den Erläuterungen und Prüfungen der fachlichen Grundlagen in Bezug auf die Messqualität (Kap. 2.1 und 2.2). Leser, die primär an den Ergebnissen der Boden-Dauerbeobachtung interessiert sind, können für die Berichterstattung der Zustandserhebung direkt auf Kap. 2.3 vorrücken.

2.1 Messqualität

Wie in Kap. 1.2.2 erläutert, sind die Wiederholbarkeit und die Messbeständigkeit für die Messqualität in der Boden-Dauerbeobachtung von zentraler Bedeutung. Im folgenden Kapitel werden diese im Detail untersucht und ihre Konsequenzen für die Boden-Dauerbeobachtung dargelegt.

Für die folgenden Auswertungen sind nur Standorte berücksichtigt worden, die in allen vier Erhebungen jeweils vier Mischproben mit gültigen Messwerten haben. Dies ist der Prüfdatensatz. Die Anzahl an berücksichtigten Standorten kann je nach Fragestellung und Datensatz variieren. Aufgrund der grossen analytischen Unsicherheit bei der Bestimmung von Quecksilber ist dieses Element ausgeschlossen worden, die berücksichtigten Elemente sind: Cadmium, Kobalt, Chrom, Kupfer, Nickel, Blei und Zink. Die Ergebnisse werden einerseits für Kobalt, einem primär geogen geprägten Element und Zink, das sowohl geogene als auch anthropogene Anteile aufweist, individuell dargestellt, andererseits für alle Elemente zusammen. Die Darstellung der Resultate erfolgt als Box-Plots (siehe Anhang A2). Auf der y-Achse ist als Mass für die Güte der Wiederholbarkeit und Messbeständigkeit der Variationskoeffizient (CV %) aufgetragen. Im Anhang A3 sind die vollständigen Ergebnisse aller Elemente einzeln aufgeführt.

Für die in den Kap. 2.1.7 bis 2.1.10 gezeigten Vergleiche zweier Datensätze wird jeweils nur die Schnittmenge der beiden Datensätze ausgewertet. Damit ist gewährleistet, dass keine Artefakte aufgrund unterschiedlicher Datengrundlagen das Ergebnis beeinflussen

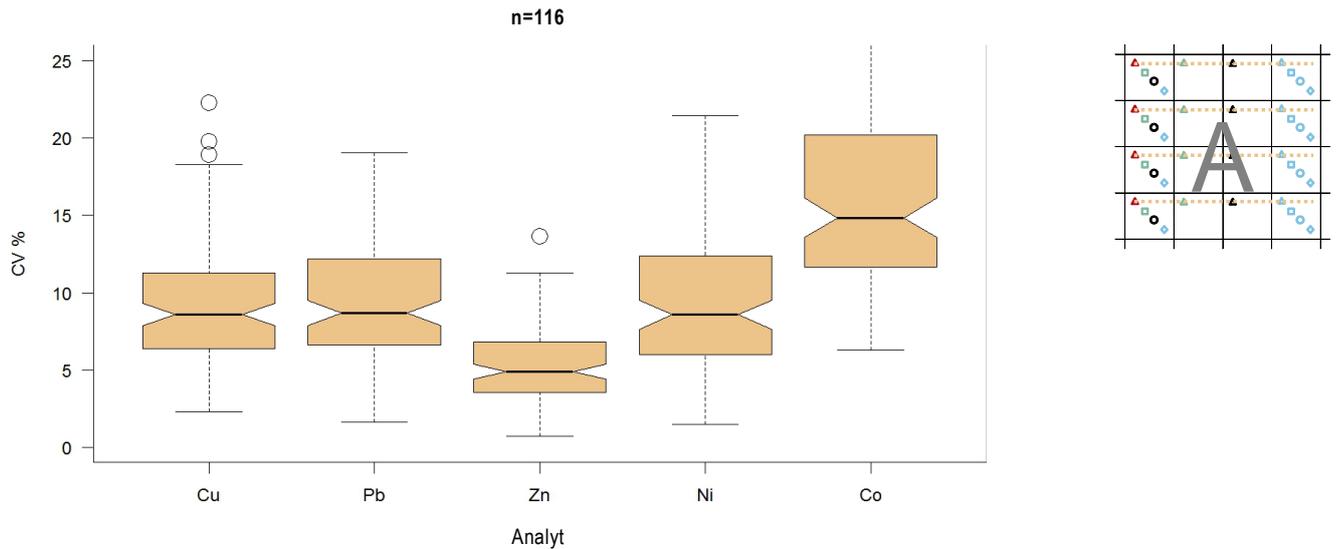
2.1.1

Messbeständigkeit der Analytik

Datensatz A

Abb. 14 Boxplot der Variationskoeffizienten im Datensatz A

Messbeständigkeit der Analytik der vier Mischproben pro Analyt über 15 Jahre. Die Y-Achse ist bei 25 % beschnitten.



Der Datensatz A umfasst die Standortreferenzproben aller Standorte, bei denen zu allen vier Erhebungszeitpunkten jeweils vier gültige Mischproben vorhanden sind. Die Streuung der Variationskoeffizienten ist abhängig vom Analyt. Die grösste Messbeständigkeit wird bei Zink erreicht, die geringste bei Kobalt. Die Messbeständigkeit für die Analyte Kupfer, Blei und Nickel sind ähnlich und liegen zwischen Zink und Kobalt (siehe Abb. 14).

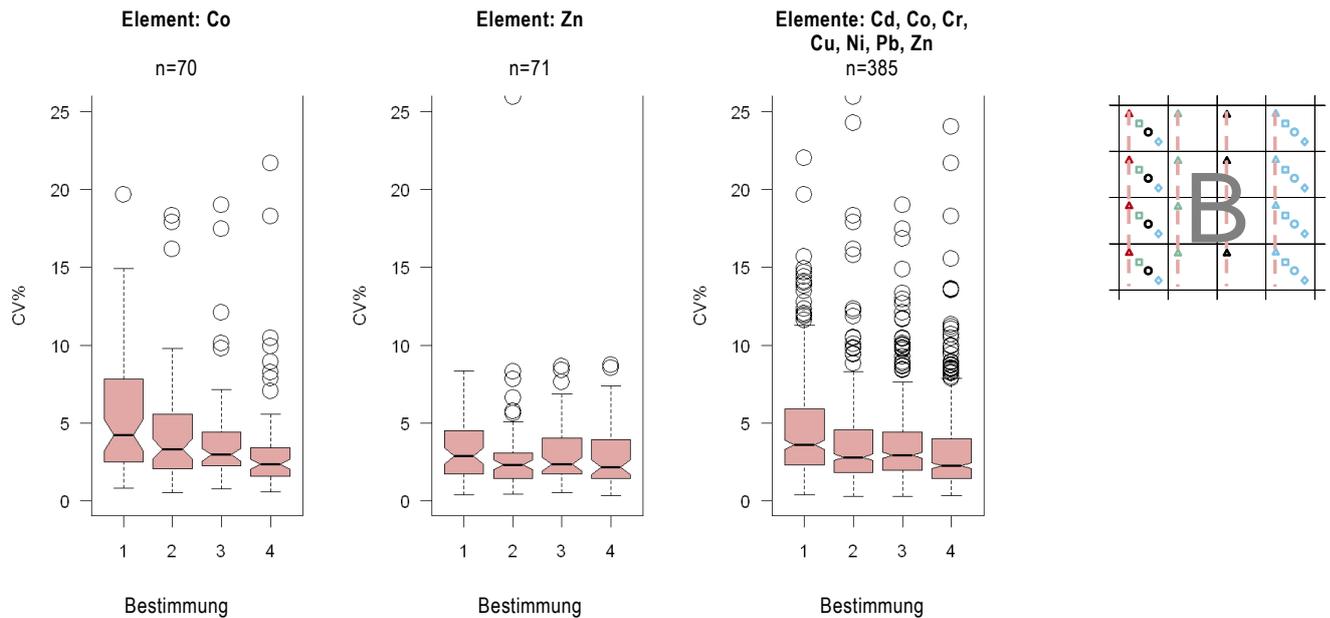
Cadmium und Quecksilber sind aufgrund der geringen Anzahl Standorte, die das Kriterium je vier Mischproben zu allen vier Zeitpunkten erfüllen, nicht abgebildet.

2.1.2 Zeitlicher Verlauf der Laborwiederholpräzision

Datensatz B

Abb. 15 Boxplot der Variationskoeffizienten im Datensatz B

Zeitlicher Verlauf der Laborwiederholpräzision in den vier Bestimmungen. Die Y-Achse ist bei 25 % beschnitten.



Durch die wiederholte Messung der Proben aus der ersten Erhebung bei jeder neuen Erhebung kann der Variationskoeffizient über die Zeit dargestellt werden (Laborwiederholpräzision). Der Verlauf zeigt, dass die Zweit- und Dritterhebung im Gesamtkollektiv praktisch identisch sind, dagegen unterscheiden sich die Erst- und Vierterhebung signifikant. Die Ersterhebung zeigt eine schlechtere und die Vierterhebung eine bessere Präzision (tieferer Median, geringere Ausdehnung des Interquartilabstandes [50 %-Box]). Generell kann ein Trend hin zu einer Verbesserung der Präzision im Verlaufe der Erhebungen erkannt werden.

Auf dem Niveau der einzelnen Analyte kann das Bild drehen; Cadmium (siehe Anhang A3 Abb. 1) zeigt in der Dritterhebung die beste und in der Vierterhebung die schlechteste Präzision. Das liegt daran, dass die Messwerte in der Vierterhebung nahe an der Bestimmungsgrenze liegen (siehe Tab. 3). Dies führt zu einer stärkeren Streuung der Werte. Abhilfe könnte eine Messmethode mit einer tieferen Bestimmungsgrenze schaffen, wie z. B. ICP-MS, die in der Dritterhebung verwendet wurde.

Einzelne Elemente wie Kobalt zeigen eine stetige Verbesserung von der ersten bis zur vierten Bestimmung. Dies resultiert in einer geringeren Streuung (schmalere Interquartilabstand [50 %-Box]) und einem tieferen Median von der Erst- zur Vierterhebung. Zink als Vertreter der sowohl anthropogen als auch geogen geprägten Elemente zeigt dagegen eine praktisch konstante Laborwiederholpräzision von der Zweit- bis Vierterhebung (siehe Abb. 15). Über alle Analyte betrachtet hat sich die Routine im Labor über die vier Erhebungen hinweg verbessert.

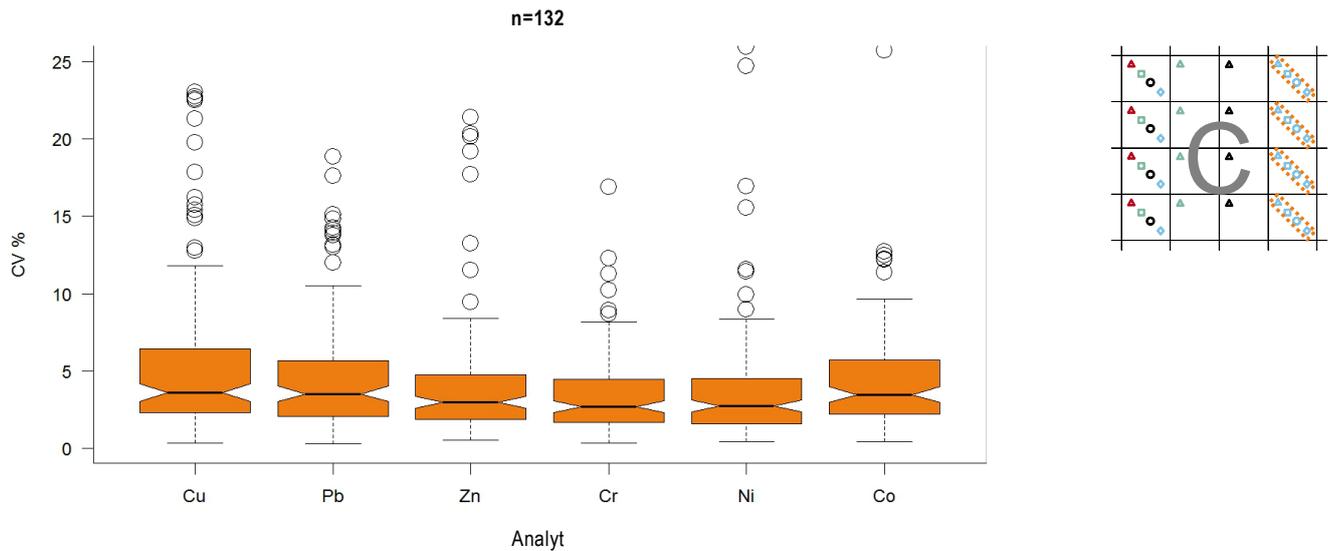
2.1.3

Mischproben aus der zeitgleichen Analytik

Datensatz C

Abb. 16 Boxplot der Variationskoeffizienten im Datensatz C

Streuung in den vier Mischproben bei zeitgleicher Messung. Die Y-Achse ist bei 25 % beschnitten. Cadmium wird aufgrund der geringen Anzahl gültiger Resultate nicht abgebildet.

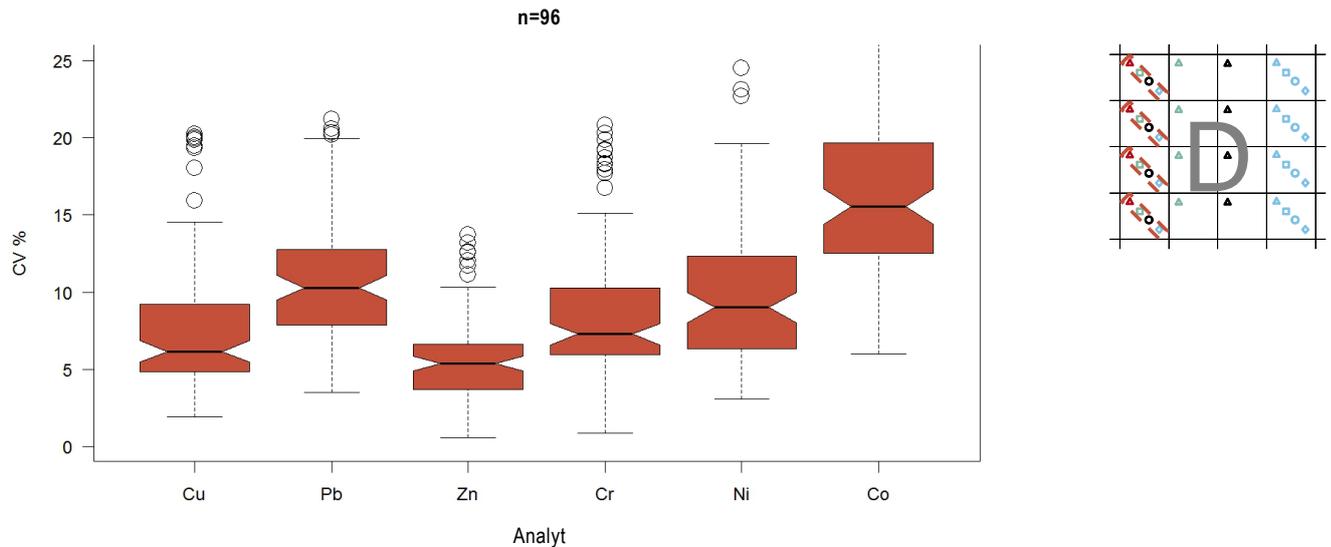


Der Datensatz C beinhaltet alle Resultate aus der zeitgleichen Analytik, d.h. diese Proben wurden in einem relativ engen Zeitfenster analysiert, so dass die Schwankung der Analytik möglichst klein sein sollte.

Dies bestätigt die Abb. 16; die Spannweiten der Boxen sind sehr klein, d.h. die Streuung des Variationskoeffizienten ist klein und der Median liegt auf einem tiefen Niveau (unter 5 %). Das Niveau der Variationskoeffizienten der einzelnen Analyte unterscheidet sich nicht signifikant voneinander (Kerben der Box überschneiden sich).

2.1.4 Mischproben aus dem Labordatensatz

Datensatz D

Abb. 17 Boxplot der Variationskoeffizienten im Datensatz D*Streuung der Analytik bei Messungen zu verschiedenen Zeitpunkten. Die Y-Achse ist bei 25 % beschnitten.*

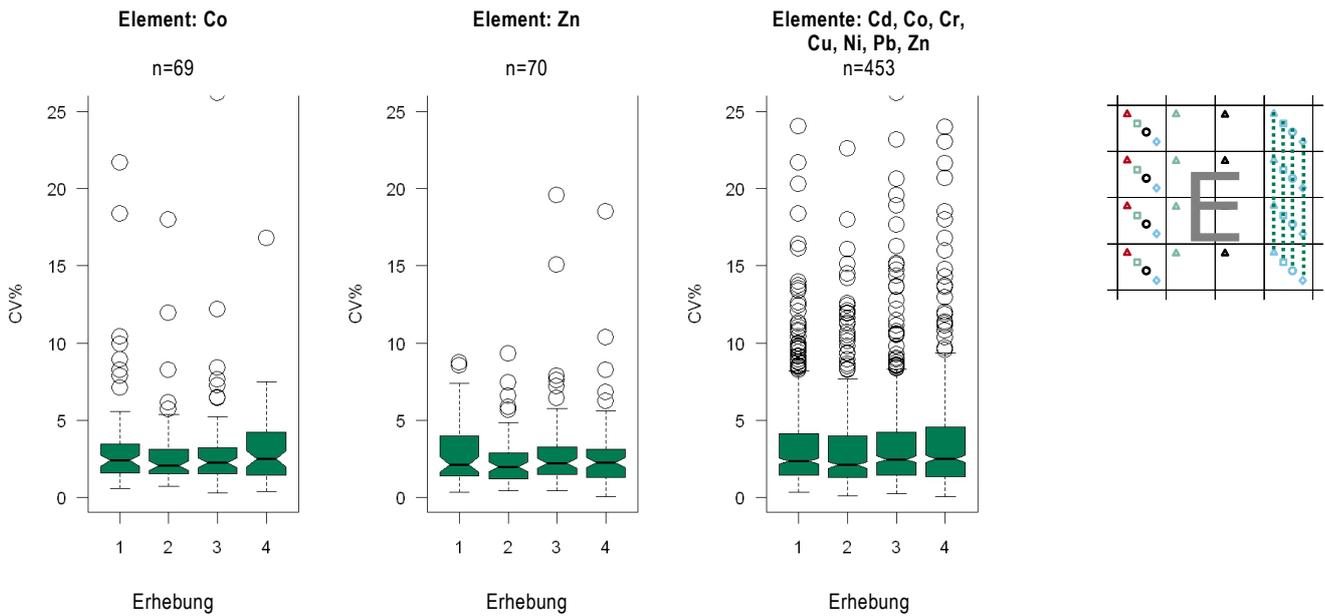
Der Datensatz D (Abb. 17) beinhaltet die Resultate der jeweils ersten Analyse einer Mischprobe. Die Aufbereitung und Analysen im Labor fanden folglich zu unterschiedlichen Zeitpunkten über eine Zeitspanne von rund 15 Jahren statt. Erwartungsgemäss zeigt sich hier eine vergleichsweise hohe Variabilität. Auffällig ist, dass sich Kobalt, Blei und Nickel signifikant von Kupfer und Zink unterscheiden (Kerbe der Box überschneiden sich nicht). Zudem zeigen die breiteren Boxen, dass die Streuung insgesamt grösser ist. Dies wird noch deutlicher, wenn der Labordatensatz (Datensatz D) mit dem Datensatz der zeitgleichen Analytik (Datensatz C) verglichen wird (siehe Abb. 20).

2.1.5 Zeitlicher Verlauf der Probenahmewiederholpräzision

Datensatz E

Abb. 18 Boxplot der Variationskoeffizienten im Datensatz E

Zeitlicher Verlauf der Probenahmewiederholpräzision.

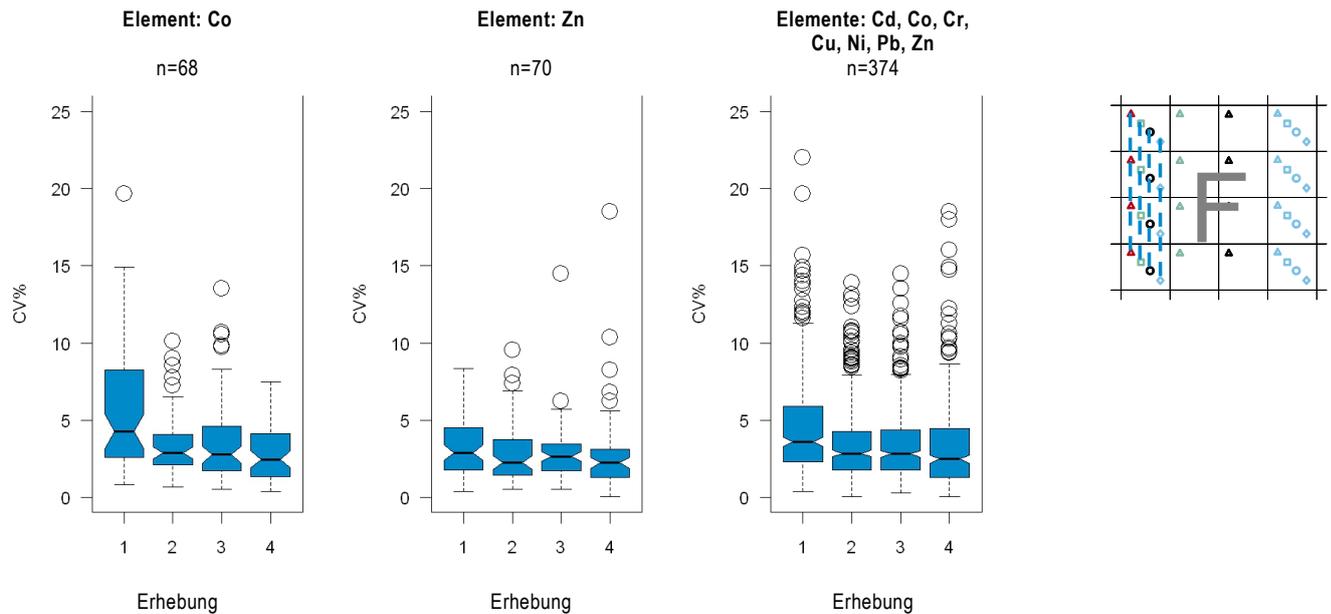


Die zeitgleiche Messung der Proben der Erst- bis Vierterhebung zeigt sehr ähnliche Streuungsmasse (CV). Zwischen den Erhebungen sind keine signifikanten Unterschiede auszumachen; die 95 % Vertrauensintervalle des Medians (Kerbe der Box) liegen auf gleicher Höhe (Abb. 18). Dies bedeutet, dass die Probenahme und -aufbereitung der vier Erhebungen reproduzierbar sind und die für die Boden-Dauerbeobachtung notwendige Probenahmewiederholpräzision gewährleistet ist.

2.1.6 Zeitlicher Verlauf der Standortwiederholpräzision

Datensatz F

Abb. 19 Boxplot der Variationskoeffizienten im Datensatz F

Zeitlicher Verlauf der Standortwiederholpräzision.

Die Standortwiederholpräzision der Ersterhebung (Abb. 19) hebt sich vom Rest ab. Die einzelnen Analyte zeigen unterschiedliches Verhalten. Bei Zink nehmen die Lage des Medians und die Spannweite des Interquartilabstandes (50 %-Box) mit jeder Erhebung ab, was auf eine im Verlauf der Zeit verbesserte Analytik hinweist. Dagegen zeigt Kobalt, dass vor allem die erste Erhebung nach oben ausschert. Zudem ist bei Cadmium (siehe Anhang A3 Abb. 3) die Dritt- und bei Kupfer die Zweiterhebung anders als die übrigen. Dies weist darauf hin, dass die analytischen Unsicherheiten von Analyt zu Analyt variieren.

2.1.7 Einfluss unterschiedlicher Analysezeitpunkte auf die Präzision

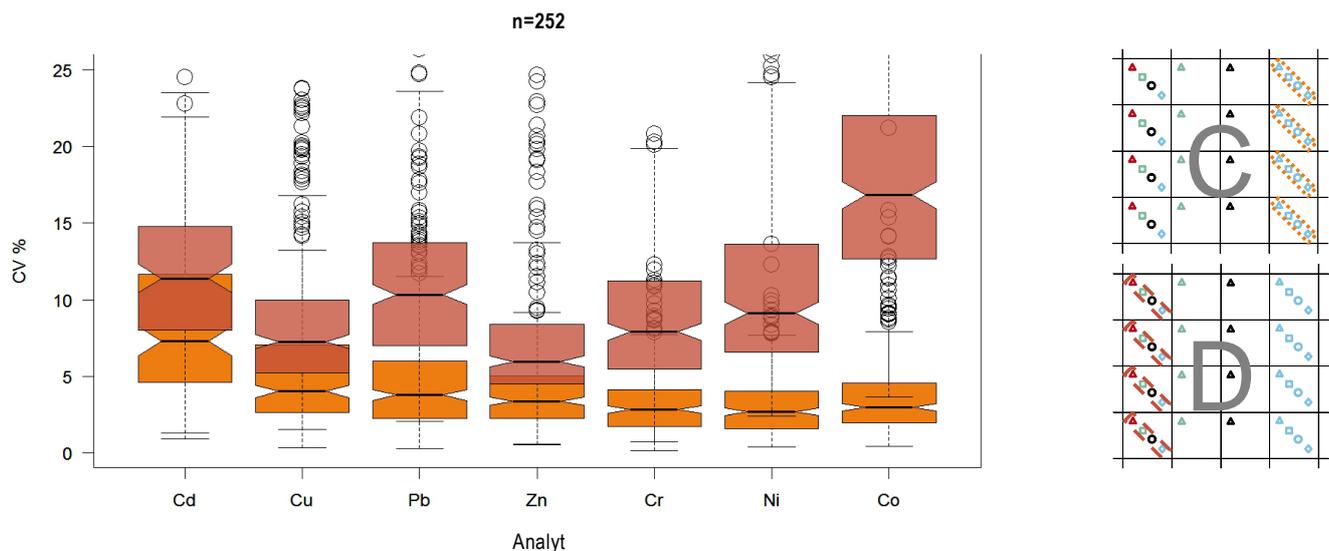
Datensätze C und D

Zwischen der Erst- und Vierterhebung liegen 15 Jahre. Nach der Dritterhebung wurde das Labor von Liebefeld nach Zürich verlegt, das Personal vollständig ausgewechselt und die Analysetechnik auf ICP-AES umgestellt. Dies kann zu einer zusätzlichen Streuung führen, die im Datensatz D (siehe Abb. 20, rote Box-Plots) enthalten ist.

Mit einer zeitgleichen Messung der Proben aus allen Erhebungen wie im Datensatz C (orange Box-Plots) ist die Störung durch die oben genannten Veränderungen auf ein Minimum reduziert. Durch den Vergleich der beiden Datensätze (Abb. 20) lässt sich das Ausmass der Streuung, die im Labor über die 15 Jahre anfällt, abschätzen.

Abb. 20 Labormessbeständigkeit: Einfluss unterschiedlicher Analysezeitpunkte auf die Beständigkeit der Analytik (Datensätze C und D)

Vergleich der zeitgleichen Analytik (Datensatz C, orange) mit den Messungen der vier Mischproben über die vier Erhebungen (Datensatz D, rot, transparent). Die Y-Achse ist bei 25 % beschnitten.



Wie erwartet zeigt die zeitgleiche Messung (orange Box-Plots) eine geringere Streuung auf einem tieferen Niveau als die Messungen zu vier verschiedenen Zeitpunkten über 15 Jahre (Labordatensatz, rote Box-Plots). Die Unterschiede sind abhängig vom Analyt und zeigen bei Kobalt grosse und bei Zink vergleichsweise kleine Unterschiede. Dennoch liegt bei Zink der Median des Labordatensatzes auf einem doppelt so hohen Niveau (5–8 %) als der Median der zeitgleichen Messung (3–4 %). Dies liegt zum grossen Teil an der eingeschränkten Labormessbeständigkeit über die 15 Jahre.

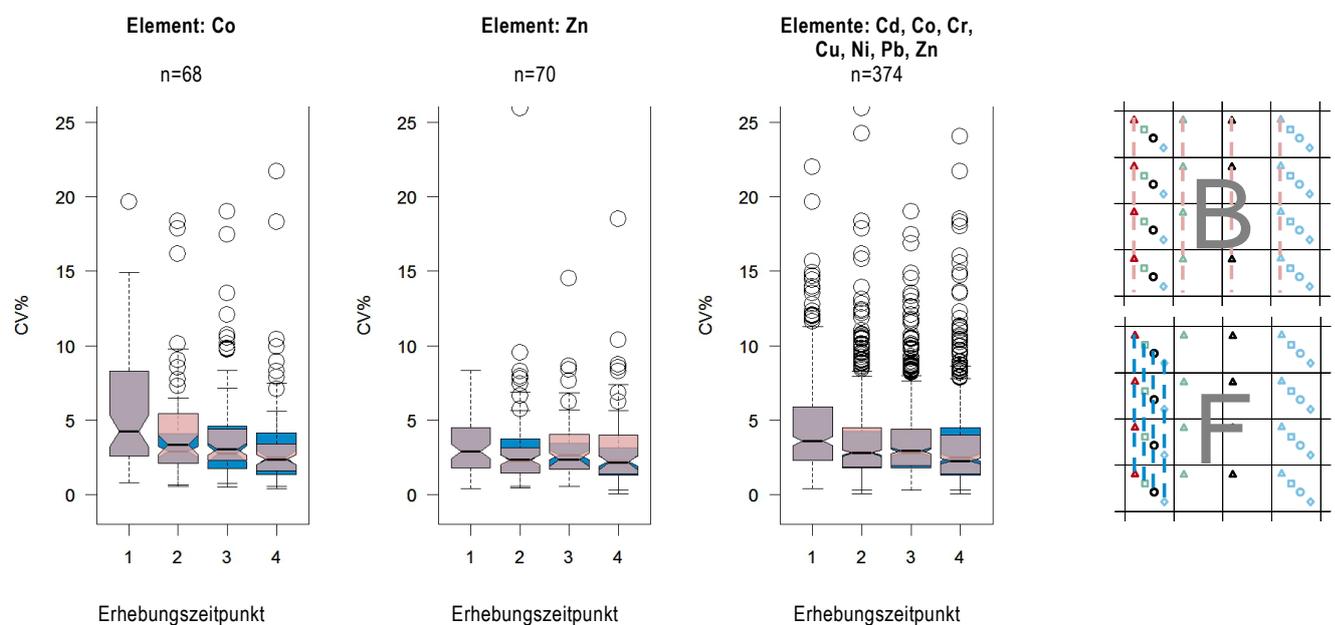
2.1.8 Vergleich der Laborwiederholpräzision mit der Standortwiederholpräzision

Datensätze B und F

Im Vergleich zum vorhergehenden Kapitel geben diese beiden Datensätze den zeitlichen Verlauf der Streuungen wieder. Der Datensatz F enthält die Streuung, die durch die Probenahme und den unterschiedlichen Zeitpunkt der Analyse zustande kommen (Standortwiederholpräzision). Für den Datensatz B werden hingegen immer dieselben Proben der Ersterhebung analysiert, dieser Datensatz beinhaltet somit nur die Streuung des Labors (Laborwiederholpräzision).

Abb. 21 Vergleich der Laborwiederholpräzision mit der Standortwiederholpräzision (Datensätze B und F)

Vergleich der Präzision der vier verschiedenen Erhebungen (Datensatz F, blau) mit der wiederholten Messung der Proben aus der Ersterhebung (Datensatz B, rosa, transparent). Die Y-Achse ist bei 25 % beschnitten.



Die Überlagerung der Laborwiederholpräzision (Datensatz B) mit dem zeitlichen Verlauf der Standortwiederholpräzision (Datensatz F) in Abb. 21 zeigt, dass die Verläufe fast deckungsgleich sind. Erwartungsgemäss zeigt die Laborwiederholpräzision die kleinere Streuung als die Standortwiederholpräzision, da die Effekte der unterschiedlichen Probenahme und -aufbereitung entfallen. Die Erstbeprobung im Datensatz B ist identisch mit der Erstbestimmung im Datensatz F. Der synchrone Verlauf der beiden Boxplot Serien weist darauf hin, dass die Streuung der Standortwiederholpräzision von der Qualität der Analytik geprägt ist. Die Probenahme und Aufbereitung erhöhen die Spannweite der Streuung des Variationskoeffizienten der Standortwiederholpräzision, die Analytik dagegen legt das Niveau (Median) der Wiederholpräzision fest. Das Resultat zeigt, dass die Probenahme und -aufbereitung über die 15 Jahre sehr ähnlich sind. Beim Extraktionsverfahren gab es hingegen kleine Änderungen in der Vierterhebung. Wie aus Tab. 3 hervorgeht, wurden die Erst- und Zweiterhebung mit der AAS-Analysentechnik, die Dritterhebung mit ICP-MS und die Vierterhebung mit ICP-AES gemessen. Für die abschliessende Beurteilung muss der zeitgleichgemessene Datensatz beigezogen werden (siehe Kap. 2.1.9).

2.1.9 Vergleich der Laborwiederholpräzision und der Probenahmewiederholpräzision

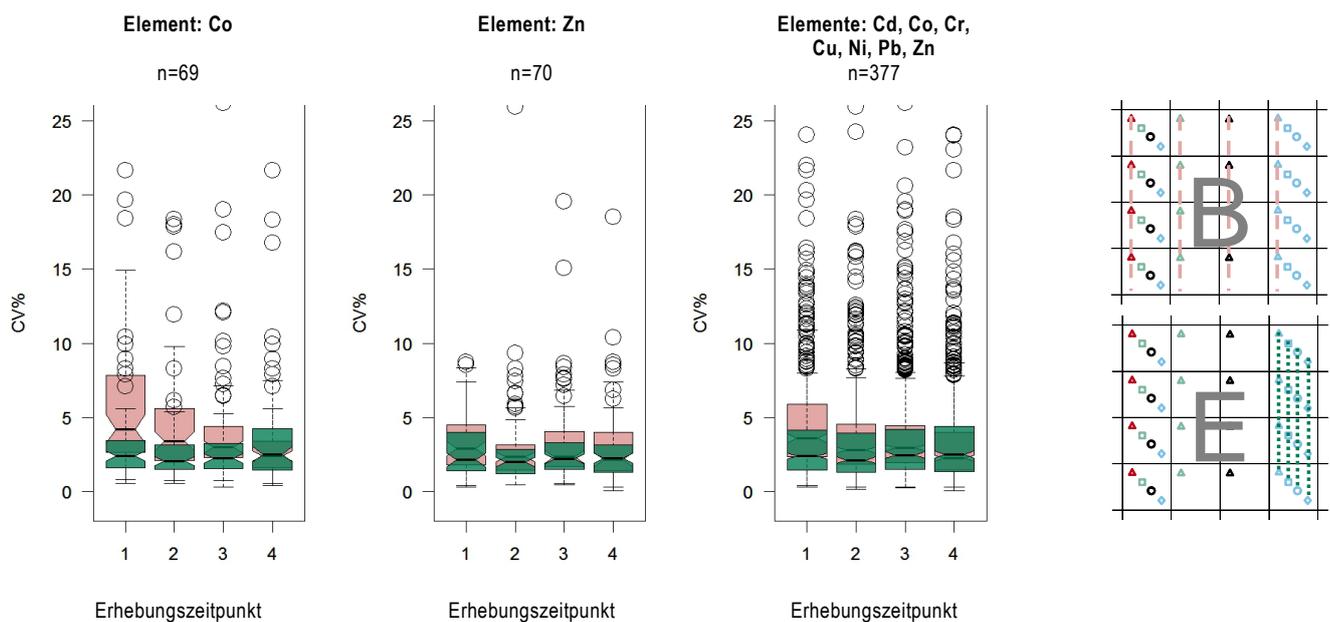
Datensätze B und E

Durch die zeitgleiche Messung aller Proben aus den vergangenen Erhebungen ist es möglich, die analytische Variabilität auf ein Minimum zu reduzieren. Der Vergleich der Messung der Proben aus der Ersterhebung, die zu jedem Erhebungszeitpunkt neu gemessen wurden (Datensatz B), mit den Ergebnissen aus der zeitgleichen Messung (Datensatz E) ist Abb. 22 dargestellt.

Die Variabilität im Datensatz B ist durch die Analytik zu den verschiedenen Erhebungszeitpunkten beeinflusst, im Datensatz E spielen dagegen die Probenahme und die Aufbereitung eine Rolle, die analytische Variabilität ist aufgrund der zeitgleichen Messung minimal.

Abb. 22 Vergleich der Laborwiederholpräzision und der Probenahmewiederholpräzision (Datensätze B und E)

Vergleich der Messpräzision zwischen der zeitgleichen Analytik (Datensatz E, grün, transparent) und den vier verschiedenen Erhebungen (Datensatz B, rosa). Die Y-Achse ist bei 25 % beschnitten.



Über alle vier Erhebungen und alle Analyte betrachtet sind die Variationskoeffizienten der zeitgleichen Analytik (grün) und der wiederholten Analyse der Ersterhebung (rosa) praktisch identisch. Einzig bei der Ersterhebung gibt es einen markanten Unterschied (grössere 50 %-Box) zwischen der Laborwiederholpräzision und der zeitgleichen Messung. Bei der Ersterhebung war die Routine im Analytiklabor noch nicht auf dem Stand der nachfolgenden Erhebungen.

Auffällig ist, dass beim 2. und 3. Erhebungszeitpunkt die Kerbe im Datensatz B höher liegt als im Datensatz E. Die Unterschiede sind gering (unter 5 % CV), aber statistisch signifikant. Die unterschiedliche Lage der Kerben zeigt, dass der Median der Streuung der Variationskoeffizienten bei den zu verschiedenen Zeitpunkten gemessenen Proben

etwas höher liegt als bei den zeitgleichen Messungen. Dies bedeutet, dass die Analytik zu verschiedenen Zeitpunkten unterschiedliche Beiträge zur Variabilität beisteuert. Die Unterschiede sind aber von Analyt zu Analyt unterschiedlich (Abb. 22), für Kobalt sind sie vergleichsweise gross und für Zink eher klein.

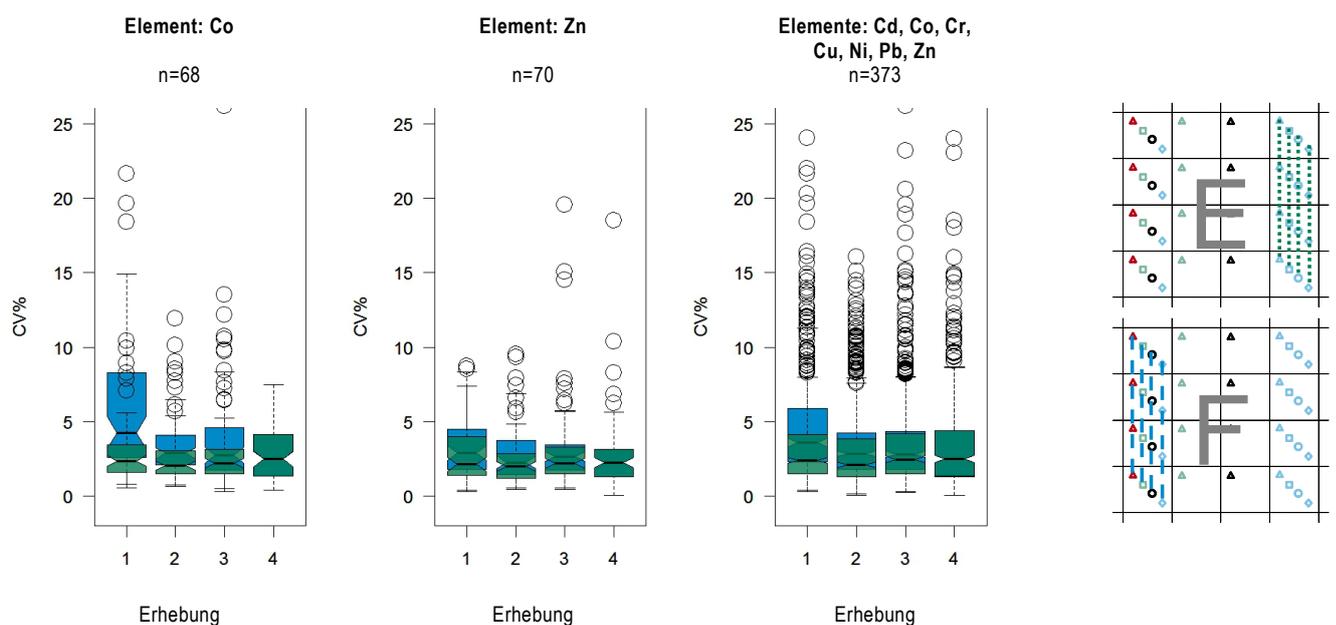
2.1.10 Vergleich der Probenahmewiederholpräzision mit der Standortwiederholpräzision

Datensätze E und F

In Abb. 23 ist der Vergleich der Standortwiederholpräzision der vier Erhebungen (blau) mit derjenigen der zeitgleichen Messung (grün) dargestellt. Der einzige Unterschied in den beiden Datensätzen ist der Zeitpunkt der Analyse (siehe Tab. 2). Alle anderen Einflüsse sind gleich.

Abb. 23 Vergleich der Probenahmewiederholpräzision mit der Standortwiederholpräzision (Datensätze E und F)

Vergleich der Probenahmewiederholpräzision (Datensatz E, grün, transparent) und der Standortwiederholpräzision (Datensatz F, blau). Die Y-Achse ist bei 25 % beschnitten.



Ähnlich wie im Vergleich der Datensätze B und F (siehe 2.1.8) zeigt der zeitgleich gemessene Datensatz E (grün) die bessere Präzision, der Median liegt auf einem signifikant tieferen Niveau. Die Lage des Medians ist nur abhängig vom Analysezeitpunkt. Die Viertbeprobungen des Datensatzes E und F sind identisch. Diese Ergebnisse zeigen, dass die Analytik einen signifikanten Beitrag zur Variabilität der Daten liefert. Die Variabilität in der Ersterhebung ist gegenüber den nachfolgenden Erhebungen erhöht, in der Zweit- und Dritterhebung dagegen praktisch identisch. Korrekterweise sind die Box-Plots der Vierterhebung aus den beiden Datensätzen E und F identisch.

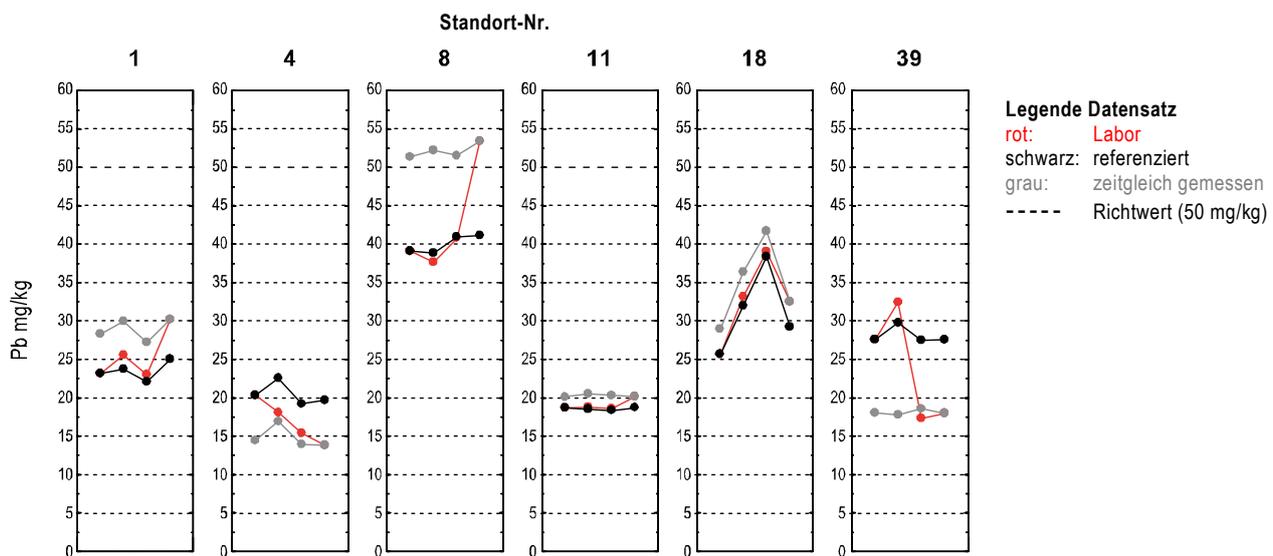
2.2 Qualität des Referenzierungssystems

In diesem Kapitel wird die Qualität des Referenzierungssystems (siehe Kap. 1.3.3) anhand des Vergleiches der Gehalte aus den Zeitreihen des validierten Labordatensatz, des referenzierten und des zeitgleich gemessenen Datensatzes geprüft und beurteilt.

Besonders augenfällig sind die unterschiedlichen Ergebnisse wenn die drei Zeitreihen gemeinsam dargestellt werden. In Abb. 24 und Abb. 25 sind die mittleren Blei- bzw. Nickelgehalte über die vier Erhebungen für sechs ausgewählte NABO-Referenzmessstandorte dargestellt.

Abb. 24 > Vergleich der mittleren Blei-Gehalte in den drei Datensätzen

Darstellung des Verlaufes des mittleren Blei-Gehaltes an ausgewählten Standorten über die vier Erhebungen (15 Jahre).



In der Regel stehen bei Boden-Dauerbeobachtungsprogrammen nur die Labordatensätze zur Verfügung. Der Verlauf der Labordaten (rote Kurve) in Abb. 24 weist an den Standorten Nr. 1 Tänikon und Nr. 8 Rothenfluh auf hohe bis sehr hohe Blei-Zunahmen in den obersten 20 cm hin, am Standort Nr. 8 führt dieser Anstieg um rund 15 mg/kg zur Richtwertüberschreitung in der Vierterhebung. Dagegen weisen Ergebnisse über die 15 Jahre aus dem referenzierten Datensatz (schwarze Kurve) an beiden Standorten nur geringe Blei-Zunahmen auf. Dieser Befund wird durch die zeitgleich gemessenen Proben (graue Kurve) bestätigt. Der Verzicht auf die Referenzierung würde an diesen Standorten zu falschen Schlüssen führen.

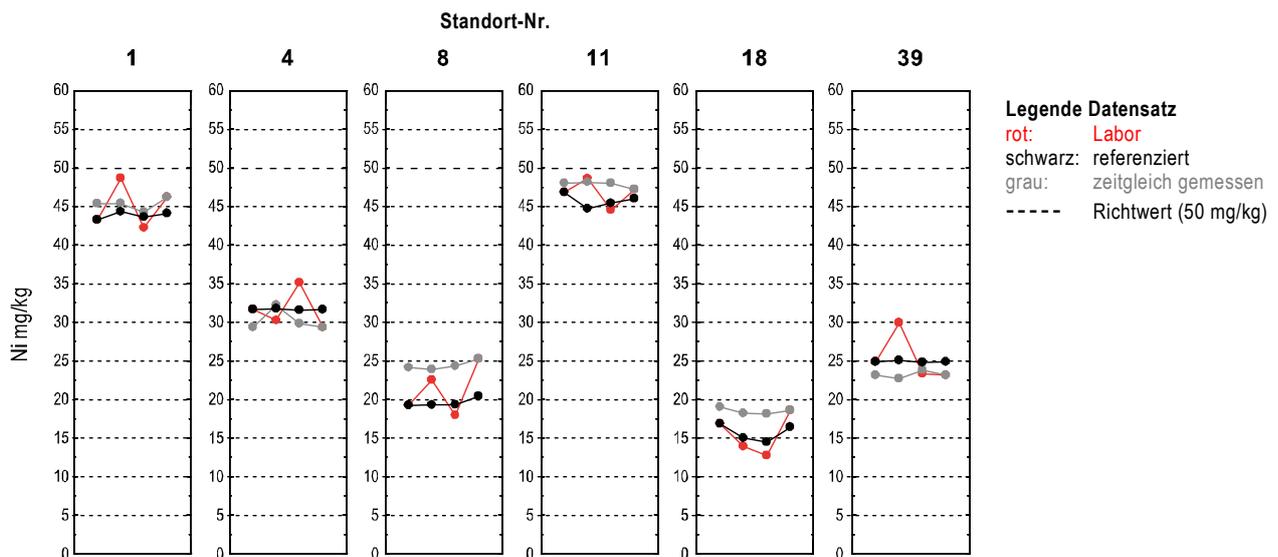
An den Standorten Nr. 4 Conthey und Nr. 39 Kiesen weisen die Ergebnisse aus dem Labordatensatz auf relevante Abnahmen über die vier Erhebungen hin. Aufgrund des referenzierten Datensatzes ist aber von praktisch konstanten Gehalten auszugehen, dies wird durch den zeitgleich gemessenen Datensatz bestätigt. Auch an diesen Standorten würde der Verzicht der Referenzierung zu falschen Schlüssen führen.

Praktisch identisch sind die Verläufe der drei Datensätze an den Standorten Nr. 11 La Sarraz und Nr. 18 Langenthal. Die Referenzierung hat keine Auswirkungen auf die Aussagen.

Der Vergleich der Zeitreihen aus dem referenzierten und dem zeitgleich gemessenen Datensatz zeigt, dass die Kurven meist parallel verlaufen, d. h. die Veränderungen werden durch den referenzierten Datensatz korrekt abgebildet, jedoch zum Teil auf deutlich unterschiedlichem Niveau. Dies liegt daran, dass sich in den 15 Jahren zwischen der Erst- und Vierterhebung das Laborpersonal und die Geräte geändert haben. So werden bei der zeitgleichen Bestimmung am Standort Nr. 8 nach 15 Jahren 12 mg/kg höhere, am Standort Nr. 39 rund 10 mg/kg tiefere Gehalte gemessen als im referenzierten Datensatz. An den Standorten Nr. 11 und Nr. 18 werden dagegen nahezu identische Gehalte bestimmt.

Abb. 25 > Vergleich der mittleren Nickelgehalte in den drei Datensätzen

Darstellung des Verlaufes des mittleren Nickelgehaltes an ausgewählten Standorten über die vier Erhebungen (15 Jahre).



Die Nickel-Gehalte im Labordatensatz weisen gegenüber dem referenzierten und dem zeitgleich gemessenen Datensatz an allen sechs dargestellten NABO-Referenzmessstandorten grössere Amplituden auf (Abb. 25). Die Ergebnisse des referenzierten und zeitgleich gemessenen Datensatzes zeigen, dass die Nickel-Gehalte an den sechs Standorten über die 15 Jahre konstant bleiben. Wiederum sind aber an einzelnen Standorten (z. B. Standort Nr. 8) deutliche Niveauunterschiede zwischen den beiden Datensätzen festzustellen. Die unterschiedlichen Lagen des referenzierten und zeitgleich gemessenen Datensatzes sind auf die Unterschiede in den Messniveaus der Erst- und Vierterhebung zurückzuführen.

Die Ergebnisse der drei Datensätze über die vier Erhebungen für Blei- und Nickel zeigen:

- > Die Analytik ist über den Zeitraum von 15 Jahren nicht vergleichbar. Der Labordatensatz ist nicht geeignet, um Gehaltsveränderungen im Rahmen von Boden-Dauerbeobachtungsprogrammen zu beurteilen.
- > Die Abweichungen variieren je nach Element, Standort und Erhebung in unterschiedliche Richtungen. Darüber hinaus ist das Ausmass der Abweichungen Element spezifisch.
- > Die Verläufe des referenzierten und des zeitgleich gemessenen Datensatzes sind nahezu parallel. Die Gehaltsveränderungen können mit dem Referenzierungssystem korrekt abgebildet werden, ohne dass namhafte Variabilität hinzugefügt wird. Das Referenzierungssystem erfüllt die gestellten Qualitätsanforderungen zur Beurteilung von Veränderungen.
- > Die unterschiedliche Lage der referenzierten und zeitgleich gemessenen Datensätze sind auf die Unterschiede im Bestimmungsniveau zum Zeitpunkt der Erst- bzw. der Vierterhebung zurückzuführen. Zur Beurteilung der Richtigkeit von gemessenen Gehalten und insbesondere zur einwandfreien Beurteilung bezüglich den Überschreitungen von Richt-, Prüf- und Sanierungswerten wären zusätzliche, zeitlich stabile Referenzen notwendig (zertifizierte Proben), anhand derer das Niveau des Messsystems einheitlich beurteilt werden kann.

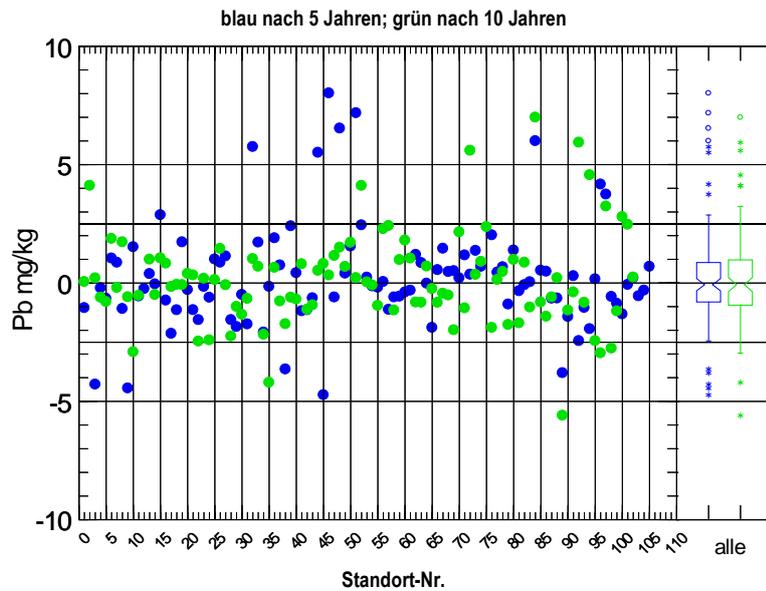
Eine Möglichkeit die Qualität des Referenzierungssystems zu quantifizieren ist der Vergleich der Parallelität der Messabweichungen im referenzierten und zeitgleich gemessenen Datensatz. Dazu werden – wie in Kap. 1.3.3 beschrieben – die Messabweichungen beider Datensätze nach fünf und zehn Jahren berechnet.

In Abb. 26 und Abb. 27 sind die Abweichungen zwischen den beiden Messsystemen für Blei und Nickel als Streudiagramm für alle Standorte (linke Darstellung) und als Boxplot über alle Standorte (rechts) dargestellt. Aus diesen Boxplots geht hervor, dass die Veränderungen im Mittel über alle Standorte gesehen aus dem referenzierten Datensatz denjenigen des zeitgleich gemessenen Datensatzes entsprechen. Wie aus den Box-Plots hervorgeht, liegen die Abweichungen für Blei in 50 % der Standorte zwischen -1 und +1 mg/kg. Noch geringer fallen diese bei Nickel aus, hier liegen sie bei der Hälfte der Standorte zwischen -0,5 und +0,5 mg/kg.

Relevante Abweichungen, d.h. grösser als fünf Prozent des Richtwertes (Blei und Nickel 2,5 mg/kg) zwischen den referenzierten und zeitgleich gemessenen Datensätze treten nur ganz vereinzelt und tendenziell eher für Blei als für Nickel auf.

Abb. 26 Messabweichung der Veränderung zur Ersterhebung von referenzierten zu den zeitgleich gemessenen Blei-Werten

Datenmenge, Anzahl Messabweichungen: Blei nach 5 Jahren $n = 104$, nach 10 Jahren $n = 102$.

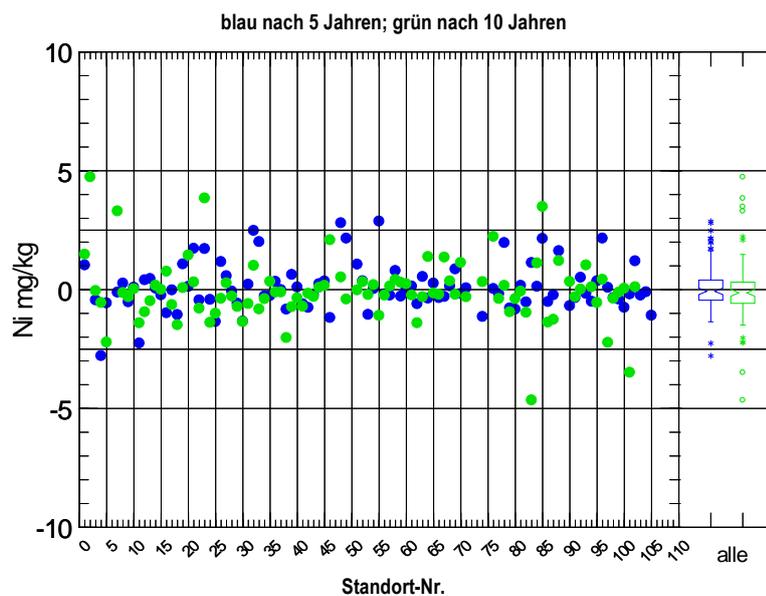


Outlier Messabweichungen:

-16,97 mg/kg Standort 12 Aristau Veränderung nach 10 Jahren, 11,78 mg/kg Standort 75 Zernez Veränderung nach 5 Jahren

Abb. 27 Messabweichung der Veränderung zur Ersterhebung von referenzierten zu den zeitgleich gemessenen Nickel-Werten

Anzahl Messabweichungen: Nickel nach 5 Jahren $n = 98$, nach 10 Jahren $n = 96$.



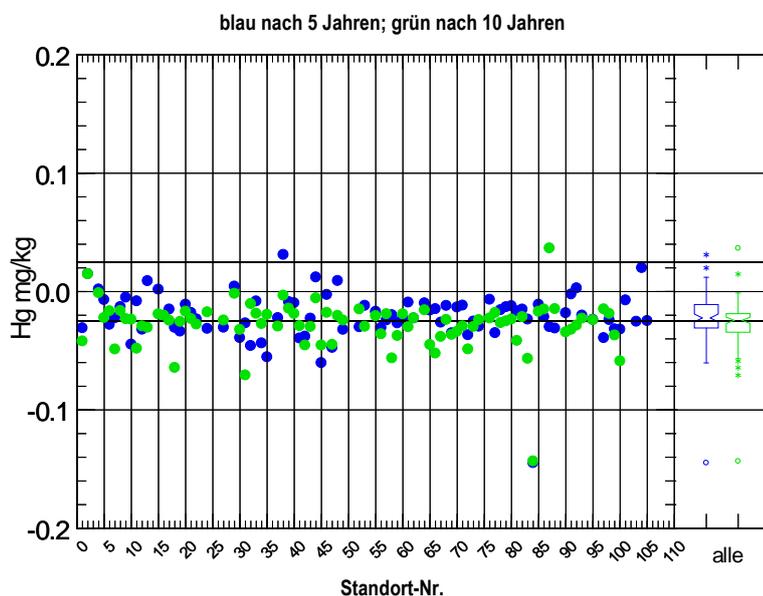
Outlier Messabweichungen: 11,71 mg/kg und 161,36 mg/kg, beide Standort 72 Bivio Veränderung nach 5 bzw. 10 Jahren

Die statistischen Kenngrößen dieses Vergleichs sind für alle Elemente im Anhang A3-2 aufgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass mit Ausnahme von Quecksilber die Zeitreihen für alle gemessenen Elemente eine hohe Parallelität aufweisen. Die gemessenen Veränderungen im referenzierten und zeitgleich gemessenen Datensatz stimmen überein. Dies ist ein Hinweis darauf, dass das in der NABO angewendete Referenzierungssystem für die Boden-Dauerbeobachtung korrekte Resultate liefert.

Bei Quecksilber (Abb. 28) sind die gemessenen Veränderungen nach fünf und zehn Jahren im referenzierten Datensatz im Mittel systematisch um rund 0,025 mg/kg kleiner als die gemessenen Veränderungen im zeitgleich gemessenen Datensatz. Die Gründe für diese systematische Abweichung sind zur Zeit nicht bekannt. Ein möglicher Grund wird in der Alterung der Probe aus der Ersterhebung (Verflüchtigung von Quecksilber) vermutet (siehe Kap. 2.5.2.2). Dies wiederum hat Konsequenzen auf die Ersterhebungswerte des zeitgleich gemessenen Datensatzes bzw. auf die Vierterhebungswerte des referenzierten Datensatzes. Die Ursachenforschung wird zusätzlich durch den Umstand erschwert, dass die Erst- bis Dritterhebung in einem externen Labor durchgeführt wurden.

Abb. 28 Messabweichung der Veränderung zur Ersterhebung von referenzierten zu den zeitgleich gemessenen Quecksilber-Werten

Datenmenge, Anzahl Messabweichungen: nach 5 Jahren $n = 88$, nach 10 Jahren $n = 86$.



Outlier Messabweichungen: 0,51 mg/kg Standort 101 Chamoson Veränderung nach 10 Jahren

2.3 Zustand in der Vierterhebung (Statusberichterstattung)

In der Vierterhebung (2000–2004) konnten von den insgesamt 105 NABO-Referenzmessstandorten vier Standorte nicht beprobt werden (siehe Tab. 1). Die Standorte Nr. 103 Härkingen, Nr. 104 Seebodenalp Küssnacht und Nr. 105 Chaumont Neuchâtel wurden im Rahmen der Dritterhebung neu ins NABO-Referenzmessnetz aufgenommen (Desaules et al. 2006), folglich wurden sie in der Zeitspanne 2000–2004 erst zum zweiten Mal beprobt. Da für die Statusberichterstattung der aktuelle Zustand im Vordergrund steht, werden von den Standorten Nr. 103–105 die Ergebnisse von 2005 mitberücksichtigt.

Basis der Auswertungen sind die mittleren Erhebungswerte des referenzierten Datensatzes (siehe Anhang A4-1). Für Chrom und Nickel konnten, wie in Tab. 3 gezeigt, die Bestimmungsgrenzen gegenüber der Ersterhebung erheblich gesenkt werden. Damit können neu für verschiedene Standorte Gehaltsangaben gemacht werden, für die es keine Werte in der Ersterhebung gibt und folglich auch nicht – wie die übrigen Werte – auf die Gehalte der Erstbeprobung referenziert werden können. In diesen Fällen wurde, sofern in der Vierterhebung Werte über der Bestimmungsgrenze vorliegen, auf diese zurückgegriffen (siehe Anhang A4-1). An acht Standorten liegen die Gehalte für Quecksilber unter der Bestimmungsgrenze. Diese werden – ebenso wie fehlende Werte – von der Auswertung ausgenommen. Die Molybdän-Gehalte liegen – von wenigen Ausnahmen abgesehen – unterhalb der Bestimmungsgrenze, auf eine statistische Auswertung wird verzichtet.

2.3.1 Übersicht über die Schadstoffdaten

Cadmium (Cd)

In Bezug auf die drei wichtigsten Landnutzungskategorien Acker, Grasland und Wald liegen die Mediane der Cadmium-Gehalte in der Grössenordnung von 1/4 bis 1/3 des Richtwertes (RW) der VBBo von 0,8 mg/kg (Tab. 4). Das 90 %-Perzentil der 26 Waldstandorte liegt mit 0,963 mg/kg deutlich höher als diejenigen der 26 Gras- (0,586 mg/kg) resp. der 34 Ackerstandorte (0,388 mg/kg). In allen drei Nutzungskategorien wird der Richtwert an mindestens einem Standort überschritten (Tab. 5). Der höchste Cadmium-Gehalt von 1,946 mg/kg wird am extensiv genutzten Graslandstandort La Brévine gemessen. Die vermuteten Hauptursachen für die Cadmium-Richtwertüberschreitungen liegen im geologischen Ausgangsmaterial (Dubois et al. 2002, Prudente et al. 2002, Quezada-Hinjosa et al. 2009).

Die beiden Nutzungskategorien Spezialkulturen und Schutzstandorte (siehe Anhang A4-2) weisen keine Richtwertüberschreitungen auf.

Tab. 4 > Kennzahlen für Cadmium

Richtwert gemäss VBBo: 0,8 mg/kg.

	Alle Standorte	Acker	Grasland	Wald	Spezialkulturen
n	101	34	26	26	9
Minimum	0,081	0,149	0,086	0,081	0,182
10 % Perzentile	0,119	0,161	0,122	0,096	0,190
Median	0,240	0,241	0,246	0,211	0,271
Mittelwert	0,314	0,272	0,363	0,307	0,317
90 % Perzentile	0,511	0,388	0,586	0,963	0,551
Maximum	1,946	0,932	1,946	1,218	0,627

Tab. 5 > Standorte mit Richtwertüberschreitungen bei Cadmium

Richtwert gemäss VBBo: 0,8 mg/kg

Standort Nr.	Nutzung	Totalgehalt		Vermutete Hauptursache
		mg/kg	RW %	
32 La Brévine	Grasland extensiv	1,95	188	Geogen
88 L'Abbaye	Nadelwald	1,22	153	Geogen
66 St. Ursanne	Laubwald	1,08	135	Geogen
105 Chaumont	Grasland extensiv	1,05	131	Geogen
8 Rothenfluh	Laubwald	1,03	129	Geogen
53 Gempen	Ackerbau	0,93	116	Geogen

Kupfer (Cu)

Der mittlere Gehalt (Median) der NABO-Ackerstandorte liegt um Faktor 2 höher als der mittlere Gehalt der Waldstandorte auf rund der Hälfte des Richtwertes von 40 mg/kg (Tab. 6). Der mittlere Gehalt der Graslandstandorte liegt zwischen den Acker- und Waldstandorten. Das 90 %-Perzentil der Ackerstandorte liegt auf der Höhe des Richtwertes, für die Graslandstandorte bei rund 30 mg/kg und bei 20 mg/kg für die Waldstandorte. Die drei NABO-Rebbaustandorte (siehe Anhang A4) weisen ein Minimum von 221,1 mg/kg und ein Maximum von 469,2 mg/kg auf. Sämtliche Gehalte liegen deutlich über dem Prüfwert (PW) der VBBo für Futterpflanzenanbau von 150 mg/kg. Bezüglich dem Richtwert der VBBo ist festzuhalten, dass einzelne Acker-, Gras- und Waldstandorte sowie ein Obstbaustandort und sämtliche Rebbaustandorte diesen überschreiten, letztere deutlich (siehe Tab. 7). Die Gründe für die Richtwertüberschreitungen liegen bei den Rebbaustandorten in der Applikation von Pflanzenschutzmitteln, insbesondere der langjährigen Anwendung von kupferhaltigen Fungiziden wie z. B. der Bordeaux-Brühe (Kupfervitriol) (Studer et al. 1995). Ebenfalls dürften Pflanzenschutzmittel dazu geführt haben, dass am Standort Nr. 64 Duggingen die Richtwerte überschritten werden. Ein Mix von Immissionen ist wahrscheinlich der Grund für die Richtwertüberschreitung im Stadtpark von Lugano Nr. 97. Dagegen dürften geogene Ursachen für die Richtwertüberschreitungen an den Standorten Nr. 33, 46, 48 und 77 verantwortlich sein. Diese Folgerungen basieren auf Plausibilitätsüberlegungen aus den Profilaufnahmen der Ersterhebung (Desaules & Studer 1993).

Tab. 6 > Kennzahlen für Kupfer

Richtwert gemäss VBBo: 40 mg/kg.

	Alle Standorte	Acker	Grasland	Wald	Spezialkulturen
n	101	34	26	26	9
Minimum	3,5	9,9	3,5	3,7	22,8
10 % Perzentile	7,0	13,2	8,0	4,4	23,7
Median	17,5	21,3	15,7	10,9	38,3
Mittelwert	29,2	23,8	17,2	12,0	139,4
90 % Perzentile	39,2	40,0	31,4	21,0	423,4
Maximum	469,2	53,6	40,7	29,8	469,2

Tab. 7 > Standorte mit Richtwertüberschreitungen bei Kupfer

Richtwert gemäss VBBo: 40 mg/kg; Prüfwert für Futterpflanzenanbau: 150 mg/kg.

Standort Nr.	Nutzung	Totalgehalt		Vermutete Hauptursache
		mg/kg	RW %	
96 Gudo	Rebbau	469	1 173	Anthropogen (PSM ¹)
5 Schafis	Rebbau	355	888	Anthropogen (PSM ¹)
55 Nyon	Rebbau	221	553	Anthropogen (PSM ¹)
97 Lugano	Stadtpark	57	143	Anthropogen, direkte Exposition
64 Duggingen	Obstbau	57	143	Anthropogen (PSM ¹)
48 Oberriet	Ackerbau	54	135	Geogen
77 Paspels	Ackerbau	46	115	Geogen
46 Vallon	Ackerbau	42	105	Geogen
33 Mollis	Grasland intensiv	41	102	Geogen

¹Pflanzenschutzmittel

Blei (Pb)

Die mittleren Gehalte der Hauptnutzungskategorien liegen zwischen 22,8 an Acker- und 32,0 mg/kg an Waldstandorten (Tab. 8). Der maximale Gehalt im Wald liegt mit 64,0 mg/kg an einem Laubwaldstandort. Insgesamt treten bei Wald- und Graslandstandorten vereinzelt Überschreitungen des VBBo-Richtwertes von 50 mg/kg auf (Tab. 9). In Bezug auf die Nebenlandnutzungskategorien fallen die beiden Stadtparkstandorte mit Gehalten von 73,4 resp. 131,3 mg/kg auf. An beiden Standorten ist der Richtwert der VBBo überschritten. Der Prüfwert für Nahrungspflanzenanbau von 200 mg/kg dagegen wird eingehalten.

Wenig überraschend sind die Richtwertüberschreitungen an den beiden Stadtparkstandorten Nr. 61 Winterthur und Nr. 97 Lugano. Der Standort Nr. 52 Krummenau wurde in der Vergangenheit militärisch genutzt. Geogene Ursachen haben die Richtwertüberschreitungen am Standort Nr. 75 im Nationalpark (Obrecht & Schluep 1994). Möglicherweise anthropogenen Ursprung hat die Richtwertüberschreitung am Standort Nr. 92 Novaggio, da Laubwälder einen Auskämmeffekt aufweisen können (Anghern-Bettinazzi 1989).

Tab. 8 > Kennzahlen für Blei*Richtwert gemäss VBBo: 50 mg/kg.*

	Alle Standorte	Acker	Grasland	Wald	Spezialkulturen
n	101	34	26	26	9
Minimum	10,8	10,8	14,3	14,8	18,9
10 % Perzentile	16,7	15,2	15,7	17,8	19,2
Median	25,1	22,8	24,1	32,0	23,4
Mittelwert	28,6	23,1	26,4	30,8	25,8
90 % Perzentile	41,4	31,9	41,0	45,2	36,8
Maximum	131,3	42,2	58,2	64,0	40,4

Tab. 9 > Standorte mit Richtwertüberschreitungen bei Blei*Richtwert gemäss VBBo: 50 mg/kg*

Standort Nr.		Nutzung	Totalgehalt		Vermutete Hauptursache
			mg/kg	RW %	
97	Lugano	Stadtpark	131	288	Anthropogen, direkte Exposition
75	Zernez	Schutzstandort	80	160	Geogen
61	Winterthur	Stadtpark	73	146	Anthropogen, direkte Exposition
92	Novaggio	Laubwald	64	128	Anthropogen, indirekte Exposition (atm. Ferntransport)
52	Krummenau	Grasland extensiv	58	116	Anthropogen (Militär)

Zink (Zn)

Die Zink-Gehalte an den NABO-Referenzmessstandorten (Tab. 10) liegen zwischen 20,6 und 144,5 mg/kg, der VBBo RW von 150 mg/kg wird somit an allen Standorten eingehalten. Bezüglich der Hauptnutzungskategorien liegen die 90 %-Perzentile an den Graslandstandorten bei 2/3 des RW, an den Acker- und Waldstandorten leicht tiefer. Gehalte über 2/3 des RW treten vereinzelt an Ackerstandorten sowie an intensiv und wenig intensiv genutzten Grasland-, an Rebbau- und an beiden Stadtparkstandorten auf.

Tab. 10 > Kennzahlen für Zink

Richtwert gemäss VBBo: Zn mg/kg.

	Alle Standorte	Acker	Grasland	Wald	Spezialkulturen
n	101	34	26	26	9
Minimum	20,6	33,8	22,6	20,6	55,8
10 % Perzentile	39,3	39,8	35,9	25,4	55,9
Median	56,0	51,2	66,3	47,0	74,2
Mittelwert	61,3	57,3	67,2	51,4	76,5
90 % Perzentile	95,9	88,7	99,8	83,2	108,9
Maximum	144,5	103,9	106,6	99,4	115,3

Quecksilber (Hg)

In Bezug auf die Hauptnutzungskategorien liegen die mittleren Gehalte der Waldstandorte mit rund 20 % des RW von 0,5 mg/kg am höchsten (Tab. 11). Der maximale Gehalt von 0,33 mg/kg (2/3 des RW) wird an einem Ackerstandort gemessen. Der höchste Gehalt aller NABO-Standorte wird am Stadtparkstandort Nr. 97 Lugano mit 0,388 mg/kg festgestellt, dies entspricht 78 % des RW.

Tab. 11 > Kennzahlen für Quecksilber

Richtwert gemäss VBBo: 0,5 mg/kg.

	Alle Standorte	Acker	Grasland	Wald	Spezialkulturen
n	93	29	24	26	9
Minimum	0,030	0,039	0,033	0,048	0,030
10 % Perzentile	0,049	0,051	0,045	0,058	0,037
Median	0,068	0,063	0,059	0,096	0,068
Mittelwert	0,094	0,084	0,071	0,111	0,073
90 % Perzentile	0,159	0,151	0,095	0,183	0,115
Maximum	0,388	0,330	0,252	0,275	0,116

Chrom (Cr)

Die mittleren Gehalte der drei Hauptnutzungskategorien liegen zwischen 22,3 an den Wald- und 29,4 mg/kg an den Graslandstandorten (Tab. 12). Die 90 %-Perzentile liegen zwischen 39 mg/kg bei Acker- und 45 mg/kg bei Graslandstandorten. Vereinzelt Richtwertüberschreitungen kommen bei Acker-, Grasland- und Waldstandorten vor. Der Rebbaustandort Nr. 55 Nyon weist zudem einen Chrom-Gehalt von 47,9 mg/kg auf (96 % des RW). Der maximale Gehalt von 618,5 mg/kg wird am extensiv genutzten Graslandstandort Nr. 72 Bivio gemessen.

Tab. 12 > Kennzahlen für Chrom

Richtwert gemäss VBBo: 50 mg/kg.

	Alle Standorte	Acker	Grasland	Wald	Spezialkulturen
n	101	34	26	26	9
Minimum	3,0	18,5	6,6	3,0	13,0
10 % Perzentile	14,7	19,6	14,2	13,9	14,4
Median	26,2	26,6	29,4	22,3	25,4
Mittelwert	32,8	28,6	51,5	25,2	26,6
90 % Perzentile	41,8	39,4	45,4	43,0	42,8
Maximum	618,5	58,5	618,5	61,0	47,9

An vier NABO-Referenzmessstandorten treten Richtwertüberschreitungen für Chrom auf (Tab. 13). An allen Standorten dürfte das geogene Ausgangsgestein die Hauptursache für die Richtwertüberschreitung sein. Die gemessenen Gehalte liegen in den Bereichen, die von (Tuchschnid 1995) angegeben werden.

Tab. 13 > Standorte mit Richtwertüberschreitungen bei Chrom

Richtwert gemäss VBBo: 50 mg/kg

Standort Nr.		Nutzung	Totalgehalt		Vermutete Hauptursache
			mg/kg	RW %	
72	Bivio	Grasland extensiv	618	1236	Geogen
32	La Brévine	Grasland extensiv	63	126	Geogen
8	Rothenfluh	Laubwald	61	122	Geogen
46	Vallon	Ackerbau	59	117	Geogen

Nickel (Ni)

Die Mediane der Hauptnutzungskategorien liegen allesamt unter der Hälfte des RW von 50 mg/kg (Tab. 14). Die 90 %-Perzentile reichen von 38,7 mg/kg an den Wald- bis hin zu 46,6 mg/kg an den Ackerstandorten. Vereinzelt Richtwertüberschreitungen treten an Acker- und Graslandstandorten auf, der Maximalgehalt an den NABO-Referenzmessstandorten wird, wie für Chrom, am Standort Nr. 72 Bivio mit 240 mg/kg gemessen (Tab. 15). Darüber hinaus weist der Rebbauort Standort Nr. 55 Nyon mit 61,8 mg/kg einen Gehalt über dem RW auf.

Tab. 14 > Kennzahlen für Nickel

Richtwert gemäss VBBo: 50 mg/kg.

	Alle Standorte	Acker	Grasland	Wald	Spezialkulturen
n	101	34	26	26	9
Minimum	2,5	14,7	3,6	3,2	13,6
10 % Perzentile	8,1	16,0	7,4	7,3	14,5
Median	22,6	24,8	23,1	17,3	23,9
Mittelwert	26,3	28,3	30,6	20,9	27,0
90 % Perzentile	42,1	46,6	43,9	38,7	49,7
Maximum	240,0	73,4	240	44,6	61,8

Tab. 15 > Standorte mit Richtwertüberschreitungen Nickel

Richtwert gemäss VBBo: 50 mg/kg

Standort Nr.		Nutzung	Totalgehalt		Vermutete Hauptursache
			mg/kg	RW %	
72	Bivio	Grasland extensiv	240	480	Geogen
25	Schleitheim	Ackerbau	73	146	Geogen
46	Vallon	Ackerbau	67	134	Geogen
55	Nyon	Rebbau	62	124	Geogen
68	Etoy	Ackerbau	52	104	Geogen

Kobalt (Co)

Für Kobalt besteht kein Richtwert in der VBBo, dagegen bestand in der Verordnung über Schadstoffe im Boden (VSBo 1986) ein Richtwert von 25 mg/kg. Dieser wird nachfolgend für die Beurteilung der Co-Gehalte beigezogen. Die 90 %-Perzentile der Hauptnutzungskategorien liegen zwischen 10,23 mg/kg an Gras- und 11,09 mg/kg (44 % des RW) bei Waldstandorten (Tab. 16). Das Maximum liegt bei 44,28 mg/kg am extensiv genutzten Graslandstandort Nr. 72 Bivio und ist auf die hohe geogene Grundbelastung zurückzuführen.

Tab. 16 > Kennzahlen für Kobalt

	Alle Standorte	Acker	Grasland	Wald	Spezialkulturen
n	101	34	26	26	9
Minimum	0,45	4,36	0,90	0,94	3,49
10 % Perzentile	3,45	4,54	2,20	2,44	4,21
Median	6,04	6,31	6,47	4,95	5,91
Mittelwert	6,90	7,45	7,52	5,75	6,98
90 % Perzentile	10,85	10,93	10,23	11,07	10,70
Maximum	44,28	23,06	44,28	13,32	11,09

In Tab. 17 sind die Richtwertüberschreitungen nach VBBo in der Vierterhebung nach Nutzungskategorien aufgeschlüsselt dargestellt. Keine Richtwertüberschreitungen treten an wenig intensiven Graslandstandorten, an Mischwaldstandorten und an den drei Gemüsebaustandorten auf. Bei allen übrigen Landnutzungskategorien kommen dagegen Richtwertüberschreitungen vor.

Die Kupfer-Gehalte an den drei Rebbaustandorten liegen zwischen 221 und 469 mg/kg und damit über dem Prüfwert von 150 mg/kg für den Futterpflanzenanbau. Dies ist bei einer allfälligen Nutzungsänderung zu berücksichtigen.

Tab. 17 > Richtwertüberschreitungen nach Landnutzungskategorie

Nutzung	Anzahl Standorte	Cd	Co*	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Ackerbau	34	1		1	3		3		
Grasland	26								
• intensiv	6				1				
• wenig intensiv	9								
• extensiv	11	1	1	2			1	1	
Wald	26								
• Laubwald	10	2		1				1	
• Mischwald	6								
• Nadelwald	10	1							
Spezialkulturen	9								
• Gemüsebau	3								
• Obstbau	3				1				
• Rebbau	3				3		1		
Schutzstandort	4							1	
Stadtspark	2				1			2	
Alle	101	6	1	4	9	-	5	5	-

* Richtwert der VSBo (1986)

2.3.2 Übersicht über die Bodenkennwerte

Phosphor (P)

Im Rahmen der Vierterhebung wurde im Totalgehalt gemäss VBBo erstmals auch Phosphor mitgemessen. Der Median der drei Hauptnutzungsgruppen liegt bei 363 mg/kg an Wald-, 815 mg/kg an Acker- und 932 mg/kg an Graslandstandorten (Tab. 18). Insbesondere die intensiv genutzten Graslandstandorte mit einem Median von 1300 mg/kg weisen deutlich höhere Gehalte auf als wenig intensiv genutzte Graslandstandorte (Median 1026 mg/kg) und extensiv genutzte Graslandstandort mit 550 mg/kg Phosphor. Von den Waldstandorten weisen die Laubwaldstandorte einen durchschnittlich höheren P-Gehalt auf als die Misch- und Nadelwaldstandorte. Der Maximalgehalt wird mit 2144 mg/kg am Rebbaustandort Nr. 96 Gudo gemessen.

Tab. 18 > Kennzahlen für Phosphor (HNO₃)

	Alle Standorte	Acker	Grasland	Wald	Spezialkulturen
n	101	34	26	26	9
Minimum	125	364	277	125	823
10 % Perzentile	303	571	456	196	824
Median	790	815	932	363	1 106
Mittelwert	783	884	941	363	1 246
90 % Perzentile	1 342	1 300	1 614	520	1 972
Maximum	2 144	1 893	1 707	830	2 144

pH-Wert

Bezüglich der drei Hauptnutzungsgruppen sinkt der mittlere pH-Wert (CaCl₂) von den Acker- (6,1) über die Grasland- (5,2) bis hin zu den Waldstandorten auf 4,8 (Tab. 19). Der Median der intensiv genutzten Graslandstandorte (siehe Anhang A4-3) liegt bei 5,9, derjenige der weniger intensiv genutzten bei 5,2 und 4,6 bei extensiv genutzten Graslandstandorten. Die Laubwaldstandorte weisen einen Median von 4,8, die Nadelwaldstandorte einen von 4,3 und die Mischwaldstandorte einen durchschnittlichen pH von 4,0 auf. Der tiefste pH-Wert aller NABO-Referenzmessstandorte weist der Nadelwaldstandort Nr. 47 Davos mit 3,2 auf.

Tab. 19 > Kennzahlen für pH(CaCl₂)

	Alle Standorte	Acker	Grasland	Wald	Spezialkulturen
n	101	34	26	26	9
Minimum	3,2	4,9	3,7	3,2	5,4
10 % Perzentile	4,0	5,0	4,3	3,5	5,5
Median	5,4	6,0	5,3	4,6	7,1
Mittelwert	5,5	6,1	5,2	4,8	6,7
90 % Perzentile	7,2	7,3	6,2	7,0	7,3
Maximum	7,5	7,5	6,4	7,3	7,3

C_{org}

Der Median in den Hauptnutzungskategorien steigt von 1,8 % an den Ackerstandorten über 4,1 % an den Graslandstandorten auf 4,8 % an den Waldstandorten (Tab. 20). Das Maximum wird am ackerbaulich genutzten Standort Nr. 15 Ins mit 14,7 % erreicht. Betreffend der Nebennutzungskategorien liegt der Median der Spezialkulturen leicht höher als derjenige der Ackerbaustandorte und der beiden Stadtpärke. Eine besondere Stellung nehmen die vier Schutzstandorte Nr. 12 Aristau, Nr. 75 Zernez, Nr. 84 Rifferswil und Nr. 89 St. Moritz ein, der Median beträgt 20,3 % und das Maximum 39,8 %.

Tab. 20 > Kennzahlen des Kohlenstoffgehaltes (C_{org} in %)

	Alle Standorte	Acker	Grasland	Wald	Spezialkulturen
n	101	34	26	26	9
Minimum	1,00	1,00	2,46	1,98	1,16
10 % Perzentile	1,30	1,09	2,71	2,59	1,19
Median	3,16	1,76	4,08	4,76	2,10
Mittelwert	4,32	2,51	4,13	5,16	2,38
90 % Perzentile	7,20	3,30	5,81	9,94	4,02
Maximum	39,83	14,70	8,33	11,01	4,07

2.4 Zeitliche Entwicklung 1985–2004 (Trendberichterstattung)

2.4.1 Anorganische Schadstoffe

Die Veränderung der anorganischen Schadstoffgehalte nach 5, 10 und 15 Jahren ist für jeden Standort in den Abbildungen in Anhang A5-2 dargestellt. Die Gehalte sind in Prozent des Richtwertes dargestellt, damit die Vergleichbarkeit in Bezug zum jeweiligen Richtwert ersichtlich ist. Somit sind sowohl relevante Veränderungen (> 5 % des Richtwertes) als auch Richtwertüberschreitungen ersichtlich.

Die nachfolgenden Ergebnisse und deren Beurteilung basieren auf den Ergebnissen des referenzierten Datensatzes.

Die Auswertung der Erst- bis Vierterhebungen zeigen, dass an den 105² NABO-Referenzmessstandorten je nach Standort und Element sehr unterschiedliche Verläufe an Zu- und Abnahmen über die 15 Jahre stattgefunden haben. Auffallend ist:

- > Bei einigen Standorten und Elementen sind die Verläufe monoton. Das heisst, die Gehalte bleiben auf konstantem Niveau oder zeigen monotone Zu- oder Abnahmen. Bei anderen Standorten und Elementen werden dagegen grosse wechselnde Zu- und Abnahmen (sog. Zickzackverläufe) festgestellt.

² Inkl. Standort Nr. 101 Chamoson, der nach der Dritterhebung aufgegeben wurde.

- > Die Veränderungen in Prozent des jeweiligen Richtwertes sind je nach Element sehr unterschiedlich. Dabei zeigt Quecksilber bei den meisten Standorten in der Regel die grössten Zu- und Abnahmen.

2.4.1.1 Veränderungen an den NABO-Referenzmessstandorten

Die beobachteten Veränderungen einzelner Standorte werden nachfolgend anhand des Gesamtdatensatzes des NABO-Referenzmessnetzes und stratifiziert nach Landnutzungskategorien dargestellt.

Für die Beurteilung der Veränderung der Schadstoffgehalte im Boden bis in 20 cm Tiefe werden die referenzierten Messwerte aller Standorte verwendet, die einen vollständigen Datensatz für die Erst- bis Vierterhebung aufweisen (Zeitreihendatensatz). Acht Standorte mit weniger als vier Erhebungen (Nr. 2, 40, 42, 67, 101, 103, 104, 105), sowie der Standort Nr. 96 werden für die Auswertung der Veränderung im Standortkollektiv nicht berücksichtigt. Der Rebbaustandort Nr. 96 Gudo wurde ausgeschlossen, da eindeutige Hinweise vorliegen, dass die markanten Veränderungen der Gehalte zwischen der Erst- und Dritterhebung vor allem auf die Erdverschiebungen im Rahmen der Neuterrassierung des Rebberges zurückzuführen sind. Von den aktuell 105 NABO-Referenzmessstandorten können daher maximal 96 Standorte im Zeitreihendatensatz berücksichtigt werden.

Bei einigen Standorten liegen die Cadmium-, Quecksilber-, Chrom- und Nickel-Gehalte unterhalb der Bestimmungsgrenze, diese Standorte werden von den weiteren Auswertungen ausgeschlossen. Das Datenkollektiv reduziert sich somit für Cadmium auf 54, für Quecksilber auf 86, für Chrom auf 91 und für Nickel auf 89 auswertbare NABO-Referenzmessstandorte.

In den folgenden Abbildungen (Abb. 29 bis Abb. 36) sind die absoluten Veränderungen in mg/kg nach 5, 10 und 15 Jahren sowohl für das Gesamtkollektiv als auch für die Landnutzungskategorien Acker, Grasland intensiv, wenig intensiv und extensiv sowie Laub-, Misch- und Nadelwald dargestellt. Die Veränderungen zur Ersterhebung sind als Box-Plot dargestellt. Zu- und Abnahmen, die grösser als 5 % des Richtwertes sind, liegen ausserhalb der eingezeichneten Relevanz-Grenzen (gestrichelte Linien in Abb. 29 bis Abb. 36).

Veränderung Cadmium-Gehalte (Cd)

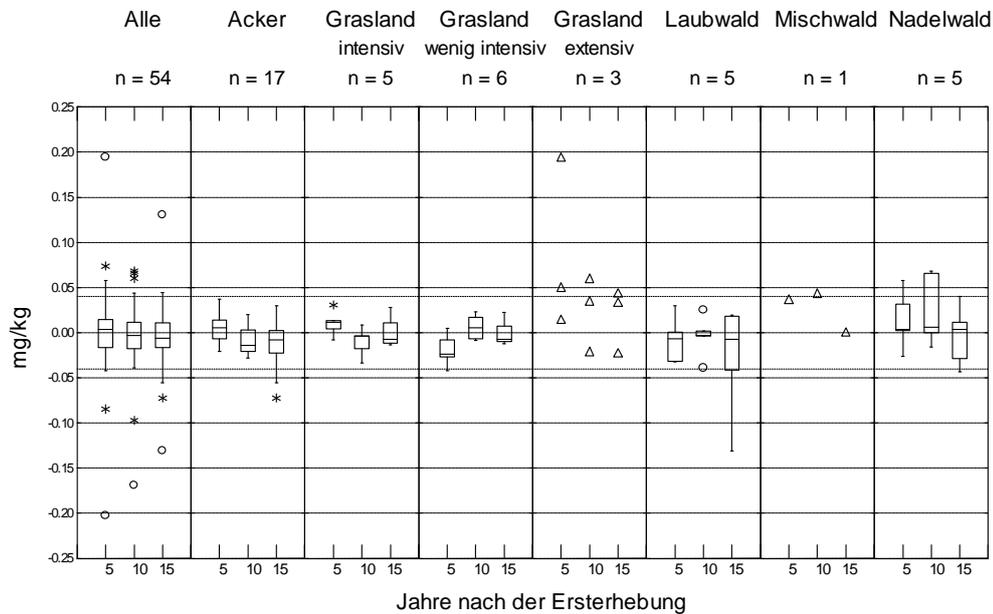
Wie aus Abb. 29 hervorgeht, sind über die insgesamt 54 Standorte mit Gehalten über der Bestimmungsgrenze im Mittel keine relevanten Veränderungen erkennbar. Die Boxen der mittleren 50% der Veränderungen liegen nach fünf, zehn und 15 Jahren deutlich innerhalb der mit der gestrichelten Linie angegebenen Relevanzgrenze von 5% des Richtwertes, der Median ist stets sehr nahe bei Null. Auffällig ist die Zunahme an den extensiven Graslandstandorten nach fünf Jahren. Besonders auffällig ist die Zunahme von 0,2 mg/kg am Standort Nr. 32 La Brévine (siehe Anhang A5-1 und A5-2).

Auch an den fünf Nadelwald-Standorten wurden nach 5 und 10 Jahren relevante Zunahmen gemessen, die aber nach 15 Jahren nicht mehr festzustellen sind.

Insgesamt lässt sich festhalten, dass die meisten Veränderungen innerhalb der Grenzen von ± 5% des Richtwertes (± 0,04 mg/kg) liegen. Der Grund für die relevanten Veränderungen wie z. B. in La Brévine ist vermutlich auf Abweichungen in der Probenzusammensetzung wie z. B. unterschiedliche Probentiefe (siehe Kap. 2.5.2.1) oder Kalkbruchstücke in der Feinerde zurückzuführen (siehe Kap. 2.5).

Abb. 29 > Veränderung der Cadmium-Gehalte über 15 Jahre (mg/kg TS)

Veränderung der Cadmium-Gehalte 5, 10 und 15 Jahre nach der Ersterhebung an den 54 NABO-Referenzmessstandorten gruppiert nach den Landnutzungskategorien.



Outlier: -40,3 mg/kg, -40,9 mg/kg, Standort 5 Schafis (Rebbaustandort), Veränderung nach 5 bzw. 10 Jahren

Veränderung der Kupfer-Gehalte (Cu)

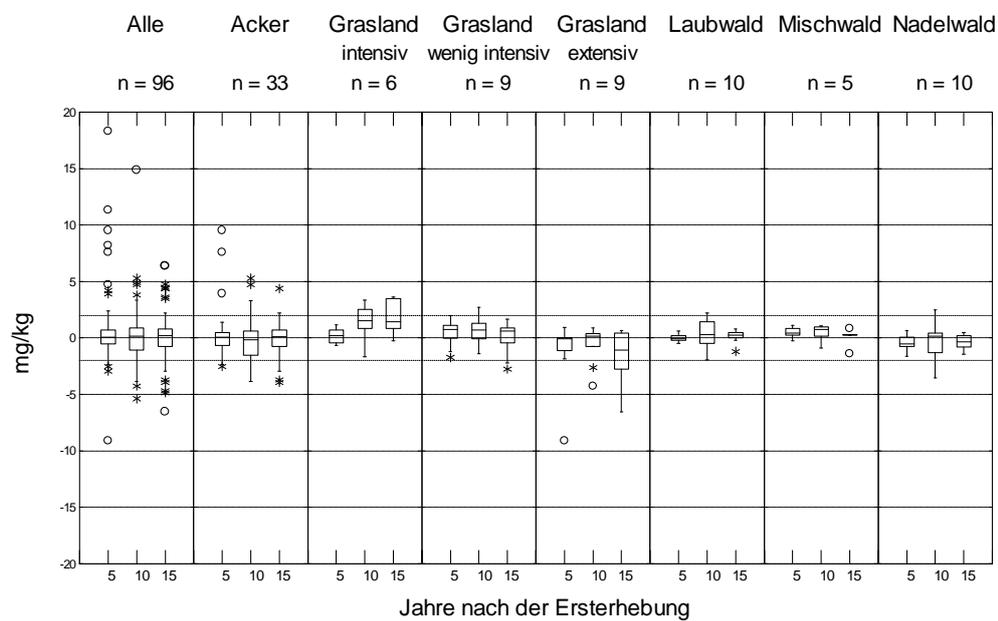
Für das Gesamtdatenkollektiv der 96 NABO-Referenzmessstandorte können über die 15 Jahre im Mittel kaum relevante Veränderungen festgestellt werden (Abb. 30). Dagegen weisen einzelne Ackerstandorte relevante Zu- und Abnahmen auf, die sich aber über alle 33 Ackerstandorte betrachtet ausgleichen.

Eine stetige Zunahme der Kupfer-Gehalte weisen die sechs intensiv genutzten Graslandstandorte auf. Dagegen nehmen diese auf den neun extensiven Graslandstandorten über die 15 Jahre im Mittel ab. Keine Veränderungen weisen die neun wenig intensiven Graslandstandorte auf.

An den beiden Rebbaustandorten Nr. 5 und 55 verändert sich der Kupfer-Gehalt über die 15 Jahre in den obersten 20 cm zum Teil massiv. Die einzelnen Erhebungen am Standort Nr. 5 Schafis weisen grosse Gehaltsunterschiede auf. Diese kommen wahrscheinlich durch unterschiedliche Probenahme-Tiefen, verursacht durch unterschiedliche Probenahme-Bedingungen (siehe Kap. 2.5.2), zustande.

Abb. 30 Veränderung der Kupfer-Gehalte über 15 Jahre (mg/kg TS)

Veränderung der Kupfer-Gehalte 5, 10 und 15 Jahre nach der Ersterhebung an den 96 NABO-Referenzmessstandorten gruppiert nach den Landnutzungskategorien.



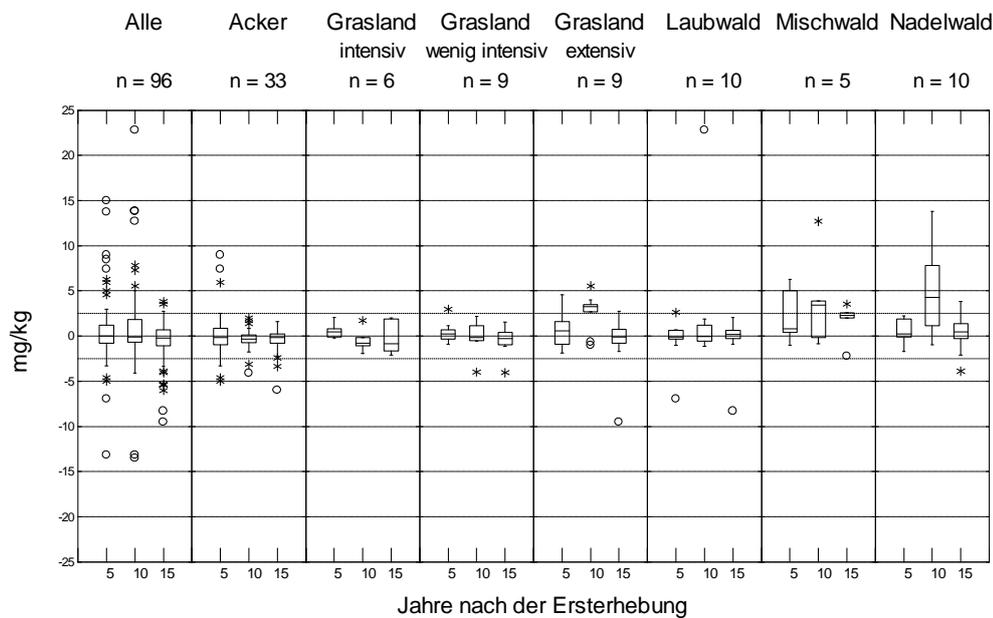
Outlier: -40,3 mg/kg, -40,9 mg/kg, Standort 5 Schafis (Rebbaustandort), Veränderung nach 5 bzw. 10 Jahren

Veränderung Blei-Gehalte (Pb)

Wie aus Abb. 31 hervorgeht, sind über die insgesamt 96 NABO-Referenzmessstandorte im Mittel keine relevanten Veränderungen erkennbar. Auffallend sind jedoch die in praktisch allen Landnutzungskategorien an einzelnen Standorten feststellbaren Zu- und Abnahmen über die 15 Jahre. 10 Jahre nach der Ersterhebung werden vor allem bei den neun extensiven Graslandstandorten und den Standorten unter Nadelwald relevante Zunahmen gemessen, die aber nach 15 Jahren wieder weitgehend auf die ursprünglichen Werte zurückgehen. Auf die Gründe wird in Kap. 2.5.2 eingegangen.

Abb. 31 > Veränderung der Blei-Gehalte über 15 Jahre (mg/kg TS)

Veränderung der Blei-Gehalte 5, 10 und 15 Jahre nach der Ersterhebung an den 96 NABO-Referenzmessstandorten gruppiert nach den Landnutzungskategorien.



Outlier: -34,4 mg/kg, Standort 84 Rifferswil (Schutzstandort), Veränderung nach 15 Jahren

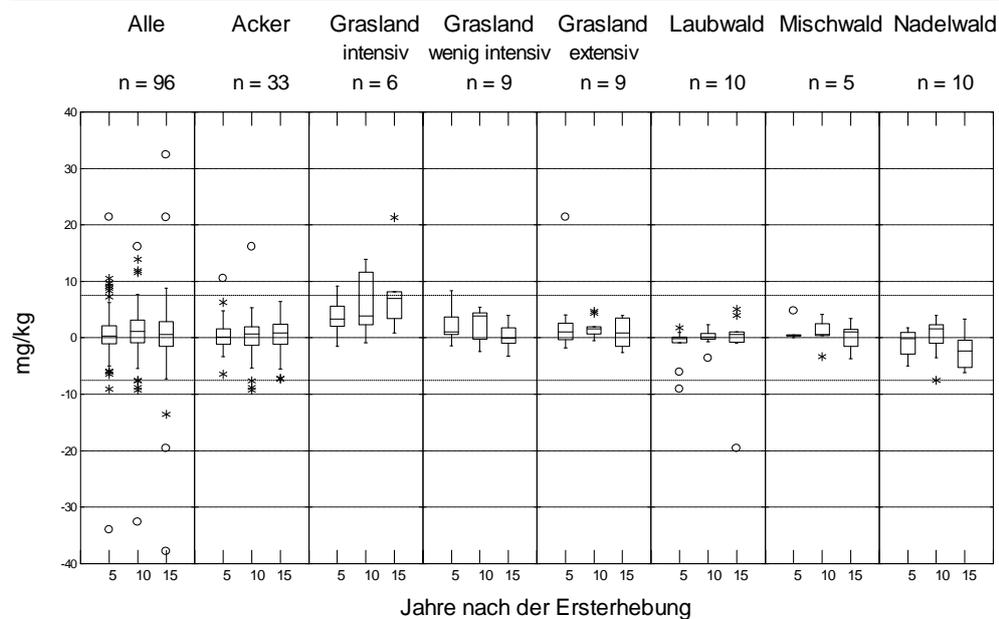
Veränderung Zink-Gehalte (Zn)

Über die 15 Jahre weist das Gesamtkollektiv aller 96 NABO-Referenzmessstandorte keine relevanten Veränderung auf (Abb. 32). Hingegen werden einzelne relevante Veränderungen bei allen Nutzungskategorien ausser unter Mischwald gemessen.

Analog zu Kupfer ist auch für Zink an den intensiv genutzten Graslandstandorten eine Zunahme im Verlauf der 15 Jahre festzustellen. An den wenig intensiv genutzten Graslandstandorten nehmen die Zink-Gehalte nach 10 Jahren zu, nach 15 Jahren dagegen wieder auf das Niveau der Ersterhebung ab.

Abb. 32 > Veränderung der Zn-Gehalte über 15 Jahre (mg/kg TS)

Veränderung der Zink-Gehalte 5, 10 und 15 Jahre nach der Ersterhebung an den 96 NABO-Referenzmessstandorten gruppiert nach den Landnutzungskategorien.

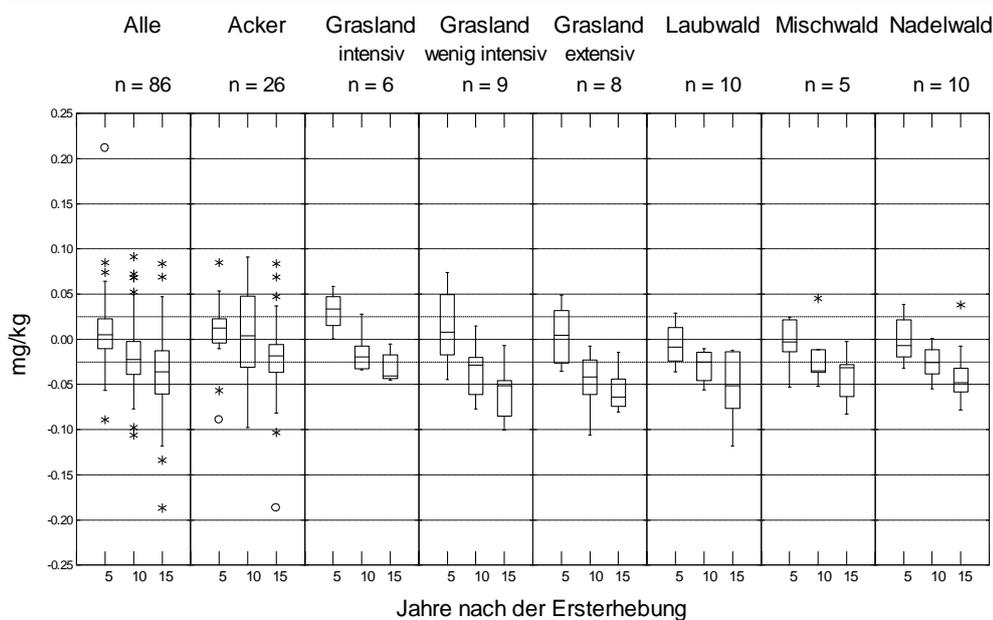


Veränderung Hg-Gehalte

Die Veränderungen der Quecksilber-Gehalte zeigen sowohl bezüglich der insgesamt 86 NABO-Referenzmessstandorte als auch stratifiziert nach den einzelnen Landnutzungskategorien ein nahezu identisches Bild (Abb. 33). Fünf Jahre nach der Ersterhebung sind die Gehalte im Mittel erhöht, nach 10 Jahren sinken sie jedoch wieder um nach 15 Jahren unter dem Wert der Ersterhebung zu liegen. Diese Abnahmen sind über die 15 Jahre meist grösser als 5 % des Richtwertes (siehe Kap. 2.5.2.2).

Abb. 33 Veränderung der Hg-Gehalte über 15 Jahre (mg/kg TS)

Veränderung der Quecksilber-Gehalte 5, 10 und 15 Jahre nach der Ersterhebung an den 86 NABO-Referenzmessstandorten gruppiert nach den Landnutzungskategorien. Aus reduziertem Datensatz: Es wurden nur Standorte berücksichtigt bei denen alle Werte > BG sind.

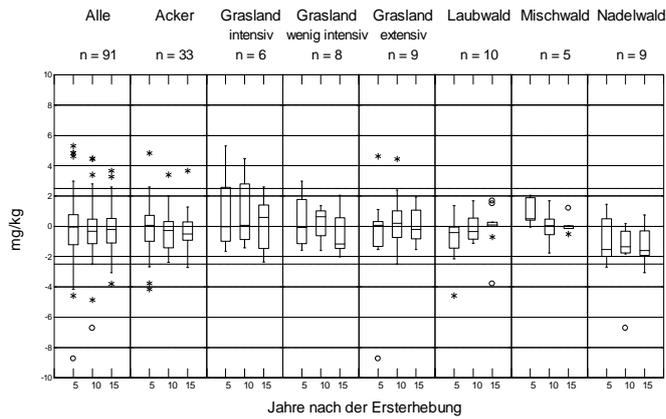


Outlier: -0,42 mg/kg, Standort 84 Rifferswil (Schutzstandort), Veränderung nach 15 Jahren

Die Gehalte der drei primär geogen geprägten Elemente Chrom, Nickel und Kobalt verändern sich im gesamten Datenkollektiv über die 15 Jahre nicht relevant (Abb. 34 bis Abb. 36). Den drei Elementen gemeinsam ist zudem, dass im Rahmen der Ersterhebung an den Nadelwaldstandorten im Mittel höhere Gehalte gemessen wurden als in den darauffolgenden Erhebungen. Für Nickel und Kobalt (Abb. 35 und Abb. 36) gilt diese Feststellung auch für die extensiv genutzten Graslandstandorte. Geringe Abnahmen für Nickel werden zudem auch an den intensiv genutzten Graslandstandorten festgestellt.

Abb. 34 > Veränderung der Cr-Gehalte über 15 Jahre (mg/kg TS)

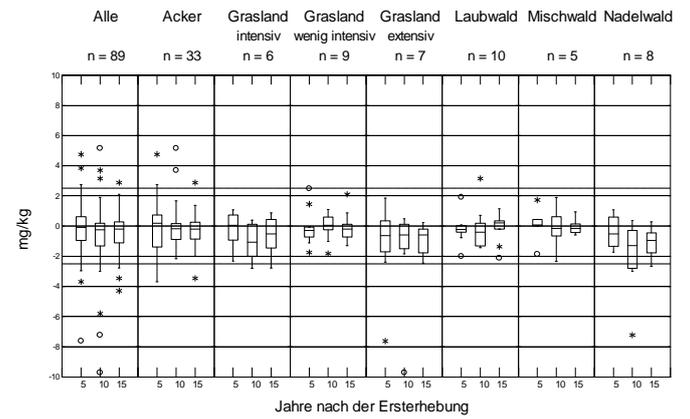
Aus reduziertem Datensatz: Es wurden nur Standorte berücksichtigt bei denen alle Werte > BG sind.



Outlier: 64,1 mg/kg, Standort 72 Bivio (Grasland extensiv), Veränderung nach 15 Jahren

Abb. 35 > Veränderung der Ni-Gehalte über 15 Jahre (mg/kg TS)

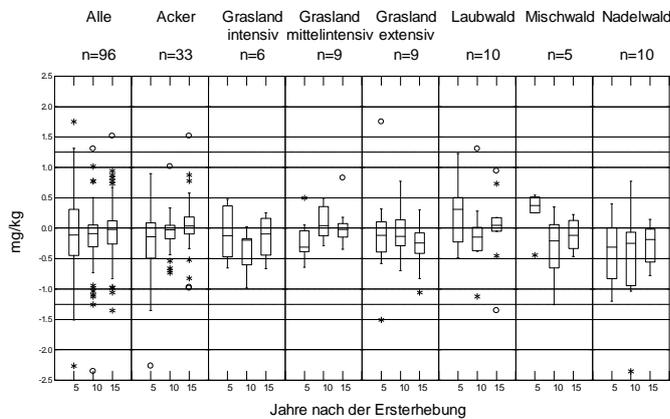
Aus reduziertem Datensatz: Es wurden nur Standorte berücksichtigt bei denen alle Werte > BG sind.



Outlier: -96,3 mg/kg, Standort 72 Bivio (Grasland extensiv), Veränderung nach 15 Jahren

Abb. 36 > Veränderung der Kobalt-Gehalte über 15 Jahre (mg/kg TS)

Aus reduziertem Datensatz: Es wurden nur Standorte berücksichtigt bei denen alle Werte > BG sind.

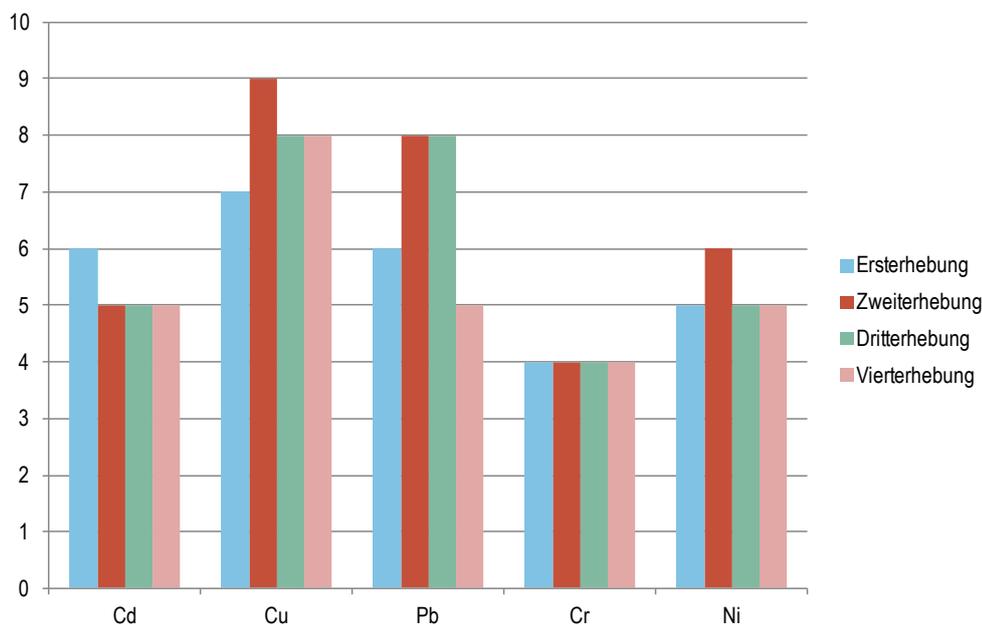


2.4.1.2 Veränderung der Richtwertüberschreitungen von der Erst- bis Vierterhebung

Die Anzahl der Richtwertüberschreitungen bleibt für alle untersuchten Elemente von der Erst- bis Vierterhebung praktisch konstant. Bei Cadmium treten an 5 NABO-Referenzmessstandorten (5% der Standorte) Richtwertüberschreitungen auf, die alle aufgrund der Rückstandsanreicherung durch Verwitterungsprozesse zustande kommen (Dubois et al. 2002, Prudente et al. 2002, Quezada-Hinjosa et al. 2009). Dagegen sind rund die Hälfte der Richtwertüberschreitungen von Kupfer auf anthropogene Quellen zurückzuführen. Dies gilt neben dem Stadtpark von Lugano insbesondere für die drei Rebbaustandorte. Die grösste Dynamik weist Blei auf. In der Ersterhebung weisen sechs Standorte, in der Zweit- und Dritterhebung jeweils acht Standorte (8%) und in der Vierterhebung noch fünf Standorte Richtwertüberschreitungen auf. Neben den 5 Standorten, die auch in der Vierterhebung Richtwertüberschreitungen aufweisen (siehe Tab. 9) sind dies die Schutzstandorte (Hochmoore) Nr. 84 Rifferswil und Nr. 89 St. Moritz, die beiden Waldstandorte Nr. 45 Alpthal und Nr. 83 Bachtel sowie Nr. 33 Mollis (siehe Anhang A5-2). Die beiden Elemente Chrom und Nickel weisen ausschliesslich gegen bedingte Richtwertüberschreitungen auf.

Abb. 37 > Anzahl NABO-Referenzmessstandorte mit Richtwertüberschreitungen in der Erst- bis Vierterhebung

n=96 für Cu, Pb, Cr und Ni, n=54 für Cd.



2.4.2 Bodenkennwerte

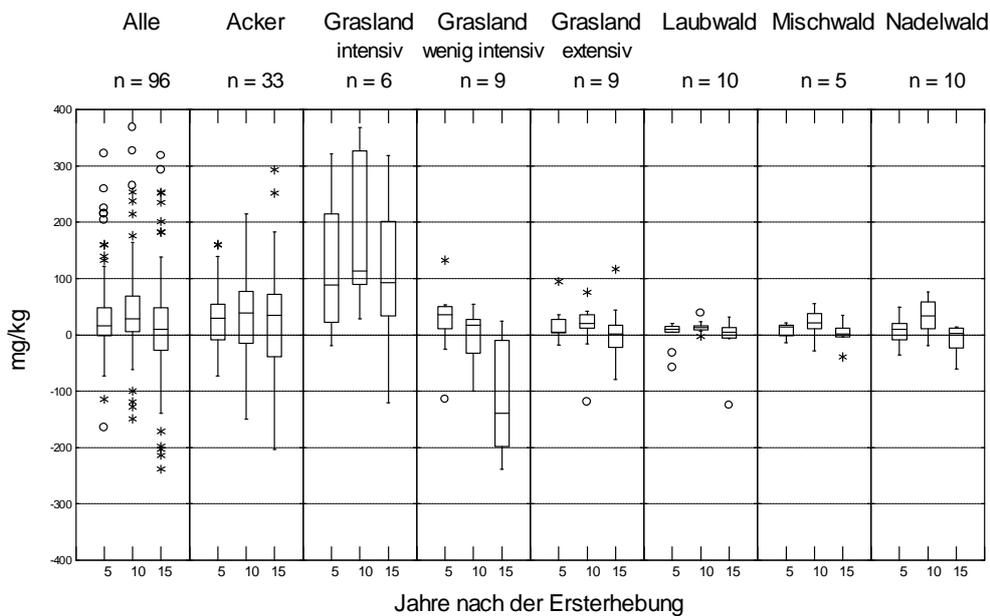
An allen NABO Referenzmessstandorten sind aus den vier Erhebungen auch die Bodenkenngrößen Phosphor-Gehalt, pH-Wert und organischer Kohlenstoffgehalt bestimmt worden. Die Ergebnisse der Vierterhebung sind in Kap. 2.3 dargestellt. Die aufgeführten pH- und C_{org} -Werte entsprechen den Anforderungen an den validierten Labordatensatz der anorganischen Schadstoffe, d. h. sie sind nicht referenziert. Die P-Auswertungen basieren auf dem zeitgleich gemessenen Datensatz.

2.4.2.1 Veränderung Phosphorgehalt

Der Phosphor-Gehalt ist ein Indikator für die Nährstoffgehalte des Bodens. Positive Veränderungen der gemessenen Gehalte über 15 Jahre weisen auf Nährstoffüberschüsse hin. Durch Hofdünger werden neben Nährstoffen wie Phosphor auch organischer Kohlenstoff sowie – je nach Zusammensetzung der Hofdünger – zum Teil erhebliche Mengen an Kupfer und Zink ausgebracht. Abb. 38 zeigt, dass vor allem an intensiv genutzten Graslandstandorten die P-Gehalte zunehmen. Die sinkenden P-Gehalte an wenig intensiv genutzten Graslandstandorten weisen auf eine Extensivierung in den letzten 15 Jahren hin.

Abb. 38 > Veränderungen der Phosphorgehalte ($HN\text{O}_3$) über 15 Jahre

Veränderung der Phosphorgehalte 5, 10 und 15 Jahre nach der Ersterhebung an den 96 NABO-Referenzmessstandorten gruppiert nach den Landnutzungskategorien.



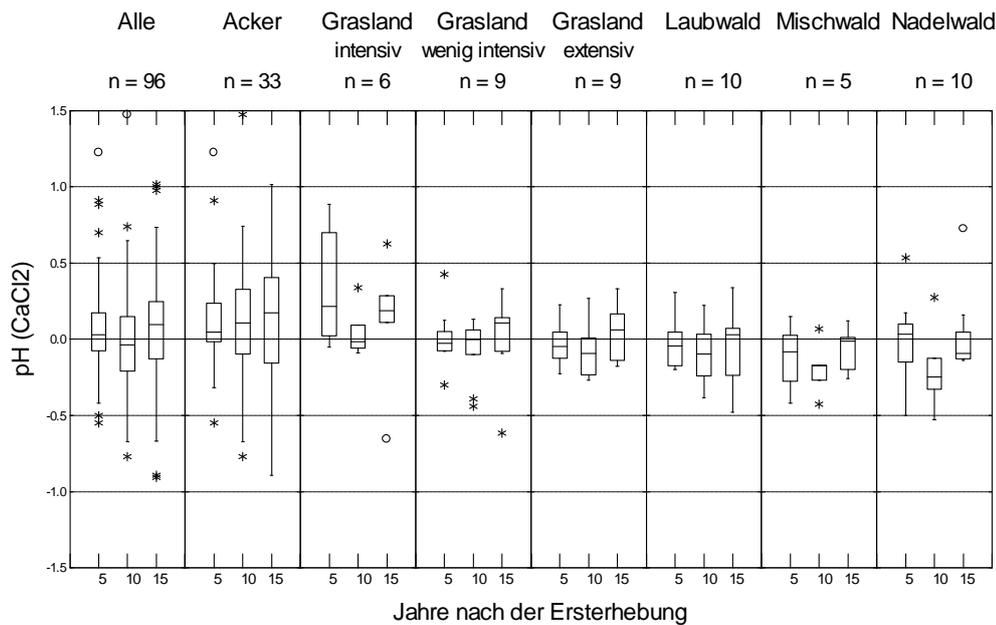
Outlier: 516,2 mg/kg, Standort 4 Conthey (Obstbau), Veränderung nach 5 Jahren

2.4.2.2 Veränderung Bodenacidität

Die Veränderung der gemessenen Bodenacidität 0–20 cm als pH (CaCl₂) sind in Abb. 39 dargestellt. Über alle 96 NABO-Referenzmesstandorte betrachtet, sind an 50 % der Standorte (Interquartilbereich) die pH-Veränderungen über 15 Jahre im Bereich von ± 0,25 pH-Einheiten, d. h. die Veränderungen sind sehr gering. An den 33 Ackerstandorten ist im Mittel eine leichte Erhöhung festzustellen. An den extensiv genutzten Graslandstandorten und den Waldstandorten, insbesondere bei Nadelwaldstandorten, fällt der pH-Wert nach 10 Jahren deutlich ab und steigt 15 Jahre nach der Ersterhebung wieder an. Dieser Verlauf wird auf unterschiedliche Bedingungen bei der Probenahme zurückgeführt (siehe Kap. 2.5.2).

Abb. 39 > Veränderung in der Bodenacidität (pH-Wert) über 15 Jahre

Veränderung der Bodenacidität (pH-Wert) 5, 10 und 15 Jahre nach der Ersterhebung an den 96 NABO-Referenzmesstandorten gruppiert nach den Landnutzungskategorien.



2.4.2.3 Veränderung organischer Kohlenstoffgehalt

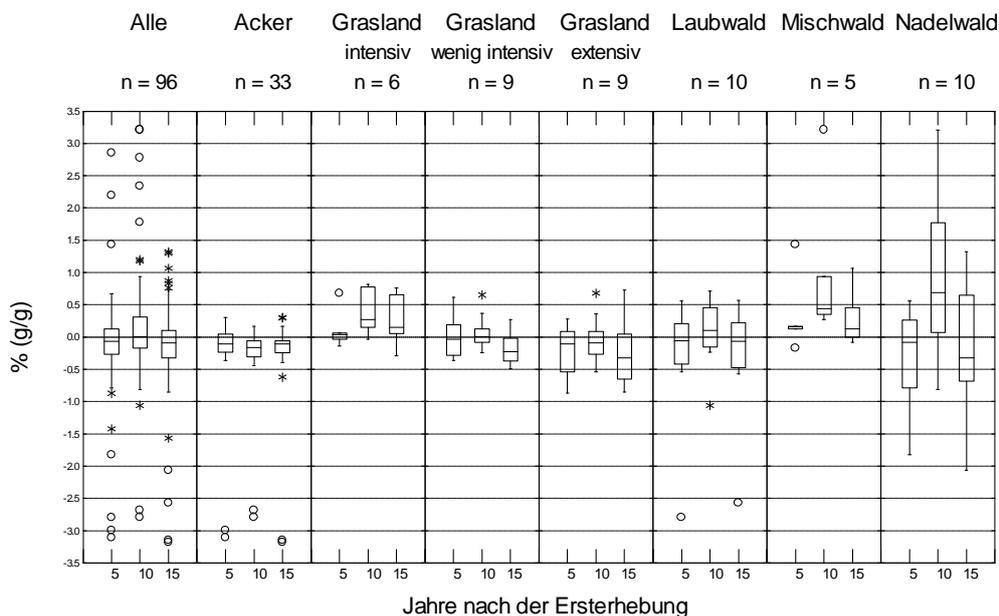
Während für das gesamte Datenkollektiv keine Veränderungen festzustellen sind (Abb. 40), weisen die Nadel- und Mischwaldstandorte zehn Jahre nach der Ersterhebung eine einmalige markante Zunahme auf. Dieser kurzfristige Anstieg in der Dritterhebung kann bei den meisten Standorten auch beim Blei (Abb. 31) und bei der Bodenacidität (Abb. 39) festgestellt werden und wird auf unterschiedliche Bedingungen bei der Probenahme zurückgeführt (siehe Kap. 2.5.2).

Die Entwicklung der Kohlenstoff-Gehalte an den NABO-Referenzmessstandorten weisen über die 15 Jahre über alle Standorte betrachtet weder eine Zu- noch eine Abnahme auf. Für die untersuchten Landnutzungen bewegen sich die Änderungen innerhalb von einigen wenigen Prozenten. Tendenziell nehmen die Kohlenstoff-Gehalte an den intensiv genutzten Graslandstandorten eher zu, während bei den extensiv genutzten Graslandstandorten eine Tendenz zur Abnahme feststellbar ist. Am markantesten sind die Schwankungen an den Nadelwaldstandorten aufgrund des Einflusses des Bodenzustandes bei der Probenahme (siehe Abb. 44).

Die Ergebnisse aus der NABO-Boden-Dauerbeobachtung, dass für alle Bodennutzungskategorien über die 15 Jahre betrachtet insgesamt keine relevanten Kohlenstoffabnahmen im Oberboden festzustellen sind, decken sich nicht mit den Ergebnissen aus anderen Mitteleuropäischen Ländern, in denen durchwegs relevante Abnahmen beobachtet werden (Bellamy et al. 2005, Goidts & van Wesemael 2007). Die Gründe für diese Unterschiede sind noch nicht vollständig geklärt. Ein möglicher Grund für die Unterschiede an Ackerstandorten ist die in der Schweiz übliche Fruchtfolge, die in der Regel eine ein- bis zweijährige Grünlandnutzung (sog. Kunstwiese) beinhaltet.

Abb. 40 > Veränderung organischer Kohlenstoffgehalt (% C_{org}) über 15 Jahre

Veränderung des organischen Kohlenstoff-Gehaltes (% C_{org}) 5, 10 und 15 Jahre nach der Ersterhebung an den 96 NABO-Referenzmessstandorten gruppiert nach den Landnutzungskategorien.



2.5 Ursachen gemessener Veränderungen

2.5.1 Effektive Veränderungen

Bei einer Zeitreihe mit nur vier Messzeitpunkten pro Standort besteht eine grosse Unsicherheit, die gemessenen Veränderungen richtig zu interpretieren und effektive Veränderungen von natürlichen Schwankungen und verfahrensbedingten Fehlern zu unterscheiden. Verändern sich die Gehalte monoton und relevant, steigt die Wahrscheinlichkeit, dass effektive Veränderungen vorliegen. Bleiben die Gehalte konstant auf gleichem Niveau, kann davon ausgegangen werden, dass keine relevanten Veränderungen vorliegen.

Die Interpretationssicherheit kann erhöht werden, wenn zusätzlich kausale Zusammenhänge zwischen den gemessenen Veränderungen der verschiedenen Erhebungen und den berechneten Stoffbilanzen nachgewiesen werden können. Im Weiteren sollte die Vergleichbarkeit der Proben durch plausible Verläufe der gemessenen Begleitparameter (pH-Wert, C_{org} , Phosphor-Gehalt, Raumgewicht) gewährleistet sein.

Bei einigen Standorten des NABO-Referenzmessnetzes können monotone und relevante Veränderungen der Schwermetallgehalte festgestellt werden. So werden an Standorten mit Intensivkulturen und an intensiv genutzten Graslandstandorten seit Beginn der Boden-Dauerbeobachtung Mitte der 1980er Jahre kontinuierliche Zunahmen der Kupfer- und/oder Zink-Gehalte gemessen.

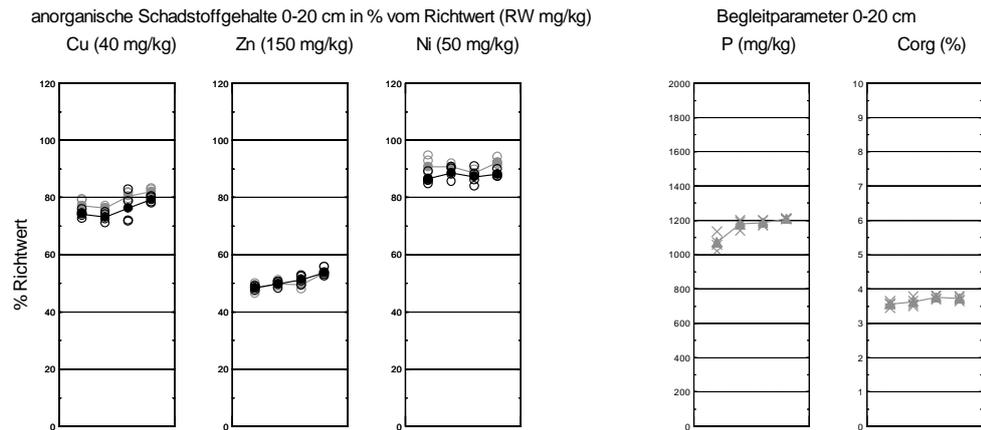
Wie in Kap 2.4.1.1 gezeigt, weisen die sechs intensiv genutzten Graslandstandorte über die vier Erhebungen gesehen einen generellen Anstieg der Kupfer- und Zink-Gehalte auf (Abb. 30 und Abb. 32). Dieser Anstieg ist besonders augenfällig an den Standorten Nr. 1, 60, 69 und 74 (siehe Anhang A4-3). In Abb. 41 sind die monotonen Zunahmen am Beispiel der beiden Standorte Nr. 1 Tänikon und Nr. 60 Entlebuch dargestellt. An beiden Standorten werden seit Mitte der 1980er Jahre relevante Zunahmen der Kupfer- und Zink-Gehalten von 5–10 % des Richtwertes gemessen. Im referenzierten Datensatz sind neben den Mittelwerten die Bestimmungswerte der vier Mischproben pro Erhebung eingetragen (schwarze, nicht ausgefüllte Symbole). Daraus geht hervor, dass vor allem am Standort Nr. 60 die Erhebungswerte eine sehr gute Wiederholpräzision aufweisen. Im Weiteren stimmen die Zeitreihen aus dem referenzierten und dem zeitgleich gemessenen Datensatz bei beiden Standorten sehr gut überein. Dies lässt auf eine grosse analytische Messsicherheit der gemessenen Zunahmen schliessen. Folglich kann von einer tatsächlichen Zunahme ausgegangen werden.

Die grossen Zunahmen der Kupfer-, Zink- und Phosphor-Gehalte weisen auf einen anthropogenen Eintrag durch Hofdünger (Gülle und Mist) hin. Die Zunahme des organischen Kohlenstoffgehaltes lässt sich auch durch die Hofdüngergaben erklären. Im Gegensatz dazu weist das geogen geprägte Element Nickel keine Veränderungen über die vier Erhebungen auf, was ebenfalls plausibel ist.

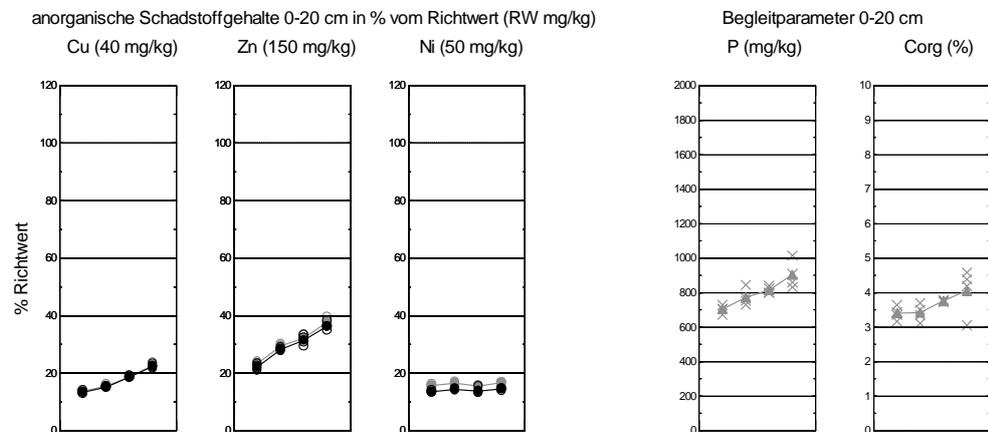
Abb. 41 Relevante Zunahmen an Kupfer (Cu), Zink (Zn) und Phosphor (P) – Beispiele

Beispiel signifikante Zunahme von Kupfer (Cu), Zink (Zn) und Phosphor (P) über 15 Jahre (Erst- bis Vierterhebung) sowie der stabile Verlauf des Schadstoffgehaltes Nickel (Ni) und des organischen Kohlenstoff-Gehaltes (C_{org}).

1 Aadorf / Tänikon TG, Grasland intensiv, 1989–2004



60 Entlebuch / Ebnet LU, Grasland intensiv, 1988–2003



referenzierte Werte = schwarz; zeitgleich gemessene Werte = grau; offene Symbole = Einzelwerte; geschlossene Symbole = Mittelwerte

Bei der Erst- und ab der Vierterhebung wurde das Raumgewicht 0–20 cm mittels Volumenproben bestimmt. Mit den Parametern Raumgewicht, das die Masse Feinerde pro Volumen angibt, und den Konzentrationswerten können die Vorräte 0–20 cm zum Zeitpunkt der Erhebungen und damit die durchschnittliche jährliche Veränderung berechnet werden. Da die Raumgewichtswerte bei der Ersterhebung (siehe Tab. 21) sehr gut mit den Werten der Vierterhebung übereinstimmen, können für die Standorte Nr. 1 Tänikon, Nr. 39 Kiesen, Nr. 60 Entlebuch und Nr. 74 Mörschwil die Veränderungen der Vorräte über 15 Jahre und daraus die mittleren jährlichen Veränderungen mit genügender Sicherheit abgeschätzt werden. In Tab. 21 sind die berechneten mittleren jährlichen Veränderungen für die Kupfer- Zink- und Phosphorvorräte sowie für den organischen Kohlenstoff zwischen der Erst- und Vierterhebung der intensiv genutzten Graslandstandorte dargestellt.

Tab. 21 Berechnete mittlere jährliche Veränderung der Vorräte an Cu, Zn, P und C_{org} zwischen Erst- und Vierterhebung an den intensiv genutzten Graslandstandorten*n.b. = nicht bestimmt.*

Standort Nr.	Raumgewicht g/cm ³		Veränderung Vorräte 0–20 cm pro Jahr, Periode Erst- bis Vierterhebung			
	Ersterhebung	Vierterhebung	Cu g/ha	Zn g/ha	P kg/ha	C _{org} kg/ha
1	1,04	1,02	271	1 109	18,7	215,8
30	1,05	1,03	-33	471	-16,5	-397,6
33	n.b.	0,79	87	94	33,8	808,1
60	1,07	1,02	489	2 889	27,3	883,5
69	1,26	1,00	465	759	6,5	177,8
74	0,96	0,91	112	994	4,1	66,9
Durchschnitt der sechs intensiv genutzten Graslandstandorte			232	1 053	12,3	292,4

Die Ergebnisse zeigen, dass an den Standorten Nr. 1 Tänikon, Nr. 33 Mollis, Nr. 60 und Nr. 74 Mörschwil im Mittel über 15 Jahre jährlich 230 g Kupfer, 1050 g Zink und 12 kg Phosphor in den obersten 20 cm des Bodens akkumuliert wurden. Wie aus den Ergebnissen der Stoffbilanzen für Parzellen der Nationalen Bodenbeobachtung (Keller et al. 2005) hervorgeht (NABO-Flux Standorte), weichen die berechneten Netto-Stoffflüsse für den Zeitraum von 1996 bis 2001 bei den einzelnen Standorten stark von den berechneten Veränderungen aus den gemessenen Gehalten ab.

Für Kupfer ergeben die Bilanzierungen aller intensiven Graslandstandorte eine mittlere jährliche Zunahme von 90 g/ha mit einem Schwankungsbereich von -67 bis 285 g/ha. Für Zink werden mittlere jährliche Zunahmen von 580 g/ha mit einem Schwankungsbereich von -32 bis 1610 g/ha berechnet. Bei der Bilanzierung werden Hofdünger (Gülle und Mist) als hauptsächliche Ausbringpfade für Kupfer und Zink durch kupfer- bzw. zinkhaltige Futtermittelzusatzstoffe festgestellt. Die Streuung der vorhandenen Konzentrationsangaben für Kupfer und Zink in den Hofdüngern trägt am meisten zur Unsicherheit der Nettobilanzierung bei. Dieser Unsicherheitsfaktor ist ein möglicher Grund für die teilweise geringe Übereinstimmung der Ergebnisse der vier Erhebungen (Direktes Monitoring) und den Bilanzierungen (Indirektes Monitoring). Ein weiterer möglicher Grund liegt darin, dass die Ergebnisse aus den beiden Methoden unterschiedliche Zeiträume beinhalten: 1985–1989 bis 2000–2004 für die Erhebungen, 1996 bis 2001 für die Bilanzierungen.

Nicht alle berechneten Nettoflüsse der Stoffbilanzierung der 46 NABO-Flux Standorte (Keller et al. 2005) können durch die Messwerte der vier Erhebungen bestätigt werden. Umgekehrt kann nicht bei allen monotonen und relevanten Konzentrationsveränderungen auch auf effektive Zu- oder Abnahmen geschlossen werden.

So können die aus den Stoffbilanzen für Rebbau-Parzellen der Nationalen Bodenbeobachtung berechneten starken positiven Nettoflüsse für Kupfer nur am Standort Nr. 101 Chamoson durch die Messwerte aus den ersten drei Erhebungen bestätigt werden. An den drei anderen Rebbaustandorten, deren Gehalte in den obersten 20 cm Boden 5- bis 22-fache Richtwertüberschreitungen aufweisen, ist davon auszugehen,

dass die gemessenen Gehaltsänderungen von z. T. über 40 mg/kg zwischen einzelnen Erhebungen durch Eingriffe in den Bodenaufbau (Terrassierungen) oder durch Effekte der Probenahme verursacht wurden. Effektive Anreicherungen, die aufgrund der positiven Stoffbilanzen zu erwarten sind, lassen sich dadurch nicht ausweisen.

Relevante monotone Abnahmen der Kupfer-Gehalte werden an den Ackerstandorten Nr. 15 Ins, Nr. 77 Paspels und Nr. 95 Coldrerio festgestellt. Die Gehalte sind bei diesen drei Standorten generell hoch, das heisst über bzw. im Bereich des Richtwertes der VBBo. Am Standort Nr. 95 wird der Richtwert in der Vierterhebung zum ersten Mal unterschritten. Die gemessene Abnahme steht jedoch im Widerspruch zu den berechneten positiven Nettoflüssen in der Stoffbilanz.

Für Blei zeigen die Zeitreihen der beiden Stadtparkstandorte Nr. 61 Winterthur und Nr. 97 Lugano über 15 Jahre relevante Abnahmen von bis zu 20 % des Richtwertes (10 mg/kg) und für Zink und Cadmium Abnahmen um je 5 % des Richtwertes (7,5 bzw. 0,04 mg/kg) (siehe Anhang A5-1 und A5-2). Die gemessenen Abnahmen sind jedoch mit grosser Vorsicht zu interpretieren. So korrelieren beim Standort Nr. 97 Lugano die Blei-, Zink- und Cadmium-Gehalte mit dem organischen Kohlenstoffgehalt (C_{org}), was auf mögliche methodisch bedingte Veränderungen (Effekte der Probenahme) hinweist (siehe Kap. 2.5.2).

2.5.2 Methodisch bedingte Veränderungen

2.5.2.1 Effekte der Probenahme und des Bodenzustandes

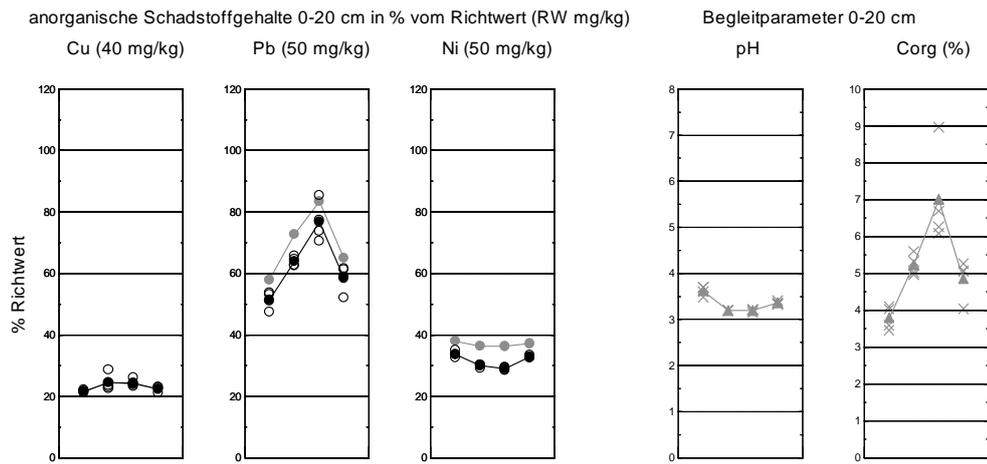
Bei Waldstandorten, die einen Auflagehorizont und in den obersten Bodenschichten eine ausgeprägte, abrupte Horizontierung mit einem sehr starken Gradienten bezüglich Blei-Gehalt und organischem Kohlenstoff haben, werden bei einzelnen Erhebungen grosse, nicht plausible Konzentrationsveränderungen der Blei-Gehalte gemessen. Parallel dazu verändert sich in diesen Proben auch der Gehalt an organischem Kohlenstoff. Dies weist auf Effekte bei der Probenahme wie z. B. unterschiedliche Bodenzustände zum Zeitpunkt der verschiedenen Probenahme Zeitpunkte hin. In Abb. 42 wird dieser Zusammenhang am Beispiel der Standorte Nr. 18 Langenthal und Nr. 83 Wald aufgezeigt. An beiden Standorten wurde bei der Profiluntersuchung im Rahmen der Ersterhebung im Auflagehorizont der vierfache Pb- und C_{org} -Gehalt im Vergleich zum Gehalt in 20 cm Tiefe gemessen (Desaules & Studer 1993).

Am Standort Nr. 18 nehmen die Blei-Gehalte im Laufe von zehn Jahren (Erst- bis Dritterhebung), am Standort Nr. 83 innerhalb von fünf Jahren um 30 % des Richtwertes zu, um nach weiteren fünf Jahren wieder um 20 % bzw. beinahe 40 % des Richtwertes abzunehmen. Im gleichen Masse veränderten sich auch die Gehalte des organischen Kohlenstoffes in diesen Proben. Die Elemente Kupfer und Nickel sowie der pH-Wert, die keine ausgeprägten Tiefengradienten aufweisen, bleiben über die 15 Jahre mehr oder weniger konstant.

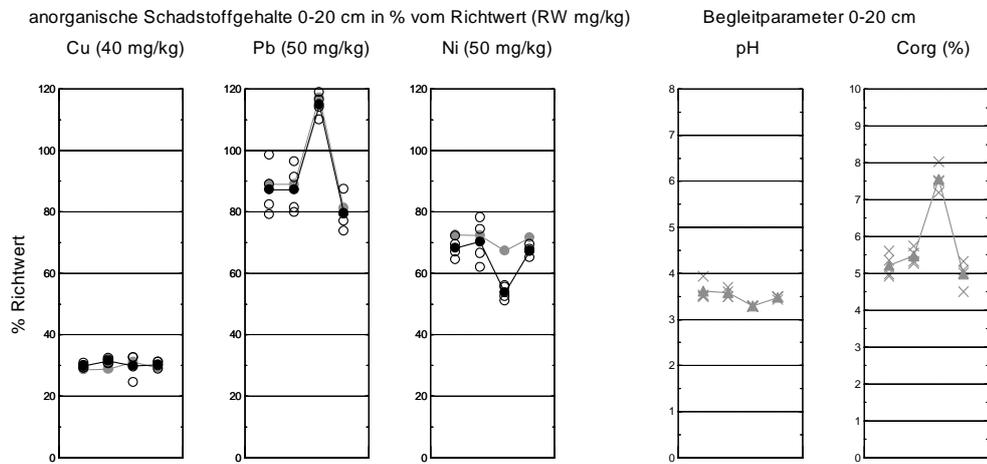
Abb. 42 Korrelationen in den zeitlichen Verläufen von Blei und C_{org}

Beispiel der starken Korrelation der Veränderungen von Blei (Pb) und organischem Kohlenstoff (C_{org}) bei Waldstandorten mit organischer Auflage.

18 Langenthal / Riedhof BE, Mischwald, 1989–2004



83 Wald / Bachtel ZH, Nadelwald, 1988–2003



referenzierte Werte = schwarz; zeitgleich gemessene Werte = grau; offene Symbole = Einzelwerte; geschlossene Symbole = Mittelwerte

Solch enorme Gehaltsveränderungen in den verschiedenen Erhebungen lassen sich z. B. durch eine unterschiedliche Zusammensetzung der Bodenproben erklären. Dies wird in Abb. 43 verdeutlicht. Werden die Proben bei feuchtem Bodenzustand im gequollenen Boden entnommen (Abb. 43, Darstellung rechts), wird bei der Probenahme 0–20 cm ein geringerer Anteil der tieferen Bodenschichten erfasst als bei trockenen Bedingungen im geschrumpften Boden (Abb. 43, Darstellung links). Wie in Abb. 43 dargestellt, ist das Element Blei vorwiegend im Auflagehorizont und im Ah-Horizont in hohen Konzentrationen vorhanden. Die eingeschränkte Vergleichbarkeit der Proben 0–20 cm desselben Standortes bei stark unterschiedlichem Bodenzustand (Bodenfeuchte) führt zur Folgerung, dass der Zustand (Bodenfeuchte und Raumgewicht) in einem Boden-Dauerbeobachtungsprogramm bei jeder Erhebung erfasst werden muss.

Abb. 43 > Auswirkungen des Bodenzustandes auf die Zusammensetzung von Proben

Auswirkungen des Bodenzustandes auf die Zusammensetzung von Proben 0–20 cm und deren Gehalte, links für den trockenen, rechts für den feuchten Bodenzustand.

Trockener Boden							Feuchter Boden								
Tiefe cm u.T. 0	Horizont	Gehalte pro Horizont			Gehalte 0–20 cm trockener Boden			Tiefe cm u.T. 0	Horizont	Gehalte pro Horizont			Gehalte 0–20 cm feuchter Boden		
		Pb (mg/kg)	Corg %	RG (g/cm ³)	Pb (mg/kg)	Corg %	RG (g/cm ³)			Pb (mg/kg)	Corg %	RG (g/cm ³)	Pb (mg/kg)	Corg %	RG (g/cm ³)
6	Of	62.4	19.5	0.21	43.8	5.0	0.44	8	Of	62.4	19.5	0.16	53.8	6.4	0.32
14	Ah	62.4	3.5	0.48				18	Ah	62.4	3.5	0.38			
20	AB	17.8	1.5	0.61				20	AB	17.8	1.5	0.61			
24	AB	17.8	1.5	0.61				28	AB	17.8	1.5	0.61			
30	Bt	10.0	0.5	1.52				30	Bt	10.0	0.5	1.52			

2.5.2.2 Effekte unterschiedlicher Probenvorbereitung

Die Effekte einer unterschiedlichen Probenvorbereitung haben sich vor allem beim leichtflüchtigen Quecksilber manifestiert. Im Rahmen einer methodischen Abklärung (Schwab et al. 2002) wurde erkannt, dass die Probentrocknung (Temperatur und Trocknungsdauer) einen entscheidenden Einfluss auf die Reproduzierbarkeit der Quecksilber-Analyse aufweist. Bei einer längeren Trocknungsdauer wurden in den Proben höhere Quecksilbergehalte gemessen. Als mögliche Ursache wurde eine sekundäre Adsorption von flüchtigem Quecksilber aus der Umluft durch trockene Bodenproben angenommen. Der Einfluss der Trocknungsdauer bei standardisierten 40 °C Trocknungstemperatur auf die Quecksilber-Gehalte wurde auch in der Untersuchung von Desaulles et al. (2004) bestätigt.

Die generell abnehmenden Quecksilbergehalte ab der Dritterhebung lassen sich durch eine kürzere Trocknungsdauer erklären. Erst ab der Vierterhebung wurde die Trocknungsdauer protokolliert und generell auf 48 Stunden standardisiert. Wie aus einzelnen Aufzeichnungen hervorgeht, wurden die Proben davor oft fünf, sechs Tage oder länger bei 40 °C getrocknet.

Neben diesen bekannten Effekten kann angenommen werden, dass Unterschiede in anderen Teilschritten der physikalischen Probenvorbereitung (siehe Abb. 5) die gemessenen Gehalte beeinflussen können. So kann angenommen werden, dass je nach Zustand der Bodenproben (Bodenfeuchte, Gefügestand) die Qualität der Handauslese des Bodenskelettes (Steine und Kies) beeinflussen. Unterschiedliche Anteile an Skelettfragmenten oder organischen Bestandteilen in der Probe sowie Staubverluste bei der Zerkleinerung, beim Sieben und Teilen können die Zusammensetzung der Probe und damit die Gehalte verändern.

2.5.2.3 Lagerungseffekte

Wie in Kap. 2.2 beschrieben, gibt es starke Indizien dafür, dass der messbare Quecksilber-Anteil in den Archivproben im Verlauf der Zeit abnimmt. Dies führt dazu, dass die referenzierten Werte verglichen mit den zeitgleich gemessenen Werten tiefer liegen (siehe Abb. 28).

2.5.2.4 Laboreffekte

Im Verlauf der vier Erhebungen haben verschiedene Gerätewechsel stattgefunden (siehe Kap. 1.2.6), die mit Veränderungen der Bestimmungsgrenzen (Tab. 3) verbunden waren. Gegenüber der für die Referenzierung wichtigen Ersterhebung konnten die Bestimmungsgrenzen für Kupfer, Blei, Chrom und Nickel zum Teil erheblich gesenkt werden. Für Cadmium, Zink, Quecksilber und Kobalt dagegen fand durch die Umstellung auf ICP-AES eine Erhöhung der Bestimmungsgrenzen statt. Dies hat sich vor allem für Cadmium und Quecksilber nachteilig ausgewirkt, da nun verschiedene Standorte Gehalte unter der Bestimmungsgrenze aufweisen und somit nicht ausgewertet werden können.

Wie die Ergebnisse in diesem Bericht zeigen, lassen sich durch die Referenzierung der Analysenresultate Laboreffekte weitgehend eliminieren. Das heisst, dass Veränderungen in der chemischen Probenaufbereitung und Unterschiede in der Analytik zu verschiedenen Erhebungszeitpunkten durch das Referenzierungssystem korrigiert werden können.

3 > Folgerungen

3.1 Anforderungen an den Messprozess in der Boden-Dauerbeobachtung

Damit die Daten die an sie gestellten Anforderungen auch tatsächlich erfüllen können, ist der gesamte Messprozess so weit als möglich zu standardisieren und zu dokumentieren. Darüber hinaus müssen von sämtlichen Teilprozessen (siehe Abb. 5) umfassende Unsicherheitsanalysen durchgeführt werden.

Im Verlauf der knapp 30-jährigen Boden-Dauerbeobachtung in der NABO sind diverse ergänzende Studien und periodische Auswertungen durchgeführt worden (siehe Kap. 1.2.3). Die daraus gewonnenen Erkenntnisse zur Verbesserung der Qualität des Messprozesses wurden laufend integriert und haben damit die Aussagekraft im NABO-Referenzmessnetz sukzessive erhöht.

3.1.1 Vergleichbarkeit der Bodenproben eines Standortes (Ort, Raum, Zustand, Zeit)

Die Vergleichbarkeit der Probenahme am Standort in horizontaler Ausrichtung ist durch die Einmessung und den definierten Raster des Probenplanes gewährleistet. Die Ergebnisse in Kap. 2.1 zeigen, dass die Standortwiederholpräzision (siehe Kap. 1.2.4.6) und Probenwiederholpräzision (siehe Kap. 1.2.4.5) sehr gut und über die Zeit konstant sind (Abb. 23). Die Vergleichbarkeit des beobachteten Raumes, der durch die NABO Probenahme eingenommen wird, ist durch die Probenbegrenzung in die Tiefe – Vorgabe: 20 cm ab Oberkante Terrain – stark vom Zustand des Bodens zum Zeitpunkt der Probenahme abhängig. Die Gewährleistung dieser Vergleichbarkeit über verschiedene Erhebungen ist vor allem dann massgebend, wenn die vertikale Verteilung des zu untersuchenden Parameters sehr heterogen ist, d. h. ein ausgeprägter Tiefengradient vorliegt. Damit in der Boden-Dauerbeobachtung die massenbezogene Vergleichbarkeit des beobachteten Bodens über die Zeit gewährleistet werden kann, sind Begleitparameter wie Raumgewicht, Wassergehalt sowie Probenmenge bei jeder Erhebung zu erfassen und zu dokumentieren.

Die Bodenkennwerte Phosphat-Gehalt, pH-Wert und organischer Kohlenstoffgehalt können nur bedingt zur Vergleichbarkeit des beobachteten Raumes beigezogen werden, da sie als variable Parameter ebenfalls eine zeitliche Veränderung aufweisen können und somit selber zum Gegenstand der Langzeitbeobachtung werden. Sie sind jedoch wichtige Begleitparameter zur Beschreibung von ökologisch relevanten Bodeneigenschaften.

Nur mit gemessenen Begleitparametern und bekannten Tiefengradienten kann der Einfluss unterschiedlicher Bodenzustände erfasst und unterschiedliche Verhältnisse bei der Probenahme ausgewiesen werden. Allenfalls müssen gemessene Gehalte aufgrund dieser methodisch bedingten Änderungen für Zeitreihenanalysen korrigiert werden.

In der NABO wird das Raumgewicht Feinerde und damit der Skelett- und Wassergehalt in den Flächenmischproben 0–20 cm aufgrund dieser Erfahrungen seit 2003 als wichtiger Begleitparameter zur Vergleichbarkeit der Proben aus zusätzlichen Volumenproben bestimmt. Nur bei gleichem Raumgewicht kann davon ausgegangen werden, dass die gleiche Bodenmasse und damit vergleichbare Proben vorliegen.

Bereits seit Beginn der Vierterhebung, d. h. seit 2000, werden bei jeder Erhebung der Zustand des Bodens bei der Probenahme protokolliert, die Probenmenge und der Wassergehalt der Flächenmischproben bestimmt und diese Metadaten in der Datenbank erfasst.

3.1.2 Vergleichbarkeit der Probenbehandlung

Eine vereinheitlichte Probenbehandlung ist die Grundvoraussetzung für die Bodendauerbeobachtung. Insbesondere ist die Probentrocknung (Temperatur und Trocknungsdauer) zu standardisieren und zu dokumentieren, da sowohl die Temperatur als auch die Trocknungsdauer einen entscheidenden Einfluss auf die Reproduzierbarkeit der Analysen (z. B. von Quecksilber) aufweisen können.

Damit die Rückverfolgbarkeit der einzelnen Arbeitsschritte und die Vergleichbarkeit der Probenvorbereitungen gewährleistet ist, müssen Masse und Zusammensetzung des Siebrückstandes sowie die einzelnen Massenverluste in der gesamten Prozesskette von der feldfrischen Probe bis zur Archivprobe festgehalten werden. Auf der anderen Seite ermöglichen es solche Begleitparameter unterschiedliche Probenbehandlungen in den verschiedenen Erhebungen nachzuweisen und nachträglich mögliche Gründe für nicht erklärbare Gehaltsveränderungen zu liefern.

Seit Beginn der Probenahme im Projekt Varitemp (Desaules et al. 2004) im Jahr 1999 werden in der NABO die Metadaten der Probenvorbereitung erhoben und in der Datenbank festgehalten. In der NABO ist die Trocknungstemperatur seit Beginn bei 40 °C festgelegt, die Trocknungsdauer wird aber erst seit 2001 systematisch erfasst und in der Datenbank dokumentiert. Seit 2002 ist die Trocknungsdauer standardisiert auf 48 Stunden bei 40 °C Umluft im Trockenschrank festgelegt. Allfällige Abweichungen werden in der Datenbank festgehalten.

3.1.3 Nachweis der Messbeständigkeit und Gewährleistung der analytischen Vergleichbarkeit

Kernstück für die korrekte Interpretation der Zeitreihen im Rahmen der Bodendauerbeobachtung ist, dass die Messbeständigkeit der Labormethoden (Probenaufbereitung und Messung) über die Zeit (mehrere Jahrzehnte) gewährleistet ist, bzw. dass bei Abweichungen die analytische Vergleichbarkeit durch standardisierte Korrekturalgorithmen gewährleistet bleibt. Nur so kann ausgeschlossen werden, dass die gemessenen Veränderungen auf Grund von Laboreffekten (Artefakten der Bestimmungsmethoden) verursacht werden. Die Ergebnisse der Wiederholbarkeit und der Messbeständigkeit (Kap. 2.1) zeigen, dass die mittlere Probenahmewiederholpräzision mit Variationskoeffizienten im Bereich von 2–3 % im Allgemeinen sehr gut ist. Dagegen

zeigen die Ergebnisse in Kap. 2.1.1 (Abb. 14), dass die Variationskoeffizienten in der Analytik über die vier Erhebungen im Bereich von 5 % (Zn) bis 15 % (Co) liegen.

Die eingeschränkte Messbeständigkeit über die Zeit kommt auch im Kap. 2.2 (Abb. 24 und Abb. 25) zum Ausdruck. Die Verläufe der Labordatensätze und der zeitgleich gemessenen Datensätze weichen zum Teil erheblich voneinander ab.

Die Ergebnisse in Abb. 24 und Abb. 25 sowie Abb. 26 und Abb. 27 zeigen, dass durch die Referenzierung eine Synchronisierung der referenzierten und zeitgleichen Datensätzen erreicht wird. Basierend auf dieser relativen Messbeständigkeit, die die Konzentrationsveränderungen korrekt wiedergibt, beruht das in der NABO angewendete Referenzierungssystem. Damit auch die absolute Messbeständigkeit gewährleistet ist, müssten die Messungen mit stabilen und zertifizierten Proben verglichen und normiert werden.

Da bei der Vierterhebung alle Proben zeitgleich gemessen wurden, können in Zukunft sämtliche Proben der Erst- bis Vierterhebung als Referenzmaterial verwendet werden. Dies erlaubt die Schonung der schwindenden Menge des wertvollen Probenmaterials der Ersterhebung.

3.2 Messprogramm

Erstmals werden neben den Totalgehalten gemäss VBBo für die Elemente Cd, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb und Zn sowie Co auch die Begleitparameter Phosphat-Gehalt (HNO_3 -Auszug) und der Säuregehalt (pH-Wert) sowie der organische Kohlenstoffgehalt in die Berichterstattung aufgenommen. Diese Bodenkennwerte stellen einen wichtigen Bestandteil einer integralen Berichterstattung dar. Einerseits sind sie für die ökologische Interpretation der Zustandsveränderungen von grosser Wichtigkeit und andererseits stellen sie zum jetzigen Zeitpunkt das einzige belastbare Beurteilungskriterium zur Vergleichbarkeit der Proben eines Standortes über die Zeit dar. Mit Hilfe der Bodenkennwerte lassen sich sowohl nicht plausible Veränderungen als auch mögliche Ursachen von Gehaltsveränderungen nachweisen (siehe Kap. 2.4 und 4.1).

3.3 Zustand des Messnetzes bei der Vierterhebung

In der VBBo sind die zur Beurteilung der Schadstoffgehalte festgelegten Richt-, Prüf- und Sanierungswerte ohne Berücksichtigung der Quelle aufgeführt. Werden Richtwerte überschritten, ist dies ein erster Hinweis auf eine mögliche anthropogene Beeinträchtigung der Bodenfruchtbarkeit. Von den 101 im Rahmen der Vierterhebung analysierten Standorten weisen 22 mindestens eine Richtwertüberschreitung auf, davon liegt bei 13 dieser Standorte die vermutete Hauptursache im geologischen Ausgangsgestein. So werden für die Elemente Cadmium, Chrom und Nickel ausschliesslich geogene Ursachen angenommen. Dagegen sind für Kupfer und Blei primär anthropogene Quellen anzunehmen. Im Fall von Kupfer steht der langjährige Pflanzenschutzmitteleinsatz in Rebbergen und Spezialkulturen im Vordergrund. Die drei Rebbaustandorte weisen

Gehalte auf, die über dem Prüfwert für Futterpflanzenanbau liegen. Im Falle von Umnutzungen ist dies zu berücksichtigen. Richtwertüberschreitungen bei Blei kommen durch diffuse Quellen in Siedlungsgebieten zustande. Ein NABO-Referenzmessstandort liegt in einem ehemaligen Schiessgebiet des Militärs und weist deshalb erhöhte Blei-Gehalte auf.

3.4 Zeitliche Entwicklung

Generell kann festgehalten werden, dass über 15 Jahre keine namhaften Zunahmen in den Gehalten der untersuchten anorganischen Schadstoffen mit Ausnahme von Kupfer festgestellt werden. Die den letzten Jahren getroffenen Umweltschutzmassnahmen wie z. B. das Verbot von verbleitem Benzin (1.1.2000), das Klärschlammasbringungsverbot (1.10.2006) und der Einbau von Filteranlagen in Kehrverbrennungsanlagen zur Vermeidung von Schwermetallkontaminationen in den Böden haben gegriffen. Die Blei- und Cadmiumgehalte im Schwebstaub in der Schweiz nehmen seit anfangs der 1990er Jahre bis heute kontinuierlich ab (BAFU 2011).

Nach der Vierterhebung können bei einzelnen Standorten erstmals mögliche Gehaltsveränderungen mit einer gewissen Aussagesicherheit nachgewiesen werden. So können bei den intensiv genutzten Graslandstandorten des NABO-Referenzmessnetzes die gemessenen Zunahmen der Kupfer- und Zink-Gehalte mit grosser Wahrscheinlichkeit als effektive Veränderungen betrachtet werden (siehe Abb. 30, Abb. 32 und Abb. 41). Diese Beobachtungen werden durch die Tatsache erhärtet, dass bei diesen Standorten über die Beobachtungszeit von 15 Jahren monotone und relevante Zunahmen gemessen wurden und die gesamthafte Betrachtung der sechs intensiv genutzten Standorte insgesamt eine deutliche Zunahme der Kupfer- und Zink-Gehalte über die vier Erhebungen aufzeigt. Die an diesen Standorten erhobenen Stofffluss-Bilanzierungen im Zeitraum von 1996 bis 2001 bestätigen die in den Bodenproben gemessenen Zunahmen, wenn auch nicht im selben Ausmass. Als Quellen können gemäss dieser Bilanzierungsstudie kupfer- und zinkhaltige Futtermittelzusätze angenommen werden, die über Hofdünger in den Boden gelangen. Diese These wird durch die Zunahme der Phosphor-Gehalte an den meisten dieser Standorte unterstützt, da diese Anreicherungen auf hohe Frachten durch Hofdünger hinweisen.

Um die Ursachen und relevanten Bodenprozesse der gemessenen zeitlichen Veränderungen (direktes Monitoring) identifizieren und erkennen zu können, werden im indirekten Monitoring die Stoffeinträge und -austräge sowie Bodenprozesse modelliert. Als erste Herangehensweise kann dies mit einer vereinfachten Oberflächenbilanz (Keller 2005) geschehen, die lediglich die Ein- und Austräge berücksichtigt und nur näherungsweise mögliche Zunahmen von Vorräten in Böden erfasst. Für eine genauere Ursachenabklärung und Erstellung von zeitlichen Prognosen sind Boden-Prozessmodelle erforderlich, wie sie derzeit im indirekten Monitoring angewendet und kalibriert werden. Diese Modelle berücksichtigen auch Prozesse wie den Wasserhaushalt, Sorption und Desorption von Stoffen in Böden, unterschiedliche chemische Fraktionen, Verlagerung, Oberflächenabfluss, Bioturbation und andere, die für den langfristigen Verbleib von chemischen Elementen im Boden bedeutsam sind. Der Eintrag von Kupfer- und Zink über Hofdünger, oder von Cadmium über mineralische Phosphor-

dünger, sind seit langem bekannt. Die Kombination von direktem und indirektem Monitoring zeigt, welche langfristigen Einträge mit welcher Wiederfindungsrate zu welcher stofflichen Akkumulation oder Abnahme führen. Nicht jeder erhöhte Stoffeintrag führt zwangsläufig zu einer Akkumulation im Oberboden. Zudem können mit den Prozessmodellen im indirekten Monitoring die Unsicherheiten der Vorhersagen ausgewiesen werden.

4 > Ausblick

4.1 Messnetzergänzung

Das NABO-Referenzmessnetz wurde Mitte der 1980er Jahre nach einem Rahmenkonzept erstellt und seither praktisch unverändert belassen. In den letzten Jahren sind neue Fragestellungen wie Klimawandel, Landnutzungsänderung, Biodiversität und Naturgefahrenprävention in den Vordergrund gerückt, die im Rahmen der Umweltbeobachtung, in der die NABO ein wichtiger Bestandteil ist, beantwortet werden müssen. Folglich muss die NABO diesen veränderten Rahmenbedingungen angepasst werden. Nur so kann sie den Anforderungen der nationalen Umweltberichterstattung gemäss NUS Parameterliste Boden und auch dem internationalen Reporting gerecht werden. Die im Rahmen der NABO-Messnetzoptimierung geplanten Anpassungen beziehen sich sowohl auf die zu untersuchenden Messparameter als auch auf die Anzahl und Verteilung der Standorte im NABO-Referenzmessnetz.

4.1.1 Erweiterung Messparameter

Bodenchemische Parameter

Im Hinblick auf die Fragen im Zusammenhang mit dem Klimawandel werden die NABO-Volumenproben 0–20 cm seit Beginn der Sechsterhebung zusätzlich mittels Verbrennungsanalyse auf den Kohlenstoff- und Stickstoff-Gehalt hin analysiert. Aufgrund des Volumenbezugs kann daraus der C- und N-Vorrat berechnet werden und allfällige negative Veränderungen (C- resp. N-Quellen) frühzeitig erkannt werden. Dies wird besonders dann relevant, wenn sich die Schweiz in Zukunft entschliesst, neben Wald- auch Landwirtschaftsböden im Rahmen des nationalen Treibhausgasreportings (FOEN 2011) als CO₂-Quellen/Senken sich anrechnen zu lassen.

Die Unzulänglichkeiten des sogenannten Totalgehaltes gemäss VBBo sind bekannt. Für eine bessere Vergleichbarkeit auch mit internationalen Boden-Dauerbeobachtungsprogrammen soll geprüft werden, ob die Analysen mittelfristig nicht mittels Röntgenfluoreszenzanalyse durchgeführt werden können. Diese hat den Vorteil, dass die Laborprobe (z. B. Tablette) über lange Zeiträume (Jahrzehnte) gelagert und bei Bedarf wieder analysiert werden kann und dass weniger Bodenmaterial für die Analytik benötigt wird. Auf der andern Seite fehlen in der NABO Angaben zu pflanzenverfügbaren Gehalten im Boden. Der in der VBBo aufgeführte Natriumnitrat-Auszug ist für pH-Verhältnisse > 5 nicht geeignet, da die Gehalte i.d.R. unter der Bestimmungsgrenze liegen.

Neben den bisher gemessenen organischen Verbindungen PAK und PCB und an ausgewählten Standorten Pflanzenschutzmittel ist das Augenmerk in Zukunft neben den

Pflanzenschutzmitteln auf ausgewählte persistente organische Schadstoffe (POP) sowie Tierarzneimittelwirkstoffe zu legen.

Bodenphysikalische Parameter

Durch den Einsatz von immer schwereren Maschinen ist der Boden sowohl in der Landwirtschaft als auch in der Forstwirtschaft einer zunehmenden mechanischen Belastung ausgesetzt. Im Hinblick auf die nachhaltige Nutzung der Böden sind Kenntnisse über die langfristige Wirkung dieser Belastungen auf die physikalischen Eigenschaften der Böden notwendig. Die NABO startete im Jahr 2000 das Projekt LAZBOphys (Schwab et al. 2006a, Schwab et al. 2006b) zur Evaluation von geeigneten bodenphysikalischen Parameter für die Boden-Dauerbeobachtung. Basierend auf den Erkenntnissen dieses Projektes werden in der NABO an ausgewählten Standorten zukünftig weitere bodenphysikalische Parameter erhoben und in die Boden-Dauerbeobachtung eingebunden.

Bereits seit 2003 werden in der NABO neben den bisherigen Flächenmischproben 0–20 cm zusätzlich separate Raumgewichtsproben 0–20 cm entnommen.

Bodenphysikalische Parameter als Grundlage für volumetrische Aussagen

Neben den Proben mit fixen Tiefen werden seit 2008 volumetrische Bodenproben bis 40 cm und seit Beginn der Sechsterhebung 2010 solche bis 100 cm Tiefe entnommen und horizontweise analysiert. Aus diesen Horizontproben können horizontspezifische Tiefengradienten bestimmt und mit Hilfe von Sollwertberechnungen – basierend auf dem Raumgewicht-Feinerde – ein Korrektur-Algorithmus entwickelt werden. Darüber hinaus können allfällige Verlagerungsprozesse untersucht werden. Aus den Raumgewichts-Werten zukünftiger Erhebungen und dem gemessenen Gradienten der Fünft- und Sechsterhebung kann ein Erwartungswert einer vergleichbaren Beprobung (gleiche Masse) analog dem dargestellten Beispiel in Kap. 2.5.2 (Abb. 43) berechnet werden. Somit kann der Unterschied von scheinbarer und effektiver Veränderung besser sichtbar gemacht werden.

Aus den volumetrischen Proben können zudem horizont- bzw. profilumfassende Vorräte berechnet werden, die einerseits eine Zustandserhebung darstellen und andererseits Aussagen zur zeitlichen Veränderung seit den Profiluntersuchungen im Rahmen der Ersterhebung ermöglichen.

Seit 2009 wird der Siebrückstand (Steine, Kies, Wurzeln, etc.) der NABO-Proben sowie die ausgewaschene Skelettfraction der Raumgewichtsproben archiviert. Die mineralische Fraktion steht für mineralogische Untersuchungen zum Beispiel zur Abklärung der Herkunft des Materials oder zur Abschätzung der geogenen und anthropogenen Anteile an den gemessenen Gehalten zur Verfügung. Letztere ist dann für den Bodenschutz-Vollzug relevant, wenn – wie im Fall von Cadmium – sowohl geogene Ursachen als auch anthropogene Belastungen zu einer Überschreitung der Vorsorgewerte führen können.

Bodenbiologische Parameter

Zukünftig sollen auf Grund der Erkenntnisse des Projektes LAZBObio (Oberholzer et al. 2006, Schwab et al. 2006b) und den Untersuchungen von Oberholzer & Scheid (2007) an ausgewählten NABO-Standorten bodenbiologische Parameter erhoben werden. 2012 startete die NABO an 30 Standorten mit den Messungen der bodenbiologischen Eigenschaften (NABObio12_13). Neben den klassischen bodenmikrobiologischen Untersuchungen (mikrobielle Biomasse SIR und FE sowie Bodenatmung) sollen auch mögliche Zusammenhänge zu molekularen Bestimmungsmethoden (DNA-Extraktion und -Quantifizierung) untersucht werden (Hug et al. 2012).

4.1.2 Erweiterung Referenzmessnetz

Das bestehende NABO-Referenzmessnetz aus den 1980er Jahre bildet die Hauptnutzungen in der Schweiz Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Alpweiden etwa im Verhältnis 4 : 2 : 1 ab. Insbesondere die Alpweiden sind aufgrund ihres Flächenanteils im heutigen NABO-Referenzmessnetz untervertreten. Mit der Optimierung des NABO-Standortkollektivs wird prioritär eine Verbesserung der vier Repräsentativitätskriterien Landschafts-, Boden-, Nutzungs- und Belastungsrepräsentanz angestrebt, die gemäss heute international anerkannten Konzepten der Boden-Dauerbeobachtungsprogrammen möglichst gewährleistet sein sollen (Barth, 2001, Kibblewhite et al. 2008). Sekundär soll das bestehende NABO-Referenzmessnetz verdichtet und damit gezielt geographische Lücken gefüllt werden. Dieses optimierte Referenzmessnetz liefert die notwendigen Stützpunkte für die Untersuchung und Modellierung von bodenrelevanten Prozessen. Da für die Untersuchung von ökologischen Problemstellungen auch Modellrechnungen zunehmend an Bedeutung gewinnen, sind aktuelle und möglichst hoch aufgelöste Bodendaten von grosser Wichtigkeit. So soll eine ideale räumliche Verteilung der neuen Standorte eine Nutzung der Daten für (Prozess-)Modellierungen ermöglichen.

4.2 Ergänzung des NABO-Referenzmessnetzes durch repräsentative Zustandserhebungen

Mit aktuell 104 über die Schweiz verteilten Standorten können exemplarische Hintergrundbelastungen für die wichtigsten Landnutzungstypen in der Schweiz gemacht werden. Für statistisch gesicherte Aussagen über den Zustand der Böden in der Schweiz ist ein wesentlich grösseres Datenkollektiv aus einer zufälligen Stichprobe oder aus einer Rasteruntersuchung notwendig, wie dies im Rahmen des Biodiversitäts-Monitorings Schweiz (BDM) erhoben wird. Für den Zustandsindikator Z9 «Artenvielfalt in Lebensräumen» werden schweizweit auf einem regulären 4 mal 6 km Raster auf ca. 1600 Standorten in einem 5-jährigen Zyklus Gefässpflanzen und Moose erfasst. Seit 2011 werden im Rahmen des BDM-NABO Synergieprojektes an den Z9 Standorten zusätzlich volumetrische Oberbodenproben 0–20 cm entnommen und von der NABO analysiert und archiviert. In den Jahren 2011 und 2012 konnten bereits an rund 450 über die ganze Schweiz verteilten Standorten Bodenproben entnommen werden.

Die Hauptziele des Projektes sind die Ergänzung der Kenntnisse der NABO über den Zustand der Bodenfruchtbarkeit in der Schweiz sowie die erstmalige Erstellung einer schweizweiten, nach einheitlichen Kriterien erhobenen und in einem Labor aufbereiteten Bodenprobensammlung. Damit können erstmals flächenrepräsentative Aussagen zum Bodenzustand in der Schweiz zu Elementen gemacht werden, von denen vermutet wird, dass sie zu Mangelerscheinungen bei Tieren führen können, wie dies für Selen bekannt ist (Stünzi 1989). Andererseits lässt der umfangreiche Datensatz auch gezielt regionale Auswertungen zu. Der Datensatz ermöglicht darüber hinaus auch die Untersuchung der Beziehung zwischen gemessenen Bodenkenngrössen und den Standorteigenschaften gemäss BDM-Raumdatenbank sowie zwischen der Biodiversität der Gefässpflanzen und Moose und den Bodenkenngrössen.

Schliesslich können die Ergebnisse dieser flächenrepräsentativen Untersuchung dazu verwendet werden, Ergebnisse des NABO-Referenzmessnetzes in Bezug auf die Gesamtfläche der Schweiz zu analysieren und damit wertvolle Ergänzungen im Hinblick auf die Interpolation von Punktinformationen zu flächenhaften Aussagen liefern.

4.3 **Verknüpfung des direkten Monitorings und Stoffflussbilanzierungen zur Erstellung von regionalen Fallstudien**

Für ausgewählte NABO-Referenzmessstandorte wurden die gemessenen zeitlichen Gehaltsänderungen (direktes Monitoring) mit vereinfachten Stoffbilanzierungen (indirektes Monitoring) aus einer früheren Studie verglichen (siehe Kap. 2.5.1). Wie in Keller et al. (2005) erläutert, können vereinfachte Oberflächenbilanzen einen Hinweis auf mögliche Akkumulationen in Böden geben. Für eine fundierte Ursachenabklärung und Erstellung von stofflichen Prognosen sind aber für die Dauerbeobachtung angepasste Boden-Prozessmodelle erforderlich. Solche Modelle berücksichtigen auch Prozesse wie den Wasserhaushalt, Sorption und Desorption von Stoffen in Böden, unterschiedliche chemische Fraktionen, Verlagerung, Oberflächenabfluss, Bioturbation und andere, die für den langfristigen Verbleib von chemischen Elementen im Boden bedeutsam sind. Zudem erlauben Prozessmodelle neben der Schadstoffen auch die Modellierung der Nährstoff- und Kohlenstoffkreisläufe im Boden. Somit können Zusammenhänge von Zu- und Abnahmen zwischen Elementen besser erkannt und interpretiert werden. Nachteil ist jedoch der grosse Datenbedarf für solche Prozessmodelle, da neben der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung unter anderem viele bodenphysikalische, -biologische und -chemische Bodenparameter, Klima- und Standortdaten erforderlich sind.

Gegenwärtig wird das Boden-Prozessmodell EPIC (Environment Policy Impact Calculator) an 18 NABO-Referenzmessstandorten für die Zeitperiode 1985–2010 kalibriert und getestet. Ziel ist es, ein angepasstes und für die Schweiz kalibriertes Prozessmodell zu erreichen, welches zukünftig als Instrument der Dauerbeobachtung für Prognosen und Szenarien einer nachhaltigen Bodennutzung eingesetzt werden kann. Von der Feldskala der Dauerbeobachtung sollen die Ergebnisse mit einem vereinfachten Prozessmodell für verschiedene Testgebiete auf die regionale Skala übertragen werden (Gärtner et al. 2011). Ein solches regionales Modell kann zwar nicht

parzellenscharfe Vorhersagen generieren, jedoch grossräumige Aussagen zu möglichen Stoffakkumulationen in Böden treffen. Ein solch integrales Instrument soll die Erfassung und Vorhersage von Trends in der Landnutzung und dem Agrar-Management der landwirtschaftlichen Betriebe ermöglichen. Zudem können die Auswirkungen der Nährstoff- und Schadstoffkreisläufe im Boden auf die Bodenfunktionen aufgezeigt werden (regionales Frühwarnsystem).

> Anhang

A1 Landnutzungseinteilung

Tab. 22 > Detaillierte Landnutzungseinteilung der NABO-Standorte

Standort			Landnutzungskategorie			Erhebungen			
Nr.	Gemeinde / Ort	Kt.	Höhe m ü. M.	Desaules & Dahinden 2000	Desaules et al. 2006	Aktueller Bericht	Erst- erhebung	Zeitreihe	Anzahl Er- hebungen
1	Aadorf / Tänikon	TG	537	Dauerwiese	Grasland – intensiv	Grasland, intensiv	1989	1989–2004	4
2	Zürich / Zürichberg	ZH	668	Nadelwald	Wald – Nadelwald dominant	Mischwald	1989	1994–2004	3
3	Payeme / Les Invuardes	VD	488	Ackerbau	Ackerbau – Rinder	Ackerbau	1985	1985–2000	4
4	Conthey / Les Fougères	VS	478	Obstanlage	Spezialkultur – Kernobst	Obstbau	1985	1985–2000	4
5	La Neuveville / Schafis	BE	475	Rebbau	Spezialkultur – Rebbau	Rebbau	1985	1985–2000	4
6	Grindelwald / Itramen	BE	1915	Alpweide	Grasland – extensiv	Grasland, extensiv	1989	1989–2004	4
7	Oberstammheim / Stammer- berg	ZH	581	Nadelwald	Wald – Laubwald dominant	Mischwald	1989	1989–2004	4
8	Rothenfluh / Kei	BL	695	Laubwald	Wald – Laubwald	Laubwald	1989	1989–2004	4
9	Binningen / Bruderholz	BL	324	Ackerbau	Ackerbau – Rinder und Schweine	Ackerbau	1985	1985–2000	4
10	Gais	AR	935	Dauerwiese	Grasland – intensiv	Grasland, wenig intensiv	1989	1989–2004	4
11	La Sarraz	VD	515	Ackerbau	Ackerbau – Rinder	Ackerbau	1985	1985–2000	4
12	Aristau / Werd	AG	380	Streuland	Schutzgebiet – Streuwiese	Schutzstandort	1989	1989–2004	4
13	Wiedlisbach	BE	455	Ackerbau	Ackerbau – Rinder	Ackerbau	1985	1985–2000	4
14	Dübendorf / Stettbach	ZH	440	Ackerbau	Ackerbau – Rinder	Ackerbau	1985	1985–2000	4
15	Ins / Heumoos	BE	433	Ackerbau	Ackerbau – viehlos	Ackerbau	1985	1985–2000	4
16	Mühlebach / Schwenni	VS	1220	Dauerwiese	Grasland – extensiv	Grasland, wenig intensiv	1989	1989–2004	4
17	Niedermuhlern / Uecht	BE	945	Ackerbau	Ackerbau – Rinder und Schweine	Ackerbau	1986	1986–2001	4
18	Langenthal / Riedhof	BE	525	Nadelwald	Wald – Nadelwald dominant	Mischwald	1989	1989–2004	4
19	Wettingen / Lägern	AG	685	Laubwald	Wald – Laubwald dominant	Mischwald	1989	1989–2005	4
20	Roggwil / Esserswil	TG	460	Obstanlage	Spezialkultur – Kernobst	Obstbau	1986	1986–2001	4
21	Köniz / Liebefeld	BE	565	Ackerbau	Ackerbau – Rinder und Schweine	Ackerbau	1986	1986–2001	4
22	Staffelbach / Wiliberg	AG	675	Nadelwald	Wald – Nadelwald dominant	Mischwald	1989	1989–2004	4
23	Möhlin / Forstzelgli	AG	343	Ackerbau	Ackerbau – Rinder	Ackerbau	1986	1986–2001	4
24	Niederlenz / Länzert	AG	387	Laubwald	Wald – Laubwald	Laubwald	1989	1989–2004	4
25	Schleitheim / Milten	SH	545	Ackerbau	Ackerbau – Rinder	Ackerbau	1986	1986–2001	4
26	Avully / Champagne	GE	428	Ackerbau	Ackerbau – Pferde und Rinder	Ackerbau	1986	1986–2001	4
27	Jussy / Les Grands Bois	GE	505	Laubwald	Wald – Laubwald	Laubwald	1989	1989–2004	4
28	Leuggern / Etwil	AG	465	Ackerbau	Ackerbau – Schafe und Ziegen	Ackerbau	1986	1986–2001	4
29	Eschenbach / Hööndlen	LU	450	Dauerwiese	Ackerbau – Rinder und Schweine	Ackerbau	1986	1986–2001	4
30	Ebikon / Dottenberg	LU	635	Dauerwiese	Grasland – intensiv	Grasland, intensiv	1989	1989–2004	4
31	Coffrane	NE	770	Ackerbau	Ackerbau – Rinder	Ackerbau	1986	1986–2001	4

Standort			Landnutzungskategorie			Erhebungen			
Nr.	Gemeinde / Ort	Kt.	Höhe m ü. M.	Desaules & Dahinden 2000	Desaules et al. 2006	Aktueller Bericht	Erst- erhebung	Zeitreihe	Anzahl Er- hebungen
32	La Brévine / Les Fontenettes	NE	1 215	Alpweide	Grasland – extensiv	Grasland, extensiv	1989	1989–2004	4
33	Mollis / Riet	GL	431	Dauerwiese	Grasland – intensiv	Grasland, intensiv	1986	1986–2001	4
34	Elm / Ämpächli	GL	1 880	Alpweide	Grasland – extensiv	Grasland, extensiv	1989	1989–2004	4
35	Le Cerneux-Péquignot	NE	1 093	Dauerwiese	Grasland – intensiv	Grasland, wenig intensiv	1989	1989–2004	4
36	Hochdorf	LU	500	Ackerbau	Ackerbau – Rinder und Schweine	Ackerbau	1986	1986–2001	4
37	Ependes	FR	735	Dauerwiese	Grasland – intensiv	Grasland, wenig intensiv	1989	1989–2004	4
38	Koppigen / Oeschberg	BE	478	Ackerbau	Ackerbau – Rinder und Schweine	Ackerbau	1986	1986–2001	4
39	Kiesen / Chlinau	BE	534	Ackerbau	Ackerbau – Rinder und Schweine	Ackerbau	1987	1987–2002	4
40	St. Cierges	VD	851	Nadelwald	Wald – Nadelwald	Nadelwald	1989	1989–1999	3
41	Kyburg-Buchegg	SO	464	Dauerwiese	Grasland – extensiv	Grasland, wenig intensiv	1989	1989–2004	4
42	Galmwald	FR	580	Laubwald	Wald – Laubwald dominant	Laubwald	1989	1989–1999	3
43	Orbe / Chassagne	VD	622	Laubwald	Wald – Laubwald	Laubwald	1989	1989–2004	4
44	Hendschiken	AG	417	Ackerbau	Ackerbau – Rinder	Ackerbau	1987	1987–2002	4
45	Alpthal / Erlentobel	SZ	1 180	Nadelwald	Wald – Nadelwald	Nadelwald	1989	1989–2004	4
46	Vallon	FR	439	Ackerbau	Ackerbau – Rinder	Ackerbau	1987	1987–2002	4
47	Davos / Seehornwald	GR	1 655	Nadelwald	Wald – Nadelwald	Nadelwald	1989	1989–2004	4
48	Oberriet / Kriessern	SG	409	Ackerbau	Ackerbau – Rinder und Schweine	Ackerbau	1987	1987–2002	4
49	Unterschächen / Breiten	UR	1 100	Dauerwiese	Grasland – extensiv	Grasland, wenig intensiv	1989	1989–2004	4
50	Realp / Witenwasseren	UR	2 120	Alpweide	Grasland – extensiv	Grasland, extensiv	1989	1989–2004	4
51	Wartau / Weite	SG	464	Gemüsebau	Spezialkultur – Gemüsebau	Gemüsebau	1987	1987–2002	4
52	Krummenau / Wideralp	SG	1 338	Alpweide	Grasland – extensiv	Grasland, extensiv	1989	1989–2004	4
53	Gempfen / Stollen	SO	626	Ackerbau	Ackerbau – Rinder	Ackerbau	1988	1988–2003	4
54	Zuzwil	BE	557	Ackerbau	Ackerbau – Schweine	Ackerbau	1988	1988–2003	4
55	Nyon / Changins	VD	440	Rebbau	Spezialkultur – Rebbau	Rebbau	1988	1988–2003	4
56	Trub / Buechsachachen	BE	998	Ackerbau	Ackerbau – Rinder	Grasland, wenig intensiv	1988	1988–2003	4
57	St. Stephan	BE	1 030	Alpweide	Grasland – extensiv	Grasland, extensiv	1988	1988–2003	4
58	Mels / Rütliwald	SG	910	Nadelwald	Wald – Nadelwald dominant	Mischwald	1988	1988–2003	4
59	Dällikon	ZH	425	Gemüsebau	Spezialkultur – Gemüsebau	Gemüsebau	1988	1988–2003	4
59	Dällikon	ZH	425	Gemüsebau		Gemüsebau	1988	1988–2003	4
60	Entlebuch / Ebnet	LU	955	Dauerwiese	Grasland – intensiv	Grasland, intensiv	1988	1988–2003	4
61	Winterthur	ZH	445	Parkanlage	Stadtpark – Rasen	Stadtpark	1988	1988–2003	4
62	Bettlach / Bettlachstock	SO	1 065	Laubwald	Wald – Laubwald dominant	Laubwald	1988	1988–2003	4
63	Oensingen	SO	450	Ackerbau	Ackerbau – Rinder	Ackerbau	1988	1988–2003	4
64	Duggingen / Oberäsch	BE	375	Obstbau	Spezialkultur – Steinobst (Kirschen)	Obstbau	1988	1988–2003	4
65	Cornol	JU	482	Ackerbau	Ackerbau – Rinder	Ackerbau	1988	1988–2003	4
66	St. Ursanne / Haute Côte	JU	540	Laubwald	Wald – Laubwald dominant	Laubwald	1988	1988–2003	4
67	Method	VD	432	Gemüsebau	Spezialkultur – Gemüsebau	Gemüsebau	1988	1988–1998	3
68	Etoy	VD	435	Ackerbau	Ackerbau – viehlos	Ackerbau	1988	1988–2003	4

Standort			Landnutzungskategorie			Erhebungen		
Nr. Gemeinde / Ort	Kt.	Höhe m ü. M.	Desaules & Dahinden 2000	Desaules et al. 2006	Aktueller Bericht	Erst- erhebung	Zeitreihe	Anzahl Er- hebungen
69 Attalens / Rombuet	FR	818	Dauerwiese	Grasland – intensiv	Grasland, intensiv	1988	1988–2003	4
70 Disentis	GR	1 105	Dauerwiese	Grasland – extensiv	Grasland, wenig intensiv	1988	1988–2003	4
71 Lohn / Dros	GR	1 818	Alpweide	Grasland – extensiv	Grasland, extensiv	1988	1988–2003	4
72 Bivio	GR	2 118	Alpweide	Grasland – extensiv	Grasland, extensiv	1988	1988–2003	4
73 Alvaneu	GR	1 560	Nadelwald	Wald – Nadelwald	Nadelwald	1988	1988–2003	4
74 Mörschwil / Beggetwil	SG	526	Dauerwiese	Grasland – intensiv	Grasland, intensiv	1988	1988–2003	4
75 Zernez / Munt la Schera	GR	2 400	Alp. Rasen	Schutzstandort – alpiner Rasen	Schutzstandort	1988	1988–2003	4
76 Sent / Dartòs	GR	1 690	Nadelwald	Wald – Nadelwald	Nadelwald	1988	1988–2003	4
77 Paspels	GR	830	Ackerbau	Ackerbau – Rinder	Ackerbau	1988	1988–2003	4
78 Igis / Landquart	GR	532	Ackerbau	Ackerbau – Schweine	Ackerbau	1988	1988–2003	4
79 Pailly	VD	684	Ackerbau	Ackerbau – viehlos	Ackerbau	1988	1988–2003	4
80 Chevenez	JU	538	Ackerbau	Ackerbau – Rinder und Schweine	Ackerbau	1988	1988–2003	4
81 Gsteig / Heitibüel	BE	1 355	Nadelwald	Wald – Nadelwald dominant	Nadelwald	1988	1988–2003	4
82 Kappelen / Stockeren	BE	441	Laubwald	Wald – Laubwald	Laubwald	1988	1988–2003	4
83 Wald / Bachtel	ZH	1 040	Nadelwald	Wald – Nadelwald	Nadelwald	1988	1988–2003	4
84 Rifferswil / Hagenholz	ZH	597	Hochmoor	Schutzstandort – Hochmoor	Schutzstandort	1988	1988–2003	4
85 Frauenfeld / Wuer	TG	383	Laubwald	Wald – Laubwald	Laubwald	1988	1988–2003	4
86 Lützelflüh	BE	618	Ackerbau	Ackerbau – Rinder	Ackerbau	1988	1988–2003	4
87 Klarsreuti	TG	559	Ackerbau	Ackerbau – Rinder	Ackerbau	1988	1988–2003	4
88 L'Abbaye / Grand Bois à Ban	VD	1 358	Nadelwald	Wald – Nadelwald dominant	Nadelwald	1988	1988–2003	4
89 St. Moritz / Mauntschas	GR	1 825	Hochmoor	Schutzstandort – Hochmoor	Schutzstandort	1988	1988–2003	4
90 Sta. Maria / Bosch de Bald	GR	1 245	Nadelwald	Wald – Nadelwald	Nadelwald	1988	1988–2003	4
91 Campo / Cimalmotto	TI	1 517	Nadelwald	Wald – Nadelwald	Nadelwald	1988	1988–2003	4
92 Novaggio / Cima Pianca	TI	1 080	Laubwald	Wald – Laubwald	Laubwald	1988	1988–2003	4
92 Novaggio / Cima Pianca	TI	1 080	Laubwald	Wald – Laubwald	Laubwald	1988	1988–2003	4
93 Marthalen / Abist	ZH	405	Laubwald	Wald – Laubwald	Laubwald	1988	1988–2003	4
94 S. Antonino / Magadino	TI	209	Gemüsebau	Spezialkultur – Gemüsebau	Gemüsebau	1988	1988–2003	4
95 Coldrerio	TI	336	Ackerbau	Ackerbau – Rinder	Ackerbau	1988	1988–2003	4
96 Gudo / Progero	TI	265	Rebbau	Spezialkultur – Rebbau	Rebbau	1989	1989–2004	4
97 Lugano	TI	273	Parkanlage	Stadtpark – Rasen	Stadtpark	1989	1989–2004	4
98 Erstfeld	UR	455	Dauerwiese	Grasland – extensiv	Grasland, wenig intensiv	1989	1989–2004	4
99 Visp / Albulawald	VS	830	Nadelwald	Wald – Nadelwald	Nadelwald	1989	1989–2004	4
100 St. Martin / Eison	VS	2 340	Alpweide	Grasland – extensiv	Grasland, extensiv	1989	1989–2004	4
101 Chamoson	VS	730	Rebbau	Spezialkultur – Rebbau	Rebbau	1989	1989–1999	3
102 Vouvy	VS	379	Ackerbau	Ackerbau – viehlos	Ackerbau	1989	1989–2004	4
103 Härkingen	SO	431	Ackerbau	Ackerbau – Rinder und Schweine	Ackerbau	1995	1995–2005	3
104 Küssnacht / Seebodenalp	SZ	1 025	Alpweide	Grasland – extensiv	Grasland, extensiv	1995	1995–2005	3
105 Neuchâtel / Chaumont	NE	1 138	Dauerwiese	Grasland – extensiv	Grasland, extensiv	1995	1995–2005	3
106 Vétroz	VS	500			Rebbau	2006	0	0

A2 Erklärung Box-Plot

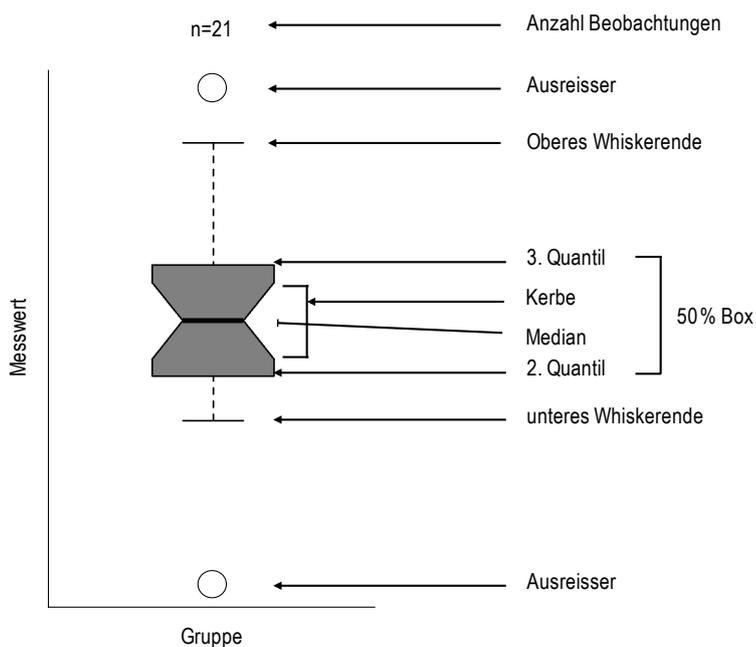
Box and Whisker- Darstellung (Box-Plot)

Die Box and Whisker-Darstellung (kurz Box-Plot) ist eine histogramm-ähnliche Methode mit der Datensätze relativ einfach miteinander verglichen werden können. Der Boxplot besteht aus einem Rechteck (Box), das durch das unten durch das 1. Quantil (25 %) und oben durch das 3. Quantil (75 %) begrenzt wird. Die Box umfasst somit die mittleren 50 % der Messwerte. Der Median wird als horizontale Linie in der Box dargestellt.

Die Verlängerungen (Schnurrhaare, engl. whisker) beidseits der Box zeigen die Lage des grössten und kleinsten Wertes an, die keine Ausreisser sind. Als Ausreisser werden Werte bezeichnet, die ausserhalb des 1,5 fachen Interquartilabstandes (1. und 3. Quantil) liegen. Der Ausdruck «Ausreisser» ist hier etwas irreführend; die Werte sind sicher aussergewöhnlich (klein oder gross), gelten aber nicht automatisch als statistische Ausreisser im Sinne eines Messfehlers und werden folglich auch nicht ausgeschlossen.

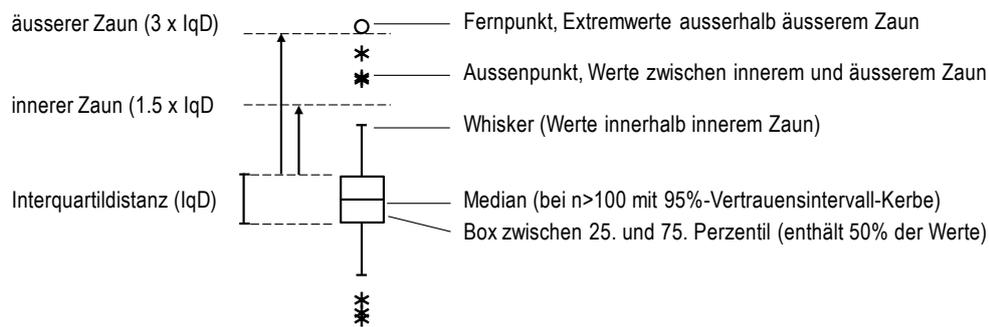
Bei einigen Abbildungen ist der gekerbte Boxplot angewendet. Die Kerbe (engl. notch) stellt das Konfidenzintervall des Medians dar. Werden auf der gleichen Skala zwei Boxplots nebeneinander aufgestellt und die Kerben überlagern sich nicht, kann mit grosser Wahrscheinlichkeit (95 %) davon ausgegangen werden, dass sich die Mediane voneinander unterscheiden.

Abb. 44 Schematische Darstellung des Boxplots (R)



Die Boxplots im Bericht sind mit zwei verschiedenen Statistikprogrammen erstellt worden. Zum einen wurde R (Version 2.14.1) und Systat (Version 12) genutzt. Systat weicht bei der Darstellung der Ausreisser leicht ab. Es werden Fern- und Aussenpunkte ausgedrückt (siehe Abb. 45). Der Begriff Outlier bezeichnet Punkte die von der Statistik ausgeschlossen sind.

Abb. 45 > Schematische Darstellung des Boxplots (Systat)



A3 Wiederholbarkeit und Messbeständigkeit

A3-1 Messbeständigkeit der Analytik (Boxplots)

A3-2 Messabweichung der Veränderung aus referenziertem und zeitgleichen Datensatz

A4 Status

A4-1 Werte aus der Statusberichterstattung

A4-2 Perzentilstatistik der Schadstoffe aus der Statusberichterstattung

A4-3 Kennzahlen der Bodenkennwerte

A5 Trend: Verlauf der Messparameter

A5-1 Urliste Erst- bis Vierterhebung

A5-2 Vergleich Zeitreihen aus verschiedenen Mw-Datensätzen

PDF-Download: www.bafu.admin.ch/uz-1409-d

> Literatur

- Anghern-Bettinazzi C. 1989: Das Verhalten von Schwermetallen in der Streuauflage von Waldstandorten. Dissertation der phil. II Fakultät der Universität Zürich, Zürich: 157 S.
- BAFU 2011: NABEL Luftbelastung 2010. Umwelt-Zustand Nr: 1118. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern: 126 S.
- Barth N. 2001: Bodenmonitoring in Sachsen. Materialien zum Bodenschutz. Landesamt für Umwelt und Geologie, Landesanstalt für Landwirtschaft, Landesanstalt für Forsten, Freistaat Sachsen: 99 S.
- Bellamy P.H., Loveland P.J., Bradley R.I., Murray Lark R., Kirk G.J.D. 2005: Carbon losses from all soils across England and Wales 1978–2003. *Nature* 437: 245–248.
- BLW 2010: Land- und Ernährungswirtschaft 2025 – Diskussionspapier des Bundesamtes für Landwirtschaft zur strategischen Ausrichtung der Agrarpolitik. 52 S.
- Bürgin R., Ruckstuhl A., Ammann S. 2007: Auswertungen mehrjähriger Ringanalysen von Schadstoffen in Bodenproben. Zürcher Hochschule Winterthur, Datenanalyse und Prozessdesign, 67 S.
- BUWAL 2001: Erläuterungen zur Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBo). Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern.
- ChemRRV 2005: Verordnung zur Reduktion von Risiken beim Umgang mit bestimmten besonders gefährlichen Stoffen, Zubereitungen und Gegenständen (Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung) vom 18. Mai 2005 (Stand am 1. August 2011). SR 814.81.
- Desaules A., Dahinden R. 1994: Die Vergleichbarkeit von Schwermetallanalysen in Bodenproben von Dauerbeobachtungsflächen – Ergebnisse eines Probenahmeringversuches. Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Umwelthygiene (FAC), 3097 Liebefeld: 25 S.
- Desaules A., Dahinden R. 2000: Nationales Boden-Beobachtungsnetz – Veränderungen von Schadstoffgehalten nach 5 und 10 Jahren. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), 3003 Bern: 129 S.
- Desaules A., Keller A., Schwab P., Dahinden R. 2004: Analysen von Zeitreihen und Ursachen gemessener Konzentrationsveränderungen von Schwermetallen und Phosphor in Böden auf Dauerbeobachtungsflächen. Agroscope FAL Reckenholz, Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, 8046 Zürich: 107 S.
- Desaules A., Schwab P., Keller A., Ammann S., Paul J., Bachmann H.J. 2006: Anorganische Schadstoffgehalte in Böden der Schweiz und Veränderungen nach 10 Jahren – Ergebnisse der Nationalen Bodenbeobachtung 1985–1999. Agroscope FAL Reckenholz, Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Zürich: 139 S.
- Desaules A., Studer K. 1993: NABO – Nationales Bodenbeobachtungsnetz Messresultate 1985–1991. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), 3003 Bern: 134 pp., Anhänge 175 S.
- Dubois J.-P., Benitez N., Liebig T., Baudraz M., Okopnik F. 2002: Le Cadmium dans les sols du haut Jura suisse. In: D. Baize and M. Tercé (Editors), *Les éléments traces métalliques dans les sols. Approches fonctionnelles et spatiales*. INRA, Orléans: 33–52.
- FAL, RAC, FAW 1996 ff.: Schweizerische Referenzmethoden der Eidg. landwirtschaftlichen Forschungsanstalten. Band 2: Bodenuntersuchungen zur Standort-Charakterisierung. Eidg. Forschungsanstalten FAL, RAC, FAW, 8046 Zürich-Reckenholz.
- FOEN 2011: Switzerland's Greenhouse Gas Inventory 1990–2009. Federal Office for the Environment FOEN, Bern.
- Gärtner D., della Peruta R., Keller A. 2011: A Novel Spatially Explicit Integrated Modeling Tool for Assessing P Accumulation in Agricultural Soils. *EnvironInfo 2011: Innovations in Sharing Environmental Observation and Information*. Proceedings of the 25th EnvironInfo Conference. 5–7.10. 2011, Ispra, Italy. p. 20–29.
- GeoIG 2007: Bundesgesetz über Geoinformation (Geoinformationsgesetz) vom 5. Oktober 2007 (Stand 1. Oktober 2009). SR 510.62.
- GeoIV 2008: Verordnung über Geoinformation (Geoinformationsgesetz) vom 21. Mai 2008 (Stand 8. August 2012). SR 510.620.
- Goidts E., van Wesemael B. 2007: Regional assessment of soil organic carbon changes under agriculture in Southern Belgium (1955–2005). *Geoderma* 141: 341–354.
- Hämmann M., Desaules A. 2003: Handbuch: Probenahme und Probenvorbereitung für Schadstoffuntersuchungen in Böden. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), CH-3003 Bern: 100 S.
- Hug A.-S., Meuli R.G., Schwab P., Keller A., Oberholzer H.-R., Widmer F., Frey B. 2012: NABObio12_13 – Aufnahme bodenmikrobiologischer Kenngrößen in das Messnetz der Nationalen Bodenbeobachtung Agroscope FAL Reckenholz, Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau.
- Keller A., Rossier N., Desaules A. 2005: Schwermetallbilanzen von Landwirtschaftspartellen der Nationalen Bodenbeobachtung. Agroscope FAL Reckenholz, Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Zürich: 56 S.
- Kibblewhite M.G., Jones R.J.A., Montanarella L., Baritz R., Huber S., Arrouays D., Micheli E., Stephens M. 2008: Environmental Assessment of Soil for Monitoring Volume VI: Soil Monitoring System for Europe. Office for the Official Publications of the European Communities, Luxembourg: 72 S.

- LwG 1998: Bundesgesetz über die Landwirtschaft (Landwirtschaftsgesetz) vom 29. April 1998 (Stand am 27. April 2004). SR 910.1.
- Oberholzer H., Scheid S. 2007: Bodenmikrobiologische Kennwerte. Erfassung des Zustands landwirtschaftlicher Böden im NABO-Referenzmessnetz anhand biologischer Parameter (NABObio). Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern: 76 S.
- Oberholzer H., Scheid S., Schwab P., Bonvicini A., Müller S., Brunner H. 2006: Langzeitbeobachtung von physikalischen und biologischen Bodeneigenschaften – Pilotprojekt LAZBO – Teil 3 Bodenmikrobiologische Untersuchungen. Agroscope FAL Reckenholz, Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Zürich: 83 S.
- Obrecht J.-M., Schluep M. 1994: Untersuchungen über die Herkunft der Schwermetalle in den Böden am Munt la Schera im Schweizerischen Nationalpark. Institut für terrestrische Ökologie der ETH Zürich, Zürich: 103 S.
- Prudente D., Baize D., Dubois J.-P. 2002: Le Cadmium naturel dans une forêt du haut Jura français. In: D. Baize and M. Tercé (Editors), Les éléments traces métalliques dans les sols. Approches fonctionnelles et spatiales. INRA, Orléans: 53–70.
- Quezada-Hinjosa R.P., Matera V., Adatte T., Rambeau C., Föllmi K.B. 2009: Cadmium distribution in soils covering Jurassic oolitic limestone with high Cd contents in the Swiss Jura. *Geoderma* 150: 287–301.
- Ramsey M.H., Ellison S.L.R. 2007: Measurement uncertainty arising from sampling: a guide to methods and approaches. Eurachem/EUROLAB/CITAC/Nordtest/AMC, 102 S.
- Schwab P., Dahinden R., Desaulles A. 2002: Einflüsse der Probentrocknung auf Quecksilberkonzentrationen in Bodenproben. *Bulletin der Bodenkundlichen Gesellschaft der Schweiz* 26: 39–42.
- Schwab P., Weisskopf P., Berli M., Rehbein K., Brunner H., Scheid S., Sommer M., Ropka B. 2006a: Langzeitbeobachtung von physikalischen und biologischen Bodeneigenschaften – Pilotprojekt LAZBO – Teil 2 Bodenphysikalische Untersuchungen. Agroscope FAL Reckenholz, Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Zürich: 107 S.
- Schwab P., Weisskopf P., Oberholzer H., Scheid S., Berli M. 2006b: Langzeitbeobachtung von physikalischen und biologischen Bodeneigenschaften – Pilotprojekt LAZBO – Teil 4 Folgerungen, Empfehlungen und Ausblick für die Langzeitbeobachtung. Agroscope FAL Reckenholz, Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Zürich: 27 S.
- Studer K., Gsponer R., Desaulles A. 1995: Erfassung und Ausmass der flächenhaften Kupferbelastung in Rebbergböden der Schweiz. Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene (FAC), 3097 Liebefeld: 44 S.
- Stünzi H. 1989: Selenmangel? Untersuchung zum Selenstatus des Wiesenfutters. *Landwirtschaft Schweiz* 2(8): 437–441.
- Tuchschnid M.P. 1995: Quantifizierung und Regionalisierung von Schwermetall- und Fluorgehalten bodenbildender Gesteine der Schweiz. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), 3003 Bern: 130 S.
- UBA 2011: Zusammenstellung und Bewertung von Probenahmeverfahren für den vorsorgenden und nachsorgenden Bodenschutz sowie die Abschätzung der Messunsicherheit für die Probenahme. 112 S.
- USG 1983: Bundesgesetz über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz) vom (Stand am 1. Oktober 2009). SR 814.01.
- VBBö 1998: Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBö) vom 1. Juli 1998 SR 814.12.
- VBNL 1998: Verordnung über die Beurteilung der Nachhaltigkeit in der Landwirtschaft vom 7. Dezember 1998 (Stand am 26. Januar 1999). 919.118.
- VSBo 1986: Verordnung vom 9. Juni 1986 über Schadstoffe im Boden vom (ersetzt durch VBBö 1998). SR 814.12.
- Wächter D. 2012: VBBö-Ringanalysenbericht 2011. Agroscope Reckenholz-Tänikon Research Station ART, Zürich: 74 S.
- Wagner G., Quevauviller P., Desaulles A., Muntau H., Theocharopoulos S.P. 2001: Comparative Evaluation of European Methods for Sampling and Sample Preparation of Soils. *Sci. Total Environ.* 264: 204.

> Verzeichnisse

Abbildungen

Abb. 1	Übersichtskarte der Schweiz mit den insgesamt 106 Standorten des NABO-Referenzmessnetzes	13	Abb. 17	Boxplot der Variationskoeffizienten im Datensatz D	33
Abb. 2	Probenahmeplan der Flächenmischproben	14	Abb. 18	Boxplot der Variationskoeffizienten im Datensatz E	34
Abb. 3	Validierter Labordatensatz	16	Abb. 19	Boxplot der Variationskoeffizienten im Datensatz F	35
Abb. 4	Zeitgleicher Datensatz	17	Abb. 20	Labormessbeständigkeit: Einfluss unterschiedlicher Analysezeitpunkte auf die Beständigkeit der Analytik (Datensätze C und D)	36
Abb. 5	Ursache-Wirkungs-Diagramm (Fishbone) des Messprozesses	18	Abb. 21	Vergleich der Laborwiederholpräzision mit der Standortwiederholpräzision (Datensätze B und F)	37
Abb. 6	Unsicherheitskomponenten und -anteile im Messprozess	19	Abb. 22	Vergleich der Laborwiederholpräzision und der Probenahmewiederholpräzision (Datensätze B und E)	38
Abb. 7	Überblick über die verfügbaren Datensätze für die Überprüfung der Wiederholbarkeit und Messbeständigkeit	20	Abb. 23	Vergleich der Probenahmewiederholpräzision mit der Standortwiederholpräzision (Datensätze E und F)	39
Abb. 8	Gemessene Zeitreihe	24	Abb. 24	Vergleich der mittleren Blei-Gehalte in den drei Datensätzen	40
Abb. 9	Standort Referenzproben	24	Abb. 25	Vergleich der mittleren Nickelgehalte in den drei Datensätzen	41
Abb. 10	Referenzierte Zeitreihe	25	Abb. 26	Messabweichung der Veränderung zur Ersterhebung von referenzierten zu den zeitgleich gemessenen Blei-Werten	43
Abb. 11	Referenzierte und gemessene Zeitreihe	25	Abb. 27	Messabweichung der Veränderung zur Ersterhebung von referenzierten zu den zeitgleich gemessenen Nickel-Werten	43
Abb. 12	Gemessene, referenzierte und zeitgleich gemessene Zeitreihe	26	Abb. 28	Messabweichung der Veränderung zur Ersterhebung von referenzierten zu den zeitgleich gemessenen Quecksilber-Werten	44
Abb. 13	Vergleich der Veränderung zur Ersterhebung der Zeitreihen aus dem referenzierten zum zeitgleich gemessenen Datensatz	27	Abb. 29	Veränderung der Cadmium-Gehalte über 15 Jahre (mg/kg TS)	56
Abb. 14	Boxplot der Variationskoeffizienten im Datensatz A	30	Abb. 30	Veränderung der Kupfer-Gehalte über 15 Jahre (mg/kg TS)	57
Abb. 15	Boxplot der Variationskoeffizienten im Datensatz B	31	Abb. 31	Veränderung der Blei-Gehalte über 15 Jahre (mg/kg TS)	58
Abb. 16	Boxplot der Variationskoeffizienten im Datensatz C	32	Abb. 32	Veränderung der Zn-Gehalte über 15 Jahre (mg/kg TS)	59
			Abb. 33	Veränderung der Hg-Gehalte über 15 Jahre (mg/kg TS)	60

Abb. 34 Veränderung der Cr-Gehalte über 15 Jahre (mg/kg TS)	61	Tab. 5 Standorte mit Richtwertüberschreitungen bei Cadmium	46
Abb. 35 Veränderung der Ni-Gehalte über 15 Jahre (mg/kg TS)	61	Tab. 6 Kennzahlen für Kupfer	47
Abb. 36 Veränderung der Kobalt-Gehalte über 15 Jahre (mg/kg TS)	61	Tab. 7 Standorte mit Richtwertüberschreitungen bei Kupfer	47
Abb. 37 Anzahl NABO-Referenzmessstandorte mit Richtwertüberschreitungen in der Erst- bis Vierterhebung	62	Tab. 8 Kennzahlen für Blei	48
Abb. 38 Veränderungen der Phosphorgehalte (HNO ₃) über 15 Jahre	63	Tab. 9 Standorte mit Richtwertüberschreitungen bei Blei	48
Abb. 39 Veränderung in der Bodenacidität (pH-Wert) über 15 Jahre	64	Tab. 10 Kennzahlen für Zink	49
Abb. 40 Veränderung organischer Kohlenstoffgehalt (% C _{org}) über 15 Jahre	65	Tab. 11 Kennzahlen für Quecksilber	49
Abb. 41 Relevante Zunahmen an Kupfer (Cu), Zink (Zn) und Phosphor (P) – Beispiele	67	Tab. 12 Kennzahlen für Chrom	50
Abb. 42 Korrelationen in den zeitlichen Verläufen von Blei und C _{org}	70	Tab. 13 Standorte mit Richtwertüberschreitungen bei Chrom	50
Abb. 43 Auswirkungen des Bodenzustandes auf die Zusammensetzung von Proben	71	Tab. 14 Kennzahlen für Nickel	51
Abb. 44 Schematische Darstellung des Boxplots (R)	86	Tab. 15 Standorte mit Richtwertüberschreitungen Nickel	51
Abb. 45 Schematische Darstellung des Boxplots (Systat)	87	Tab. 16 Kennzahlen für Kobalt	52
Tabellen		Tab. 17 Richtwertüberschreitungen nach Landnutzungskategorie	52
Tab. 1 Angaben zu den NABO-Referenzmessstandorten mit Besonderheiten in den Erhebungen zwischen 1985 und 2004	15	Tab. 18 Kennzahlen für Phosphor (HNO ₃)	53
Tab. 2 Übersicht der Datensätze und Einflussfaktoren aus der Analytik, Probenahme und -vorbereitung	22	Tab. 19 Kennzahlen für pH(CaCl ₂)	53
Tab. 3 Bestimmungsgrenzen in mg/kg Trockensubstanz	23	Tab. 20 Kennzahlen des Kohlenstoffgehaltes (C _{org} in %)	54
Tab. 4 Kennzahlen für Cadmium	46	Tab. 21 Berechnete mittlere jährliche Veränderung der Vorräte an Cu, Zn, P und C _{org} zwischen Erst- und Vierterhebung an den intensiv genutzten Graslandstandorten	68
		Tab. 22 Detaillierte Landnutzungseinteilung der NABO-Standorte	83

> Glossar

Archivprobe

getrocknete und gesiebte Feinerdeprobe (< 2mm), die für nachfolgende Analysen in PE-Gefässe abgefüllt und bei Raumtemperatur im Dunkeln gelagert wird.

Bestimmungsgrenze

Konzentration, die dem 6-fachen Blindwert (Median) entspricht

Laborprobe

Repräsentative Teilprobe, die aus der archivierten Probe für die Laboranalyse entnommen wird.

Messbeständigkeit

Fähigkeit eines Messgerätes, seine messtechnischen Merkmale unverändert beizubehalten.

Messunsicherheit:

Fehler, die sich von der Probenahme im Feld über die Aufbereitung bis und mit der Analyse addieren.

monotone Veränderung:

Zeitreihe, bei der jedes Folglied grösser bzw. kleiner ist als das vorangehende.

Nachweisgrenze

Konzentration, bei der in 50 % der Fälle der Nachweis einer Substanz möglich ist.

Präzision

Ausmass der Übereinstimmung von Messergebnissen, ausgedrückt durch Streuungskennwerte z. B. Variationskoeffizient.

Probenahmewiederholpräzision

Mittlere Wiederholpräzision der Probenahme ausgedrückt als Variationskoeffizient (CV). Kann streng genommen nur aus Werten vor der Probenvorbereitung und Analytik ausgedrückt werden. Die Variation aus den vier Mischproben ist aus den Werten der zeitgleichen Bestimmung am besten abzuschätzen (Datensatz E, Tab. 2).

Prüfdatensatz

Datensatz, der nur Standorte umfasst, von denen von allen vier Erhebungen jeweils alle 4 Mischproben vorhanden sind. Maximale Anzahl Standorte = 72.

Referenzierter Datensatz

Datensatz, bei dem sämtliche Werte relativ zu den Ergebnissen der Erstbeobachtung angepasst wurden.

Rohdatensatz

Vom Labor freigegebener (validierter) Datensatz

Standortmittelwert

Mittlerer Wert eines Standortes in einer Zeitreihe über mehrere Erhebungen zu verschiedenen Zeitpunkten und verschiedenen Standortbedingungen.

Standort Referenzprobe

Mischprobe der Ersterhebung eines spezifischen Standortes, die jeweils zusammen mit der Probe der neuen Erhebung desselben Standortes – also nach 5, resp. 10 resp. 15 Jahren – wieder in derselben Serie mit gemessen wird.

Standortwiederholpräzision

Mittlere Wiederholpräzision für den gesamten Messprozess ausgedrückt als Variationskoeffizient (CV).

Standortpräzision

Gesamtstreuung (Probenahme, Probenvorbereitung, Analytik) über mehrere Erhebungen zu verschiedenen Zeitpunkten und verschiedenen Standortbedingungen an einem Standort.

Statusdatensatz

Datensatz der Probenahmekampagne 2000–2004, d. h. Datensatz der Vierterhebung für die NABO-Standorte 1–102 sowie der Dritterhebung der NABO-Standorte 103–105.

Validierter Labordatensatz

Datensatz der validierten Labormessungen

Variationskoeffizient

Relative Standardabweichung, d. h. Standardabweichung dividiert durch den Mittelwert. Angabe i.d.R. in Prozent.

Zeitreihendatensatz

Referenzierter Datensatz mit allen Standorten, die von der Erst- bis Vierterhebung einen vollständigen Datensatz aufweisen.

Zeitgleich gemessener Datensatz

Datensatz, der zwischen März 2005 und April 2009 mit demselben Analysegerät und demselben Personal gemessen wurde. Die vier Erhebungen eines Standortes wurden in der gleichen Serie gemessen, was zur grösstmöglichen Vergleichbarkeit der Ergebnisse führt, da systematische Abweichungen in den Analysen praktisch entfallen.

> Dank

Ein grosser Dank gebührt André Desaulles, der sich über mehr als 25 Jahre für den Aufbau und Weiterentwicklung der Nationalen Bodenbeobachtung (NABO) eingesetzt hat. Es war ihm immer ein grosses Anliegen, dass dem Qualitätsaspekt in der Nationalen Bodenbeobachtung und generell in der Boden-Dauerbeobachtung genügend Beachtung geschenkt wurde. So wird seit Beginn der NABO bei jeder neuen Erhebung die Probe desselben Standortes der Ersterhebung mit gemessen und somit die in diesem Bericht ausführlich beschriebene Referenzierung sichergestellt. André Desaulles hat auch den Anstoss dafür gegeben, im Rahmen der Viertelberichterstattung eine vollständige, zeitgleiche Analyse aller Archivproben durchzuführen und damit die erstmalige Überprüfung dieses Referenzierungssystems zu ermöglichen. Auch dafür sei ihm an dieser Stelle herzlich gedankt.

An dieser Stelle möchten wir uns auch ganz herzlich bei allen aktuellen und ehemaligen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der NABO für ihre Mithilfe im Feld oder bei der Probenvorbereitung im Labor bedanken. Ein grosses Dankeschön gehört auch den Laborantinnen und Laboranten und der Leitung des ART Dienstleistungslabors für die jahrelange, intensive Zusammenarbeit.

Weiter danken die Autoren Fabio Wegmann (BAFU) und Christian Bischof (BAFU/ARE) sowie Anton Candinas (BLW) für das Gegenlesen des Manuskripts und für die wertvollen Kommentare.