

**SCHRIFTENREIHE
UMWELT NR. 320**

Boden


NABO

**Nationales Boden-
Beobachtungsnetz**

**Veränderungen
von Schadstoffgehalten
nach 5 und 10 Jahren**



**Bundesamt für
Umwelt, Wald und
Landschaft
BUWAL**

**SCHRIFTENREIHE
UMWELT NR. 320**

Boden



**Nationales Boden-
Beobachtungsnetz**

**Veränderungen
von Schadstoffgehalten
nach 5 und 10 Jahren**

**Messperioden
1985-1991 und 1992-1997**

Avec résumé en français
Con riassunto in italiano
With summary in English

**Herausgegeben vom Bundesamt
für Umwelt, Wald und Landschaft
(BUWAL)
Bern, 2000**

Auftraggeber	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) Abteilung Stoffe, Boden, Biotechnologie
Beteiligte Stellen	Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) - Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (FAL) – Institut für Umweltschutz und Landwirtschaft (IUL), 3003 Bern
Autoren	A. Desaulles, R. Dahinden
Projektleitung	A. Desaulles
Probenahmen	R. Dahinden, A. Desaulles, Th. Keller, K. Studer (FAL-IUL)
Probenvorbereitung	R. Dahinden (FAL-IUL)
Analytik	S. Geering, E. Meier, K. Krocka, M. Ejem, H.J. Bachmann (FAL-IUL) und AgroLab AG, Ebikon
Auswertung	R. Dahinden, Th. Keller, K. Studer, A. Desaulles (FAL-IUL)
Statistische Beratung	P. Lischer (ConStat), J. Hüsler (Universität Bern)
Begleitung	H. Häni, S.K. Gupta (FAL-IUL) J. Zihler, Joh. Dettwiler (BUWAL)
NABO-Website	http://www.nabo.admin.ch

Bezugsquelle	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft Dokumentation 3003 Bern Fax + 41 (0)31 324 02 16 E-Mail: docu@buwal.admin.ch Internet: http://www.admin.ch/buwal/publikat/d/
Bestellnummer	SRU-320-D
Preis	Fr. 25.-- (inkl. MWSt)
	© BUWAL 2000 7.2000 1200 26962/20

VORWORT

"Veränderungen von Schadstoffgehalten von Böden sind innerhalb nützlicher Frist kaum messbar; zu träge reagiert dieses Medium." Dies war noch vor zehn Jahren die einhellige Meinung der Wissenschaftskreise. Deshalb wurden damals Messintervalle von mindestens zehn Jahren empfohlen.

Doch man hatte sich getäuscht. Bereits im ersten NABO-Bericht von 1993 dokumentierten die NABO-Forscher namhafte Gehalts-Veränderungen, die innerhalb von fünf Jahren stattgefunden hatten.

Diese damals noch vorläufigen Ergebnisse werden nun in diesem zweiten NABO-Bericht eindrücklich bestätigt: An 87 Prozent der Standorte, die zum zweiten Mal untersucht worden waren, zeigten sich signifikante Zu- oder Abnahmen einzelner Schadstoffgehalte.

Etwas Zweites ergibt dieser Bericht aber auch: So eindeutig die Veränderungen festgestellt werden konnten, so schwierig ist es, die Ursachen dafür klar zu eruieren. Der Boden ist ein hochkompliziertes mit Lebewesen durchsetztes Medium, so dass die Gründe für Veränderungen meist vielfältig oder, wie die Fachleute sagen, komplex und multifaktoriell sind.

Dies wiederum macht es dem Bodenschutz schwierig, stets die wirksamste Massnahme zu finden. Nur eine Gewissheit bleibt ihm: Jedes Gramm Schadstoff, das er vom Boden fernhält, bedeutet ein Beitrag zur Gesundung des Bodens. Wer vorsorglich Boden schützt, handelt in jedem Fall richtig.

Dieser zweite NABO-Bericht ist ein Eckpunkt in der Bodenüberwachung Schweiz. Er bestätigt den Befund von 1993, dass es in der Schweiz keine unbelasteten Böden mehr gibt.

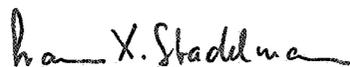
Konzeptbedingt äussert sich der Bericht selbstverständlich nicht zur physikalischen Belastung und vor allem nicht zur Versiegelung unseres Kulturlandes. Diese bringt nach wie vor mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von einem Quadratmeter pro Sekunde fruchtbaren Boden zum Verschwinden.

Wir danken der engagierten und hochqualifizierten NABO-Gruppe unter Leitung von André Desaulles für diesen Trendbericht, der dem praktischen Bodenschutz von Bund, Kantonen und Privaten wertvolle Grundlagen liefert und der Forschung im In- und Ausland methodisch wichtige Fragen zur Beantwortung aufwirft.

Liebefeld und Bern, November 1999

FAL
Institut für Umweltschutz
und Landwirtschaft

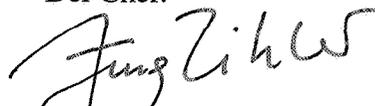
Der Leiter:



Franz X. Stadelmann

BUWAL
Sektion Boden und
allgemeine Biologie

Der Chef:


Jürg Zihler

Es gilt, das Bodenökosystem als Ganzes und insbesondere seine Dynamik zu erkennen: die vergangene Nutzung und deren Einfluss auf den heutigen Zustand, die heutige Nutzung und deren Wirkung auf den künftigen Zustand.

Häberli et al. 1991

INHALTSVERZEICHNIS

ABSTRACTS.....	7
KURZFASSUNG	9
RÉSUMÉ	11
RIASSUNTO.....	13
SUMMARY	16
ABKÜRZUNGEN UND SYMBOLE	19
1 EINLEITUNG UND ARBEITSSTAND.....	21
1.1 Problemstellung	21
1.2 Auftrag und Ziele.....	21
1.3 Rahmenkonzept zur Nationalen Bodenbeobachtung	23
1.4 Boden-Beobachtungsnetze in der Schweiz.....	25
1.5 Boden-Beobachtungsnetze im Ausland.....	26
2 ENTWICKLUNG DES NATIONALEN BODEN-BEOBACHTUNGSNETZES	30
2.1 Methodische Entwicklungen.....	30
2.1.1 Probenahme und Probenvorbereitung	30
2.1.2 Anorganische Schadstoffanalytik.....	31
2.1.3 Datenbank	31
2.2 Beurteilung nach revidierten Richtwerten	32
2.3 Standortveränderungen	33
2.4 Standortergänzungen mit Resultaten	34
2.5 Organische Schadstoffuntersuchungen	37

3	ANALYSENQUALITÄT	38
3.1	Grundlagen	38
3.2	Richtigkeit	40
3.2.1	Abweichung von Sollwerten zertifizierter Bodenproben	41
3.2.2	Abweichung von Sollwerten aus Ringanalysen	42
3.3	Vergleichspräzision	43
3.4	Wiederholpräzision	45
3.4.1	Wiederholpräzision einer Kontrollprobe über 7 Jahre	45
3.4.2	Wiederholpräzision von Serie zu Serie	45
3.4.3	Wiederholpräzision und Probenstabilität nach 5 Jahren	46
3.4.4	Wiederholpräzision innerhalb der Serie bei zwei Messmethoden	47
4	VERÄNDERUNGEN VON SCHADSTOFFGEHALTEN IM BODEN NACH 5 UND 10 JAHREN	49
4.1	Einführung	49
4.2	Vorgehen und Datenmaterial	50
4.3	Auswertung	52
4.4	Ergebnisse und Interpretation	55
4.4.1	Veränderungen der Schadstoffgehalte im Überblick	55
4.4.2	Signifikante und relevante Veränderungen der Schadstoffgehalte	59
4.4.3	Ursachen signifikanter Konzentrationsveränderungen	65
4.4.4	Muster der Konzentrationsveränderungen am Standort	73
4.4.5	Einfluss der Probenahmezeitpunkte	79
5	FOLGERUNGEN UND AUSBLICK	81
5.1	Aussagekraft und Gesamtbeurteilung der Ergebnisse	81
5.2	Empfehlungen für das weitere Vorgehen	83
6	LITERATUR	87
	ANHANG	93
Anhang A	Angaben zu den Boden-Beobachtungsnetzen in der Schweiz	95
Anhang B	Standortdaten zum NABO-Messnetz	97
Anhang C	Beprobungsjahre der NABO-Standorte	100
Anhang D	Daten der NABO-Standorte 103-105	103
Anhang E	Legende zu den Boxplots	106
Anhang F	Vergleiche von Extraktionsmethoden	107
Anhang G	Daten zu den Konzentrationsveränderungen	109
Anhang H	Figuren zu den Konzentrationsveränderungen	121

ABSTRACTS

d/ In der Schweiz wird seit 1985 ein langfristiges Nationales Boden-Beobachtungsnetz (NABO-Messnetz) mit derzeit 105 Standorten unterschiedlicher Landnutzung betrieben. Das gegenwärtige Messprogramm mit einer fünfjährigen Probenahmeperiodizität umfasst neun anorganische Schadstoffe (Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, F). Die Dynamik der gemessenen Konzentrationsveränderungen im Oberboden ist unerwartet gross. Nach 5 Jahren wiesen von 100 Beobachtungsstandorten 87 % bei mindestens einem Element signifikante Zunahmen oder Abnahmen auf. Nach 10 Jahren war dies bei allen der vorläufig untersuchten 25 Landwirtschaftsstandorte der Fall. Die weitaus grösste Dynamik mit überwiegend Zunahmen wies Hg auf. Signifikante Zunahmen dominierten zudem bei Zn. Abnahmen herrschten dagegen bei F und Co vor. Die Ursachen sind vielfältig und im Zeitverlauf nicht linear wirksam. Neben anthropogenen Schadstoffeinträgen sind zeitliche Konzentrationsveränderungen je nach Standort massgeblich durch natürliche und anthropogen beeinflusste bodendynamische Prozesse bedingt. Es gibt auch erste Hinweise dafür, dass der Zeitpunkt der Probenahme und die daraus resultierenden unterschiedlichen Bodenzustände (Feuchte, Verdichtung) die in den Bodenproben gemessenen Konzentrationen beeinflussen.

f/ La Suisse gère depuis 1985 un réseau national d'observation des sols (NABO). Le programme de mesures porte actuellement sur 105 sites (différents types d'utilisation du sol) qui sont échantillonnés tous les cinq ans afin de déterminer les teneurs en neuf polluants inorganiques (Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, F). Les teneurs relevées dans la couche supérieure montrent une dynamique des concentrations étonnamment grande: sur 100 sites, 87 % présentent au bout de 5 ans une hausse ou baisse significative des teneurs pour au moins un des éléments. Au bout de 10 ans, on établit le même constat pour les 25 sites agricoles rééchantillonnés. C'est le Hg qui présente de loin la plus grande dynamique (hausse essentiellement). Le Zn est également caractérisé par des hausses significatives des teneurs. En revanche, les baisses les plus fréquentes sont observées pour le F et le Co. Les raisons de ces variations sont multiples et leurs effets ne sont pas linéaires dans le temps. Hormis les apports anthropiques, les variations résultent, selon le site, en grande partie de processus naturels, ou dans certains cas de processus anthropiques, liés à la dynamique des sols. De premiers indices renvoient également à une éventuelle influence du moment de l'échantillonnage et de l'état du sol (humidité, compactage).

i/ In Svizzera dal 1985 è in funzione una rete nazionale di osservazione a lungo termine del suolo (rete di misurazione NABO) che attualmente comprende 105 siti corrispondenti alle diverse utilizzazioni del suolo. Il presente programma di misurazioni con una frequenza quinquennale di prelievo dei campioni comprende nove sostanze nocive inorganiche (Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, F). La dinamica delle variazioni di concentrazione misurate nello strato superficiale del suolo è inaspettatamente grande. Dopo 5 anni, su 100 siti l'87 % ha fatto registrare aumenti o diminuzioni significativi per lo meno relativi a un elemento. Dopo 10 anni, ciò è stato il caso di tutti i 25 siti agricoli finora esaminati. La dinamica di gran lunga più importante è stata registrata dal Hg interessando in prevalenza degli aumenti. Aumenti significativi hanno predominato inoltre nel caso dello Zn. Per il F e il Co sono invece prevalse le diminuzioni. Le cause sono molteplici e non agiscono linearmente nel corso del tempo. Oltre alle immissioni antropogeniche, le variazioni di concentrazione in funzione del tempo sono spesso condizionate in modo determinante da processi naturali relativi alla dinamica del suolo e da quelli influenzati in parte dalle attività antropogeniche. Ci sono pure primi indizi sul fatto che il momento del prelievo del campione e i diversi stati del suolo (umidità, compressione) che ne risultano, influenzino le concentrazioni.

e/ A long-term soil monitoring network (NABO) has been in operation in Switzerland since 1985. At present, measurements are being made at 105 sites under various land uses. The present monitoring programme covers 9 inorganic pollutants (Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, F), and samples are taken every five years. Changes in pollutant concentration measured in the topsoil have shown an unexpectedly high level of dynamics. After 5 years, 87 % of 100 sites showed a significant increase or decrease involving at least one element. After 10 years, this was the case for all of the 25 agricultural sites that have been studied until now. Hg showed the greatest dynamics by far, characterised mainly by increases. Significant increases were also measured for Zn, while F and Co mainly showed decreases. Many causes lead to these temporal changes in concentration; moreover, on a temporal scale, effects are not linear. Apart from anthropogenic influences, changes in concentration over time are often decisively influenced by natural – and partly anthropogenic – processes of soil dynamics, depending on the site. There are also initial indications that the time of sampling at varying soil states (moisture, compaction) have an influence on the measured pollutant concentrations

KURZFASSUNG

Der bisherige Kenntnisstand der Nationalen Bodenbeobachtung (NABO) zur chemischen Bodenbelastung lässt sich wie folgt zusammenfassen:

- In der Schweiz gibt es keine absolut unbelasteten Böden mehr, wie Schadstoff-Anreicherungen in Böden abgelegener Gebiete belegen.
- Von den prioritären anorganischen Bodenschadstoffen werden die grössten zivilisationsbedingten Belastungen durch Einträge von Blei, Kupfer, Cadmium und Zink verursacht. Eine erste Grobschätzung ergab, dass rund 10% der landesweiten Bodenfläche entsprechende Richtwertüberschreitungen aufweisen.
- An 25 Landwirtschaftsstandorten konnten nach fünf Jahren bereits zahlreiche deutliche Veränderungen von Schadstoffgehalten im Oberboden nachgewiesen werden.

Dieser Bericht konzentriert sich auf die Erfassung der zeitlichen Veränderungen von Schadstoffgehalten im NABO-Messnetz und kommt zu den folgenden **wichtigsten Ergebnisse und Folgerungen**:

- Die Dynamik der gemessenen Konzentrationsveränderungen im Oberboden ist unerwartet gross. Von 100 Standorten wiesen nach fünf Jahren bereits 87 bei mindestens einem der neun untersuchten Schadstoffe (Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, F) in der Bodentiefe 0-20 cm signifikante Zunahmen oder Abnahmen auf. Nach zehn Jahren war dies bei allen der vorläufig untersuchten 25 Landwirtschaftsstandorten der Fall.
- Die weitaus grösste Dynamik mit überwiegend Zunahmen wies Hg auf. Signifikante Zunahmen dominierten bei Zn. Abnahmen herrschten dagegen bei F und Co vor.
- Die Ursachen zeitlicher Konzentrationsveränderungen sind vielfältig und im Zeitverlauf nicht linear wirksam. Neben anthropogenen Einträgen sind zeitliche Konzentrationsveränderungen je nach Standort durch natürliche und teilweise anthropogen beeinflusste bodendynamische Prozesse bedingt. Es gibt auch erste Hinweise, dass der Zeitpunkt der Probenahme und die daraus resultierenden unterschiedlichen Bodenzustände die Gehalte beeinflussen.
- Die Veränderungsmuster der Schadstoffgehalte an den Beobachtungsstandorten können als Ergebnis komplexer standort- und stoffspezifischer wirksamer Prozessgefüge erst ansatzweise erklärt werden. Verallgemeinerungen im Hinblick auf Früherkennung und Prognose sind deshalb noch enge Grenzen gesetzt.
- Es ist bisher noch nicht möglich, die Konzentrationsveränderungen an jedem Standort eindeutig und quantitativ einzelnen Ursachen zuzuordnen. Damit können die Ergebnisse noch nicht ausreichend interpretiert werden, um den Erfolg chemischer Bodenschutzmassnahmen adäquat zu beurteilen.
- Um für Bodenökosysteme sinnvolle umweltpolitische Entscheide zum nachhaltigen Management relevanter Schadstoffkreisläufe zu treffen, müssen die einzelnen Schadstoffflüsse in ihrer Dynamik und Wirkung zuverlässig und mit genügend zeitlichem sowie räumlichem

Auflösungsgrad erfasst und interpretiert werden können. Dasselbe gilt analog auch für physikalische und biologische Messgrößen sowie für komplexe Indikatoren.

Hauptaufgabe der Nationalen Bodenbeobachtung ist die wissenschaftliche Legitimation und Erfolgskontrolle umweltpolitischer Massnahmen zur langfristigen Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit. Das NABO-Messnetz allein vermag diese anspruchsvolle Aufgabe aber nicht zu erfüllen und ist deshalb mit den Bodenschutzaktivitäten der Kantone und Forschungsinstitutionen vernetzt. Es strebt zudem die Integration in eine gesamtschweizerische Umweltbeobachtung an.

In der Schweiz werden derzeit insgesamt 19 Boden-Dauermessnetze (Bund 2, Kantone 17) betrieben. Standorte mit deutlichen Bodenbelastungen sind untervertreten. Vom Ausland sind 57 Beobachtungsnetze mit Schadstoffprogrammen bekannt. Die ausländischen Programme sind in der Regel zwar weit umfassender und aufwändiger gestaltet als das NABO-Messnetz, dafür sind aber noch kaum Ergebnisse über zeitliche Veränderungen von Schadstoffgehalten in Böden veröffentlicht worden.

Das NABO-Messnetz existiert seit 1985. Es hat seither verschiedene **Veränderungen und Entwicklungen** erfahren, die es mit Blick auf seine Eigenschaft als Referenznetz zu berücksichtigen gilt. Derzeit umfasst das Beobachtungsnetz 105 Standorte mit einer Messperiodizität von 5 Jahren. Seit 1985 fanden an über zwei Drittel aller Beobachtungsstandorte mehr oder weniger gravierende Veränderungen statt. 1995 wurden drei neue Standorte eingerichtet. Als wesentlichste methodische Entwicklung gilt die Umstellung der Schwermetallanalytik ab 1995 auf eine andere Messmethode (von AAS auf ICP-MS). Der Einbezug organischer Schadstoffe (PAK und PCB) ins Messprogramm steckt noch in der Pilotphase.

Die bisherigen Ergebnisse und Erfahrungen mit dem NABO-Messnetz erlauben folgende **Empfehlungen** für die langfristige Bodenbeobachtung:

- Verbesserung des langfristigen Qualitätsmanagements. Zur genauen Wiederauffindung der Dauerbeobachtungs-Standorte sind langfristig mindestens drei verschiedene, voneinander unabhängige Einmesspunkte empfehlenswert. Für den Nachweis von zeitlichen Konzentrationsveränderungen ist eine ausgezeichnete Messpräzision notwendig. Diese ist methodenspezifisch maximal, wenn die entsprechenden Proben der Ersterhebung und der Folgerhebung innerhalb der gleichen Messserie unmittelbar hintereinander gemessen werden. Bei zeitlich verschobenen Probenahmen am selben Standort, ist darauf zu achten, die Proben bei möglichst den gleichen Bodenzuständen (Feuchte, Verdichtungsgrad) zu entnehmen.
- Intensivierung der Prozessforschung, damit die Anteile der bodendynamischen Prozesse an den Konzentrationsveränderungen von jenen zivilisationsbedingter Einträge quantitativ besser unterschieden werden können.
- Erfassung von Schadstoffflüssen in und aus dem Boden als Beitrag zur Kausalanalyse; Messungen zeitlicher Konzentrationsveränderungen im Oberboden allein geben keine eindeutigen Hinweise auf die Ursachen der Veränderungen.
- Verbesserung der räumlichen Extrapolationsgrundlage, denn die 105 NABO-Standorte sind für flächenbezogene Aussagen nicht ausreichend. Ein Weg dazu führt über eine schweizeri-

sche Bodenschadstoff-Datenbank und deren Verknüpfung mit Geographischen Informationssystemen (GIS).

- Optimierung und Integration der schadstoffbezogenen Bodenbeobachtung. Die sachlich notwendige Intensivierung der Messungen bei zunehmend knapper werdenden Mitteln führen zunehmend zu hierarchischen Beobachtungskonzepten mit Intensiv- und Basisstandorten. Die bisherige Bodenbeobachtung hat sich allein als zuwenig aussagekräftig erwiesen und sollte deshalb konzeptionell in eine übergeordnete Ökosystemforschung integriert werden. Erst die Verknüpfung von direktem und indirektem Monitoring machen Interpretationen überprüfbar.
- Ausbau der Bodenbeobachtung durch Einbezug weiterer, für die langfristige Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit bedeutsamer und interpretierbarer chemischer, physikalischer, biologischer Messgrößen und komplexer Indikatoren.

RÉSUMÉ

L'état des connaissances de l'Observation nationale des sols (NABO) sur la pollution chimique peut être résumé comme suit:

- En Suisse, il n'existe plus de sols totalement non contaminés, les accumulations en polluants observées dans les sols de régions retirées en sont la preuve.
- Parmi les polluants inorganiques prioritaires, ce sont les apports en plomb, cuivre, cadmium et zinc qui engendrent les plus fortes contaminations anthropiques. Selon une première estimation, environ 10% de la surface du pays présentent des dépassements des valeurs indicatives.
- Après cinq ans d'observation, on constate sur 25 sites agricoles des variations significatives des teneurs dans la couche supérieure.

Le présent rapport porte principalement sur la saisie des variations dans le temps des teneurs en polluants mesurées sur les sites du réseau NABO dont voici l'essentiel des résultats et conclusions:

- Dans la couche supérieure des sols, la dynamique des variations de concentration est étonnamment grande. Après cinq ans de suivi, 87 des 100 sites présentent, pour au moins un élément, une hausse ou une baisse significative des teneurs en Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn et F, mesurées à 0-20 cm. Au bout de dix ans, on établit le même constat pour les 25 sites agricoles rééchantillonnés.
- C'est le Hg qui présente de loin la plus grande dynamique (hausse essentiellement). On observe une tendance à la baisse pour le F et le Co.
- Les raisons de ces variations sont multiples et leurs effets ne sont pas linéaires dans le temps. Hormis les apports anthropiques, les variations résultent, selon le site, de processus liés à la

biodynamique des sols dont l'origine est souvent naturelle ou, parfois, anthropique. De premiers indices renvoient également à une éventuelle influence du moment de l'échantillonnage et de l'état du sol.

- Résultat de l'interaction de processus complexes spécifiques au site et à l'élément considéré, les schémas de variation dans le temps des teneurs ne peuvent s'expliquer que partiellement; on évitera donc les généralisations dans la perspective du dépistage précoce et du diagnostic.
- Il est à ce jour impossible d'établir un rapport de cause à effet direct entre les variations observées sur chaque site et leurs éventuelles causes. L'interprétation des résultats est donc limitée, ce qui ne permet pas encore d'évaluer avec suffisamment de précision l'efficacité des mesures de protection chimique des sols.
- Une politique environnementale judicieuse visant la gestion durable des cycles de polluants dans les écosystèmes du sol exige que l'on connaisse et évalue la dynamique et les effets des flux de polluants ainsi que leur degré de résolution dans le temps et dans l'espace. Il en va de même des paramètres physiques et chimiques, mais aussi des indicateurs complexes.

La **mission première** du réseau NABO est d'élaborer les bases scientifiques nécessaires aux politiques pour arrêter les mesures qui s'imposent, et vérifier l'efficacité desdites mesures, en vue de préserver durablement la fertilité des sols. Le réseau NABO ne peut s'acquitter à lui seul d'une mission aussi importante et travaille par conséquent, en étroite collaboration avec les cantons et les instituts de recherche. Il vise en outre une intégration à l'observation globale de l'environnement en Suisse.

La Suisse compte actuellement 19 réseaux d'observation à long terme (2 relèvent de la Confédération et 17 des cantons). Les sites présentant une contamination des sols évidente sont sous-représentés. A l'étranger, on dénombre 57 réseaux d'observation des polluants du sol. Leurs programmes sont en règle générale plus complets et plus coûteux que le réseau NABO; en revanche, pratiquement aucun résultat n'a été publié sur d'éventuelles variations dans le temps des teneurs en polluants dans les sols.

Créé en 1985, le réseau NABO a depuis connu certains **changements et développements** dont il convient de tenir compte en raison de sa fonction de réseau de référence. Il comprend actuellement 105 sites échantillonnés tous les 5 ans. Depuis 1985, les deux tiers ont été l'objet de changements de plus ou moins grande importance. 1995 a vu la mise en place de trois nouveaux sites. Du point de vue méthodique, on retiendra l'introduction en 1995 d'une nouvelle procédure d'analyse (passage de AAS à ICP-MS). La prise en compte dans le programme de mesure des polluants organiques (HPA et PCB) est encore dans une phase pilote.

A la lumière des expériences effectuées dans le cadre du réseau NABO, plusieurs **recommandations** peuvent être formulées pour l'observation à long terme:

- Amélioration de la gestion de la qualité à long terme. Pour retrouver les emplacements exacts des sites, il y a lieu d'effectuer l'arpentage à partir de trois points (au minimum) indépendants les uns des autres. Identifier les variations dans le temps des concentrations en polluants exige une excellente précision de mesure. La meilleure méthode consiste à doser les échantillons de la première campagne immédiatement après ceux de la campagne suivante,

au sein de la même série. Si on échantillonne un même site à différents moments, on veillera à ce que le sol présente sensiblement les mêmes caractéristiques (humidité, degré de compactage).

- Intensification de la recherche sur les processus, l'objectif étant de quantifier leur part d'influence sur les variations des teneurs et de les distinguer des apports liés aux activités humaines.
- Saisie des flux de polluants dans et hors du sol, l'objectif étant l'analyse causale. Il ne suffit pas de mesurer les variations dans le temps pour expliquer leurs causes.
- Elaboration de bases d'extrapolation spatiale, les 105 sites NABO ne permettant pas de tirer des conclusions pertinentes sur la contamination spatiale des sols. La solution pourrait être la création d'une banque de données suisse sur les polluants du sol et sa mise en commun avec un système d'information géographique (SIG).
- Optimisation et intégration de l'observation des polluants du sol. Compte tenu des moyens restreints et de la nécessité d'intensifier le suivi, on en arrive inévitablement à une hiérarchie entre les sites (sites d'observation intensive et sites de base). L'observation telle que pratiquée jusqu'ici ne satisfait pas à elle seule aux objectifs et devrait par conséquent être intégrée à la recherche sur les écosystèmes. Ce n'est que par un monitoring direct couplé à un monitoring indirect que les interprétations pourront être vérifiées.
- Extension de l'observation des sols par l'intégration de paramètres chimiques, physiques, mais aussi biologiques et d'indicateurs complexes déterminants pour la préservation à long terme de la fertilité des sols.

RIASSUNTO

Lo stato attuale delle conoscenze in materia di osservazione dei carichi chimici nel suolo (NABO) può essere riassunto come segue:

- La concentrazione di sostanze nocive nei suoli di regioni distanti prova che in Svizzera non esistono ormai più suoli assolutamente privi di carichi nocivi.
- Gran parte dei carichi di sostanze nocive prioritarie inorganiche di natura antropogenica presenti nel suolo è causata da immissioni di piombo, rame, cadmio e zinco. Una prima valutazione approssimativa ha rivelato che i relativi valori limite stabiliti vengono superati su circa il 10 per cento della superficie nazionale.
- Nel giro di cinque anni, nello strato superficiale del suolo di 25 siti agricoli sono state registrate numerose e significative modifiche sostanziali del tenore di sostanze nocive.

Il presente rapporto si concentra sulla registrazione delle modifiche temporali del tenore di sostanze nocive nella rete di misurazione NABO e giunge ai seguenti **importanti risultati e conclusioni**:

- La dinamica delle variazioni di concentrazione misurate nello strato superficiale del suolo è inaspettatamente grande. Dopo 5 anni, su 100 siti già 87 hanno fatto registrare aumenti o diminuzioni significativi a una profondità di prelievo di 0-20 cm, per lo meno relativamente a una delle nove sostanze esaminate (Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, F). Dopo 10 anni, ciò è stato il caso di tutti i 25 siti agricoli finora esaminati.
- La dinamica di gran lunga più importante è stata registrata dal Hg interessando in prevalenza degli aumenti. Aumenti significativi hanno predominato inoltre nel caso dello Zn. Per il F e il Co sono invece prevalse le diminuzioni.
- Le cause sono molteplici e non agiscono linearmente nel corso del tempo. Oltre alle immissioni antropogeniche, le variazioni di concentrazione in funzione del tempo sono spesso condizionate in modo determinante da processi naturali relativi alla dinamica del suolo e da quelli influenzati in parte dalle attività antropogeniche. Ci sono pure primi indizi sul fatto che il momento del prelievo del campione e i diversi stati del suolo che ne risultano, influenzino il tenore delle sostanze nocive.
- Il tipo di variazione del tenore delle sostanze nocive nei siti di osservazione può essere interpretato in un primo approccio come il risultato dell'azione di un insieme di processi complessi e specifici del sito e della sostanza. Perciò la possibilità di generalizzare, in vista di una diagnosi precoce e di una previsione, è ancora molto limitata.
- Per il momento non è ancora possibile correlare in modo inequivocabile e quantitativo le singole cause con le variazioni di concentrazione per ogni sito. I risultati non possono quindi ancora essere sufficientemente interpretati per valutare in modo adeguato il successo delle misure di protezione chimica del suolo.
- Onde prendere decisioni sensate di politica ambientale per i sistemi ecologici del suolo e ai fini di una gestione durevole dei cicli rilevanti delle sostanze nocive, si devono poter capire e interpretare, in modo attendibile e con un grado sufficiente di risoluzione in termini di tempo e spazio, i singoli flussi delle sostanze nocive nella loro dinamica e nel loro effetto. Lo stesso vale analogamente anche per le grandezze di misura, fisiche e biologiche nonché per gli indicatori complessi.

La missione principale del NABO consiste nella legittimazione scientifica e nel controllo del successo delle misure di politica ambientale atte alla conservazione a lungo termine della fertilità del suolo. La rete di misurazione NABO non può però adempiere da sola a questa esigente missione ed è quindi collegata con le attività per la protezione del suolo dei Cantoni e degli istituti di ricerca. La stessa mira inoltre a integrarsi in un'osservazione dell'ambiente a livello nazionale.

Adesso, in Svizzera, sono in funzione complessivamente 19 reti di misurazione permanente del suolo (Confederazione 2, Cantoni 17). I siti con un evidente carico inquinante del suolo sono sottorappresentati. Per quanto concerne l'estero, si conoscono 57 reti di osservazione con programmi relativi alle sostanze nocive. Invero, i programmi esteri hanno generalmente una configurazione molto più estesa e costosa della rete di misurazione NABO, in compenso, però,

non sono quasi mai stati pubblicati risultati concernenti le variazioni del tenore di sostanze nocive in funzione del tempo.

La rete di misurazione NABO esiste da 1985. Da allora ha subito diverse **modifiche e sviluppi**, di cui occorre tener conto in vista della sua caratteristica di rete di riferimento. Attualmente la rete di osservazione comprende 105 siti con una periodicità quinquennale di misurazione. Dal 1985, in oltre i due terzi dei siti di osservazione si sono verificate variazioni più o meno importanti. Nel 1995 sono stati installati tre nuovi siti. Il più importante sviluppo metodologico è rappresentato dal cambiamento dal 1995 del metodo di misura nell'ambito dell'analitica dei metalli pesanti (dalla SAA alla ICP-MS). L'inclusione delle sostanze nocive organiche nel programma di misura (PAK e PCB) è tuttora nella fase pilota.

I risultati finora ottenuti e le esperienze con la rete di misurazione NABO consentono di formulare le seguenti **raccomandazioni** per l'osservazione del suolo a lungo termine:

- Miglioramento della gestione della qualità a lungo termine. Per il reperimento sicuro dei siti di osservazione permanente a lungo termine è consigliabile disporre di per lo meno tre punti di misura diversi e fra loro indipendenti. Per esibire la prova delle variazioni di concentrazione è necessaria un'eccellente precisione delle misure. Quest'ultima è massima, relativamente alla specificità del metodo, qualora, all'interno della stessa serie di misurazioni, i campioni corrispondenti del primo prelievo e di quello successivo sono misurati l'uno immediatamente dopo l'altro. In caso di prelievi di campioni sullo stesso sito in diversi momenti, si deve badare affinché i prelievi siano effettuati il più possibile nelle stesse condizioni del suolo (umidità, grado di compressione).
- Intensificazione della ricerca sui processi per poter meglio differenziare quantitativamente il contributo dei processi di dinamica del suolo alle variazioni di concentrazione da quello delle immissioni antropogeniche.
- Rilevamento dei flussi di sostanze nocive in entrata e in uscita dal suolo quale contributo all'analisi causale; le misurazioni delle variazioni di concentrazione in funzione del tempo nel solo strato superiore del suolo non bastano a fornire indizi univoci sulle cause delle variazioni.
- Miglioramento dei principi per l'estrapolazione in termini di spazio, dato che i 105 siti NABO non sono sufficienti per delle valutazioni relative alla superficie. Una possibilità per la sua realizzazione consiste in una base svizzera di dati sulle sostanze nocive per il suolo e nel suo rispettivo collegamento con i sistemi geografici di informazione (SGI).
- Ottimizzazione e integrazione dell'osservazione del suolo in relazione alle sostanze nocive. Il fatto che sia oggettivamente necessario intensificare le misurazioni, usando mezzi viepiù limitati conduce sempre più a concetti gerarchici di osservazione con siti di osservazione intensiva e siti di base. Da sola, l'osservazione del suolo finora praticata si è rivelata di scarso valore interpretativo e quindi dovrebbe essere integrata in una ricerca superiore sull'ecosistema. Solamente la connessione del monitoraggio diretto e indiretto rende verificabili le interpretazioni.

- Sviluppo dell'osservazione del suolo mediante l'inclusione di ulteriori grandezze di misura chimiche, fisiche e biologiche, importanti per la conservazione della fertilità del suolo a lungo termine e interpretabili, nonché di indicatori complessi.

SUMMARY

The current state of knowledge on chemical soil contamination compiled by the Swiss Soil Monitoring Network (NABO) can be summarised as follows:

- There are no longer any completely uncontaminated soils in Switzerland, as revealed by the accumulation of contaminants in remote locations.
- The main inorganic soil pollutants monitored by NABO are a consequence of anthropogenic contamination, primarily by lead, copper, cadmium and zinc inputs. According to a first rough evaluation, approximately 10% of the soil surface throughout the country shows values higher than the relevant guide values.
- After only five years, 25 agricultural sites showed clear changes in topsoil pollutant contents.

This report focuses on the recording of changes in pollutant contents measured over time throughout the NABO network and presents the **following main results and conclusions:**

- Changes in concentration in the topsoil show an unexpectedly high level of dynamics. After five years, 87 of 100 sites showed a significant increase or decrease involving at least one of the measured pollutants (Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, F) at a soil depth of 0-20 cm. After ten years, this was the case for all of the 25 agricultural sites that have been studied until now.
- Hg showed the greatest dynamics by far, characterised mainly by increases. Significant increases were also measured for Zn, while F and Co mainly showed decreases.
- Many causes produce these temporal changes in concentration; moreover, on a temporal scale, effects are not linear. Apart from anthropogenic influences, changes in concentration over time are influenced by natural – and partly anthropogenic – processes of soil dynamics, depending on the site. There are also initial indications that the time of sampling at varying soil states (moisture, compaction) has an influence on measured pollutant contents.
- The patterns of change in pollutant contents at the monitoring sites are interpreted as resulting from a complex system of site- and substance-specific processes. But as yet, these interpretations are only tentative: only very limited conclusions should therefore be drawn with respect to early diagnoses and forecasts.
- It is not yet possible to relate changes in concentration clearly and quantitatively to individual causes at each site. Therefore, results cannot yet be interpreted precisely enough to appropriately evaluate the success of chemical soil conservation measures.

- Useful environmental policy decisions regarding the sustainable management of pollutant cycles relevant to soil ecosystems require a reliable evaluation of the dynamics and effects of the individual pollutants with a sufficient temporal and spatial resolution. By analogy the same holds for physical and biological parameters, as well as for complex indicators.

The **main task** of the Swiss Soil Monitoring Network (NABO) is the scientific validation and evaluation of the success of environmental policy measures aiming at long-term conservation of soil fertility. But the NABO monitoring network cannot fulfil this demanding task on its own; for this reason, its activities are connected with those of the cantons and research institutions. Furthermore, the Swiss Soil Monitoring Network is aiming towards integration in an overall network of environmental monitoring in Switzerland.

At present, 19 permanent soil monitoring networks exist in Switzerland (2 operated by the federal government and 17 by the cantons). Sites with obvious soil contamination are under-represented. 57 monitoring networks are known to exist in other countries. Although programmes in other countries are usually far more comprehensive and costly than the Swiss Soil Monitoring Network, hardly any results have been published until now regarding temporal changes of pollutant contents in soils.

The Swiss Soil Monitoring Network exists since 1985. It has undergone several **changes and developments** since then. These need to be taken into account when considering it as a reference network. At present, the monitoring network comprises 105 sites with a measuring periodicity of 5 years. Since 1985, more or less dramatic changes have been observed on over two thirds of the sites. In 1995 three more monitoring sites were established. An important methodological development was the reorientation of heavy metal analysis through the introduction of another measuring method (change from AAS to ICP-MS) in 1995. The inclusion of organic pollutants (PAH and PCB) in the measurement programme is still in a pilot phase.

On the basis of results and experience gained until now with the Swiss Soil Monitoring Network, the following **recommendations** can be made for long-term soil monitoring:

- Improve long-term quality management. In order to locate the permanent monitoring sites exactly for every sampling period, it is advantageous in the long term to have at least three different and independent measuring points. Great precision in measurements is necessary to detect changes in concentration over time. Depending on the method chosen, such precision is best achieved if the corresponding samples from the first and subsequent rounds of data collection are measured immediately one after the other within the same measurement series. When sampling is done at different times at the same site, care must be taken that the samples are collected under identical conditions (soil moisture, degree of compaction).
- Intensify research on processes, in order to achieve a better quantitative distinction between the proportion of processes leading to changes in concentration that are due to soil dynamics, and the proportion due to the impact of human activity.
- Record pollutant fluxes in and out of the soil to contribute to causal analysis; clear indications about the causes of changes in pollutant concentration cannot be delivered only through measurement of changes in surface soil over time.

- Improve the spatial basis for extrapolation; indeed, the 105 NABO sites are not sufficient for countrywide spatial extrapolations. One improvement would be the constitution of a data bank for soil pollutant contents in relation with a Geographical Information System (GIS).
- Optimise and integrate soil monitoring focussing on pollutants. Intensification of measurements is indispensable; scarce financial resources make it increasingly necessary to use hierarchical monitoring frameworks, with sites for intensive and basic monitoring. Soil monitoring alone has proved too inconclusive until now and should therefore be integrated at the higher level of ecosystem research. Only when direct and indirect monitoring can be connected it will be possible to verify interpretations.
- Extend soil monitoring by including measurement of additional chemical, physical and biological parameters and complex indicators that are significant for long-term conservation of soil fertility and can be interpreted accordingly.

ABKÜRZUNGEN UND SYMBOLE

a	Are
AAS	Atomabsorbtionsspektroskopie
AfU	Amt für Umweltschutz
AG	Kanton Aargau
AI	Kanton Appenzell Innerrhoden
BD	Baudepartement
BDM	Biodiversitäts-Monitoring
BE	Kanton Bern
BL	Kanton Basel Landschaft
BLW	Bundesamt für Landwirtschaft
BMELF	Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten
BS	Kanton Basel Stadt
BUWAL	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft
CaCl ₂	Calciumchlorid
Cd	Cadmium
Co	Kobalt
Cr	Chrom
Cu	Kupfer
CV	Variationskoeffizient
dm ³	Kubikdezimeter
EC	European Commission
EPA	Environmental Protection Agency
F	Fluor
FAAS	Flammen- Atomabsorbtionsspektroskopie
FAC	Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene (seit 1996: IUL)
FAL	Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (vor 1996: FAP)
FAP	Eidg. Forschungsanstalt für Pflanzenbau (seit 1996: FAL)
FR	Kanton Freiburg
GAAS	Graphitrohr- Atomabsorbtionsspektroskopie
GE	Kanton Genf
GIS	Geographisches Informationssystem
GR	Kanton Graubünden
H ₂ O	Wasser
ha	Hektare
Hg	Quecksilber
HNO ₃	Salpetersäure
ICP-MS	induktiv gekoppelte Plasmamassenspektrometrie
IKUB	Informations- und Koordinationsorgan Umweltbeobachtung
IUL	Institut für Umweltschutz und Landwirtschaft (vor 1996: FAC)
KABO	Kantonales Boden-Beobachtungsnetz
KL	Kantonales Laboratorium
KSV	Klärschlammverordnung
LBP	Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau
LFI	Landesforstinventar
LRV	Luftreinhalteverordnung
LU	Kanton Luzern
LWF	langfristige Waldökosystem-Forschung
M	molar

NABEL	Nationales Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe
NABO	Nationale Bodenbeobachtung
NaOH	Natriumhydroxyd
NE	Kanton Neuenburg
Ni	Nickel
org. C	organischer Kohlenstoff
OSBO	Projekt 'Organische Schadstoffe im Boden'
OSNABO	Projekt 'Organische Schadstoffe im NABO'
OW	Kanton Obwalden
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
Pb	Blei
PCB	Polychlorierte Biphenyle
PCDD/F	Dioxine und Furane
QK	Qualitätskontrolle
QS	Qualitätssicherung
RW	Richtwert
s	Standardabweichung
SG	Kanton St. Gallen
SH	Kanton Schaffhausen
SO	Kanton Solothurn
StoV	Stoffverordnung
SZ	Kanton Schwyz
TI	Kanton Tessin
Tl	Thallium
TS	Trockensubstanz
USG	Umweltschutzgesetz
VBBö	Verordnung über Belastungen des Bodens
VD	Kanton Waadt
VLF	Verordnung über die landwirtschaftliche Forschung
VS	Kanton Wallis
VSBo	Verordnung über Schadstoffe im Boden
WSL	Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft
\bar{x}	Mittelwert
ZG	Kanton Zug
Zn	Zink
μm	Mikrogramm
α	Irrtumswahrscheinlichkeit

1 EINLEITUNG UND ARBEITSSTAND

1.1 Problemstellung

Die massiven Eingriffe der Menschen in die ökologischen Stoffkreisläufe, besonders durch die Industrialisierung und die Landwirtschaft, führen als negative Begleiterscheinung auch zu einer erhöhten Freisetzung und Zirkulation von Schadstoffen in der Umwelt. Die im Vergleich zu Luft, Gewässern und Pflanzen ungleich längere Verweildauer von nicht abbaubaren Schadstoffen im Boden führt zu langfristigen Anreicherungen, welche die Bodenfruchtbarkeit gefährden. Zudem gelangen Schadstoffe über belastete Böden in die Nahrungskette und ins Grundwasser und können so die gesunde Entwicklung von Pflanzen, Tieren und Menschen beeinträchtigen. Folgeschwer ist weiter, dass die Fruchtbarkeit verschmutzter Böden kaum je vollständig wiederhergestellt werden kann (Desaules et al. 1996a).

Die nachhaltige Gefährdung der Lebensgrundlage Boden durch Schadstoffeinträge trat erstmals durch die Praxis der Klärschlammdüngung ins umweltpolitische Bewusstsein. Dieses schlug sich in der Klärschlammverordnung (KSV 1981) nieder, welche die Einträge einiger Schwermetalle beschränkte. In der Stoffverordnung (StoV 1986) sind später als weitere gesetzliche Massnahmen auch für Kompost, Mineraldünger und tierische Abfälle Schwermetallgrenzwerte festgelegt worden. Auch die Luftreinhalteverordnung (LRV 1985) enthält Emissions- und Immissionsgrenzwerte für Bodenschadstoffe. Im Laufe der Reform der Agrarpolitik, insbesondere der zweiten Etappe (Agrarpolitik 2002), werden weitere Beschränkungen von Schadstoffeinträgen in Landwirtschaftsböden dank dieser agrarökologischen Massnahmen erwartet (Schweizerischer Bundesrat 1996). Die integrierte Produktion und der biologische Landbau, für welche Direktzahlungen ausgeschüttet werden, umfassten 1998 bereits über 80 % der Landwirtschaftsfläche (BLW 1999).

Trotz der Massnahmen zur gezielten Einschränkung von Schadstoffemissionen wird es stets diffuse Einträge geben, die an der Quelle nicht kontrollierbar sind. Die Erfolge der gesetzlichen, politischen und umwelttechnischen Massnahmen zur Reduktion von Schadstoffeinträgen in die Böden lassen sich deshalb letztlich nur direkt im Boden messen. Darin liegt der Bedarf einer langfristigen Beobachtung von Schadstoffbelastungen in Böden begründet, wie sie erstmals die Verordnung über Schadstoffe im Boden (VSBo 1986) vorgeschrieben hat.

1.2 Auftrag und Ziele

Bund und Kantone sind nach dem Umweltschutzgesetz (USG 1983, Art. 44) verpflichtet, Erhebungen über Umweltbelastungen durchzuführen und den Erfolg der gesetzlichen Massnahmen zu prüfen. Zweck der Bodenbeobachtung sind demnach die wissenschaftliche Legitimation und die Erfolgskontrolle umweltpolitischer Massnahmen zur nachhaltigen Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit.

In der "Verordnung über Schadstoffe im Boden" (VSBo 1986, Art. 3) lautet der ursprüngliche Auftrag zur Beobachtung der Bodenbelastung durch den Bund wie folgt:

¹ Die Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene [FAC], Liebefeld (Forschungsanstalt) betreibt ein gesamtschweizerisches Messnetz zur Beobachtung der Belastung des Bodens mit Schadstoffen.

² Die Forschungsanstalt legt die Orte, an denen Proben erhoben werden, und das Untersuchungsprogramm mit Zustimmung des Bundesamtes für Umweltschutz (Bundesamt) sowie nach Anhören der übrigen interessierten Bundesbehörden und der betroffenen Kantone fest. Die Methoden der Untersuchungen bestimmt die Forschungsanstalt mit Zustimmung der Eidgenössischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Birmensdorf, den eidgenössischen landwirtschaftlichen Forschungsanstalten Changins, Reckenholz und Wädenswil.

³ Die Forschungsanstalt und das Bundesamt werten die Untersuchungen aus und veröffentlichen die Ergebnisse. Sie informieren gleichzeitig die interessierten Bundesbehörden und die betroffenen Kantone.

In der "Verordnung über Belastungen des Bodens" (VBBo 1998, Art. 3), die am 1. Oktober 1998 in Kraft trat und die VSBo (1986) ablöste, ist der Beobachtungsauftrag neu folgendermassen formuliert:

¹ Das Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) betreibt in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) ein nationales Referenznetz zur Beobachtung der Belastungen des Bodens (NABO).

² Das BUWAL informiert die Kantone über die Ergebnisse der Beobachtung und veröffentlicht sie.

Mit der Eingliederung der FAC Liebefeld als Institut für Umweltschutz und Landwirtschaft (IUL) in die Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (FAL) auf Anfang 1996 (Bundesratsbeschluss vom 22. Dezember 1993) wurde dem IUL die Aufgabe der Früherkennung und Prognose im Umweltschutzbereich zugewiesen, welche auch in der Verordnung über die landwirtschaftliche Forschung (VLF 1995) aufgenommen wurde.

Der gesetzliche Auftrag des NABO ist also die landesweite und langfristige Beobachtung von Schadstoffbelastungen im Boden unter der Perspektive der Früherkennung und Prognose. Den Kantonen ist dagegen die Aufgabe übertragen, chemische Bodenbelastungen in Gebieten zu überwachen, in denen mit einer Gefährdung der Bodenfruchtbarkeit zu rechnen ist (VBBo 1998, Art. 4).

Der Bundesrat unterzeichnete 1999 das Bodenschutzprotokoll der Alpenkonvention von 1991, das vom Parlament jedoch noch ratifiziert werden muss. Damit wird die Schweiz eine internationale Verpflichtung zur Bodendauerbeobachtung im Alpenraum (Artikel 21) eingehen.

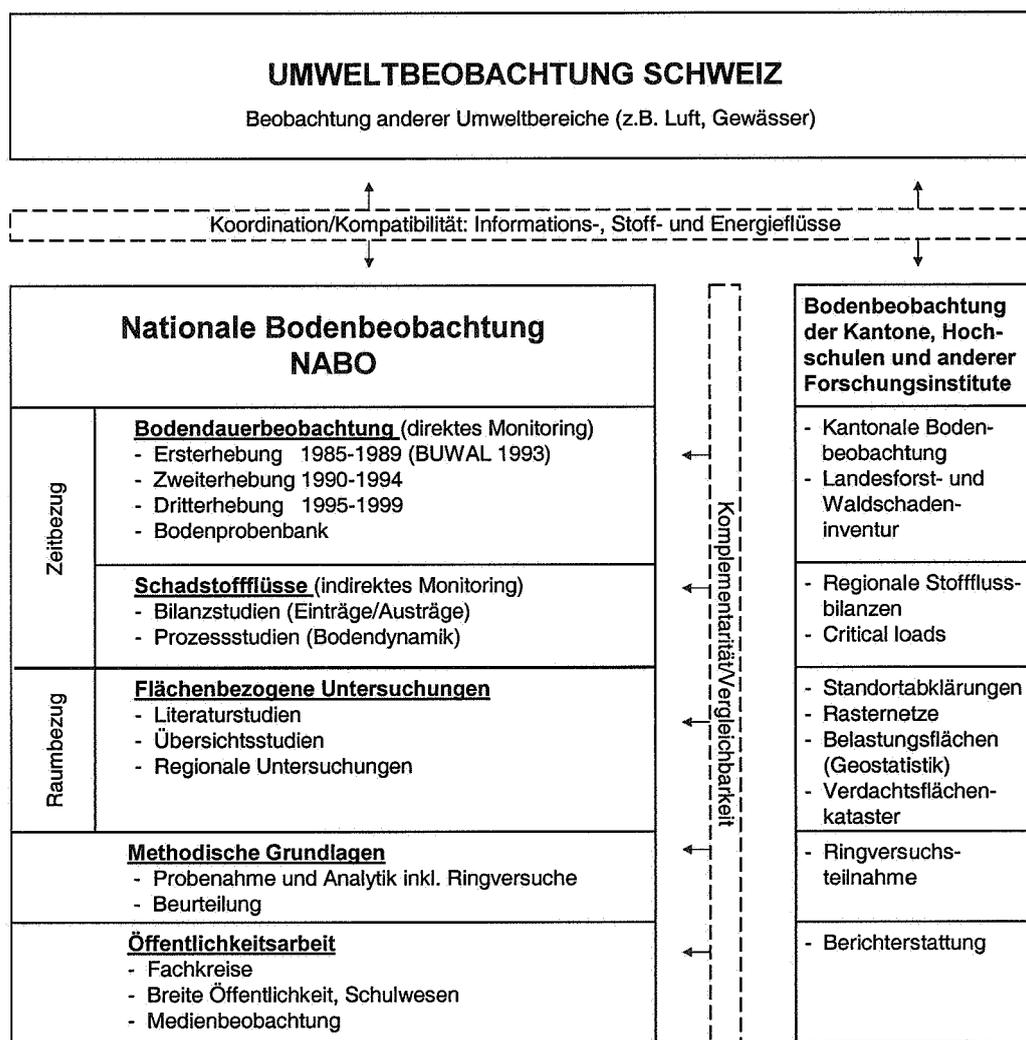
Die Schadstoffeinträge in die Böden sind räumlich und zeitlich verschieden gross. Von diesen Sachverhalten und von der Auftragserteilung her lassen sich entsprechende Ziele ableiten. Hauptziel dieses Berichts sind die Ergebnisse und die Interpretation der zeitlichen Veränderungen von Schadstoffgehalten im Boden (*Kap. 4*). Die Folgerungen und ein Ausblick dazu finden sich in *Kap. 5*. Ein zwingendes Zwischenziel als Interpretationsgrundlage ist die Analysenqualität (*Kap. 3*). In *Kap. 2* werden Änderungen und Ergänzungen des NABO-Messnetzes seit dem ersten Bericht (BUWAL 1993) dokumentiert. Nachstehend wird das Messnetz in das Rahmenkonzept der Nationalen Bodenbeobachtung eingebettet und der Arbeitsstand der schadstoffbezogenen Bodenbeobachtung im In- und Ausland skizziert.

Fazit 1: Die Ergebnisse des NABO dienen einerseits dazu, vorsorgliche Massnahmen zu legitimieren und ihren Erfolg zu beurteilen. Andererseits können sie Beurteilungsgrundlage für Sanierungsmassnahmen und weitergehende umweltpolitische Entscheide sein.

1.3 Rahmenkonzept zur Nationalen Bodenbeobachtung

Der Auftrag zum Betreiben eines gesamtschweizerischen Messnetzes zur Beobachtung chemischer Bodenbelastungen (VSBo 1986, VBBo 1998) und der gegenwärtige Arbeitsstand führten zu dem in Fig. 1-1 dargestellten modularen Rahmenkonzept, in welches sich alle untenstehend erwähnten Arbeiten einordnen lassen.

Fig. 1-1: Das Rahmenkonzept der Nationalen Bodenbeobachtung (aus: Desaules et al. 1996a)



Der erste NABO-Bericht (BUWAL 1993) war vor allem dem Aufbau des Messnetzes zur Bodendauerbeobachtung und den Resultaten an 102 Standorten der Jahre 1985-1991 gewidmet. Für 20 landwirtschaftlich genutzte Standorte wurden erstmals auch die zeitlichen Veränderungen der Schadstoffgehalte in Böden nach fünf Jahren dargestellt und diskutiert. Das Analysenprogramm für die Dauerbeobachtung umfasst unverändert die neun Elemente Blei, Kupfer, Cadmium, Zink, Nickel, Chrom, Cobalt, Quecksilber und Fluor. Zur langfristigen Beweissicherung und für allfällige retrospektive Untersuchungen wird eine Bodenprobenbank geführt.

Wie in solchen Fällen üblich, wurde der erste NABO-Bericht (BUWAL 1993) nach einzelnen Schadstoffen gegliedert und ohne Rücksicht auf die Bindungsstärken der jeweiligen Böden dargestellt. Dadurch waren Mehrfachbelastungen schwer erkennbar und eine ökologische Standort-

beurteilung erschwert. Diese Mängel sind in einer Folgeauswertung behoben worden (BUWAL 1997).

Im Sinne der Früherkennung und der Prognose zeitlicher Veränderungen werden die periodischen Messungen von Bodenproben (direktes Monitoring) mit der Erfassung von Schadstoffflüssen (indirektes Monitoring) ergänzt (Desaules 1993 und BUWAL 1993). Zur Zeit werden zudem die Schadstoffeinträge und Ernteentzüge an knapp 40 landwirtschaftlich genutzten NABO-Standorten auf Parzellen- und auf Betriebsebene erfasst.

Das NABO-Netz liefert nur punktuelle Resultate. Die 105 Standorte (seit 1995) auf einer produktiven Landesfläche von 3'075'330 ha (= 1 Standort auf 29'290 ha) genügen für flächenhafte Aussagen nicht. Die räumliche Ausdehnung relevanter Schadstoffbelastungen muss deswegen zusätzlich durch flächenbezogene Untersuchungen erfasst werden. Bisher sind dazu drei Studien über landesweite Bodenbelastungen durch den Strassen- und Schienenverkehr (BUWAL 1992), den Rebbau (Studer et al. 1995) und die Klärschlammdüngung (Keller & Desaules 1997a) erarbeitet worden. Zwei weitere Berichte befassen sich mit der regionalen Unterscheidung von gesteinsbedingten bzw. natürlich erhöhten Schadstoffgehalten in Böden (Tuchschnid 1995 und Desaules & Dahinden 1996).

1999 wurde ein Projekt, das die verfügbaren Schadstoffdaten der kantonalen Bodenschutzfachstellen und von Forschungsinstitutionen in die NABO-Datenbank aufnimmt, abgeschlossen. Der Bericht "Schadstoffgehalte in Böden der Schweiz 1990 bis 1996" liegt als Entwurf vor (Keller & Desaules 1999). Zur Verbesserung des Raumbezuges wird erwogen, diese Daten später mit einem Geographischen Informationssystem (GIS) zu verknüpfen.

Zur Früherkennung und Prognose nicht routinemässig erfasster Bodenbelastungen sind bisher Spezialuntersuchungen über die Schwermetallbelastung bei Schiessanlagen (Desaules & Dahinden 1995) und Vanadiumgehalte in Böden der Schweiz (Keller & Desaules 1997) durchgeführt worden. Ein Bericht über Arsengehalte in den Oberböden der NABO-Standorte ist erschienen (Knecht et al. 1999).

Das NABO soll einerseits ein Referenzmessnetz sein aber andererseits auch den laufend neuen Anforderungen der Umweltbeobachtung genügen. Dazu bedarf es entsprechender methodischer Grundlagenarbeiten. Im Bereich der Probenahme wurde 1994 erstmals ein Ringversuch durchgeführt (Desaules & Dahinden 1994), der zur Teilnahme an einem weiterführenden Projekt der EU führte (Wagner et al. 1996). Die Ergebnisse sollen in die Überarbeitung der bestehenden Probenahmewegleitung (BUWAL & FAC 1987/89) einfließen.

In der Analytik läuft bereits seit 1989 ein jährliches Ringversuchsprogramm mit über 30 Laboren zur Vergleichbarkeit der Analysenresultate (Desaules et al. 1997). Für die Dauerbeobachtung ist weiter die langfristige Stabilität der Analysenpräzision von Bedeutung (Desaules et al. 1996). Im Hinblick auf die Umstellung der Messanalytik für das NABO-Messnetz wurden von 1995 bis 1997 Vergleichsmessungen zwischen der bisher verwendeten Atomabsorptionsspektroskopie (AAS) und der neuen induktiv gekoppelten Plasmamassenspektrometrie (ICP-MS) durchgeführt (Kap. 3.4.4).

Da in der Bodenschutzpraxis und auch beim NABO Messungen von Pseudo-Totalgehalten stark überwiegen, wurde unter Beizug der pH-Werte ein Instrument zur Prognose von Richtwertüberschreitungen löslicher Gehalte entwickelt (Desaules et al. 1997a).

Im Zuge der Revision der VSBo (1986) wurde aufgrund der NABO-Erfahrungen die Richtwerttabelle überarbeitet (VBBo 1998). Neu sind auch Prüf- und Sanierungswerte festgelegt worden, deren Ableitung in verschiedenen Berichten dokumentiert ist (Vollmer & Gupta 1995, Vollmer 1995, Hämman & Gupta 1997).

Die Berichterstattung des NABO soll nicht nur Fachkreisen, sondern auch der breiten Öffentlichkeit zugänglich sein. Dazu liegt eine leicht verständliche Broschüre in Deutsch, Französisch und Italienisch vor (Desaules & Zihler 1994). Im Sinne einer Analyse der Medienpräsenz des Bodenschutzes in der Schweiz wurde von 1995 bis 1998 eine entsprechende Medienbeobachtung betrieben (Desaules 1999).

Alle diese Arbeiten sind Bausteine der Nationalen Bodenbeobachtung. Diese sind in einen weiteren Kontext eingebettet, wie es das in *Fig. 1-1* dargestellte Rahmenkonzept zum Ausdruck bringt (vgl. Desaules et al. 1996a). Es bestehen synergistische Querbezüge zu den Arbeiten der Kantone und anderer Institutionen, die auf ihre Komplementarität und Vergleichbarkeit zu überprüfen sind. Die Bodenbeobachtung wird von der Umweltbeobachtung überdacht. Dabei handelt es sich jedoch (noch) nicht um eine integrierte Umweltbeobachtung, sondern vorerst um die Koordination, allfällige Anpassungen und Ergänzungen bestehender Beobachtungsaktivitäten im Rahmen des vom BUWAL geleiteten interdepartementalen Informations- und Koordinationsorgans Umweltbeobachtung (IKUB). Das NABO lieferte dazu eine Standortbestimmung mit Empfehlungen zur Untersuchung anorganischer Schadstoffflüsse zwischen Boden und Lithosphäre bzw. Atmosphäre (Krebs & Desaules 1997).

Fazit 2: Die Nationale Bodenbeobachtung (NABO) strebt schrittweise eine Vernetzung mit den Bodenschutzaktivitäten der Kantone und Forschungsinstitutionen sowie die Integration in eine gesamtschweizerische Umweltbeobachtung an. Einerseits muss die Referenzbeobachtung möglichst stabil und konsistent sein, andererseits gilt es aber offen zu bleiben für technische Entwicklungen und neue Anforderungen.

1.4 Boden-Beobachtungsnetze in der Schweiz

Eine Umfrage ergab, dass in der Schweiz 19 langfristig geplante Bodenmessnetze mit Schadstoffuntersuchungen in Betrieb sind (*Tab. 1-1*). Davon werden zwei vom Bund und 17 von den Kantonen (KABO) betrieben. An insgesamt 1007 Dauerbeobachtungsstandorten wurden bisher mindestens einmal Proben entnommen. Die Zukunft vieler Messnetze hängt u.a. von den finanziellen Prioritäten der Kantone ab. Der mit 11 % eher geringe Anteil vermuteter oder erwiesener Belastungsstandorte (Hot Spots) ist ein Hinweis für die notwendige Verstärkung der Bodenüberwachung der Kantone gemäss Art. 4 der VBBo (1998). Die bisher vorliegenden Ergebnisse der Beobachtungsnetze sind in der Literatur (*Tab. 1-1*) sehr unterschiedlich ausgewertet worden.

Tab. 1-1: Bodenmessnetze und Dauerbeobachtungsstandorte in der Schweiz

Messnetze	Standorte										Literatur
	Acker	Dauerwiese	naturnahes Freiland ¹⁾	Wald	Gemüsebau	Obstbau	Rebbau	Siedlungsgebiet ²⁾	Total	davon Hot-Spots ³⁾	
NABO	34	16	14	28	4	3	4	2	105	7	BUWAL 1993, 1997
AG	18	3		53			1		75	1	BD/AG 1994
AI		12		2				2	16	2	BD/AI 1994
BL				5				5	10	5	AfU/BL 1997, 1997a
BS	5	7		3	15			15	45	34	Niederer et al. 1995
BE	17	17						6	40	6	BSF/BE 1997
FR	130	69	46		3		2		250	18	Julien & Morand 1995
GE	61	13	4	9	2	1	9		99	12	Célarin et al. 1992
GR	7	26	19	30		1	2	1	86	3	AfU/GR 1997
LU	12	7	6	14	2	2		4	47	4	AfU/LU 1989
NE	9	26	1	7			1	3	47	4	
OW	1	8		3					12	2	
SG		13	4	8					25		AfU/SG 1995, 1997
SH	6	4		5		1	3		19	3	KL/SH 1993
SZ	4	14	3	8		1	1		31	1	
VS	10	5	9	7		7	7		45	7	
ZG	4	8	1	2		2			17		AfU/ZG 1995
ZH	7	4		11					22		
LWF				16					16		WSL 1998
Total	325	252	107	211	26	18	30	38	1007	109	

¹⁾ Alpweiden, Moore, Trockenstandorte und andere Schutzgebiete

²⁾ Landwirtschaftsflächen im Siedlungsgebiet, Strassenränder, Industriestandorte, Gärten, Stadtparks, Kinderspielflächen u.a.

³⁾ Erwiesene oder vermutete Richtwertüberschreitungen (Rebbau und Siedlungsgebiete u.a.)

Im *Anhang A* sind weitere Angaben zu den verschiedenen Beobachtungsnetzen zusammengestellt. Die analytische Vergleichbarkeit der Ergebnisse wird in *Kap. 3.3* behandelt. Sie beschränkt sich jedoch nur auf die Schadstoffe, für welche in der VSBo (1986) und der VBBo (1998) Richtwerte festgelegt sind. Hinweise, wieweit die Resultate auch von der Probenahme her vergleichbar sind, gibt *Tab. A-2* in *Anhang A*.

1.5 Boden-Beobachtungsnetze im Ausland

Der Überblick konzentriert sich auf Boden-Dauerbeobachtungsnetze mit Schadstoffprogrammen und ist eine Fortschreibung der Darstellung des ersten NABO-Berichts (BUWAL 1993: Kap. 1.3.2). Der Informationsstand ist für die Anrainerstaaten Liechtenstein, Österreich, Deutschland

und Frankreich sowie die Niederlande weitgehend vollständig. Zusammen mit der Schweiz sind dies in dieser Beziehung die aktivsten Länder. Für das restliche Europa, und besonders für Länder in Übersee, sind Informationslücken möglich. Leider ist ein Bericht zum Inventar der Boden-Beobachtungsnetze in Europa unter der Federführung des European Topic Centre on Soil im Auftrag der Europäischen Umweltagentur in Kopenhagen noch nicht verfügbar. Dazu liegt erst eine sehr allgemein gehaltene Übersicht vor (Arrouays et al. 1998).

Liechtenstein betreibt analog zum NABO ein Beobachtungsnetz mit 37 Standorten verschiedener Nutzung, die 1995 erstmals mit einer vorgesehenen Periodizität von 10 Jahren beprobt wurden. Ein Auswertungsbericht ist in Vorbereitung.

In **Österreich** sind aus Bodenzustandsinventuren verschiedener Bundesländer Dauerbeobachtungsnetze hervorgegangen, die durch das Umweltbundesamt in Wien ergänzt werden (Tab. 1-2). Dazu gibt es auch eine Empfehlung für ein einheitliches Vorgehen in Österreich (Blum et al. 1996). Ergebnisse über zeitliche Veränderungen von Schadstoffgehalten sind noch keine verfügbar.

Tab. 1-2: *Überblick der Boden-Dauerbeobachtungsflächen in Österreich (aus: Juritsch 1998)*

Land / Institution	in Planung	eingerrichtet	Ausbau bis
Salzburg	5	5	10
Vorarlberg	2	1	max. 10
Tirol	4	0	10-12
Oberösterreich	ja	0	?
Kärnten	ja	0	?
Niederösterreich	nein	0	?
Burgenland	nein	0	?
Steiermark	nein	0	?
Umweltbundesamt	ja	1	?
Österreich (Summe)	11	7	max. 32

In **Deutschland** sind bislang erst von vier Dauerbeobachtungsflächen in Bayern Ergebnisse zeitlicher Veränderungen von Schadstoffgehalten veröffentlicht worden (Schilling 1997). Dabei wurden sowohl Zunahmen wie Abnahmen von Schwermetallgehalten festgestellt. Den Stand der landwirtschaftlich genutzten Beobachtungsflächen Bayerns vermittelt eine Studie der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau (LBP 1997). Eine Anfrage ans Umweltbundesamt in Berlin ergab für Deutschland das Inventar in Tab. 1-3. Über Waldböden gibt es bundesweit Ergebnisse der Ersterhebung mit 1'800 Beprobungspunkten in Rasteranordnung (BMELF 1996).

Einen guten Überblick zum Stand der Boden-Dauerbeobachtung geben die Tagungsreferate zum Thema "Boden-Dauerbeobachtungsflächen - ein Instrument des vorsorgenden Bodenschutzes" in den Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Band 87 (1998: 299-378).

Tab. 1-3: Anzahl Boden-Dauerbeobachtungsflächen in Deutschland (Stand: Mai 1998)

Bundesländer	Anzahl
Baden-Württemberg	157
Bayern	241
Berlin	3
Brandenburg	36
Hamburg	4
Hessen	43
Mecklenburg-Vorpommern	8
Niedersachsen & Bremen	49
Nordrhein Westfalen	12
Rheinland-Pfalz	16
Saarland	11
Sachsen	18
Sachsen-Anhalt	17
Schleswig-Holstein	34
Thüringen	12
Deutschland (Summe)	661

In **Frankreich** ist das "Observatoire de la Qualité des Sols Français" seit 1986 im Aufbau begriffen (Martin et al. 1998). Von den ursprünglich geplanten 100 Beobachtungsflächen sind derzeit 11 in Betrieb. Ergebnisse zu den Schadstoffgehalten wurden in Baize (1997) veröffentlicht. Weiter liegen die Ergebnisse der Ersterhebung 1993/95 von 102 Waldstandorten zum RENECOFOR-Messnetz vor (Ponette et al. 1997).

In den **Niederlanden** wurde 1993 mit dem Aufbau eines nationalen Bodenqualitäts-Messnetzes mit 40 Dauerbeobachtungsflächen begonnen. Ergebnisse zu den Schadstoffuntersuchungen wurden in Groot et al. (1996 und 1997) veröffentlicht. Nur in Waldböden konnten Bleianreicherungen direkt nachgewiesen werden. In Landwirtschaftsböden wurde mit Hilfe von Stoffflussuntersuchungen indirekt auf Schwermetallanreicherungen geschlossen.

In **Dänemark** wurde 1993 mit dem Aufbau eines Beobachtungsnetzes für Schwermetallgehalte in Böden begonnen (Bak et al. 1997). Dieses umfasst landesweit 393 Beprobungspunkte in Rasteranordnung und zusätzlich 20 Klärschlammparzellen. Die erste Untersuchung ortete keine gravierenden Probleme und sieht eine Folgerhebung in frühestens 10 Jahren vor.

Aus **Osteuropa** liegen Informationen über Boden-Beobachtungsnetze in **Tschechien** (Sanka 1999), der **Slowakei** (Kobza 1999), **Polen** (Terelak & Suczynski 1999) und **Ungarn** (Németh et al. 1999) vor.

In **Nordeuropa** werden auf rund 20 naturnahen Flächen integrierte Umweltuntersuchungen nach gemeinsamen Richtlinien durchgeführt (NCM 1989). Über veröffentlichte Ergebnisse zu Bodenschadstoffen ist nichts bekannt.

In **Mittel- und Westeuropa** scheinen auf nationaler Ebene keine weiteren schadstoffbezogenen Dauerbeobachtungsnetze zu existieren. Dasselbe gilt für ganz **Südeuropa**.

Für **Gesamteuropa** besteht als Folge der 'neuartigen Waldschäden' unter anderem auch zur Beobachtung von Waldböden das "International Cooperative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests" (ICP Forests: <http://www.dainet.de/bfh/inst1/12/index.htm>). Das ICP-Forests arbeitet mit einem z.T. verdichteten Basisrasternetz von 16 x 16 km

auf drei Intensitätsstufen (Level I bis III). Die am intensiven Beobachtungsprogramm (Level II) des ICP-Forests beteiligten 26 Staaten sind in *Tab. 1-4* aufgelistet. Ökologisch noch umfassender ist das "International Cooperative Programme on Integrated Monitoring of Air Pollution Effects on Ecosystems" (ICP IM: http://www.vyh.fi/fei/projects/icp_im/im.htm). Daran sind 22 Nationen beteiligt, die rund 70 Standorte bearbeiten. Zum Aufbau eines europäischen Boden-Beobachtungsnetzes, das auch Freilandböden umfasst, liegt bisher erst ein Vorschlag über Inhalt, Ausdehnung und Nutzniessende vor (Armstrong-Brown et al. 1998).

Tab. 1-4: Staaten mit Boden-Dauerbeobachtungsnetzen in Europa

Land	Boden-messnetz	nur Wald ¹⁾
AU	Oesterreich	x
BL	Belgien	x
CH	Schweiz	x
CR	Kroatien	x
CZ	Tschechien	x
DK	Dänemark	x
DL	Deutschland	x
EE	Estland	x
ES	Spanien	x
FR	Frankreich	x
GR	Griechenland	x
HU	Ungarn	x
IR	Irland	x
IT	Italien	x
LA	Lettland	x
LI	Litauen	x
LS	Liechtenstein	x
LX	Luxemburg	x
NL	Niederlande	x
NO	Norwegen	x
PL	Polen	x
PO	Portugal	x
RU	Russische Föd.	x
SF	Finnland	x
SL	Slowakei	x
SW	Schweden	x
UK	Grossbritannien	x

¹⁾ Programm 'Intensive Monitoring of Forest Ecosystems in Europe' (EC 1996, De Vries et al. 1998); die Messungen von Schadstoffen im Boden sind z.T. nicht systematisch.

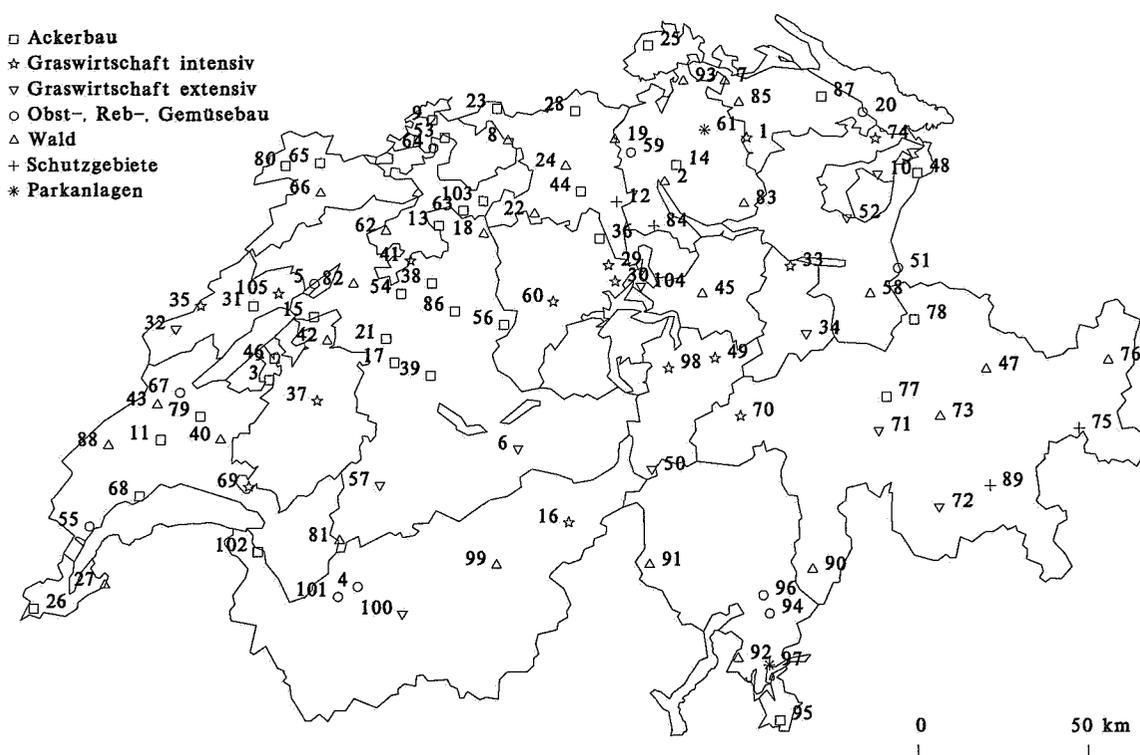
Aus **Übersee** sind keine vergleichbaren Boden-Beobachtungsnetze bekannt. Weltweit wird die Langzeit-Umweltbeobachtung über das "International Long-Term Ecological Research" (ILTER) Netzwerk koordiniert (<http://www.ilternet.edu/networks>), an dem 1998 weltweit 17 Nationen angeschlossen waren. 34 weitere warten auf die Zustimmung ihrer Regierung.

Fazit 3: In der Schweiz werden von Bund und Kantonen insgesamt 19 Boden-Beobachtungsnetze betrieben. Belastungsstandorte sind untervertreten. In Europa gibt es mindestens 57 Beobachtungsnetze mit Schadstoffprogrammen für Böden. Die ausländischen Beobachtungsprogramme sind in der Regel umfassender und aufwendiger als das NABO-Netz. Hingegen sind noch kaum Ergebnisse über zeitliche Veränderungen von Schadstoffgehalten in Böden veröffentlicht worden.

2 ENTWICKLUNG DES NATIONALEN BODEN-BEOBACHTUNGSNETZES

Referenzmessnetze sollen langfristig eine feste Bezugsbasis liefern. Sie können und dürfen sich aber gewissen Entwicklungen im Laufe der Zeit nicht verschliessen. Damit Referenzmessnetze ihre Aufgabe trotzdem erfüllen, müssen Änderungen sorgfältig dokumentiert und in die Interpretation einbezogen werden. Nachfolgend sind alle wichtigen Änderungen und Ergänzungen des NABO-Netzes seit 1991, dem Stand des ersten NABO-Berichts (BUWAL 1993), aufgeführt. Fig. 2-1 zeigt eine Übersichtskarte mit den 105 NABO-Standorten. Eine Zusammenstellung von Standortdaten findet sich in *Anhang B*.

Fig. 2-1: Übersichtskarte der 105 NABO-Standorte



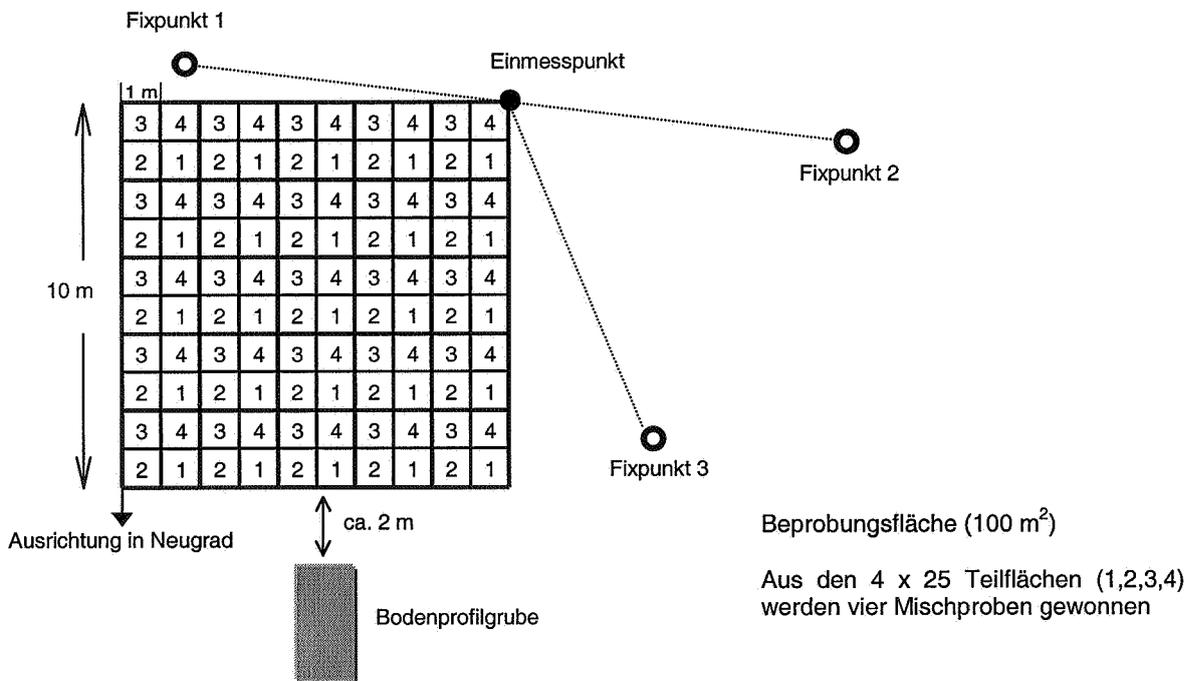
2.1 Methodische Entwicklungen

2.1.1 Probenahme und Probenvorbereitung

Die Probenahme erfolgt auf 100 m² grossen, in der Regel quadratischen, eingemessenen Beprobungsflächen. Wie Fig. 2-2 zeigt, werden Mischproben aus 25 Einstichen in stratifizierter ad hoc Quadratrasteranordnung entnommen und zwar in 4-facher Wiederholung, so dass auf jeden m² ein Probeneinstich erfolgt. Die Beprobungstiefe, mit einem Hohlmeisselbohrer mit 3 cm Innendurchmesser, beträgt durchwegs 20 cm ab Terrainoberfläche. An Standorten ohne Bodenbearbeitung wurden zusätzlich Proben der Bodentiefe 0-5 cm entnommen. Das gilt auch für Waldstandorte mit Streuauflagen. Um bei der flachgründigeren Beprobungstiefe genügend Probenmaterial zu erhalten, wurden jeweils zwei nahe beieinander liegende Einstiche ausgeführt, das heisst insgesamt 50 Einstiche. In *Anhang C* sind die Jahre der Probenerhebungen für jeden Standort zusammengefasst.

In einem Probenahme-Ringversuch mit 14 teilnehmenden Bodenfachstellen an fünf Standorten im zentralen Mittelland mit Acker-, Dauergrünland- und Waldnutzung, wurde die grosse Robustheit des Mischprobenahmeverfahrens bestätigt (Desaules & Dahinden 1994).

Fig. 2-2: Probenahmeplan



Ab der Zweiterhebung wurden die bei 40°C Umluft getrockneten Bodenproben nicht mehr mit einem hydraulischen Aluminiumfuss auf Hartholz zerstampft, sondern mit einem Backenbrecher (Retsch Typ BB2) zerkleinert. Eine interne Vergleichsuntersuchung ergab keine nennenswerten Unterschiede bei Schwermetall- und Fluoridanalysen von Totalgehalten nach VSBo (1986) bzw. VBBo (1998).

2.1.2 Anorganische Schadstoffanalytik

Das Analysenprogramm für Schadstoffe ist gegenüber dem ersten NABO-Bericht (BUWAL 1993) unverändert geblieben und umfasst die neun Elemente Cadmium (Cd), Cobalt (Co), Chrom (Cr), Kupfer (Cu), Quecksilber (Hg), Nickel (Ni), Blei (Pb), Zink (Zn) und Fluor (F). Mit Ausnahme von Hg wurden alle Elemente in IUL-Laboratorien analysiert. Die Hg-Analytik wurde der Firma AgroLab AG in Ebikon übertragen.

Ab Juni 1993 wurde die Bleianalytik von Flammen-AAS auf Graphitrohr-AAS mit Zeeman Kompensation umgestellt. Dadurch konnte die Bestimmungsgrenze der Totalgehalte von 10 mg/kg auf 0.13 mg/kg gesenkt werden.

Innerbetriebliche Gründe verlangten ab der Dritterhebung, die 1995 begann, die Umstellung der Schwermetallanalytik in Böden von AAS auf ICP-MS. Im Weiteren wurden von den letzten sechs Messserien der Zweiterhebung Vergleichsmessungen durchgeführt. Die Ergebnisse der AAS-/ICP-MS-Vergleichsmessungen finden sich in Kap. 3.4.4.

Als Nachtrag zur Fluoranalytik für Totalgehalte gilt festzuhalten, dass 0.5 g der Laborprobe in einer Nickelschale zusammen mit 20 Plätzchen NaOH (ca. 4 g) auf einem elektrischen Brenner geschmolzen *und anschliessend auf einem Bunsenbrenner bis zur Rotglut erhitzt* werden (FAL 1998).

Im Gegensatz zum ersten NABO-Bericht (BUWAL 1993) wurden die Analysenresultate nicht mehr gemäss VSBo (1986) auf bei 40°C getrocknete Proben bezogen, sondern neu auf Trockensubstanz (TS) d.h. auf bei 105°C getrocknete Probenaliquote, wie es die VBBo (1998) vorschreibt. Diese Umstellung war wegen Wassergehaltsänderungen in den Bodenproben notwendig (BUWAL 1993).

2.1.3 Datenbank

Ursprünglich waren die Labor- und Standortdaten in einer 'Oracle'-Datenbank abgelegt. Diese bedingte aber erhebliche Sachkenntnisse und wurde seit Jahren nicht mehr betreut und gewartet. Seit 1995 werden die NABO-Daten mit 'Microsoft Access' verwaltet. Die NABO-Datenbank wurde stark erweitert und ausgebaut. Sie enthält auch Stoffflussdaten zu den NABO-Standorten. Dazu gehören Daten über Schadstoffeinträge durch landwirtschaftliche Hilfsstoffe und Depositionen aus der Luft sowie Schadstoffgehalte in Kulturpflanzen zur Abschätzung von Austrägen. Neu ist die Ausweitung der Datenbank über die 105 NABO-Standorte hinaus. Für die Periode 1990 bis 1996 wurden an allen Fachinstitutionen für Bodenschutz und Bodenkunde der Schweiz rund 250'000 Schadstoffdaten und 87'000 Bodenkenngrössen von 13'650 Standorten gesammelt, validiert und in die NABO-Datenbank aufgenommen (Keller & Desaulles 1999).

Fazit 4: Methodische Änderungen sind bereits nach wenigen Jahren unvermeidlich. Diese müssen mit aufwändigen Vergleichsuntersuchungen auf die Dauerbeobachtung abgestimmt werden.

2.2 Beurteilung nach revidierten Richtwerten

Die Revision der VSBo (1986) betraf auch die Richtwerttabelle, welche für die VBBo (1998) geändert wurde (*Tab. 2-1*). Die Auswirkungen auf die Neubeurteilung der Richtwertüberschreitungen im NABO-Netz (BUWAL 1993) finden sich in *Tab. 2-2*.

Tab. 2-1: Revidierte Richtwerte für Totalgehalte in mg/kg

Element	VSBo 1986	VBBo 1998
Co	20	--
Cr	75	50
Cu	50	40
Hg	0.8	0.5
Tl	1	--
Zn	200	150
F	400	700

Tab. 2-2: *Auswirkung auf die Anzahl Richtwertüberschreitungen von Totalgehalten der 102 NABO-Standorte durch die Verordnungsrevision*

Element	Oberboden (0-20 cm)		Unterboden	
	VSB _o 1986	VBB _o 1998	VSB _o 1986	VBB _o 1998
Co	1	--	1	--
Cr	1	5	2	4
Cu	6	9	3	5
Hg	0	0	3	3
Zn	0	0	0	0
F	57	14	62	13

Die Aufhebung des Richtwerts für Co wirkt sich nur an einem gegen belasteten Standort (72) aus und stützt damit diesen Entscheid. Die Senkung der Richtwerte für Cr, Cu, Hg und Zn wirkt sich nur bei Cr mit vier und bei Cu mit drei weiteren Richtwertüberschreitungen im Oberboden aus. Die Anhebung des Fluorrichtwerts um 75 % hat erwartungsgemäss den grössten Einfluss. Die Anzahl der meist gesteinsbedingten Richtwertüberschreitungen nehmen im Ober- und Unterboden um 75 % bzw. knapp 80 % ab.

2.3 Standortveränderungen

Seit Beginn der Ersterhebung 1985 bis Ende 1997 ergaben sich an den insgesamt 105 NABO-Standorten folgende mehr oder weniger gravierenden Veränderungen: Zwei Waldstandorte (40, 45) wurden durch Grabarbeiten anderer Forschungsprojekte massiv gestört und mussten um einige Meter verschoben werden. Von den 28 Waldstandorten wurde einer (58) durch den Orkan 'Vivian' im Februar 1990 massiv durch Windwurf beeinträchtigt. Fünf weitere (8, 43, 81, 82, 90) wurden durch Holzschlag gestört. Am Standort 82 wurde vorübergehend ein Wildschutzzaun errichtet.

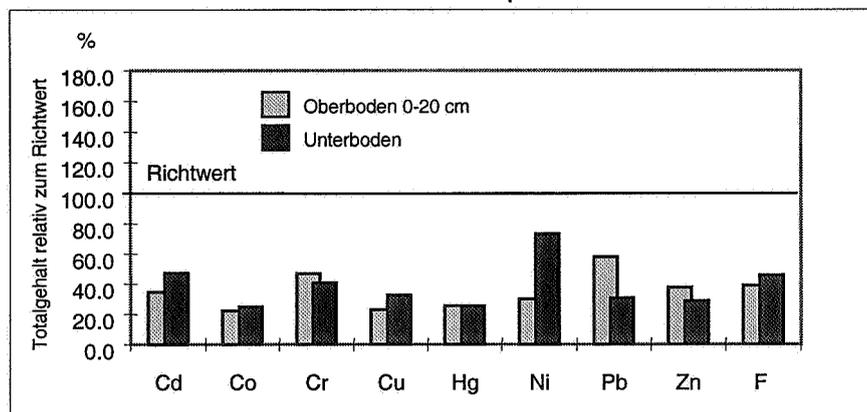
An zwei Rebbaustandorten (55, 96) wurden die Rebstöcke erneuert. Ein Ackerstandort (31) musste als Folge einer Veränderung der Schlageinteilung neu ausgerichtet werden. An zwei Standorten fanden Nutzungswechsel statt: Umstellungen von Dauerwiese auf Ackerbau (29) und Gemüsebau auf Ökoausgleichsfläche (59). Von den insgesamt 65 Landwirtschaftsstandorten wurden 47 (72 %) auf Integrierte Produktion und 4 (6 %) auf Biolandbau umgestellt. An 23 (35 %) der 65 Landwirtschaftsstandorte wechselten die Bewirtschafter, so dass mit einer mehr oder weniger veränderten Bewirtschaftung gerechnet werden muss. Der Landwirtschaftsstandort in Liebefeld (21) ist mittelfristig durch eine Überbauung gefährdet.

An 16 (15 %) der 105 Standorte verschwanden gesetzte Einmesspunkte. Es wird deshalb angestrebt, jeden Standort von drei unabhängigen Punkten einzumessen. Zur Lokalisierung mit einem Magnetsuchgerät werden seit 1998 an den Standorten Magnete vergraben.

Fazit 5: Seit 1985 haben über zwei Drittel aller NABO-Standorte mehr oder weniger gravierende Veränderungen erfahren, die für ein langfristig angelegtes Referenzmessnetz bedeutsam sind.

Fig. 2-3: Fortsetzung

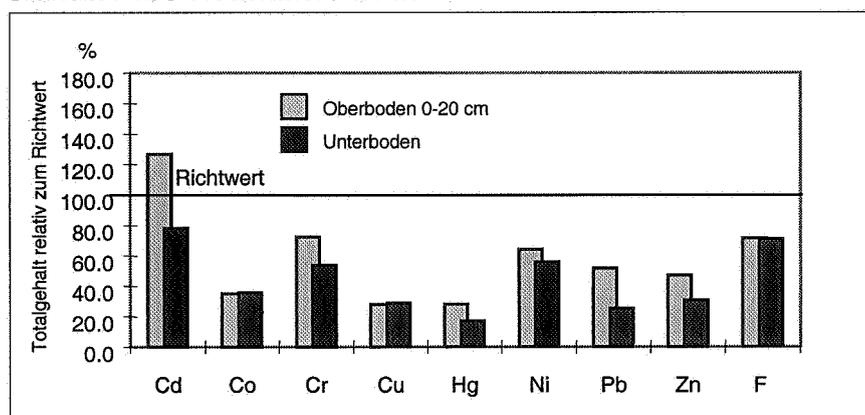
Standort 104 Küssnacht / Seebodenalp



Relative Bindungsstärke im Oberboden (0-20cm)

pH	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	F
4.8	4	4	5	5	5	4	5	4	5

Standort 105 Neuchâtel / Chaumont



Relative Bindungsstärke im Oberboden (0-20cm)

pH	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	F
6.2	5	5	5	5	5	5	5	5	5

Standort 103 Härkingen SO:

Der ländliche Autobahnstandort Härkingen SO liegt 15 m südlich der Fahrbahn und wird seit über 30 Jahren ackerbaulich genutzt. Die Autobahn ist seit 1966 in Betrieb. Die einzige Richtwertüberschreitung zeigt Ni im Unterboden. Diese wird als gesteinsbedingt interpretiert. Hinweise auf anthropogene Belastungen aufgrund höherer Gehalte im Oberboden gibt es bei den atmophilen Elementen Cd, Hg, Zn und erwartungsgemäss am ausgeprägtesten bei Pb. Anzeichen für Belastungen durch landwirtschaftliche Hilfsstoffe sind nicht erkennbar. Die relativen Bindungsstärken sind durchwegs sehr stark und die Schadstoffbelastungen relativ gering, d.h. das Risiko der Mobilität und Bioverfügbarkeit ist tief.

Standort 104 Küssnacht / Seebodenalp SZ:

Der Standort liegt auf der Seebodenalp, am Nordhang der Rigi, in einer Alpweide auf Gemeindeboden von Küssnacht SZ. Kein Richtwert wird überschritten. Die Hinweise anthropogener Belastungen bei Pb und Zn verschwinden volumenbezogen (mg/dm^3). Es handelt sich also um einen weitgehend unbelasteten Standort. Die relativen Bindungsstärken sind stark bis sehr stark und die Schadstoffbelastungen dagegen tief, d.h. das Risiko der Mobilität und Bioverfügbarkeit ist gering.

Standort 105 Neuchâtel / Chaumont NE:

Der Standort befindet sich auf der Jurahöhe des Chaumont de Bosset in einer Naturwiese noch knapp in der Gemeinde Neuchâtel NE. Die Richtwertüberschreitung von Cd im Oberboden wird teils dem luftbürtigen Eintrag und teils der Rückstandsanreicherung durch Verwitterung zugeschrieben, was aus den erhöhten Cd-Gehalten im Unterboden abgeleitet wird. Schwache luftbürtige Belastungen zeigen sich bei Hg, Pb und Zn. Die höheren Gehalte im Oberboden der lithogenen Elemente Cr und Ni deuten auf Lössseinwehungen hin, wie sie im Jura verbreitet sind. Die relativen Bindungsstärken sind für alle Elemente sehr stark und die Schadstoffbelastungen relativ gering, d.h. das Risiko der Mobilität und Bioverfügbarkeit ist entsprechend gering.

Fazit 6: In Koordination mit dem Nationalen Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe (NABEL) wurde das NABO-Messnetz 1995 mit drei Standorten auf 105 Standorte ergänzt. Weder die beiden ländlichen Weidestandorte Seebodenalp an der Rigi (SZ) und Chaumont (NE) noch der Autobahnstandort Härkingen (SO) zeigen auffällige Bodenbelastungen.

2.5 Organische Schadstoffuntersuchungen

Die Untersuchungen organischer Schadstoffe im Boden sind im Vergleich zu den anorganischen Schadstoffen noch stark im Rückstand. Gründe dazu sind: der Untersuchungsbeginn erst ab den 80er Jahren, hohe Kosten, oft sehr tiefe Konzentrationen und die hohe Zahl organischer Schadstoffverbindungen. Entscheidend aber ist, dass erst seit 1998 gesetzliche Beurteilungswerte für polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), polychlorierte Biphenyle (PCB) sowie Dioxine und Furane (PCDD/F) vorliegen (VBBo 1998).

Für das NABO wurden bereits 1985 die ersten Bodenproben für die Analyse schwerflüchtiger organischer Schadstoffe entnommen und tiefgekühlt archiviert. In einer Studie über organische Schadstoffe in der schweizerischen Landwirtschaft (Berset & Holzer 1995) wurden erstmals Gehalte von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) und polychlorierten Biphenylen (PCB) in Bodenproben von 18 NABO-Standorten veröffentlicht. Ein Überblick über organische Schadstoffgehalte in Böden der Schweiz aus verschiedenen Literaturquellen findet sich in Berset (1997).

Die Erfahrung, dass Analysenergebnisse organischer Schadstoffe in Böden von verschiedenen Laboratorien zur Zeit noch schlecht vergleichbar sind, führte zum Projekt OSBO (AgOS 1997), welches verschiedene PAK-Analysenmethoden verglich. 1998 wurde das laufende Ringanalyseprogramm (Desaules et al. 1997) auf die in der VBBo (1998) aufgeführten organischen Schadstoffe ausgeweitet (Desaules & Dahinden 1999). Sobald die analytischen Probleme behoben sind, sollen im Rahmen des Projekts OSNABO (FAL 1995) in sämtlichen NABO-Böden die PAK- und PCB-Gehalte gemessen und ausgewertet werden. Als gesetzliche Beurteilungskriterien werden die Richt-, Prüf- und Sanierungswerte der VBBo (1998) herangezogen, deren Herleitung am Beispiel der PAK in Häberli et al. (1998) dokumentiert ist.

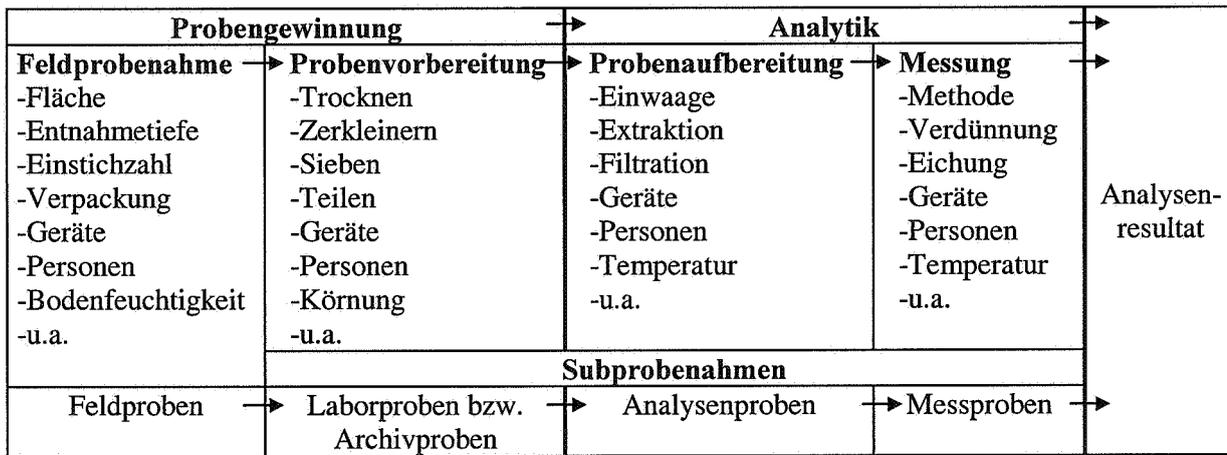
Fazit 7: Die Kenntnisse über die Belastungen der schweizerischen Böden mit organischen Schadstoffen sind zur Zeit noch sehr lückenhaft.

3 ANALYSENQUALITÄT

3.1 Grundlagen

Die Interpretation von Analysenergebnissen ist stark von deren Qualität abhängig. Diese wiederum ist das Ergebnis zahlreicher Arbeitsschritte und Einflussfaktoren, die schematisch in *Fig. 3-1* dargestellt sind. Ausgangspunkt bei Bodenanalysen ist die Probenahme im Feld.

Fig. 3-1: Von der Probenahme bis zum Analysenergebnis: Arbeitsschritte, Faktoren und Probenarten



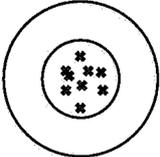
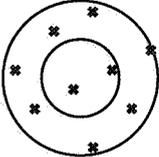
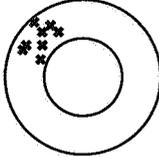
Probengewinnung und Analytik sind komplementär und untrennbar miteinander verbunden. Beide sind nie genau und beinhalten Fehler bzw. Unsicherheiten, die sich addieren (Gy 1991):

$$\text{Analysenergebnis} = \text{wahrer Wert} + \text{Probengewinnungsfehler} + \text{Analytikfehler}$$

Die Trennung von Probengewinnungsfehler und Analytikfehler ist nur näherungsweise möglich, weil in der Praxis keine vollständig homogenen und damit absolut repräsentativen Proben gewonnen werden können (Gy 1991) und die Fehlerquellen mannigfaltig sind (Funk et al. 1992). Damit kann auch der **wahre Wert** nur als **Sollwert** angenähert werden und bleibt letztlich unbekannt. Die Fehler können nur bis zu einem gewissen Grad (Elementarfehler) eliminiert werden. Die Strategie der Fehlerreduktion geht dahin, (1) die Fehlermöglichkeiten durch minimale Probenmanipulation zu reduzieren und (2) bekannte grobe sowie einfache Fehler zu vermindern (Funk et al. 1992). Dabei ist nicht jede Massnahme gleich wirksam und sinnvoll. Ein Analysenergebnis ist nur dann vollständig und interpretierbar, wenn darin auch die Ergebnisunsicherheiten bzw. Fehler ausgedrückt werden. Die Fehler zu charakterisieren, sie als Abweichungen oder Streuungen zu quantifizieren und soweit möglich zu eliminieren, ist die Aufgabe der **Qualitätssicherung**.

Die **Genauigkeit** von Analysenwerten ist das Ergebnis der **Richtigkeit** d.h. der systematischen Abweichung vom Sollwert und der **Präzision** d.h. der zufälligen Abweichung bzw. Streuung (Funk et al. 1992). Diese drei Grundbegriffe der Qualitätssicherung können wie in *Fig. 3-2* als Einschüsse auf einer Zielscheibe veranschaulicht werden.

Fig. 3-2: Die Analysenqualitätsbegriffe Genauigkeit, Richtigkeit und Präzision

Fehlertyp:		zufälliger Fehler	systemat. Fehler
			
Präzision:	gut	schlecht	sehr gut
Richtigkeit:	sehr gut	gut	schlecht
Genauigkeit:	sehr gut	schlecht	schlecht

Die **Analysenstabilität** kennzeichnet die zeitlichen Veränderungen von Richtigkeit und Präzision. Mit zunehmender Standardisierung der Präzisionsbedingungen lässt sich die Präzision bis zu einem gewissen Grad (Elementarfehler) verbessern; dieser wird stark von der verwendeten Analysenmethode und der Konzentration bestimmt. Standardisierungsmassnahmen zur Verbesserung der Präzision sind nur zulässig, wenn sie die Richtigkeit nicht beeinträchtigen, also keine gerichteten d.h. systematischen Fehler erzeugen. Es wird grundsätzlich unterschieden zwischen **Vergleichsbedingungen** für die (labor)externe Vergleichbarkeit und **Wiederholbedingungen** für die (labor)interne Vergleichbarkeit. Dabei werden verschiedene Standardisierungsgrade unterschieden. Die strengsten Wiederholbedingungen mit der gerätspezifisch besten Präzision sind Analysen innerhalb derselben Serie. Für ausführliche Definitionen der verwendeten Qualitätssicherungsbegriffe sei auf die Literatur verwiesen (z.B. Funk et al. 1992).

Die Bodendauerbeobachtung erfordert, wie alle Zeitreihenuntersuchungen, eine langfristig gesicherte Analysenstabilität und eine maximale Präzision bzw. einen maximalen Auflösungsgrad (Resolution). Die Richtigkeit ist dabei von untergeordneter Bedeutung. Diese Anforderungen an die Datenqualität zu erfüllen, ist aus folgenden Gründen anspruchsvoll: (1) Die Heterogenität von Böden in einem landesweiten Beobachtungsnetz ist sehr gross. (2) Die mineralische und organische Stoffzusammensetzung der Böden (Matrix) ist entsprechend sehr verschieden. (3) Der Bereich möglicher Schadstoffkonzentrationen ist sehr gross und in Bodenproben oft auch näherungsweise nicht bekannt. (4) Langfristige Zeitreihenanalysen bedingen eine entsprechende Analysenstabilität bzw. Stabilität der Referenz-Archivproben. (5) Die erwarteten absoluten Veränderungen der Schadstoffkonzentrationen sind gering und nur mit einer extrem guten Präzision nachzuweisen.

Für das NABO musste deshalb ein speziell zugeschnittenes Konzept der Qualitätssicherung und Qualitätskontrolle (QS/QK) für Analytik und Probengewinnung erarbeitet werden, das von den in Tab. 3-1 zusammengestellten Analysenmethoden ausgeht. Die Bestimmungsgrenzen variieren bis zu drei Grössenordnungen. Sie sind mehr oder weniger auf die häufig vorkommenden Konzentrationsbereiche abgestimmt.

Nachstehend werden Ergebnisse zur Datenqualität bei der Analytik und Probengewinnung des NABO dargestellt. Die Ergebnisse zur Richtigkeit (*Kap. 3.2*) und Vergleichspräzision (*Kap. 3.3*) sind für die Beurteilung der Vergleichbarkeit der Analysenresultate mit anderen Laboratorien und Studien bzw. Beobachtungsnetzen von Bedeutung. Das *Kap. 3.4* zeigt die erreichte Wiederholpräzision innerhalb desselben Labors unter verschiedenen Wiederholbedingungen.

Tab. 3-1: *Extraktionen und Messmethoden mit Angaben der Bestimmungsgrenzen und häufige Gehalte*

Element	Extraktion	Messmethode	Bestimmungsgrenze ¹⁾ (mg/kg)	Häufige Gehalte ²⁾ (mg/kg)
Cd	2 M HNO ₃	GAAS	0.01	0.11-0.49
Co	2 M HNO ₃	GAAS	0.1	3-10
Cr	2 M HNO ₃	FAAS	5.5	13-38
Cu	2 M HNO ₃	FAAS	2.5	6-35
Hg	2 M HNO ₃	CV-AAS	0.005	0.06-0.19
Ni	2 M HNO ₃	FAAS	5.0	6-40
Pb ³⁾	2 M HNO ₃	GAAS	0.13	16-38
Zn	2 M HNO ₃	FAAS	4.0	35-89
F	NaOH	ISE	20.0	234-715

¹⁾ Bestimmungsgrenze = tiefster verwendeter Standard x Verdünnungsfaktor

²⁾ 10. - 90. Perzentilwerte im Oberboden von 102 NABO-Standorten (BUWAL 1993)

³⁾ bis Juni 1993 noch 10 mg/kg mit FAAS (*Kap. 2.1.2*)

GAAS = Graphitrohr-Atomabsorptionsspektrometrie mit Zeemann-Kompensation

FAAS = Flammen-Atomabsorptionsspektrometrie

CV-AAS = Kaltdampf- Atomabsorptionsspektrometrie

ISE = Ionensensitive Elektrode

Die Methodenvergleiche in *Anhang F* zeigen ergänzend die Übereinstimmung von Analysenresultaten bei der Anwendung verschiedener Extraktions- oder Messverfahren. Dargestellt sind Vergleiche zwischen Totalgehalten nach VBBo (1998) und "echten Totalgehalten" sowie solchen mit Königswasseraufschluss.

3.2 Richtigkeit

Die Richtigkeit ist ein Ausdruck für die systematische Abweichung von einem konventionell festgelegten richtigen Wert (Sollwert). Dieser wird in der Praxis einerseits offiziell durch strenge Zertifizierungsverfahren von Probenmaterial bestimmt, oder andererseits inoffiziell durch den Medianwert aus öffentlichen Ringanalysen charakterisiert. Aus Gründen der Zuverlässigkeit wird Probenmaterial in der Regel offiziell nur für "echten Totalgehalte" zertifiziert. Die Analysenwerte für Schwermetalle nach VBBo (1998) aus der Extraktionslösung mit 2 molarer Salpetersäure sind jedoch nur Pseudo-Totalgehalte.

3.2.1 Abweichung von Sollwerten zertifizierter Bodenproben

Seit 1995 stehen erstmals vier zertifizierte Bodenproben für Schwermetallanalysen aus Extrakten mit 2 molarer heisser Salpetersäure (2M HNO₃) zur Verfügung. Die Zertifizierungsstelle ist das Czech Metrological Institute in Brno, und der Vertrieb erfolgt durch die Firma Analytika Co Ltd, U Elektry 650, Cz-19800 Prag. Bei den vier zertifizierten Proben handelt es sich um feingemahlene (<100 µm) Landwirtschaftsböden verschiedener Textur: leichte sandige Böden (Nr. 1 und Nr. 2), toniger Schlufflehm (Nr. 3) und Schlufflehm (Nr. 4). Die Schwermetallkonzentrationen inklusive Unsicherheit (Präzision) sind in Tab. 3-2 zusammengestellt.

Tab. 3-2: Schwermetallkonzentrationen (2M HNO₃) von zertifizierten Bodenproben in mg/kg mit Messunsicherheit ($\pm 2s$)

Elemente	Zertifizierte Proben			
	Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3	Nr. 4
Cd	0.22 ± 0.04	0.26 ± 0.03	0.27 ± 0.04	1.44 ± 0.07
Co	8.44 ± 0.65	10.2 ± 0.6	8.31 ± 0.46	12.5 ± 0.6
Cr	48.5 ± 4.5	121 ± 11	23.8 ± 2.3	27.3 ± 2.0
Cu	24.1 ± 1.05	23.8 ± 1.1	20.6 ± 1.2	159 ± 5
Hg	0.059 ± 0.014	0.046 ± 0.005	0.054 ± 0.008	0.16 ± 0.03
Ni	18.7 ± 1.2	33.7 ± 2.0	22.2 ± 1.1	21.1 ± 0.9
Pb	23.7 ± 1.4	34.1 ± 1.8	22.7 ± 1.3	82.6 ± 1.9
Zn	97.1 ± 2.9	58.1 ± 2.2	54.2 ± 2.3	169 ± 8

fett: zertifizierte Werte

Fig. 3-3 zeigt die Abweichungen der vom NABO gemessenen Werte von den Sollwerten. Bei Cr, Cu, Ni und Zn sind eindeutige positive systematische Abweichungen zwischen rund 10 % bis gegen 30 % festzustellen.

Fig. 3-3: Abweichungen der vom NABO gemessenen Werte in Prozent von den Sollwerten zertifizierter Bodenproben mit Unsicherheitsbereichen ($\pm 2 CV$)

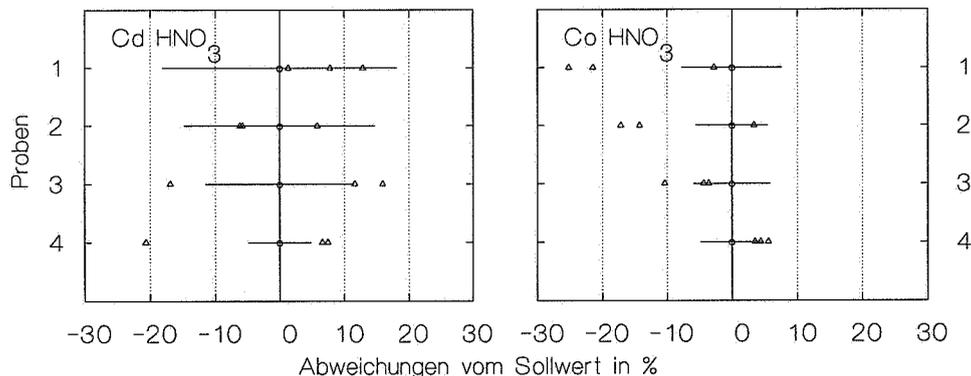
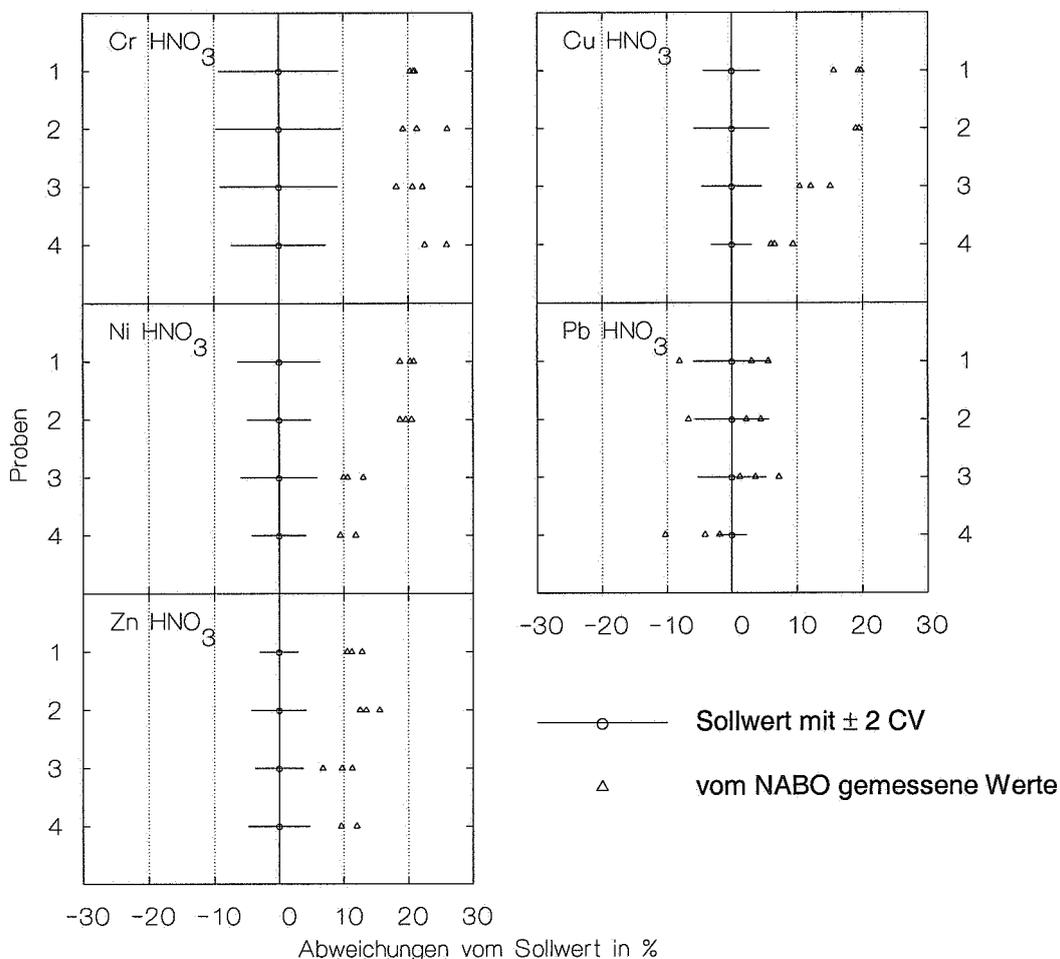


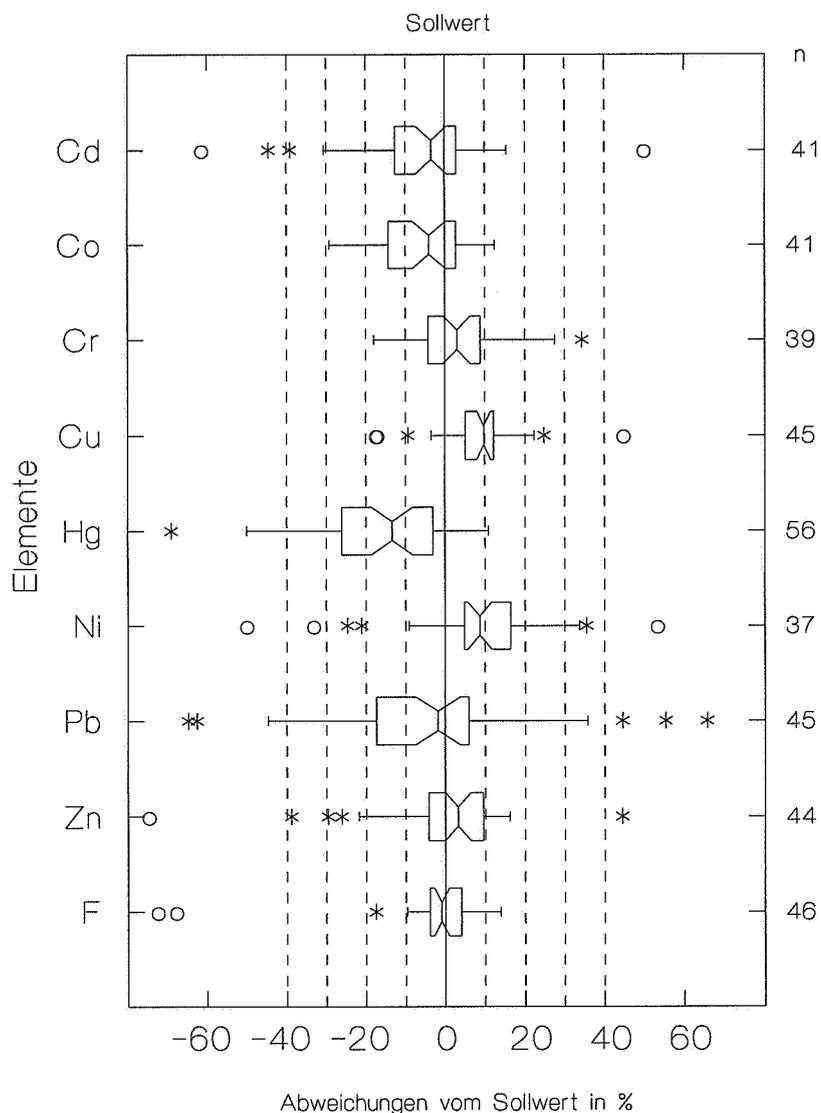
Fig. 3-3 Fortsetzung



3.2.2 Abweichung von Sollwerten aus Ringanalysen

Zertifiziertes Referenzmaterial umfasst stets nur ein sehr beschränktes Spektrum verschiedener Matrices und Analytkonzentrationen. Um dieses auszuweiten, ist es sinnvoll für die praxisrelevante Beurteilung der Richtigkeit Sollwerte periodisch ausgeführter Ringanalysen mit zahlreichen Proben beizuziehen. Seit 1989 wird ein Ringanalysenprogramm (z.B. Desaulles et al. 1997) zur periodischen Dokumentation der Vergleichbarkeit der Laborresultate im Rahmen der VSBo (1986) bzw. VBBo (1998) organisiert. Dazu werden jährlich 4 x 4 Bodenproben an 30 - 40 Teilnehmerlaboratorien verschickt. Fig. 3-4 zeigt die prozentualen Abweichungen der Analysenresultate des NABO-Laboratoriums von den Sollwerten (Mediane) der VSBo-Ringversuche für die Perioden 1992-95 (z.B. Desaulles et al. 1997). Die eindeutigsten positiven systematischen Abweichungen zeigen Cu und Ni. Tendenziell positive Abweichungen sind bei Cr und Zn festzustellen. Überwiegend negative Abweichungen weisen vor allem Hg, aber auch Cd und Co auf.

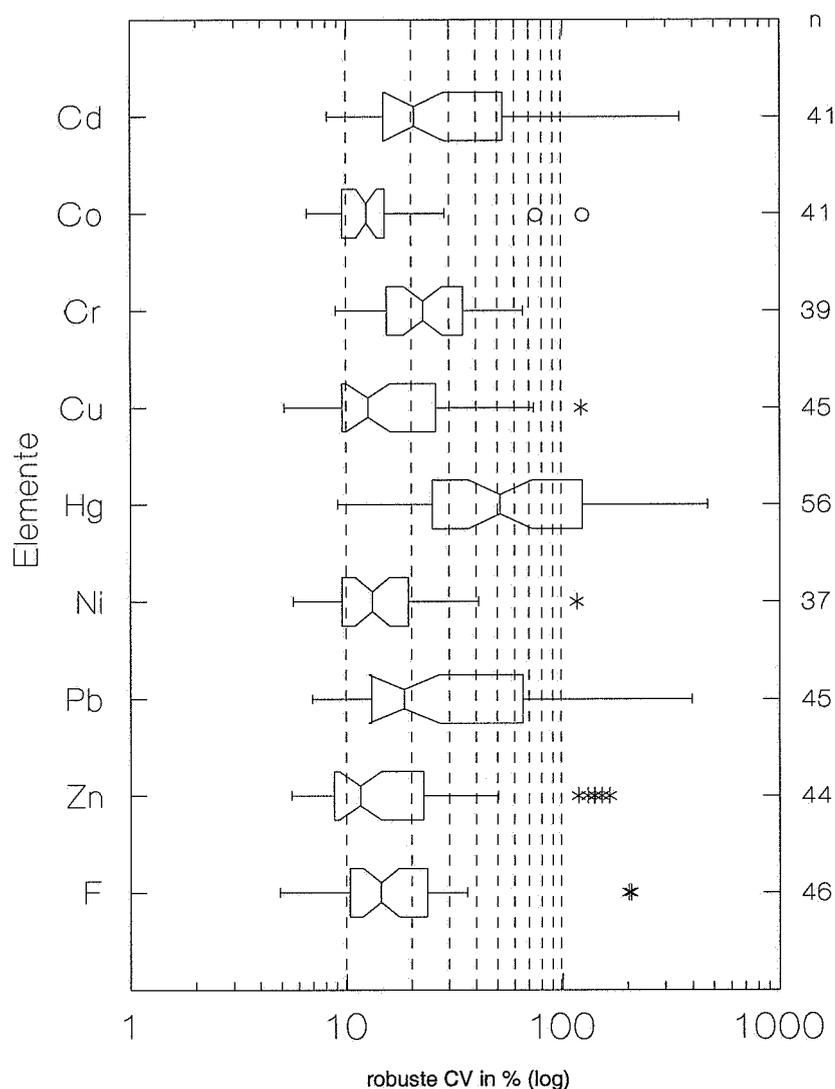
Fig. 3-4: Abweichungen der vom NABO gemessenen Werte von den Sollwerten (Mediane) der VSBo-Ringversuche der Perioden 1992-1995 (Legende zu den Boxplots in Anhang E)



3.3 Vergleichspräzision

Die Vergleichspräzision dient der (labor)externen Vergleichbarkeit von Analysenergebnissen. Sie kann nur in Ringuntersuchungen ermittelt werden. In Fig. 3-5 wird die Vergleichspräzision zusammenfassend als robuste Variationskoeffizienten der VSBo-Ringversuchsperiode 1992-1995 angegeben (Desaules et al. 1997).

Fig. 3-5: Vergleichspräzision der VSBo-Ringversuchsperiode 1992-1995
(Legende zu den Boxplots in Anhang E)



Hg mit der tiefsten Konzentration weist mit einem Medianwert des robusten Variationskoeffizienten von etwa 50 % die geringste Präzision auf. Bei den andern Elementen liegt sie zwischen 10 % und 20 %, bei Cr und Cd etwas höher.

Fazit 8: Für die Richtigkeit und Vergleichbarkeit der Analysenresultate ist zu berücksichtigen, dass das NABO-Referenznetz bei Cu, Ni, Cr und Zn tendenziell bis systematisch höhere und bei Hg, Cd, Co und Pb tiefere Messwerte ermittelt. Die Vergleichspräzision zwischen verschiedenen Laboratorien ist bei Hg aber auch teilweise bei Cd, Cr und Pb unbefriedigend.

3.4 Wiederholpräzision

Die Wiederholpräzision dient der (labor)internen Vergleichbarkeit von Analysenresultaten. Je höher der methodenspezifische Standardisierungsgrad der Wiederholbedingungen, desto besser ist die Präzision.

3.4.1 Wiederholpräzision einer Kontrollprobe über 7 Jahre

Eine Kontrollprobe wurde in einem Zeitraum von 7 Jahren in jeder Messserie mitanalysiert. Bei dieser langfristigen Untersuchung sind die Wiederholbedingungen bezüglich Analysenmethode, Objekt, Geräteausrüstung und Ort erfüllt, nicht aber in Bezug auf dieselbe Person und die kurzen Zeitabstände. Letztere betragen zwischen den Messserien meistens zirka 5 Wochen, maximal bis 10 Monate. Die statistischen Masszahlen der Resultate sind in *Tab. 3-3* dargestellt. Als Kontrollboden (KB1) dient eine feingemahlene Mischprobe verschiedener Böden ($\varnothing < 0.2$ mm, pH (H₂O) 6.2, org. C 3.6 %, Ton 21 %). Die Mittelwerte der Kontrollprobe liegen bei allen Elementen im mittleren Konzentrationsbereich des NABO-Probenkollektivs und repräsentieren dieses damit recht gut.

Tab. 3-3: Statistische Masszahlen zur Wiederholpräzision von Schwermetall und Fluoranalysen einer Kontrollprobe (KB1) über 7 Jahre der Messperiode 1988-94 (aus: Desaulles et al. 1996)

Element	n	\bar{x} (mg/kg)	s (mg/kg)	CV (%)
Cd	50	0.31	0.03	9
Co	49	4.9	0.6	12
Cr	49	23.1	1.3	6
Cu	50	15.2	0.5	3
Ni	49	20.4	1.2	6
Pb	50	20.1	2.6	13
Zn	50	51.0	1.6	3
F	91	350.5	18.4	5

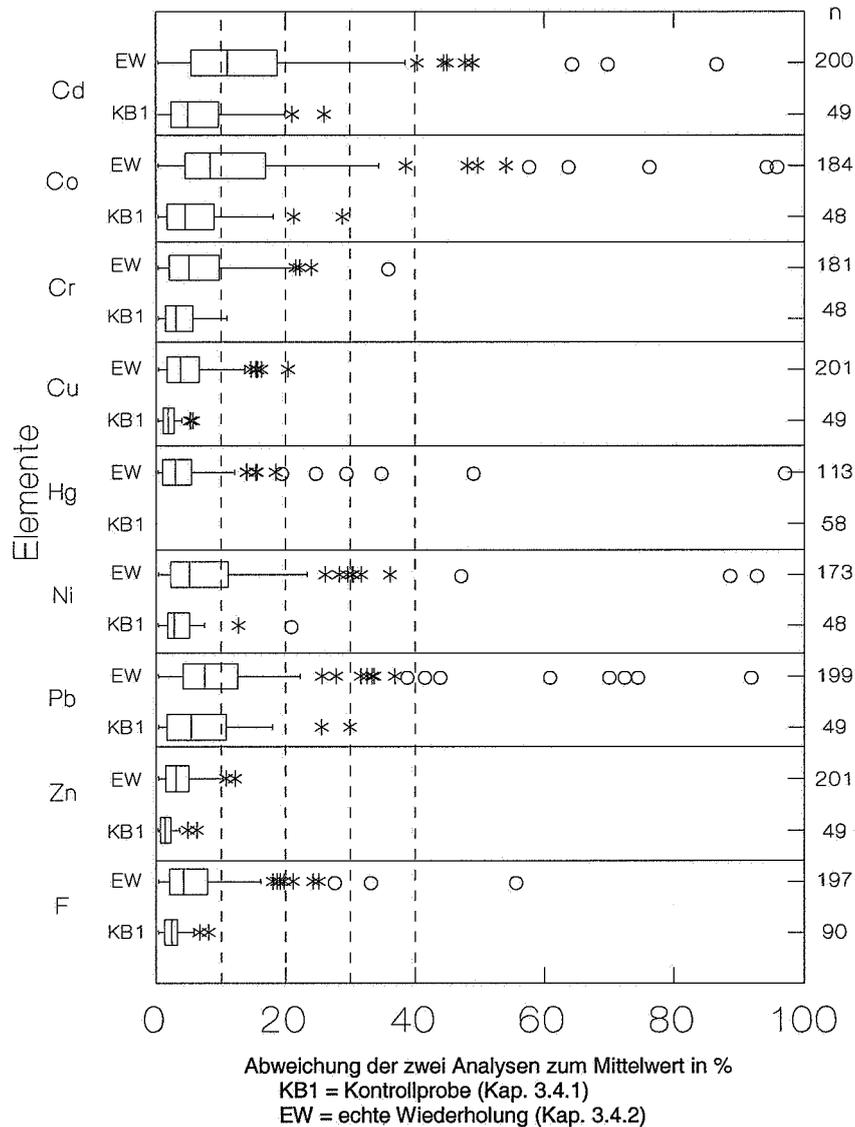
Die Streuungen sind stärker vom Element abhängig als von der Konzentration und weisen Variationskoeffizienten (CV) zwischen 3-13 % auf.

3.4.2 Wiederholpräzision von Serie zu Serie

Pro Standort und Entnahmetiefe wurde je eine Probe der Vierfachbeprobungen in der nachfolgenden Messserie erneut analysiert (echte Wiederholung von Extraktion und Messung). Die Zeitabstände zwischen den Messserien und die Messperiode waren die gleichen wie im vorangehenden *Kap. 3.4.1*. In *Fig. 3-6* sind die Abweichungen der echten Wiederholanalysen zwischen den aufeinanderfolgenden Messserien in Prozent um die Mittelwerte der Wertepaare dargestellt. Zum Vergleich sind auch die Ergebnisse der Kontrollprobe (KB1) eingetragen.

Die Abweichungen der Wiederholmessungen vom Mittelwert liegen ausser bei Cd überwiegend deutlich unter 10 %. Erwartungsgemäss ist die Präzision der Kontrollprobe (KB1) generell noch etwas besser, weil Elementkonzentration und Matrix konstant sind.

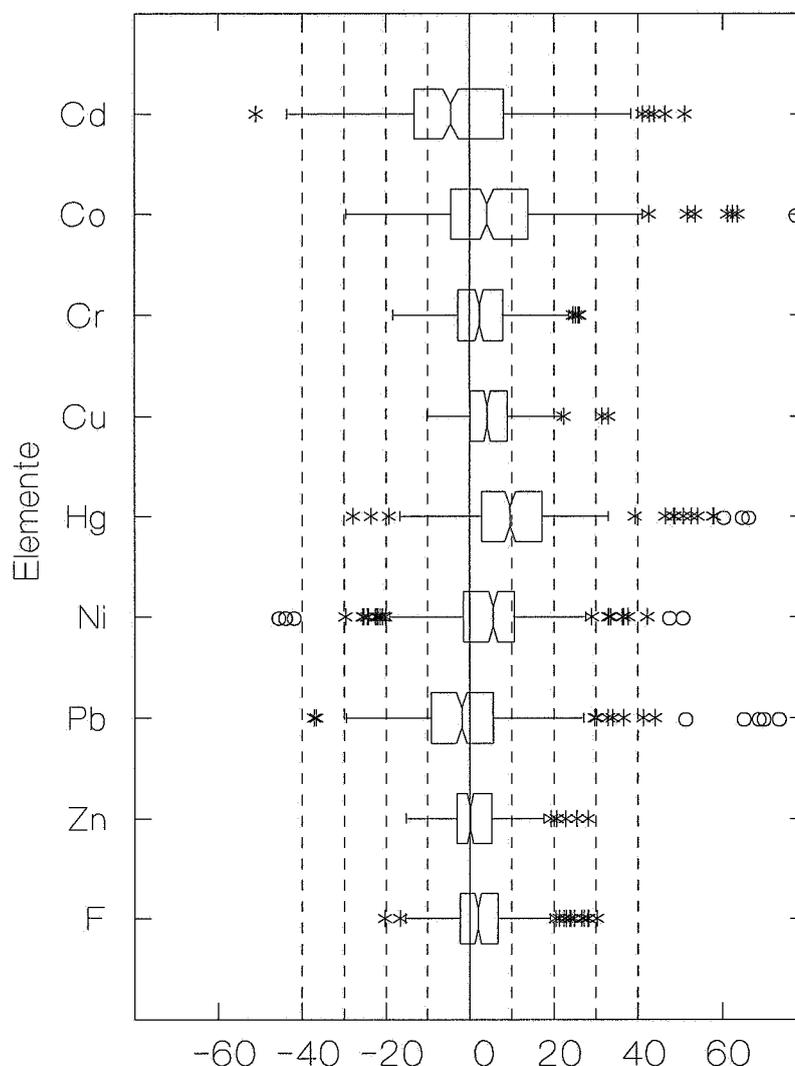
Fig. 3-6: Wiederholpräzision von Serie zu Serie (Legende zu den Boxplots in Anhang E)



3.4.3 Wiederholpräzision und Probenstabilität nach 5 Jahren

Die Proben der Ersterhebung wurden nach 5 Jahren im gleichen Labor mit dem gleichen Analyseverfahren parallel mit den entsprechenden Proben der Zweiterhebung erneut analysiert. Nur bei Pb wurde für einen Teil der zweiten Analysen von FAAS auf GAAS umgestellt (Kap. 2.1.2). In Fig. 3-7 sind die Abweichungen der Wiederholanalysen der Ersterhebung nach 5 Jahren in Prozent um die Mittelwerte der Wertepaare dargestellt.

Fig. 3-7: Wiederholpräzision nach 5 Jahren (Legende zu den Boxplots in Anhang E)



Abweichungen der zweiten Messung zur ersten Messung in % (n = 321-333)

Einzig Zn zeigt kaum Abweichungen, und ist weitgehend symmetrisch. Bei Co, Cr, Cu, Hg, Ni und F überwiegen positive Abweichungen. Bei Cd und Pb dagegen liegen die zweiten Analysen mehrheitlich tiefer, wobei bei Pb die erwähnte Umstellung von FAAS auf GAAS eine Rolle spielen könnte.

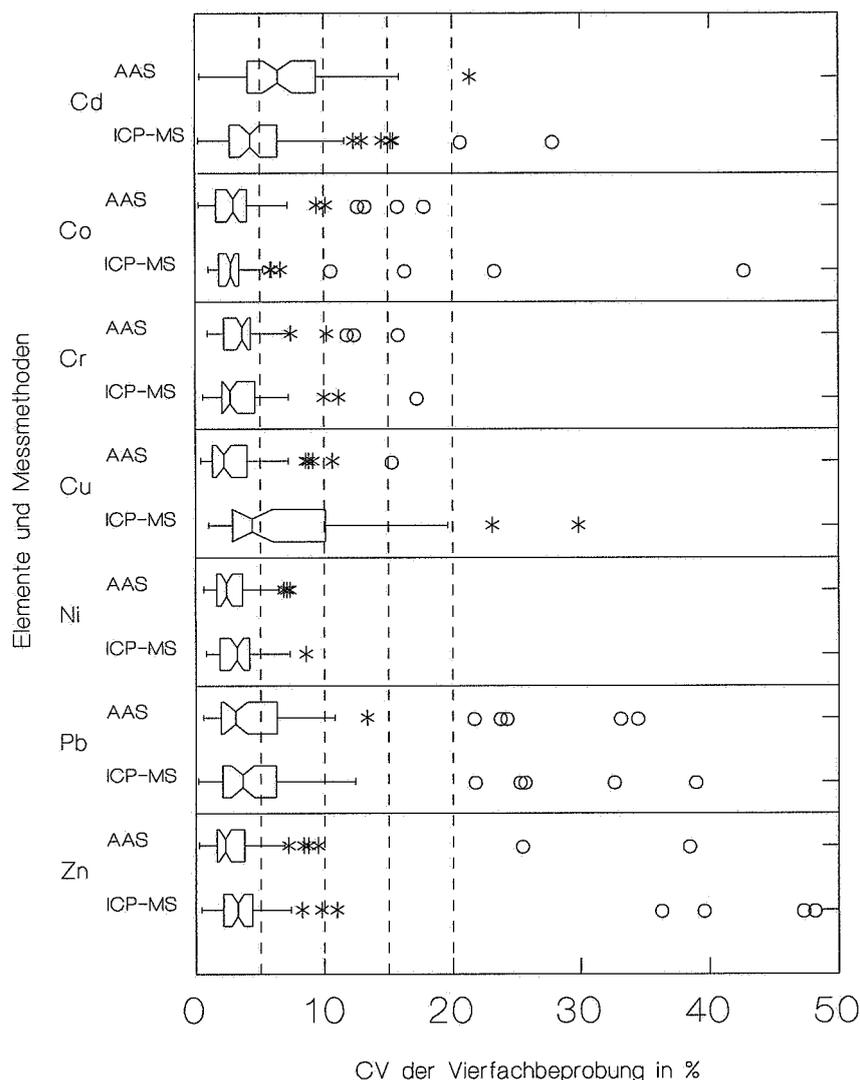
Der nicht bei allen Elementen gleichgerichtete Verlauf der tendenziellen Abweichungen der Wiederholanalysen nach 5 Jahren und der analoge Befund bei der 7-jährigen Messreihe einer Kontrollprobe sind starke Hinweise für die Stabilität der archivierten Bodenproben und dokumentieren gleichzeitig die elementspezifisch mehr oder weniger instabile Analytik über diesen Zeitraum (Desaules et al. 1996).

3.4.4 Wiederholpräzision innerhalb der Serie bei zwei Messmethoden

Durch die parallele Vierfachbeprobung der NABO-Standorte (Kap. 2.1.1) und die Analyse der Proben in der gleichen Messserie, sind Angaben über die methodenspezifisch bestmögliche Wiederholpräzision von Probengewinnung und Analytik möglich, die hier Standort-Wiederholpräzi-

sion genannt wird. Aufgrund der Umstellung der Schwermetallanalytik von AAS auf ICP-MS ab der Dritterhebung ist es notwendig, die Präzision beider Messmethoden auszuweisen. Fig. 3-8 zeigt die erreichte Wiederholpräzision der analysierten Elemente von 55 Standorten als Variationskoeffizienten der Vierfachbeprobungen der Vergleichsmessungen mit AAS und ICP-MS.

Fig. 3-8: Wiederholpräzision innerhalb der Serie von Vergleichsmessungen mit AAS und ICP-MS als Variationskoeffizienten von Vierfachbeprobungen an 55 Standorten (Legende zu den Boxplots in Anhang E)



Die Wiederholpräzision innerhalb derselben Messserie ist mit AAS bei Cu, Ni und Zn tendenziell besser als mit ICP-MS, bei Cd deutlich schlechter. Mit Ausnahme von Cd-AAS liegen die Variationskoeffizienten überwiegend deutlich unter 5 %.

Fazit 9: Für die Dauerbeobachtung ist im Hinblick auf einen hohen zeitlichen Auflösungsgrad eine ausgezeichnete Analysenpräzision notwendig. Diese nimmt mit zunehmendem Standardisierungsgrad zu. Methodenspezifisch maximal ist die Präzision innerhalb der gleichen Messserie bei unmittelbar hintereinander gemessenen Proben.

4 VERÄNDERUNGEN VON SCHADSTOFFGEHALTEN IM BODEN NACH 5 UND 10 JAHREN

4.1 Einführung

Über zeitliche Veränderungen von Schadstoffgehalten der Böden gibt es vorwiegend retrospektive Studien anhand archivierter Bodenproben. Eine Übersicht dazu gibt BUWAL (1993). Die Ergebnisse sind jedoch historischer Natur und ihre Aussagekraft ist in der Regel beschränkt, weil die Versuchsanordnungen oft nicht mit den nachträglich festgelegten Zielsetzungen übereinstimmen.

Für die wissenschaftliche Legitimation und Erfolgskontrolle umweltpolitischer Massnahmen zur Reduktion zivilisationsbedingter Schadstoffeinträge sind aber prospektive Untersuchungen notwendig. Das Hauptziel der schadstoffbezogenen Bodendauerbeobachtung ist deshalb die Erfassung und Beurteilung bzw. Früherkennung und Prognose schädlicher Stoffanreicherungen im Boden (*Kap. 1.2*).

Von den insgesamt 76 registrierten Dauerbeobachtungsnetzen mit Schadstoffprogrammen im Boden im In- und Ausland (*Kap. 1.4* und *1.5*) weisen bisher erst deren vier veröffentlichte Ergebnisse über zeitliche Veränderungen von Schadstoffgehalten auf: (1) das NABO der Schweiz (BUWAL 1993), (2) das Projekt Boden-Dauerbeobachtungsflächen Bayerns (Schilling 1997), (3) das kantonale Boden-Beobachtungsnetz St. Gallen (AfU/SG 1997) und (4) das Messnetz für Bodenqualität der Niederlande (Groot et al. 1997).

Diese Studien stellen bereits nach weniger als 10 Jahren teilweise deutlich messbare Veränderungen fest und zwar Zunahmen und Abnahmen. Zudem stimmen die an 14 landwirtschaftlich genutzten NABO-Standorten gemessenen Konzentrationsveränderungen im Oberboden um bis zu zwei Grössenordnungen nicht mit den für die gleiche Periode erfassten Schadstoffeinträgen aus der Atmosphäre und aus der Landwirtschaft überein (Desaules 1993). Dies sind Hinweise, dass zivilisationsbedingte Schadstoffeinträge nicht die einzige Ursache für Veränderungen von Schadstoffgehalten des Oberbodens sind (BUWAL 1993).

Für positive und negative Veränderungen, d.h. Abweichungen von früher festgestellten Schadstoffgehalten des Oberbodens, können zahlreiche Faktoren eine Rolle spielen:

1. **Schadstoffeinträge:** Diffuse natürliche und zivilisationsbedingte Einträge aus der Atmosphäre, direkte Einträge via landwirtschaftliche Hilfsstoffe u.a.
2. **Veränderungen durch bodendynamische Prozesse:** Bodendurchmischung durch anthropogene Bodenbearbeitung und/oder Durchmischung durch Bodenlebewesen (Bioturbation), Ernteentzüge, Rückstandsreicherungen durch Humusmineralisation und/oder Kalkauswaschung, Tiefenverlagerungen, Erosion, Ablagerungen u.a.
3. **Veränderungen der Probenahmebedingungen:** Geräte, Person, Vorgehen, Bodenzustand (Feuchte, Verdichtungsgrad) u.a.
4. **Veränderungen der Probenvorbereitungsbedingungen:** Geräte, Person, Vorgehen, Temperatur, Feuchtigkeit u.a.

5. **Veränderungen der Analysenbedingungen:** Geräte, Person, Vorgehen, Temperatur, Feuchte, vorangehende Analysen (Memory-Effekt) u.a.
6. **Veränderungen der Proben:** Biochemische und physikalische Prozesse in den Archivproben.

Bei den Faktorengruppen 1 bis 3 muss die räumliche Variabilität berücksichtigt werden. Die in den Gruppen 3 bis 6 erwähnten Veränderungen beruhen auf Verfahrensunsicherheiten (Probengewinnung und Analytik) und haben nichts mit tatsächlichen Konzentrationsveränderungen am Standort zu tun.

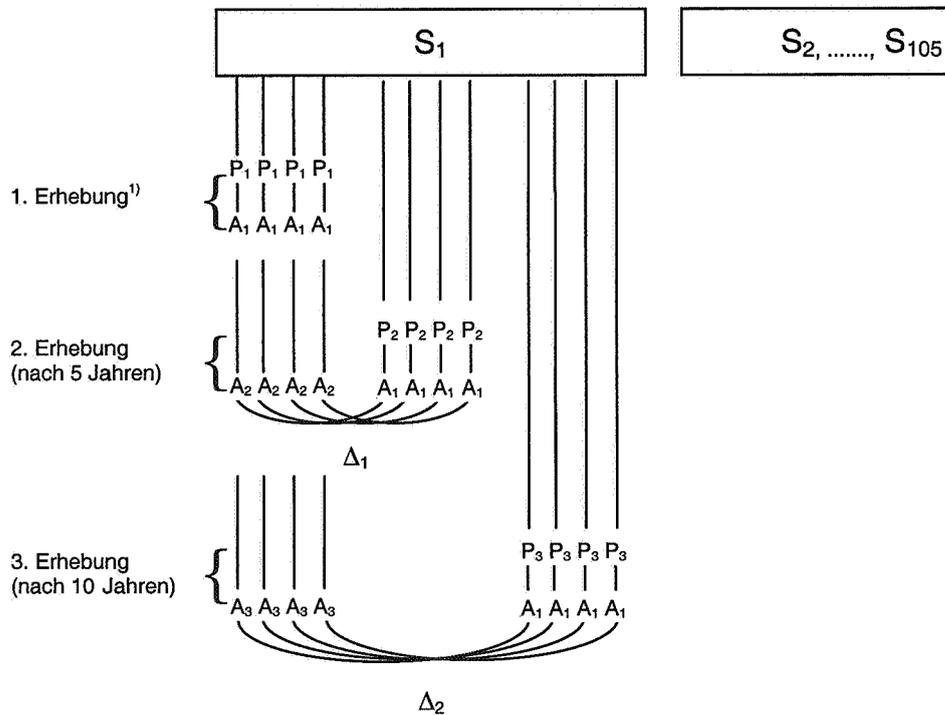
4.2 Vorgehen und Datenmaterial

In Wirklichkeit sind praktisch alle Faktorenkombinationen in unterschiedlicher Ausprägung zu erwarten. Um nur die zivilisationsbedingten Schadstoffanreicherungen im Boden zu erfassen, müssen demnach alle übrigen Faktoren unter Kontrolle gehalten werden, d.h. konstant oder vernachlässigbar sein. Als Grundlage dazu dient die Dokumentation von Veränderungen (*Kap. 2*) und die Ausweisung der Analysenqualität (*Kap. 3*) bzw. die möglichst weitgehende Dokumentation und Standardisierung der Arbeitsschritte. In der Praxis wird es jedoch kaum gelingen, sämtliche Faktoren vollständig unter Kontrolle zu bringen. Deshalb ist es sinnvoll, sich auf relevante Faktoren zu konzentrieren und unerlässlich, die Interpretationsunsicherheit soweit möglich statistisch oder zumindest qualitativ zu definieren. Das nachstehend beschriebene methodische Konzept hat den genannten Sachverhalten Rechnung zu tragen. Ausgangspunkt sind die NABO-Standorte, wie es der Untersuchungsplan in *Fig. 4-1* veranschaulicht.

Zu Beginn wurde pro Standort und Bodentiefe nur eine Mischprobe entnommen. Ab 1988 wurde auf die parallele Vierfachbeprobung umgestellt, um die Wiederholpräzision an jedem Standort zu jedem Erhebungszeitpunkt quantifizieren zu können (Standort-Wiederholpräzision *Kap. 3.4.4*). Dadurch sollen die Einflüsse der Probenahme-, Probenvorbereitungs- und Analysenbedingungen (Faktorengruppen 3 bis 5) auf die Konzentrationsveränderungen erfasst werden.

Die Probengewinnung (*Kap. 2.1.1*) und Analytik (*Kap. 3.4.4*) erfolgten unter strengsten Wiederholbedingungen, um die methodenspezifisch bestmögliche Präzision zu erzielen. Die Archivproben der Ersterhebung wurden jedesmal zusammen mit den entsprechenden Proben der nachfolgenden Erhebungen unmittelbar nacheinander in derselben Messserie noch einmal analysiert. Die Differenzen abzüglich der Messunsicherheit zwischen Ersterhebung und Zweiterhebung nach 5 Jahren, bzw. Dritterhebung nach 10 Jahren, entsprechen den zeitlichen Konzentrationsveränderungen durch Schadstoffeinträge und bodendynamische Prozesse. Sie sind wahrscheinlich auch eine Folge von Bodenzustandsänderungen (Faktorengruppen 1 bis 3).

Fig. 4-1: Untersuchungsplan des NABO-Netzes bis zur Dritterhebung



S Standort

P Probengewinnung (Probenahme und Probenvorbereitung)

A Analytik (A_1 = erste Bestimmung, A_2 = zweite Bestimmung, A_3 = dritte Bestimmung in dieser Probe)

$\Delta_{1,2}$ Veränderung der Konzentration zwischen Ersterhebung und Zweit-, bzw. Dritterhebung

¹⁾ für 25 Landwirtschaftsstandorte nur eine Mischprobe

Archivproben entsprechender Standorte sind für den Nachweis von zeitlichen Konzentrationsveränderungen die am besten geeignete Referenzbasis. Bodenproben sind einerseits für anorganische Schadstoffanalysen weit stabiler als die Messverfahren. Andererseits entsprechen sie, im Gegensatz zu Referenzmaterialien, in Matrixzusammensetzung und Analytkonzentration den zeitlichen Vergleichsproben weitestgehend. Eine ergänzende Untersuchung ergab für anorganische Schadstoffanalysen (Desaules et al. 1996), dass lufttrockene und bei Raumtemperatur archivierte Bodenproben mindestens über 5 Jahre stabil blieben (Kap. 3.4.3). Bisher nicht abgeklärt sind allerdings langfristig mögliche Alterungseffekte.

Bis Ende 1999 sind 105 Standorte mindestens einmal beprobt worden. 102 Standorte wurden nach 5 Jahren ein zweites und nach 10 Jahren ein drittes Mal beprobt (Anhang C). Erst 1988 wurde von einer Mischprobe pro Standort auf Vierfachbeprobung umgestellt. Deshalb existiert für die Ersterhebung der genannten 25 Landwirtschaftsstandorte nur je eine Mischprobe. Die Probenahmetiefe war gemäss VSBo (1986) überall 0-20 cm und an Standorten ohne Bodenbearbeitung zusätzlich 0-5 cm. Wegen Probenahmefehlern an den Standorten Nr. 2 (Zürichberg ZH, Wald) und Nr. 4 (Conthey VS, Obstbau) bei der Zweiterhebung, fehlen entsprechende Resultate. In Tab. 4-1 ist die Anzahl Vergleichs-Datensätze der 100 NABO-Standorte aufgeführt. Jeder

Datensatz umfasst alle neun untersuchten Schadstoffe. Daraus ergeben sich insgesamt 1'611 Resultate für zeitliche Konzentrationsänderungen. Sie wurden (ausser bei 25 Landwirtschaftsstandorten) aus der Differenz der Mittelwerte von je vier Analysenwerten ermittelt.

Tab. 4-1: Anzahl Datensätze und Resultate (=Mittelwerte aus 4 Proben) zeitlicher Konzentrationsveränderungen im Boden an 100 NABO-Standorten

Bodentiefe	Datensätze (Resultate)			
	nach 5 Jahren		nach 10 Jahren	
0-20 cm	100	(900)	25	(225)
0-5 cm	54	(486)	0	
Total	154	(1'386)	25	(225)

Fazit 10: Für den Nachweis zeitlicher Veränderungen von Schadstoffgehalten der Böden sind mehrfache Mischproben der Untersuchungsstandorte und die gleichzeitige Analyse der Proben der Ersterhebung und der Proben der Folgerhebung unerlässlich. Nur so können verfahrensbedingte Unsicherheiten minimiert und tatsächliche Veränderungen erkannt werden.

4.3 Auswertung

Aus dem Untersuchungsplan bis zur Dritterhebung Fig. 4-1 ergeben sich pro NABO-Standort und Beprobungstiefe (0-20 cm und z.T. 0-5 cm) die untenstehenden Datensätze, normalerweise in vierfacher Wiederholung:

P ₁ A ₁ : 1. Probengewinnung und 1. Analyse,	Ersterhebung
P ₁ A ₂ : 1. Probengewinnung und 2. Analyse,	} Zweiterhebung nach 5 Jahren
P ₂ A ₁ : 2. Probengewinnung und 1. Analyse,	
P ₁ A ₃ : 1. Probengewinnung und 3. Analyse,	} Dritterhebung nach 10 Jahren
P ₃ A ₁ : 3. Probengewinnung und 1. Analyse,	

Der Datensatz P₁A₁ dokumentiert die Schadstoffgehalte der Ersterhebung, welche Gegenstand des ersten NABO-Berichts sind (BUWAL 1993). Aus der Differenz der Mittelwerte (n = 4) zwischen P₁A₂ und P₂A₁ ergibt sich die Veränderung der Schadstoffgehalte nach 5 Jahren und aus der Differenz der Mittelwerte zwischen P₁A₃ und P₃A₁ jene nach 10 Jahren.

Für die Auswertung stellen sich die in der Umweltanalytik üblichen Probleme:

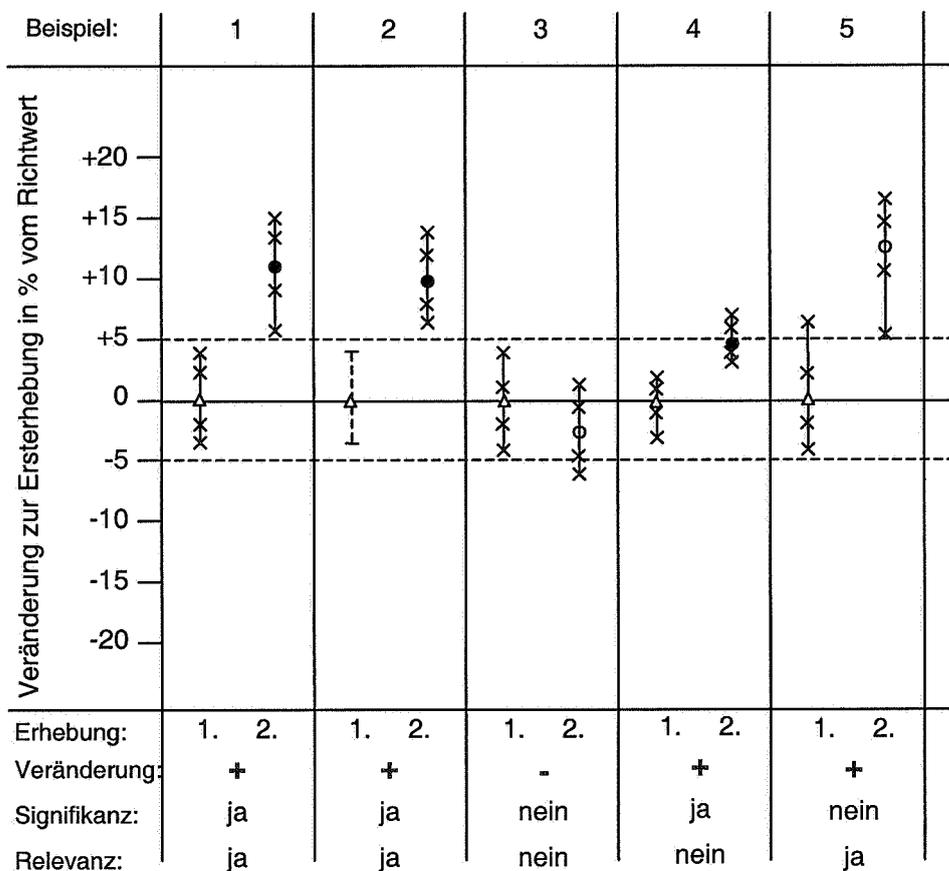
- Nur adäquate Vergleiche führen zu richtigen Interpretationen, d.h. es dürfen keine 'Äpfel mit Birnen' verglichen werden.
- Da die Messunsicherheit wesentlich vom Konzentrationsniveau abhängig ist (Horwitz 1982), sind bei stark variierenden Analytkonzentrationen auch die Streuungen verschieden gross und nicht direkt vergleichbar.
- Bodenchemische Daten sind oft nicht 'normal' verteilt (Bilisoly et al. 1997), sondern typischerweise rechtsschief und erlauben deshalb keine direkte Anwendung klassischer statistischer Methoden.

- Aus Kostengründen ist die Anzahl der Wiederholungen und damit der statistischen Freiheitsgrade in der Regel sehr eingeschränkt.
- Statistisch signifikante Unterschiede sind nicht zwingend relevant (McBride et al. 1993).

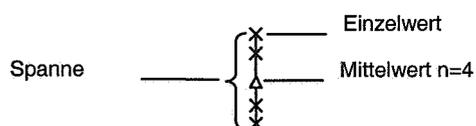
Im Folgenden soll unter Berücksichtigung der genannten Auswertungsprobleme eine Auswertungsstrategie abgeleitet werden, welche möglichst frühzeitig zeitliche Konzentrationsveränderungen erfasst (*Kap. 1.1*) und für das in *Kap. 4.2* dargelegte Vorgehen und Datenmaterial geeignet ist. Aufgrund der Vielfalt der Faktorenkombinationen, die standortbezogen zu Konzentrationsveränderungen führen können (*Kap. 4.1*), ist bei der Auswertung zwingend von den Veränderungen am Einzelstandort auszugehen, obwohl die Anzahl der statistischen Freiheitsgrade gering ist. Eine 'a priori' Gruppierung der Standorte z.B. nach Nutzung oder gar die Zusammenfassung des Gesamtkollektivs zur Festlegung signifikanter Veränderungen, wie sie aus statistischen Gründen empfohlen werden (z.B. Papritz 1995), ist inadäquat. Ein weiterer Vorteil der standortbezogenen Auswertung liegt darin, dass die Analytkonzentrationen und die Matrixzusammensetzung der Proben problemlos vergleichbar und deshalb keinerlei statistische Transformationen nötig sind.

Zur Definition der statistischen Signifikanz von Konzentrationsveränderungen eignen sich in der Umweltanalytik nichtparametrische Testmethoden, denn diese stellen weniger strenge Anforderungen an die Verteilung der Daten (z.B. Normalverteilung, ähnliche Varianzen). Da sowohl positive wie auch negative Veränderungen auftreten, und die Datensätze der vierfachen Vergleichsproben nicht gepaart sind, wird der zweiseitige, ungepaarte Wilcoxon-Test angewendet. Als Konvention für die Signifikanz einer Veränderung wird in diesem Bericht keinerlei Überlappung der Spannen der je vier Vergleichswerte geduldet. Dies entspricht für jedes einzelne Element am Standort einer statistischen Irrtumswahrscheinlichkeit von 2.9 %. Bei den 25 Landwirtschaftsstandorten mit nur einem Analysenwert bei der Ersterhebung (*Kap. 4.1*) wurde dieser als Mittelwert betrachtet und als Spanne jene der Zweiterhebung eingesetzt (*Fig. 4-2, Beispiel 2*).

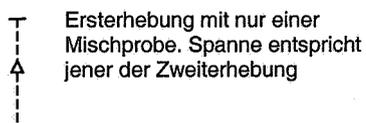
Als Relevanzkriterium wurde eine positive oder negative Konzentrationsveränderung von mehr als 5 % vom entsprechenden Richtwert festgelegt, die dem oben aufgeführten Kriterium der statistischen Signifikanz genügen muss. Richtwerte bezeichnen Schadstoffgehalte im Boden, bei deren Überschreitung die Fruchtbarkeit des Bodens langfristig nicht mehr gewährleistet ist (USG 1983, Art. 35). Die relative Bezugsbasis zu den Richtwerten ist auch deshalb sinnvoll, weil dadurch bei tiefen Konzentrationsbereichen geringe absolute Veränderungen prozentual weniger stark zum Ausdruck kommen, als wenn diese auf die Messwerte der Ersterhebung bezogen werden (vgl. BUWAL 1993 und Schilling 1997). Angaben absoluter Veränderungen sind zu Vergleichszwecken ungeeignet, weil die Konzentrationsbereiche sowohl zwischen den einzelnen Schadstoffen als auch zwischen den Standorten teilweise stark variieren. Beispiele zur Signifikanz und Relevanz von Konzentrationsveränderungen sind in *Fig. 4-2* dargestellt.

Fig. 4-2: Beispiele zur Signifikanz ($\alpha = 2,9\%$) und Relevanz von Konzentrationsveränderungen

Ersterhebung:



Zweiterhebung:



Fazit 11: Wegen der Vielfalt der Faktoren, die zu Konzentrationsveränderungen im Oberboden führen können, ist deren statistische Signifikanz am Einzelstandort zu bestimmen. Aus Relevanz- und Vergleichsgründen ist die Angabe der Veränderungen relativ zu den entsprechenden Richtwerten sinnvoll.

4.4 Ergebnisse und Interpretation

4.4.1 Veränderungen der Schadstoffgehalte im Überblick

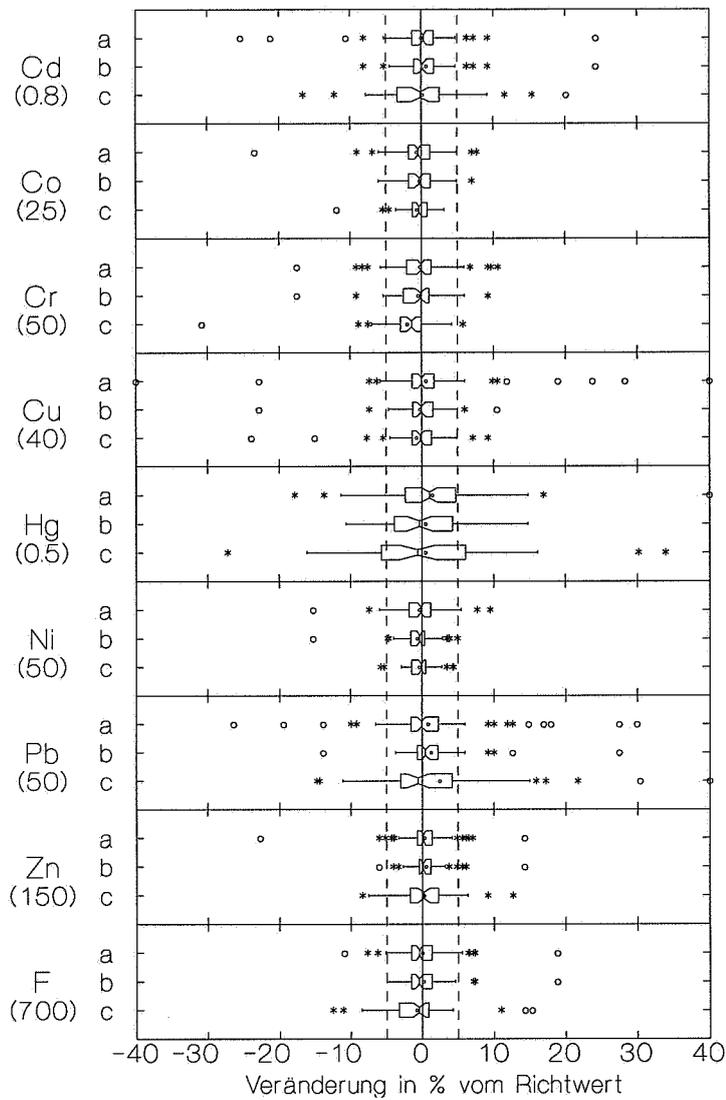
Im *Anhang G* sind sämtliche Daten zur Veränderung der Schadstoffgehalte zusammengestellt. Die Boxplot-Darstellungen in *Fig. 4-3* geben einen Überblick über die Konzentrationsveränderungen relativ zu den Richtwerten nach fünf Jahren. An 54 Standorten ohne Bodenbearbeitung (Wald, Dauergrünland, Alpweiden, Schutzstandorte) liegen neben den Resultaten der Bodentiefe 0-20 cm (b) zum Vergleich auch jene der Bodentiefe 0-5 cm vor (c).

Aus *Fig. 4-3* lassen sich im wesentlichen folgende Sachverhalte herauslesen:

- Die Konzentrationsveränderungen sind durchwegs zweiseitig, d.h. es sind sowohl Zunahmen als auch Abnahmen feststellbar. Diese liegen mehrheitlich innerhalb der festgelegten Relevanzgrenze von 5 % der entsprechenden Richtwerte. Die weitaus grössten Veränderungen zeigen sich bei Hg.
- Aufgrund der Standorte mit Bodenbearbeitung überwiegen die Zunahmen bei Hg deutlich. Die erwarteten erhöhten Zunahmen der atmosphilen Elemente an den Standorten ohne Bodenbearbeitung für die Bodentiefe 0-5 cm treffen nicht zu.
- Eher Abnahmen weisen die sogenannten lithophilen Elementen Co, Cr und F auf, deren Gehalte vorwiegend gesteinsbedingt sind. Für die Bodentiefe 0-5 cm ist die abnehmende Tendenz vor allem bei Cr und F feststellbar.

Gleichzeitig dazu nahmen die Schwermetallgehalte von Staubbiederschlägen in der Schweiz von 1988 bis 1997 generell ab und zwar um einen Faktor 4 bei Pb, deutlich bei Cd und geringer bei Zn (BUWAL 1998). Ebenso zeigen Moosanalysen, dass die Deposition von Luftschadstoffen in der Schweiz zwischen 1990 und 1995 im Mittel signifikant abgenommen hat, unter anderem bei Cd, Co, Cr, Ni und Pb, nicht aber bei Cu und Zn (Thöni 1998).

Fig. 4-3: Veränderungen der Schadstoffgehalte in Prozent der Richtwerte für die Bodentiefen 0-20 cm und 0-5 cm nach 5 Jahren (Legende zu den Boxplots in Anhang E)

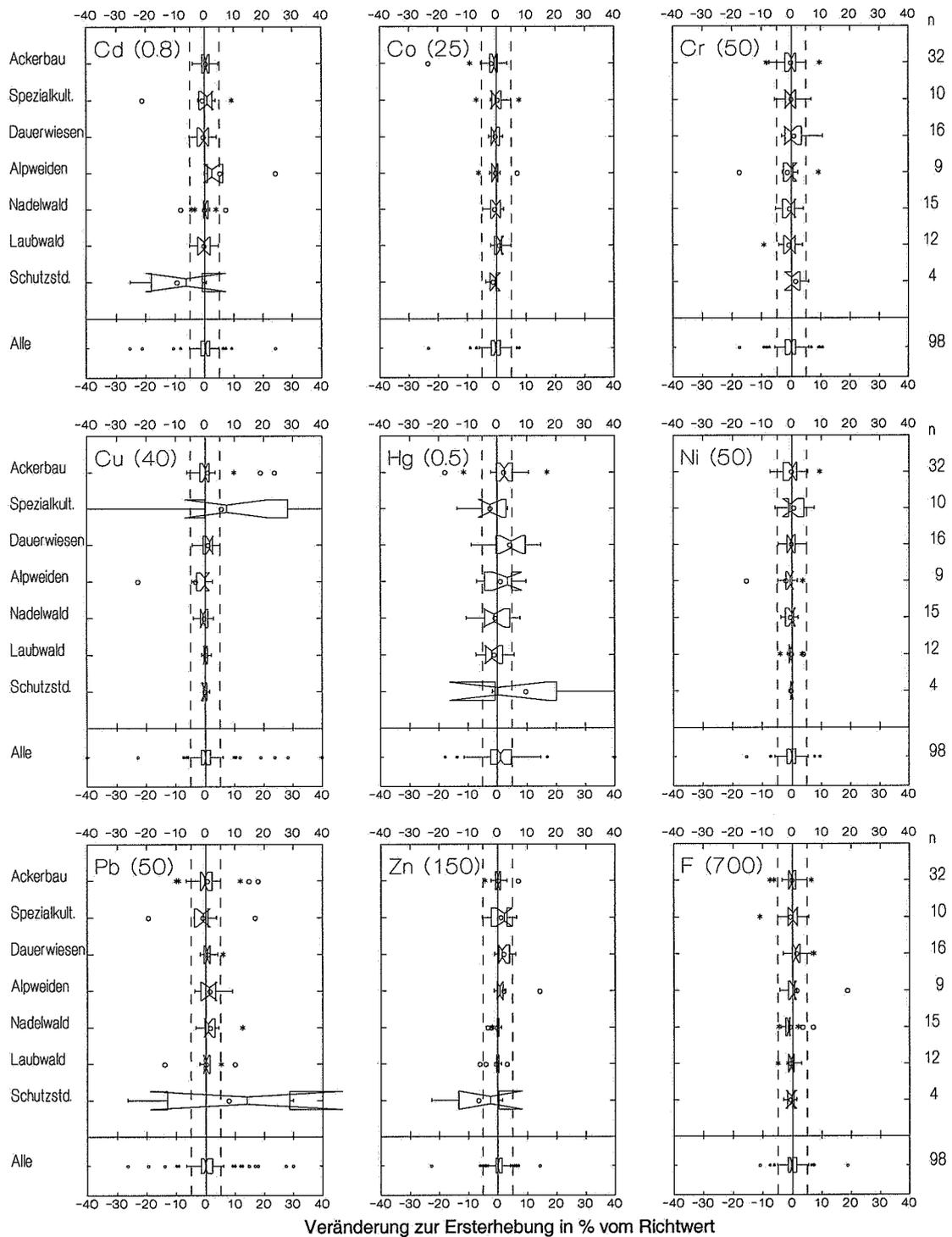


a: Alle Standorte Bodentiefe 0-20 cm (n=100) b: davon Standorte ohne Bodenbearbeitung, 0-20 cm (n=54)
 c: wie b aber Bodentiefe 0-5 cm (n=54) () = Richtwert in mg/kg (VBBo 1998, für Co VSBo 1986)
 - - - - - = Relevanzgrenze $\pm 5\%$

Die Gliederung nach Landnutzung in Fig. 4-4 erlaubt eine Ergänzung der bisher aufgeführten Sachverhalte. Die bloss vier Schutzstandorte wurden von dieser Beurteilung ausgeschlossen.

- Zunahmen überwiegen deutlich bei Cd auf Alpweiden; bei Cu in Spezialkulturen; bei Hg in Ackerbau, Dauerwiesen und Alpweiden; bei Pb auf Alpweiden; bei Zn in Spezialkulturen und Dauerwiesen.
- Abnahmen überwiegen bei Hg in Spezialkulturen und unter Laubwald.

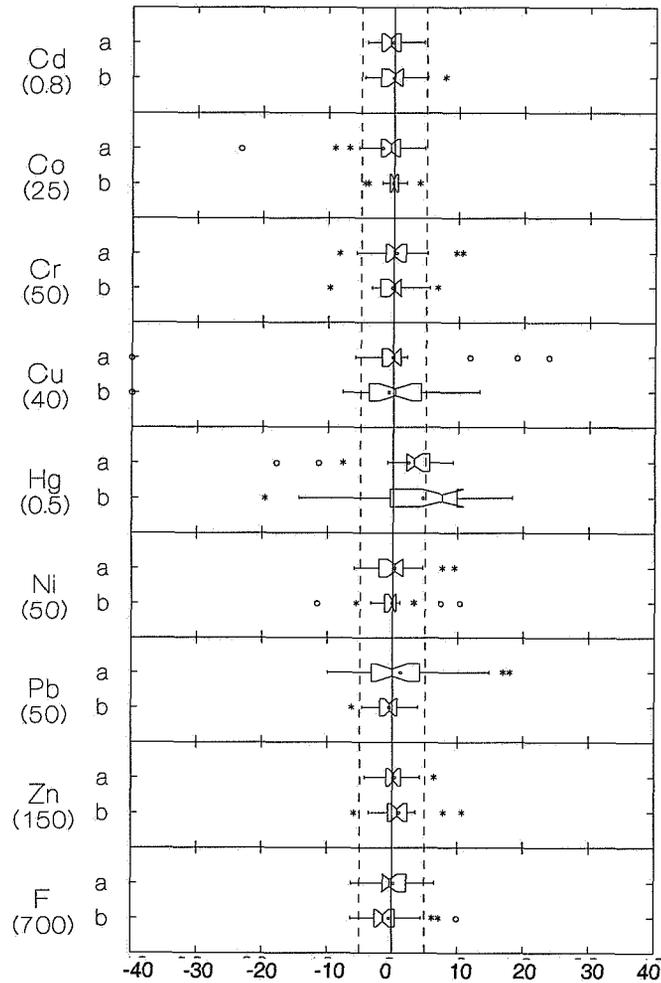
Fig. 4-4: Veränderungen der Schadstoffgehalte in Prozenten der Richtwerte nach Landnutzung für die Bodentiefe 0-20 cm nach 5 Jahren (Legende zu den Boxplots in Anhang E)



() Richtwert in mg/kg (VBo 1998, für Co VBo 1986) - - - - = Relevanzgrenze $\pm 5\%$

Für 25 Landwirtschaftsstandorte liegen bereits Ergebnisse der Dritterhebung nach 10 Jahren vor. In Fig. 4-5 sind die Veränderungen nach 5 und 10 Jahren dargestellt. Die Veränderungen verliefen wie folgt:

Fig. 4-5: Veränderungen der Schadstoffgehalte in Prozenten der Richtwerte an 25 Landwirtschaftsstandorten für die Bodentiefe 0-20 cm nach 5 und 10 Jahren
(Legende zu den Boxplots in Anhang E)



Veränderung zur Ersterhebung in % vom Richtwert

- a) Veränderungen nach 5 Jahren (Bodentiefe 0-20 cm, n=25)
- b) Veränderungen nach 10 Jahren (Bodentiefe 0-20 cm, n=25)
- () = Richtwert in mg/kg (VBBö 1998, für Co VSBo 1986)
- = Relevanzgrenze $\pm 5\%$

- Die Streuungen der Veränderungen sind bei Pb nach 10 Jahren deutlich geringer, bei Cu und Hg dagegen grösser.
- Eine tendenzielle Verstärkung der Zunahmen nach 10 Jahren wird bei Hg und Zn festgestellt.
- Nach 10 Jahren ist die Tendenz zur Abnahme bei F und Pb grösser.

Für die Interpretation dieser Entwicklungen, die auch auf statistisch nicht signifikanten Veränderungen beruhen, ist wegen der Komplexität der Einflussfaktoren von den signifikanten und relevanten Veränderungen am Einzelstandort auszugehen, denn dort sind die analytisch bedingten Veränderungen weitgehend ausgeschlossen (siehe Kap. 4.3).

4.4.2 Signifikante und relevante Veränderungen der Schadstoffgehalte

In Fig. 4-6 sind, nach Elementen gegliedert, die relativen Konzentrationsveränderungen zu den entsprechenden Richtwerten mit ihrer statistischen Signifikanz und definierten Relevanz für alle NABO-Standorte dargestellt (Kap. 4.3). Diese sind als Zahlenwerte auch in *Anhang G* enthalten. Die Kriterien der Signifikanz und Relevanz von Konzentrationsveränderungen sind mit Beispielen in Kap. 4-3 und Fig. 4-2 angegeben.

In Fig. 4-6 fallen besonders zwei Dinge auf: (1) Die Veränderungen sind je nach Element unterschiedlich ausgeprägt und verschieden häufig. (2) Nicht alle Veränderungen, welche die Relevanzgrenze von $\pm 5\%$ des Richtwerts überschreiten, sind signifikant. Es kommt vor, dass sich die Vergleichsspannen bei Veränderungen von über 5% des Richtwerts überlappen und umgekehrt.

Für die Konzentrationsveränderungen an den Standorten ergibt sich folgendes Bild:

- Nach 5 Jahren wiesen von 100 Standorten 87 in der Bodentiefe 0-20 cm bei mindestens einem der neun Elemente positive oder negative signifikante Konzentrationsveränderungen auf, an 62 Standorten waren diese Veränderungen relevant.
- Nach 10 Jahren wiesen sämtliche der vorläufig untersuchten 25 Landwirtschaftsstandorte bei mindestens einem der Elemente relevante Konzentrationsveränderungen auf.

Fig. 4-6: Relative Veränderungen der Schadstoffgehalte an den Standorten in Prozent der Richtwerte nach Elementen gegliedert

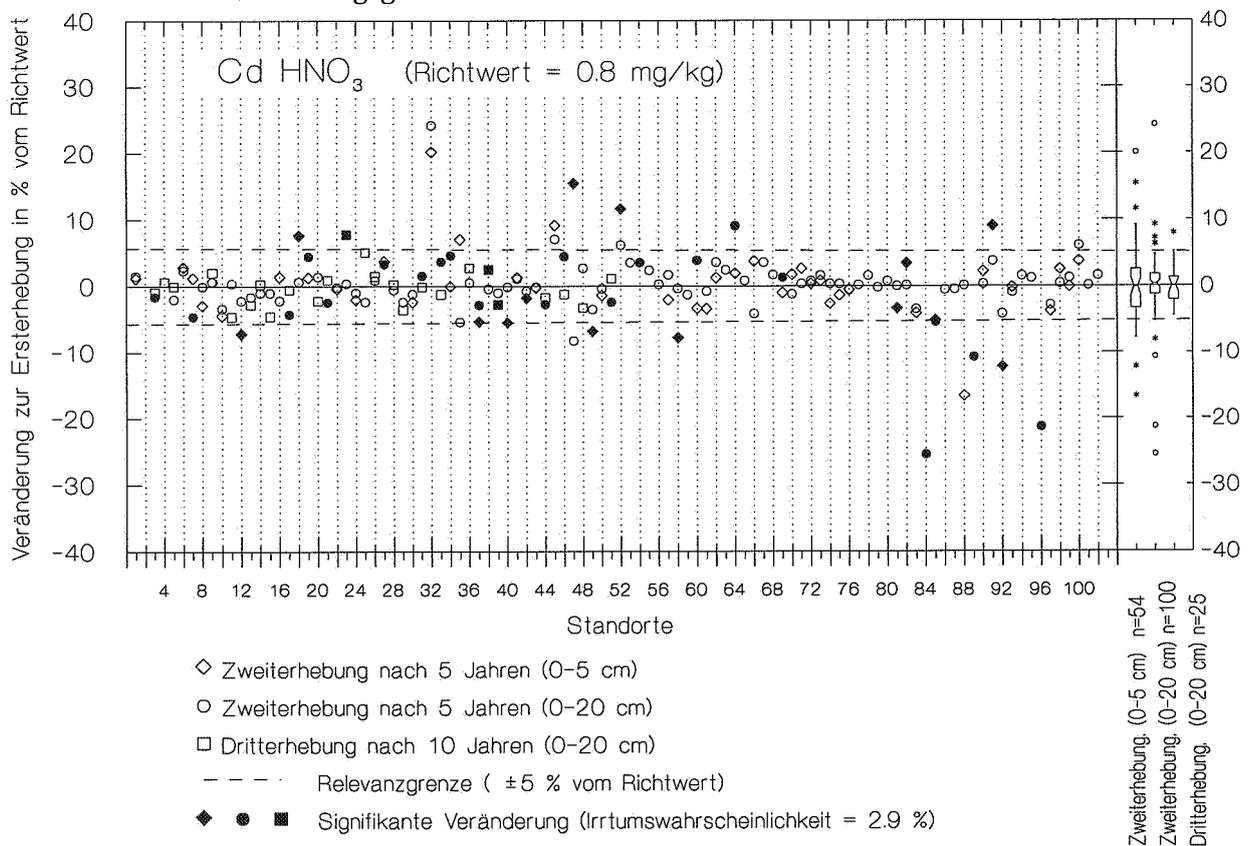


Fig. 4-6: Fortsetzung

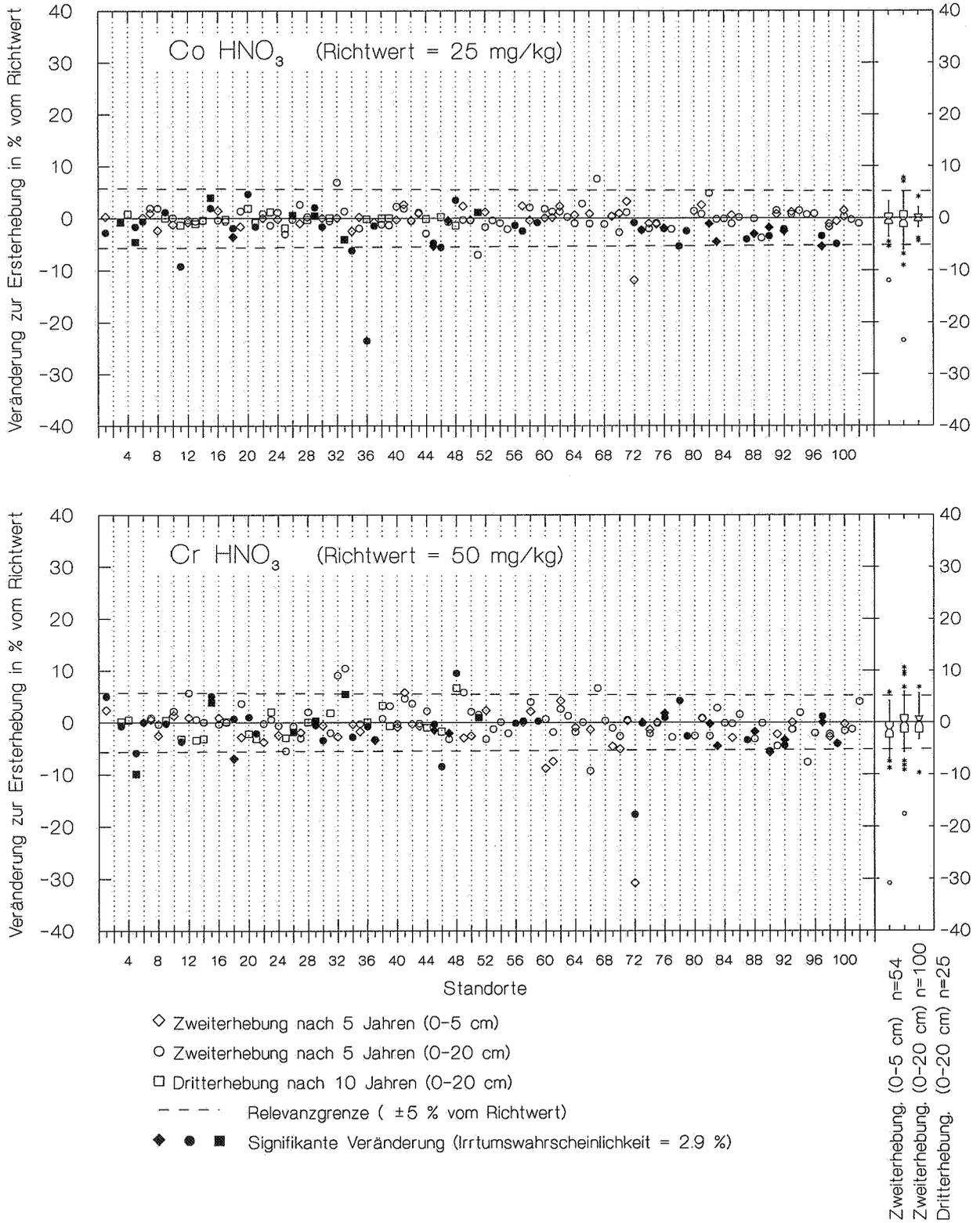


Fig. 4-6: Fortsetzung

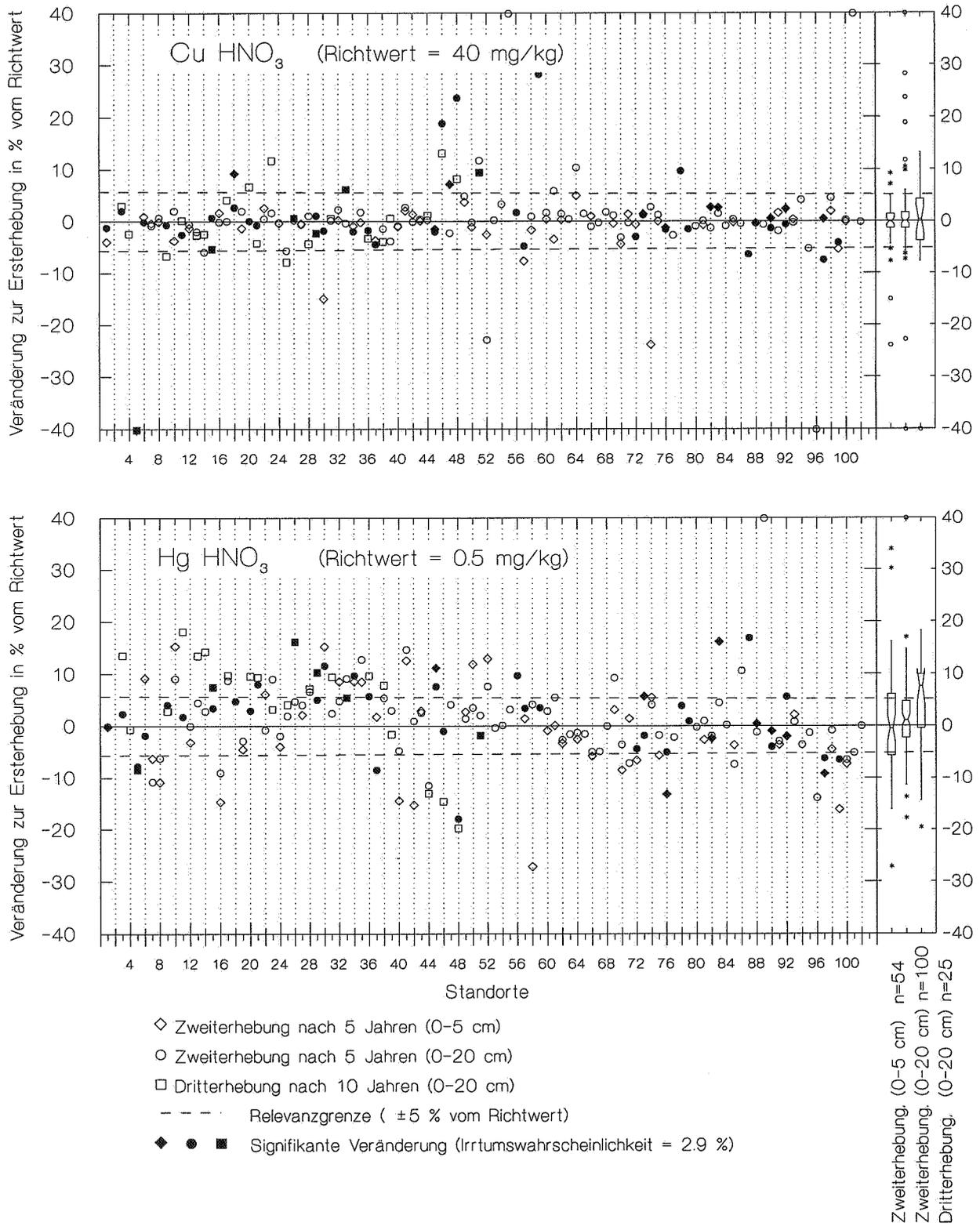


Fig. 4-6: Fortsetzung

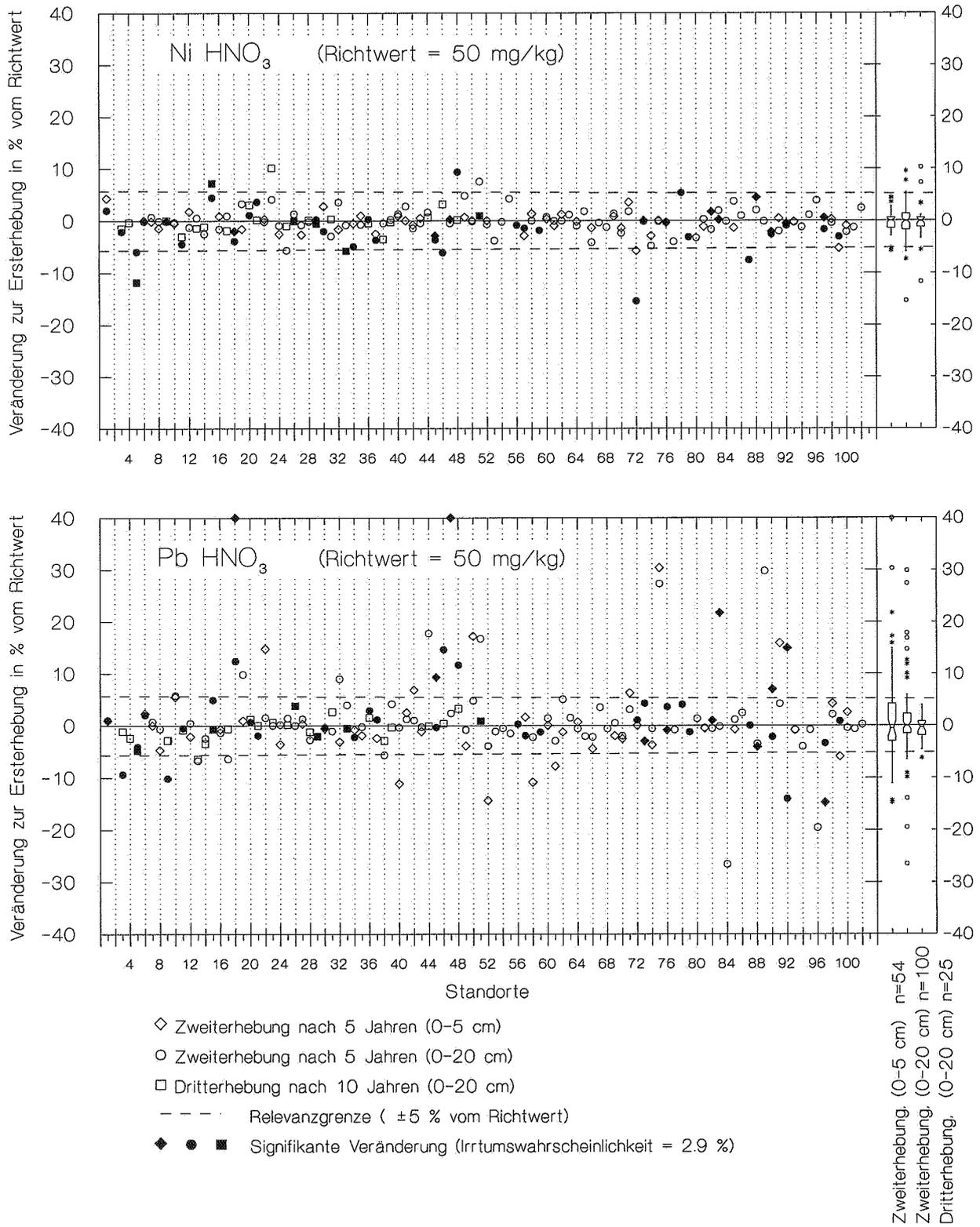
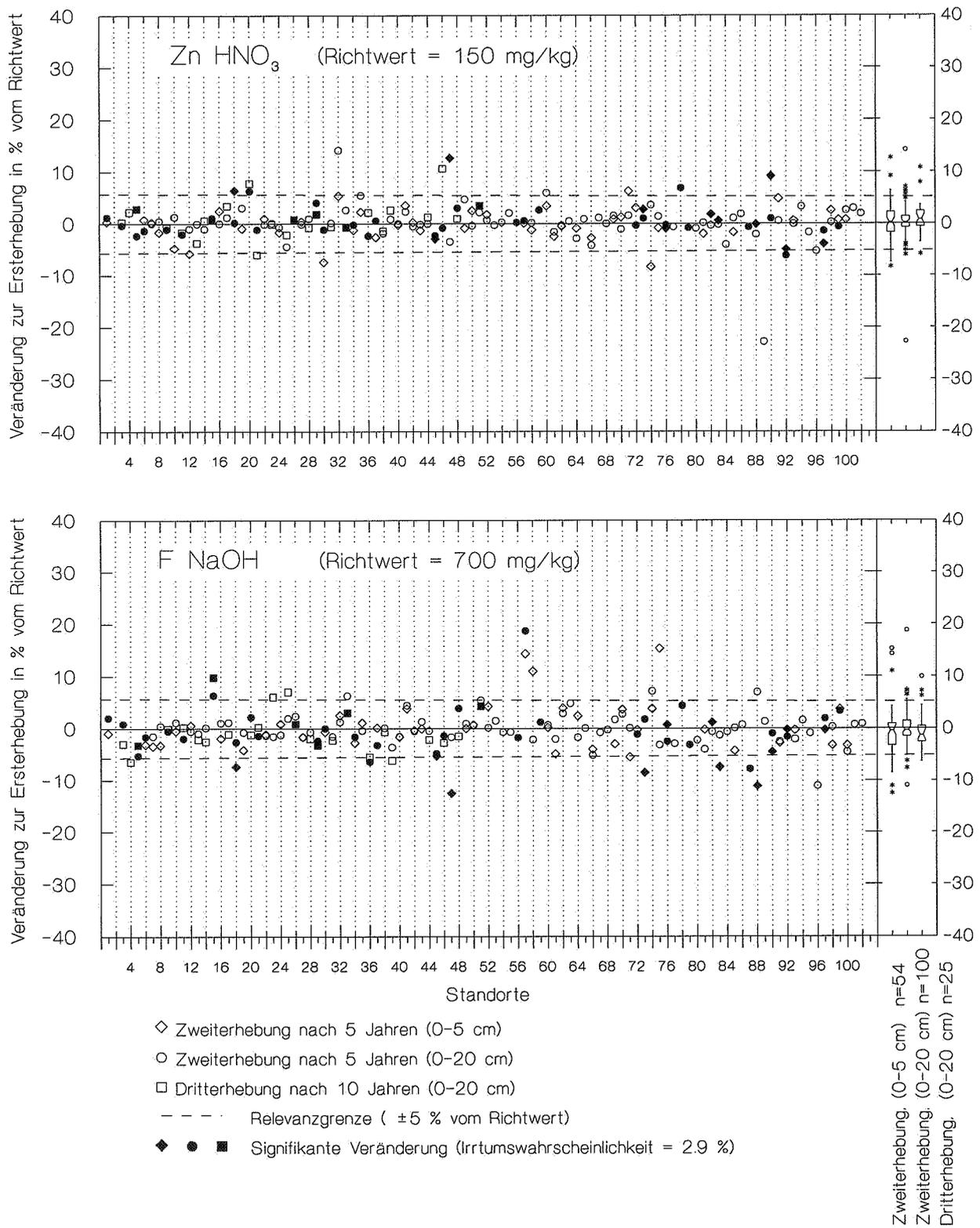


Fig. 4-6: Fortsetzung



Die Anteile der signifikanten und relevanten Konzentrationsveränderungen sind für alle neun untersuchten Elemente in *Tab. 4-2* zusammengestellt.

Tab. 4-2: Signifikante und relevante Veränderungen von Schadstoffgehalten der Bodentiefen 0-5 cm und 0-20 cm nach 5 und 10 Jahren

Elemente		Zunahmen (+)				Abnahme (-)				Veränderung (+/-)			
		signifikant		davon relevant		signifikant		davon relevant		signifikant		davon relevant	
		n	in %	n	in %	n	in %	n	in %	n	in %	n	in %
Cd	a	5	9.3	4	7.4	9	16.7	7	13.0	14	25.9	11	20.4
	b	10	10.0	1	1.0	11	11.0	4	4.0	21	21.0	5	5.0
	c	2	8.0	1	4.0	1	4.0	0	0.0	3	12.0	1	4.0
Co	a	0	0.0	0	0.0	11	20.4	2	3.7	11	20.4	2	3.7
	b	6	6.0	0	0.0	25	25.0	5	5.0	31	31.0	5	5.0
	c	4	16.0	0	0.0	2	8.0	0	0.0	6	24.0	0	0.0
Cr	a	2	3.7	1	1.9	11	20.4	4	7.4	13	24.1	5	9.3
	b	17	17.0	7	7.0	12	12.0	4	4.0	29	29.0	11	11.0
	c	6	24.0	2	8.0	4	16.0	1	4.0	10	40.0	3	12.0
Cu	a	6	11.1	2	3.7	10	18.5	4	7.4	16	29.6	6	11.1
	b	24	24.0	8	8.0	11	11.0	6	6.0	35	35.0	14	14.0
	c	4	16.0	3	12.0	5	20.0	3	12.0	9	36.0	6	24.0
Hg	a	16	29.6	14	25.9	20	37.0	13	24.1	36	66.7	27	50.0
	b	41	41.0	20	20.0	22	22.0	12	12.0	63	63.0	32	32.0
	c	17	68.0	15	62.5	6	24.0	4	16.7	23	92.0	19	76.0
Ni	a	3	5.6	0	0.0	6	11.1	0	0.0	9	16.7	0	0.0
	b	16	16.0	3	3.0	19	19.0	3	3.0	35	35.0	6	6.0
	c	2	8.0	1	4.0	3	12.0	2	8.0	5	20.0	3	12.0
Pb	a	9	16.7	7	13.0	6	11.1	1	1.9	15	27.8	8	14.8
	b	13	13.0	7	7.0	8	8.0	7	7.0	21	21.0	14	14.0
	c	3	12.0	0	0.0	8	32.0	1	4.0	11	44.0	1	4.0
Zn	a	11	20.4	4	7.4	10	18.5	4	7.4	21	38.9	8	14.8
	b	25	25.0	5	5.0	12	12.0	2	2.0	37	37.0	7	7.0
	c	5	20.0	1	4.0	3	12.0	1	4.0	8	32.0	2	8.0
F	a	2	3.7	0	0.0	9	16.7	5	9.3	11	20.4	5	9.3
	b	7	7.0	3	3.0	11	11.0	3	3.0	18	18.0	6	6.0
	c	2	8.0	2	8.0	3	12.0	3	12.0	5	20.0	5	20.0

a nach 5 Jahren für die Bodentiefe 0-5 cm n = 54
 b nach 5 Jahren für die Bodentiefe 0-20 cm n = 100
 c nach 10 Jahren für die Bodentiefe 0-20 cm n = 25

Die Ergebnisse in *Tab. 4-2* bestätigen im wesentlichen die zu *Fig. 4-3* gemachten Aussagen und erlauben folgende ergänzenden Präzisierungen:

- Kein Element weist nach 5 und 10 Jahren sowie für die beiden Bodentiefen 0-5 cm und 0-20 cm stets überwiegend signifikante und relevante Zu- oder Abnahmen auf.
- Hg weist mit Abstand die grösste Dynamik auf, wobei Zunahmen dominieren.
- Obwohl Cd ein atmophiles Element ist, überwiegen nach 5 Jahren signifikante und relevante Abnahmen.
- Bei Cr, das ein lithophiles Element ist, überwiegen dagegen bei 0-20 cm Zunahmen.

- Bei der Probenahmetiefe 0-20 cm sind Zunahmen dominant. Diese Tendenz verstärkt sich nach 10 Jahren noch etwas (Ausnahme Pb). Bei der Probenahmetiefe 0-5 cm dagegen überwiegen nach 5 Jahren ausser bei Pb Abnahmen. Dieser Befund belegt, dass die Dynamik in den beiden Probenahmetiefen am gleichen Standort oft nicht gleichgerichtet ist.

Fazit 12: Nach 5 Jahren wiesen 87 % aller Standorte bei einem oder mehreren der neun untersuchten Elemente in der Bodentiefe 0-20 cm signifikante positive oder negative Konzentrationsveränderungen auf; an 62 % der Standorte war mindestens eine dieser Veränderungen relevant. Nach 10 Jahren war dies für sämtliche der vorläufig untersuchten 25 Landwirtschaftsstandorte bei mindestens einem Element der Fall. Die weitaus grösste Dynamik mit überwiegenden Zunahmen wies Hg auf. Signifikante Zunahmen dominierten weiter bei Zn. Abnahmen herrschten dagegen bei F und Co vor.

4.4.3 Ursachen signifikanter Konzentrationsveränderungen

Da Konzentrationsveränderungen sowohl positiv als auch negativ sein können und je nach Zeitdauer, Bodentiefe und Schadstoff unterschiedliche Tendenzen überwiegen, müssen deren Ursachen soweit möglich ermittelt werden. In Tab. 4-3 sind zehn anthropogene und/oder natürliche Prozesse aufgeführt, die signifikante Veränderungen von Schadstoffgehalten im Oberboden verursachen können.

Tab. 4-3: Prozesse zur Veränderung von Schadstoffgehalten im Oberboden mit hypothetischer Beurteilung (ergänzt aus: Desaulles 1998)

Prozesse	Veränderung	Erfassung	Zeithoriz.	Relevanz
1) <i>Einträge aus der Atmosphäre:</i> diffus und ubiquitär	+	3	2-3	1-3
2) <i>Einträge durch landw. Hilfsstoffe:</i> begrenzt auf Flächen mit Einsatz von Hof-, Mineral-, Abfalldünger und Pflanzenbehandlungsmittel	+	2	1-3	0-3
3) <i>Einträge durch Schiessbetrieb:</i> v.a. Zielgebiete auf Alpweiden	+	2	2	0-3
4) <i>Rückstandsanreicherungen:</i> als Folge von Humusmineralisation und Karbonatlösung	+	3	2-3	0-3
5) <i>Schadstoffreiche Ablagerungen:</i> z.B. verschmutzte Flusssedimente, Erosionsmaterial und anthropogene Schüttungen	+	1	1-2	0-3
6) <i>Bodendurchmischung:</i> Verdünnung oder Anreicherung im Oberboden je nach Schadstoffgradient	+(-)	3	1-3	0-3
7) <i>Ernteentzüge:</i> durch Acker-, Futterbau und Holznutzung	-	2	2-3	1-2
8) <i>Tiefenverlagerung:</i> weitgehend durch pH gesteuerte Mobilisierung	-	3	2-3	0-2
9) <i>Erosion:</i> lateraler Transport oberflächlicher Schadstoffeinträge	-	3	2-3	0-3
10) <i>Schadstoffarme Ablagerungen:</i> z.B. Flussablagerungen, Staubeinwehungen (Löss)	-	1-3	1-3	0-3

1 = einfach / kurz / gering <1-5 Jahre 2 = mittelschwierig / mittel / mässig 5-30 Jahre 3 = schwierig / lang / gross >30Jahre

Nicht aufgeführt sind zwei weitere Prozesse: (1) Die sogenannte 'Vegetationspumpe' d.h. die Anreicherung im Oberboden von relativ gut pflanzenverfügbaren Elementen wie Cd oder Zn über den Stofftransport durch die Wurzeln aus dem Unterboden in die oberirdischen Pflanzenteile und schliesslich in den Oberboden. (2) Die Verflüchtigung (Volatilisation), welche bei den hier untersuchten Elementen nur bei Hg von Bedeutung sein kann. Über ihre Wirkung und Bedeutung gibt es kaum Informationen. Hier besteht eine relevante Lücke.

Nachstehend werden die Hypothesen der zehn in *Tab. 4-3* aufgeführten Prozesse zumindest exemplarisch an den festgestellten signifikanten Konzentrationsveränderungen (*Kap. 4.4.2*) überprüft und diskutiert.

1) Einträge aus der Atmosphäre

Schadstoffeinträge aus der Luft sind diffus und ubiquitär, entsprechend gibt es auch keine absolut unbelasteten Böden mehr (BUWAL 1993). Je nach Emittentennähe, lufthygienischen Verhältnissen und Auskämmeffekt durch die Vegetation sind sie verschieden gross. Ihr Einfluss wird sinnvollerweise bei den atmophilen Elementen an ungepflügten Standorten ohne Einträge über landwirtschaftliche Hilfsstoffe überprüft. In *Tab. 4-4* sind die Anteile der positiven und negativen Veränderungen aufgeführt

Tab. 4-4: Verhältnis der positiven und negativen signifikanten Konzentrationsveränderungen atmophiler Elemente im Boden an Standorten ohne Bodenbearbeitung nach 5 Jahren

Nutzung	Alpweiden (n=10)		Laubwald (n=12)		Nadelwald (n=15)	
	0-5 cm	0-20 cm	0-5 cm	0-20 cm	0-5 cm	0-20 cm
Bodentiefe Verhältnis	+: -	+: -	+: -	+: -	+: -	+: -
Cd	1 : 0	1 : 0	1 : 1	2 : 0	3 : 3	0 : 1
Cu	0 : 1	1 : 0	1 : 0	2 : 0	3 : 1	1 : 0
Hg	5 : 3	5 : 3	1 : 6	2 : 4	4 : 5	3 : 4
Pb	2 : 0	1 : 0	1 : 3	2 : 0	3 : 0	2 : 1
Zn	3 : 0	3 : 1	0 : 2	1 : 2	3 : 2	0 : 0
Total	11 : 4	11 : 4	4 : 12	9 : 6	16 : 11	6 : 6

Die Erwartungen, dass die Veränderungen durchwegs positiv und für die Bodentiefe 0-5 cm ausgeprägter sind und sich mit zunehmendem Auskämmeffekt von den Alpweiden zum Nadelwald verstärken, kommen nach 5 Jahren nicht systematisch zum Ausdruck. Die auftretenden Abnahmen belegen zudem, dass auch gegenläufige Prozesse im Spiel sein müssen.

2) Einträge durch landwirtschaftliche Hilfsstoffe

Zunahmen werden vorwiegend in Ackerböden bei Cd und untergeordnet bei F durch Düngung mit Gesteinsphosphat, in Spezialkulturen und im biologischen Landbau bei Cu wegen Kupferspritzungen und in Grünlandböden bei Cu und Zn durch Hofdünger aus der Schweinemast erwartet (BUWAL 1993). Die Trefferquote ist in *Tab. 4-5* ausgewiesen.

Tab. 4-5: *Verhältnis der positiven und negativen signifikanten Konzentrationsveränderungen ausgewählter Elemente in Landwirtschaftsböden verschiedener Nutzung (0-20 cm) nach 5 Jahren*

Nutzung	Ackerbau (n=32)	Spezialkulturen (n=10 ¹)	Dauerwiesen (n=16)
Verhältnis	+ :-	+ :-	+ :-
Cd	3 : 4	1 : 2	3 : 1
Cu	8 : 9	6 : 2	6 : 0
Zn	9 : 6	5 : 1	7 : 0
F	2 : 3	1 : 1	2 : 1
Total	22 : 22	13 : 6	18 : 2

¹⁾ Davon 4 Gemüse-, 2 Obst- und 4 Rebbaustandorte

Bei den 6 Standorten mit Bio-Landbau (49, 56, 71, 77, 86, 87: *Anhang G*) ist nach 5 Jahren keine systematische Cu-Anreicherung feststellbar.

Schadstoffeinträge durch landwirtschaftliche Hilfsstoffe sind am deutlichsten in Spezialkulturen und auf Dauerwiesen bei Cu dokumentiert. Am häufigsten kommen signifikante Zunahmen auf Dauerwiesen und generell bei Zn vor. Dies sind Hinweise für anthropogene Einträge. Die auftretenden Abnahmen sind wiederum ein Hinweis für mindestens einen gegenläufigen Prozess.

Abfalldünger sind im Verhältnis zu ihrem Nährstoffwert besonders stark mit Schadstoffen belastet. Kritische Schwermetalle im Klärschlamm sind Cd, Cu, Pb, und Zn (Keller & Desaulles 1997a). In *Tab. 4-6* sind fünf Standorte aufgeführt, die mit Klärschlamm gedüngt wurden. Die Ergebnisse sind nicht eindeutig.

Tab. 4-6: *Signifikante Konzentrationsveränderungen nach 5 Jahren in Böden (0-20 cm) von Standorten mit Klärschlammdüngung*

Nr.	Standort	Nutzung	Cd	Cu	Pb	Zn
13	Wiedlisbach BE	Ackerbau	0	0	-	0
28	Leuggern AG	Ackerbau	0	+	-	+
37	Ependes FR	Dauerwiese	-	0	0	0
63	Oensingen	Ackerbau	0	0	0	0
68	Etoy VD	Ackerbau	0	0	0	0

3) Einträge durch den Schiessbetrieb der Armee

Zahlreiche Alpweiden werden mehr oder weniger häufig und intensiv als militärische Schiessorte benutzt. Eingetragen werden dadurch vor allem Pb und etwas Cu. Dies kommt auch in *Tab. 4-4* zum Ausdruck. Ein Hinweis auf Einflüsse durch den Schiessbetrieb ist die auffällig schlechte Reproduzierbarkeit der Analysenresultate als Folge von Geschosspartikeln in Bodenproben.

4) Rückstandsanreicherungen

Rückstandsanreicherungen nicht abbaubarer (Schad-)Stoffe durch den Abbau von Humus als Folge der Oxidation und durch den Wegtransport gelöster Carbonate im Sickerwasser sind natürliche Prozesse. Sie werden jedoch bei intensiver Bodenbearbeitung, Kalkdüngung und

'Saurem Regen' anthropogen stark angeregt. Im Gegensatz zur Karbonatlösung ist die Humusmineralisation besonders in intensiv bearbeiteten organischen Böden ein vergleichsweise rasch ablaufender Prozess. Deshalb sind in *Tab. 4-7* nur solche Standorte aufgenommen worden.

Tab. 4-7: Signifikante Konzentrationsveränderungen nach 5 und teilweise 10 Jahren an Ackerbaustandorten mit organischen Böden (0-20 cm)

Elemente: Jahre:	Cd		Co		Cr		Cu		Hg		Ni		Pb		Zn		F	
	5	10	5	10	5	10	5	10	5	10	5	10	5	10	5	10	5	10
Ins BE	0	0	+	+	+	+	0	0	0	+	+	+	0	0	+	0	+	+
Oberriet SG	0	0	+	0	+	+	+	0	-	-	+	0	+	+	+	0	0	0
Method VD	0		0		+		0		-		0		+		+		0	

Alle nicht abbaubaren Stoffe im Boden werden durch Rückstandsanreicherungen proportional gleich stark betroffen. Das unsystematische Ergebnis in *Tab. 4-7* lässt zwei Interpretationen zu: Der Einfluss der Anreicherung durch Humusmineralisation ist entweder für den betrachteten Zeitraum statistisch noch nicht signifikant und/oder er wird durch weitere Prozesse elementenspezifisch positiv oder negativ beeinflusst.

5) Schadstoffreiche Ablagerungen

Ablagerungen von Bodenmaterial, das stärker mit Schadstoffen belastet ist als der ursprüngliche Boden, verursachen positive Veränderungen. Verschmutztes Aushubmaterial und Überflutungsbereiche verschmutzter Gewässer können kurzfristig zu erheblichen Zunahmen führen, sind aber eher von lokaler Bedeutung. Die NABO-Standorte 39 und 85 sind Beispiele für weitgehend natürliche Konzentrationsänderungen geschichteter Alluvialböden (BUWAL 1993: Anhang B). Die Schadstoffkonzentrationen nehmen von den feinkörnigen Ablagerung gegen den grobkörnigen Untergrund hin sprunghaft ab. Grossflächige, aber kurzfristig nur geringe Zunahmen sind in den Ablagerungsräumen von Erosionsmaterial zu erwarten. Erosionsmaterial ist oberflächennaher Boden, der anthropogen mehr oder weniger stark belastet sein kann. Eine entsprechende Auswertung der NABO-Standorte nach konkaven Akkumulationslagen scheint noch verfrüht.

6) Bodendurchmischung

Die Durchmischung von schadstoffbelastetem Oberboden mit unbelastetem Unterboden führt durch Verdünnung zu Konzentrationsabnahmen. Gesteinsbedingt oder aufgrund bodenkundlicher Prozesse kann aber auch der Unterboden höhere Gehalte aufweisen. Dann kommt es im Oberboden zu Anreicherungen. Man kennt rund ein Dutzend natürliche und anthropogene Durchmischungsprozesse (Pedoturbation). Verbreitet und kurzfristig am wirksamsten sind tiefere Bodenbearbeitung als üblich in der Regel durch Pflügen und die Grabtätigkeit von Regenwürmern, Wühlmäusen oder anderen Bodentieren sowie Viehtritt. Letzterer ist ein Knetprozess, der selten unterhalb der Referenztiefe von 20 cm wirksam wird.

Die in *Tab. 4-5* im Gegensatz zum Dauergrünland vereinzelt vorkommenden signifikanten Abnahmen im Ackerbau und in Spezialkulturen, sind Hinweise für den Verdünnungseffekt mit Unterboden als Folge tieferer Bodenbearbeitung. Für zwei Rebbauparzellen ist dieser Sachverhalt in den Nutzungsprotokollen belegt und zeigt die in *Tab. 4-8* dargestellten Ergebnisse.

Tab. 4-8: Signifikante Konzentrationsveränderungen im Boden (0-20 cm) innerhalb von 5 Jahren durch tiefere Bodenbearbeitung an Rebbaustandorten

Standort	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	F
5 La Neuville BE	0	-	-	-	-	-	0	0	0
96 Gudo TI	-	0	0	-	-	+	-	0	-

Es kommen überwiegend, aber nicht durchwegs, Abnahmen vor. Wenn sich die Konzentrationen im Ober- und Unterboden nicht signifikant unterscheiden, lassen sich keine Veränderungen feststellen. Sind die Konzentrationen dagegen im Unterboden höher, wie dies oft bei den lithophilen Elementen Co, Cr, Ni und F vorkommt (BUWAL 1993: Anhang B), sind auch Zunahmen zu verzeichnen. Ein Beispiel dazu ist Ni am Standort 96.

Bodendurchmischung durch Regenwürmer ist ein bereits durch Darwin (1881) beschriebener Prozess. Er berichtet über Wurm Kot-Ablagerungsraten von rund 0.5 cm pro Jahr. Für die Konzentrationsabnahmen im Oberboden sind nur Arten von Bedeutung, die bis in den unbelasteten Unterboden Röhren graben und an der Bodenoberfläche Wurmkothaufen ablagern (anözische Arten). Je nach Standortverhältnissen sind sie unterschiedlich aktiv. Stimulierend sind ein gutes Nahrungsangebot in Form von Streu, ein mildes Klima mit feuchten, aeroben Bodenverhältnissen und tiefgründige, skelettarme, mineralische Böden im neutralen bis alkalischen pH-Bereich (z.B. Stähli et al. 1997). Deshalb wird erwartet, dass in den mehr oder weniger belasteten Oberböden mit höheren pH-Werten in der Regel Konzentrationsabnahmen durch Verdünnung mit Unterbodenmaterial auftreten, die sich in der Bodenschicht 0-5 cm noch verstärken (*Fig. 4-7*).

7) Ernteentzüge

Die (Schad-)Stoffkonzentration im Erntegut multipliziert mit dem Ertrag als Trockensubstanz ergibt den entsprechenden Ernteentzug. Dieser stammt aus dem gesamten Wurzelraum. Welcher Anteil auf die Referenz-Bodentiefe von 0-20 cm entfällt, ist kaum eindeutig zu bestimmen und wird hier vereinfachend auf 70 % veranschlagt. Um eine Vorstellung über die Größenordnung von Konzentrationsabnahmen im Boden als Folge der Ernteentzüge geben zu können, sind in *Tab. 4-9* Beispiele für die relativ gut pflanzenverfügbaren Elemente Cd, Zn und untergeordnet Cu aufgeführt.

Tab. 4-9: Daten zu Ernteentzügen und Konzentrationsabnahmen von Cadmium, Kupfer und Zink im Boden

Nutzung / Kultur	Mittlerer Ertrag $t\ TS \cdot ha^{-1} \cdot a^{-1}$	a) Häufige Konzentrationsbereiche im Erntegut , b) Ernteentzug c) Konzentrationsabnahme im Boden				
		Einheit	Cd	Cu	Zn	n
Gras	11	a) mg/kg TS	0.03 – 0.16	6 – 12	28 – 49	11
		b) $g \cdot ha^{-1} \cdot a^{-1}$	0.4 – 1.7	66 – 132	308 – 539	
		¹ c) $mg \cdot kg^{-1} \cdot a^{-1}$	<0.01	0.02 – 0.04	0.1 – 0.17	
Weizen (Korn+Stroh)	13.5	a) mg/kg TS Korn	0.05 – 0.25	4 - 5	34 – 46	20
		a) mg/kg TS Stroh	0.1 – 0.56	2 - 7	10 - 18	8
		b) $g \cdot ha^{-1} \cdot a^{-1}$	1.1 – 5.7	39 - 83	276 – 409	
		¹ c) $mg \cdot kg^{-1} \cdot a^{-1}$	<0.01	0.01 – 0.03	0.09 – 0.13	
Silomais	16	a) mg/kg TS	0.04 – 0.40	4 - 6	23 – 87	26
		b) $g \cdot ha^{-1} \cdot a^{-1}$	0.6 – 6.3	64 - 93	368 – 1398	
		¹ c) $mg \cdot kg^{-1} \cdot a^{-1}$	<0.01	0.02 – 0.03	0.12 – 0.45	
Kartoffeln	9.45	a) mg/kg TS	0.04 – 0.11	5 - 7	11 – 18	28
		b) $g \cdot ha^{-1} \cdot a^{-1}$	0.4 – 1.1	48 - 69	102 – 174	
		¹ c) $mg \cdot kg^{-1} \cdot a^{-1}$	<0.01	0.01 – 0.02	0.03 – 0.06	
Zuckerrüben	13.8	a) mg/kg TS	0.32 – 0.41	7 - 12	28 – 38	3
		b) $g \cdot ha^{-1} \cdot a^{-1}$	4.5 – 5.7	99 - 167	388 – 520	
		¹ c) $mg \cdot kg^{-1} \cdot a^{-1}$	<0.01	0.03 – 0.05	0.12 – 0.17	
Holz	6	a) mg/kg TS	<0.1 - 0.3	1 - 5	4 – 27	7
		b) $g \cdot ha^{-1} \cdot a^{-1}$	<0.6 - 1.8	6 – 31	24 – 162	
		¹ c) $mg \cdot kg^{-1} \cdot a^{-1}$	<0.01	<0.01 – 0.01	0.01 - 0.05	

¹ Annahmen: Bodentiefe 0-20 cm, Raumgewicht 1.1 dm^3/kg , Anteil Ernteentzug 70 %.

Quellen für Konzentrationen im Erntegut: Gras und Kulturen (von Steiger & Baccini 1990, Houba & Uittenbogaard 1994), Holz (Noger et al. 1996).

Die höchste jährliche Konzentrationsabnahme im Boden wird bei Silomais und Zn mit 0.45 mg/kg Boden erreicht. In 5 Jahren beträgt die Abnahme 2.25 mg/kg Zn. Ernteentzüge von Schwermetallen sind unter normalen Verhältnissen also vernachlässigbar.

8) Tiefenverlagerung bzw. Einfluss der Bodenreaktion

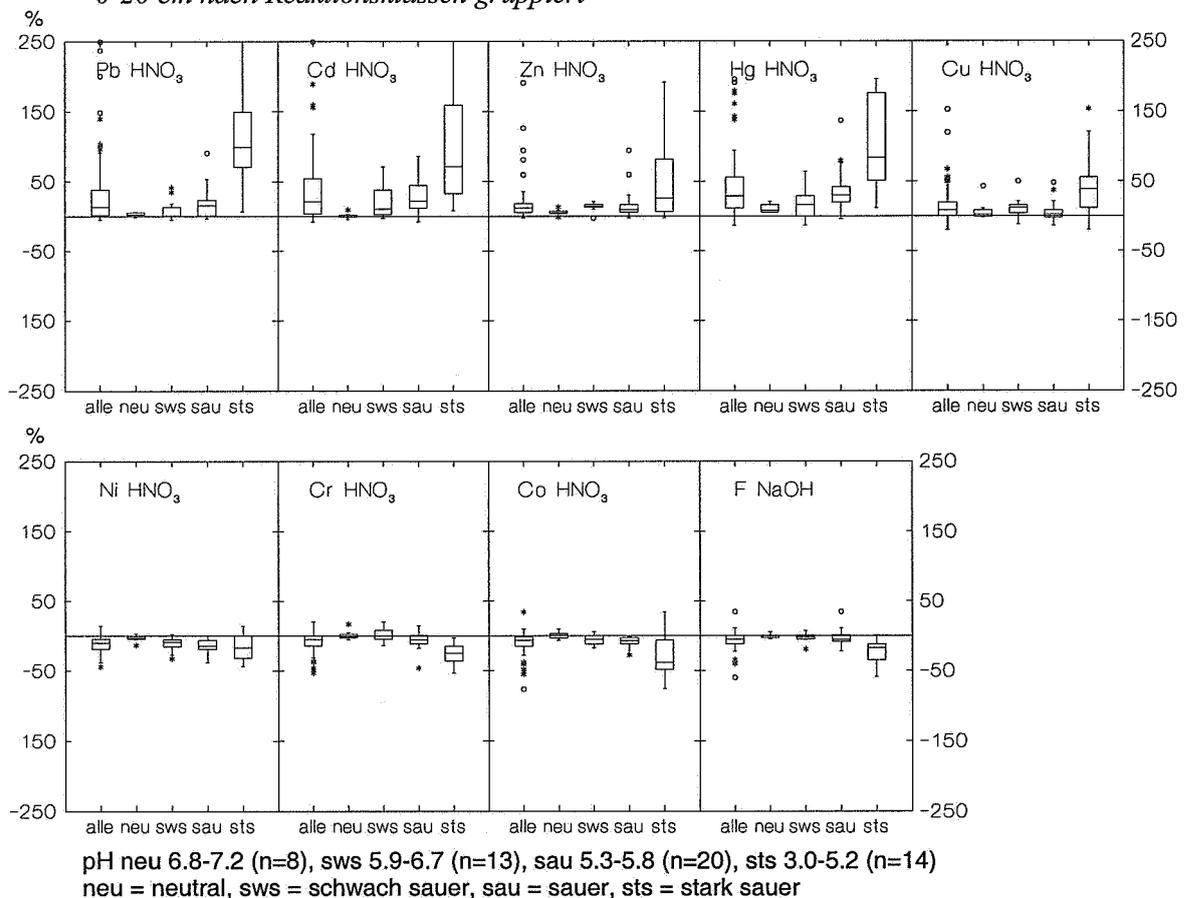
Die Tiefenverlagerung von Schadstoffen aus dem Ober- in den Unterboden ist vorwiegend von der Löslichkeit und der entsprechenden Mobilität der Schadstoffe abhängig. Für die Löslichkeit von Schwermetallen ist der Einfluss der Bodenreaktion (pH) gegenüber Humus- und Tongehalt dominant (Hornburg & Brümmer 1993). Eigene Untersuchungen (Desaules et al. 1997a) zeigen in weitgehender Übereinstimmung mit der Literatur zunehmende lösliche Anteile bei abnehmenden pH-Werten in der Reihenfolge Cd > Zn > Ni > Cu > Pb. Die im stark alkalischen Bereich

(pH >7.7) bei Cu und Pb sowie überraschenderweise auch bei Ni und Zn festgestellten Löslichkeitszunahmen sind hier nicht relevant, da im NABO-Netz keine so hohen pH-Werte vorkommen.

Dass Tiefenverlagerungen allein kaum für messbare Konzentrationsveränderungen am Standort verantwortlich sind, zeigen die Ergebnisse in *Fig. 4-7*. Darin sind an den 54 NABO-Standorten ohne Bodenbearbeitung die relativen Differenzen der Schadstoffgehalte der Bodentiefe 0-5 cm gegenüber jenen der Bodentiefe 0-20 cm nach Reaktionsklassen gegliedert worden. Positive Differenzen zeigen an, dass die Gehalte der Bodentiefe 0-5 cm gegenüber 0-20 cm höher sind.

Wäre die Verlagerung durch den Einfluss der Bodenreaktion der dominierende Faktor, müssten die Gehalte der löslicheren Elemente Cd und Zn in der Bodentiefe 0-5 cm vor allem im zunehmend sauren pH-Bereich verstärkt abnehmen und in *Fig. 4-7* negative Differenzen resultieren. Doch genau das Gegenteil ist der Fall: mit sinkendem pH erhöhen sich die Differenzen im positiven Bereich. In *Fig. 4-7* lassen sich ganz klar zwei Gruppen unterscheiden. Mit abnehmendem pH-Wert nehmen die Gehalte der atmosphilen Elemente (Pb, Cd, Zn, Hg, Cu) in der Bodentiefe 0-5 cm relativ zur Bodentiefe 0-20 cm zu, jene der lithophilen Elemente (Ni, Cr, Co, F) dagegen ab. Dieser eindrückliche Befund ist folgendermassen interpretierbar: Atmosphärische Einträge werden in Böden mit tiefen pH-Werten - trotz Mobilisierungstendenz - wegen der geringen biologischen Aktivität oberflächennah stärker angereichert. Bei den lithophilen Elementen kommt es dagegen zu einer Verdünnung durch die zunehmende organische Substanz.

Fig. 4-7: Differenzen der Schadstoffkonzentrationen der Bodentiefe 0-5 cm in Prozent jener von 0-20 cm nach Reaktionsklassen gruppiert



9) Erosion

Erosion ist ein bodenkundlicher Verjüngungsprozess, der zu Konzentrationsabnahmen führen kann (Zuzok & Burghardt 1987). Die oberste, anthropogen mehr oder weniger kontaminierte Bodenschicht, wird an Erosionslagen episodisch wegtransportiert. Analog zu den Akkumulationslagen (siehe Pt. 4) ist ein Nachweis der Veränderungen nach 5 bis 10 Jahren noch verfrüht.

10) Schadstoffarme Ablagerungen

Solche Ablagerungen verursachen im Gegensatz zu schadstoffreichen Ablagerungen (siehe Pt. 5) Konzentrationsabnahmen. Natürliche Staubeinwehungen (Löss) sind ein langfristiger Prozess und Überflutungsbereiche sauberer Gewässer sind lokal auf aktive Auen beschränkt.

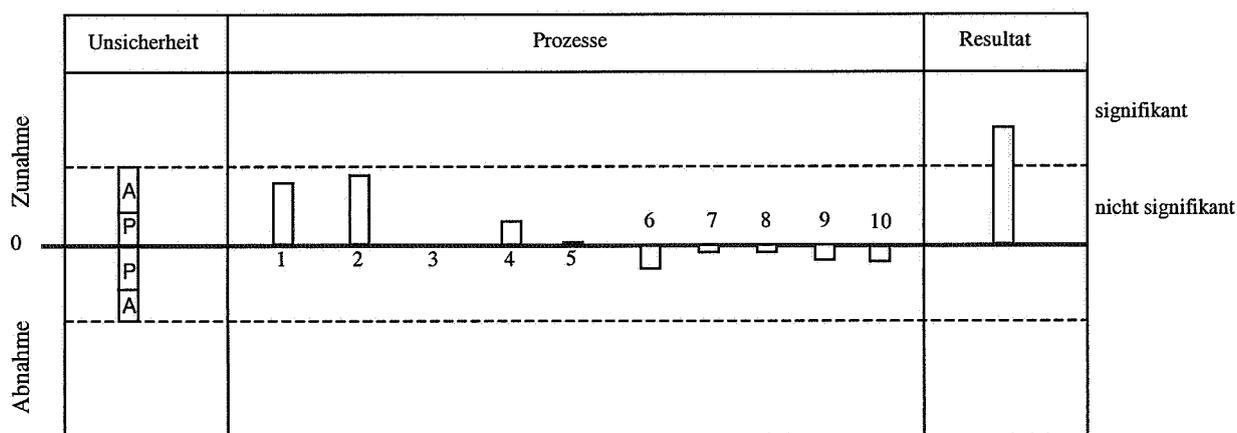
Die Wirkungen der diskutierten zehn Prozesse lassen sich einzeln durch die vorliegenden Ergebnisse (*Kap. 4.4.2*) höchstens tendenziell, nie aber systematisch belegen. Dies ist ein Hinweis auf die multifaktoriellen Ursachen von Konzentrationsveränderungen. Überdies ist das Wirkungsgefüge der Prozesse an jedem Standort und zeitlich für jeden (Schad-)Stoff unterschiedlich. Langfristige lineare Konzentrationsveränderungen im Boden sind deshalb unwahrscheinlich. Der Umstand, dass Konzentrationsveränderungen nach 5 Jahren signifikant sein können und nach 10 Jahren nicht mehr (siehe *Tab. 4-2* und *4-7*), bestätigt dies.

Fazit 13: Signifikante Konzentrationsveränderungen von Schadstoffen im Boden sind multifaktoriell und im Zeitverlauf nicht linear. Neben anthropogenen Einträgen und Ernteentzügen sind sie je nach Standort massgeblich durch natürliche und teilweise anthropogen beeinflusste bodendynamische Prozesse bedingt.

4.4.4 Muster der Konzentrationsveränderungen am Standort

In Fig. 4-8 ist das Wirkungsgefüge verschiedener Prozesse für einen Standort und einen Schadstoff als Szenario dargestellt. Veranschaulicht werden auch die Signifikanzbereiche in Abhängigkeit von der Unsicherheit, d.h. vom Fehler bei Probenahme und Analytik sowie die additive bzw. subtraktive Wirkung der Prozesse auf das Endresultat. Dieses alleine ist direkt in Bodenproben messbar (direktes Monitoring) und seine Unsicherheit bzw. Zuverlässigkeit kann quantifiziert werden. Die Zu- bzw. Abnahmen durch die einzelnen Prozesse können dagegen nur indirekt durch Stoffflussanalysen bestimmt werden (indirektes Monitoring), und die Ergebnisse sind entsprechend unzuverlässig. Dies sind die Hauptgründe, weshalb es beide Monitoring-Methoden braucht.

Fig. 4-8: Szenario eines Prozessgefüges mit Unsicherheitsbereich und resultierender Konzentrationsveränderung im Oberboden (ergänzt aus: Descaules 1998)



P = Probenahme, A = Analytik

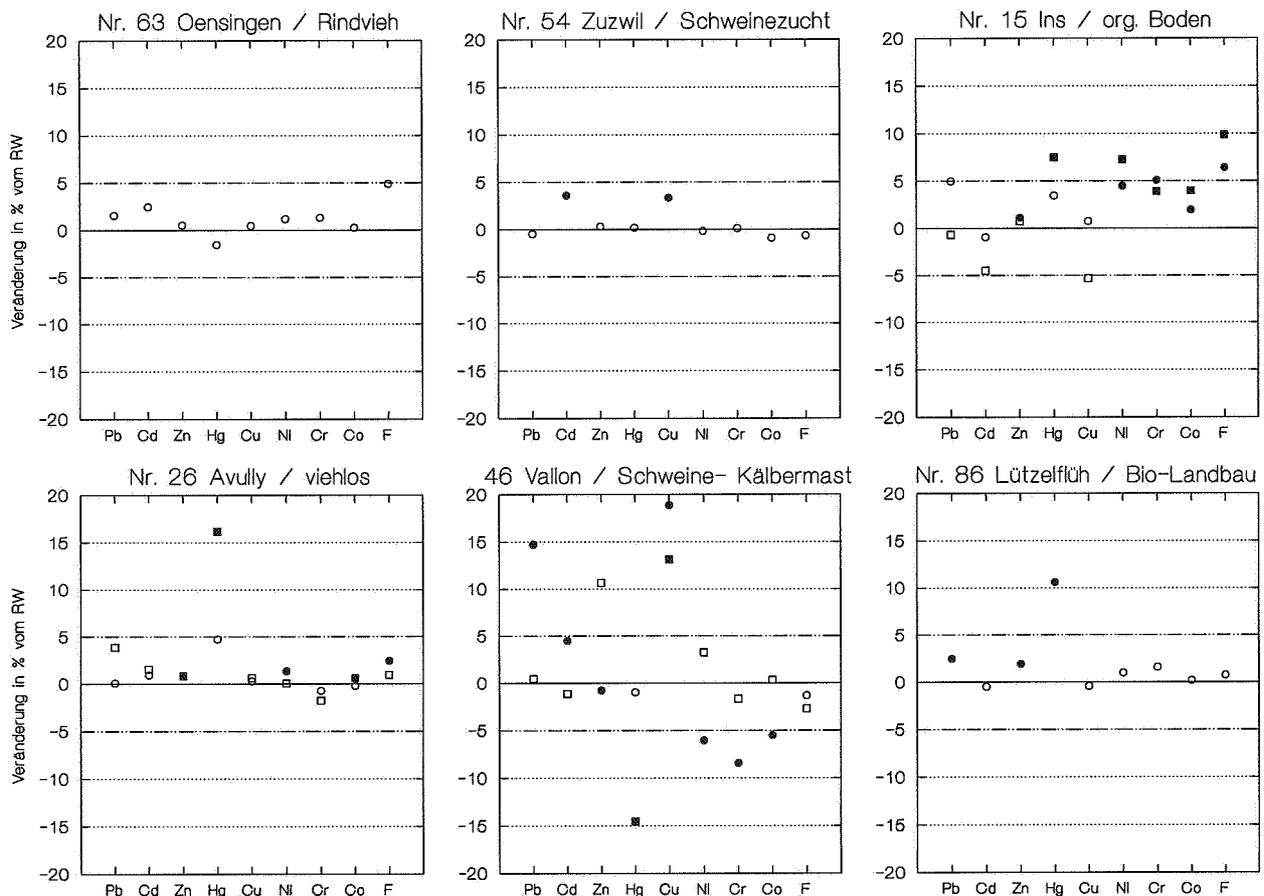
- | | |
|-------------------------------------|--------------------------------|
| 1 Einträge aus der Atmosphäre | 6 Bodendurchmischung |
| 2 Einträge durch landw. Hilfsstoffe | 7 Ernteentzüge |
| 3 Einträge durch Schiessbetrieb | 8 Tiefenverlagerung |
| 4 Rückstandsanreicherungen | 9 Erosion |
| 5 Schadstoffreiche Ablagerungen | 10 Schadstoffarme Ablagerungen |

In Anhang H sind die resultierenden Veränderungsmuster der Schadstoffgehalte für alle NABO-Standorte dargestellt. Grundlagendaten zu den Standorten finden sich in BUWAL (1993: Anhang B). Die Reihenfolge der Elemente zeigt mit Pb, Cd, Zn und Hg zuerst die atmosphilen Elemente mit überwiegend luftbürtigen Einträgen. Danach folgt Cu mit vorherrschenden Einträgen durch Pflanzenbehandlungsmittel und Hofdünger. Am Schluss kommen die lithophilen Elemente Ni, Cr, Co und F, deren Konzentrationen weitgehend gesteinsbedingt sind. Die nachstehend diskutierten Standortbeispiele sind nach Landnutzung gegliedert, nicht zuletzt in der Absicht, die Grenzen dieses Gliederungskriteriums aufzuzeigen.

1) Ackerbaustandorte

Von den 32 erfassten Ackerbaustandorten werden in *Fig. 4-9* sechs charakteristische Beispiele herausgegriffen. Jeder Standort zeigt bei den Schadstoffgehalten ein individuelles, mehr oder weniger ausgeprägtes Veränderungsmuster. Zunahmen bei Cd durch den Einsatz von Gesteinsphosphatdünger sind kaum erkennbar. Die Cu-Zunahme wegen intensiver Schweinehaltung (54, 46) wird bestätigt, nicht jedoch beim Bio-Landbau (86), wo mit erhöhtem Cu-Einsatz gerechnet wird. Der viehlose Standort Avully (26) zeigt ausser bei Hg eine geringe Dynamik.

Fig. 4-9: Relative Veränderungen von Schadstoffgehalten in Böden ausgewählter Ackerbaustandorte



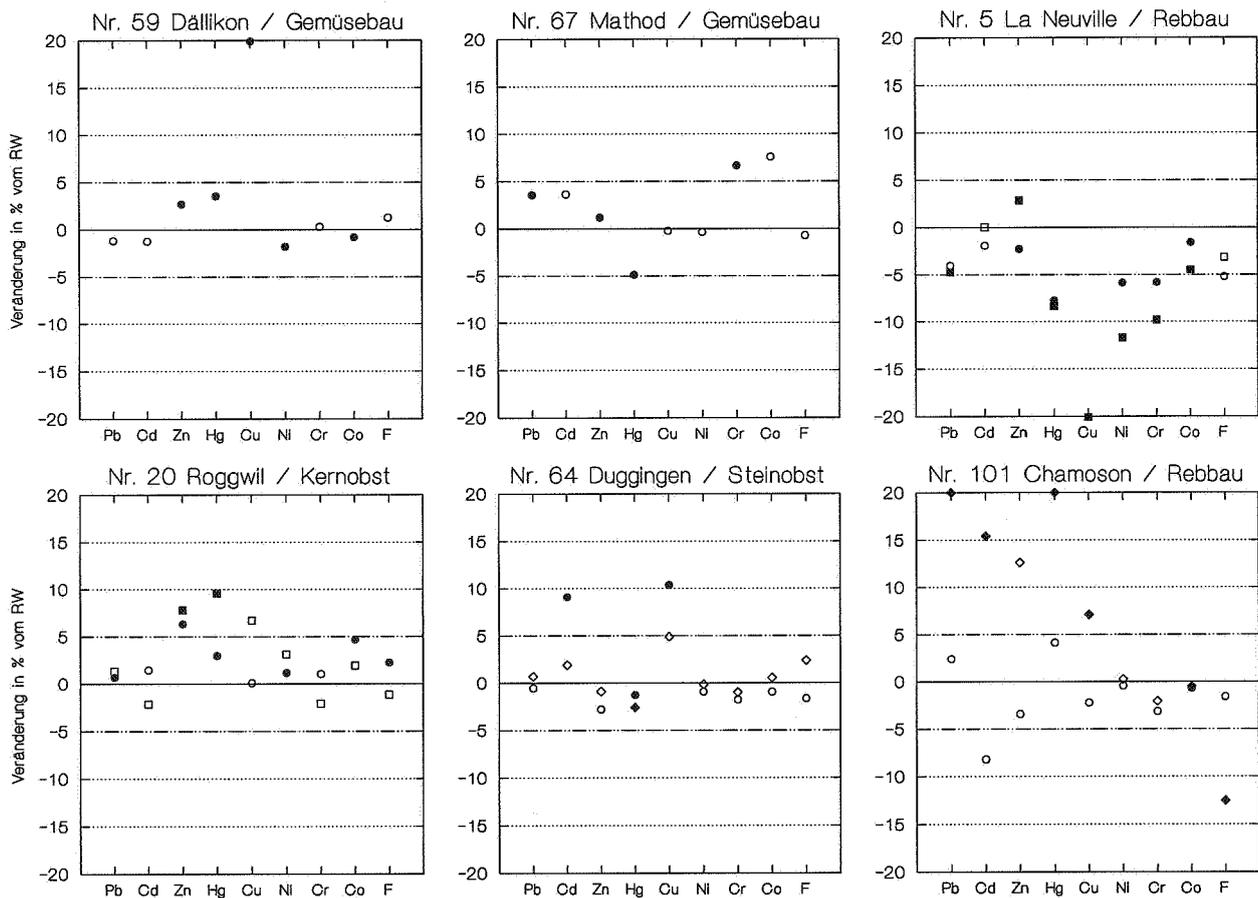
- ◇ Zweiterhebung nach 5 Jahren (0-5cm) ○ Zweiterhebung nach 5 Jahren (0-20cm)
 □ Dritterhebung nach 10 Jahren (0-20cm) Veränderungen über $\pm 20\%$ sind bei 20% eingezeichnet
 - - - - Relevanzgrenze ($\pm 5\%$ vom Richtwert)
 ◆ ● ■ Signifikante Veränderung (Irrtumswahrscheinlichkeit = 2.9%)
 Richtwert (RW) in mg/kg: Pb=50, Cd=0.8, Zn=150, Hg=0.5, Cu=40, Ni=50, Cr=75, Co=25, F=700

In Ins (15), einem Standort mit organischem Boden, fällt die synchrone Zunahme der lithophilen Elemente auf. Rückstandsanreicherung als mögliche Erklärung wird durch das Verhalten der anderen Elemente nicht durchwegs gestützt. Es stellt sich die Frage nach dem Einfluss des Bodenzustands auf die Probenahme. Für die - auch bei anderen Nutzungen - häufigen und ausgeprägten positiven oder negativen Hg-Veränderungen gibt es noch keine plausible Erklärung.

2) Spezialkulturen

Bei den vier Gemüse-, drei Obst- und vier Rebbaustandorten im NABO-Netz wird als Folge der Anwendung Cu-haltiger Pflanzenbehandlungsmittel in erster Linie mit Kupferanreicherungen im Boden gerechnet. Diese werden in den Beispielen in *Fig. 4-10* nur teilweise bestätigt. Einerseits sind die ausgebrachten Kupferfrachten unterschiedlich hoch: Bei Kernobst (20) wird beispielsweise bedeutend weniger Kupfer gespritzt als bei Steinobst (64) (BUWAL 1993). Andererseits sind auch andere, zum Teil gegenläufige Prozesse wirksam. Beim Rebbaustandort La Neuville (5) ist u.a. die Verdünnung, wegen tieferer Bodenbearbeitung als üblich, belegt. Wieweit auch Erosion oder am Gemüsebaustandort (67) Rückstandsanreicherungen durch Humusabbau mitspielen, kann nicht eindeutig geklärt werden.

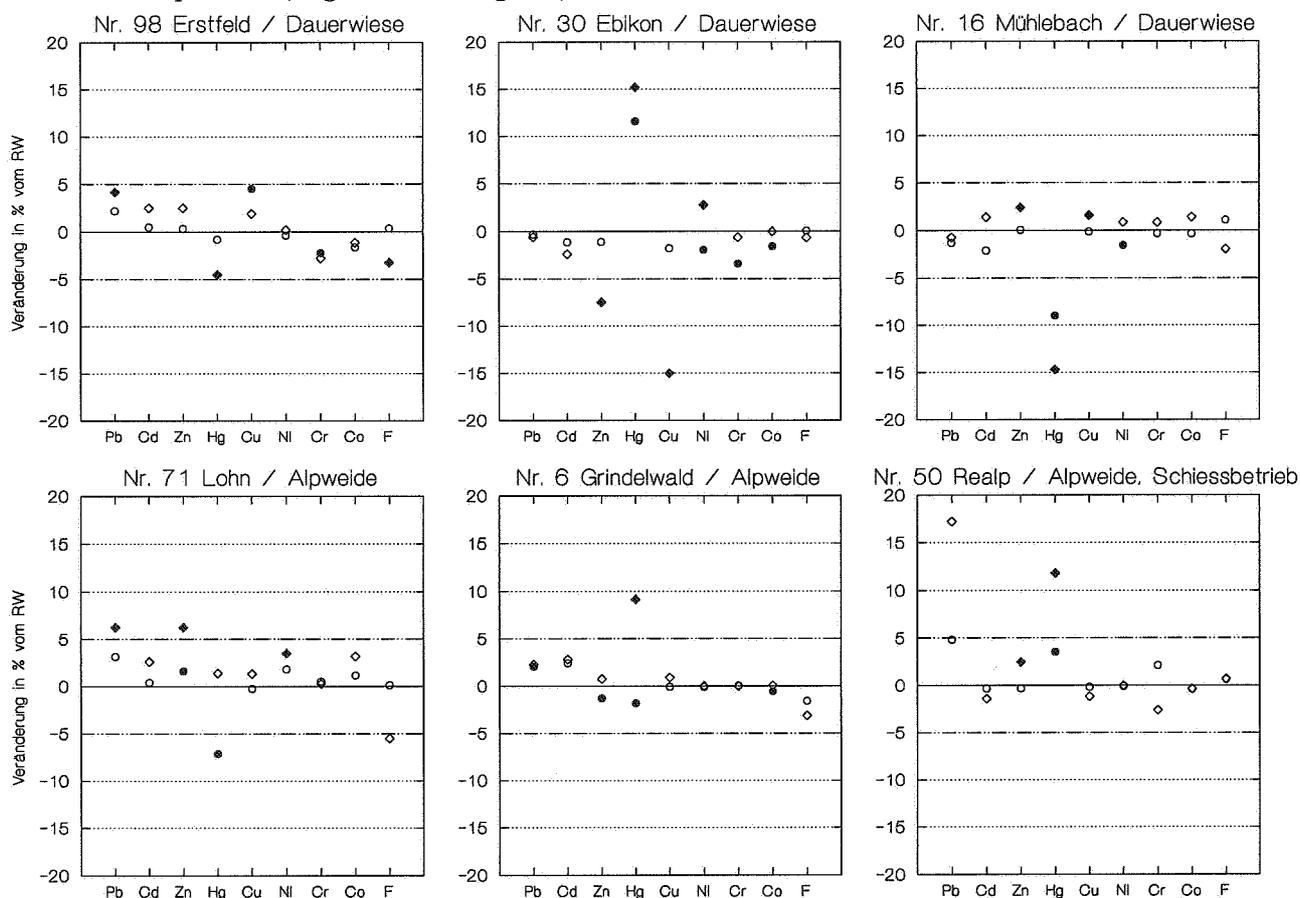
Fig. 4-10: Relative Veränderungen von Schadstoffgehalten in Böden ausgewählter Spezialkulturen (Legende siehe Fig. 4-9)



3) Dauerwiesen und Alpweiden

Das NABO-Netz umfasst 16 Dauerwiesen und 9 Alpweiden mit unterschiedlicher Nutzungsintensität. Von den Ergebnissen in *Fig. 4-11* wird erwartet, dass Dauerwiesen Spuren von Düngereinträgen und Alpweiden eher solche atmosphärischer Einträge aufweisen sollten. Die starke Cu-Abnahme bei Ebikon (30) mit grossem Schweinebesatz widerspricht krass den Erwartungen und lässt sich vorläufig nicht plausibel erklären, denn der Einfluss der Bioturbation ist an diesem Standort zu gering. Dagegen zeichnen sich bei den Alpstandorten und beim Standort Erstfeld (98), der nahe der Autobahn gelegen ist, tendenziell die atmosphärischen Einträge ab. Der starke Pb-Anstieg am Standort mit militärischem Schiessbetrieb (50) ist erstaunlicherweise statistisch nicht signifikant. Der Grund dazu ist das partikulär vorhandene Blei, welches zu grossen analytischen Streuungen führt, was für kontaminierte Schiessgelände typisch ist.

Fig. 4-11: Relative Veränderungen von Schadstoffgehalten in Böden ausgewählter Dauerwiesen und Alpweiden (Legende siehe Fig. 4-9)

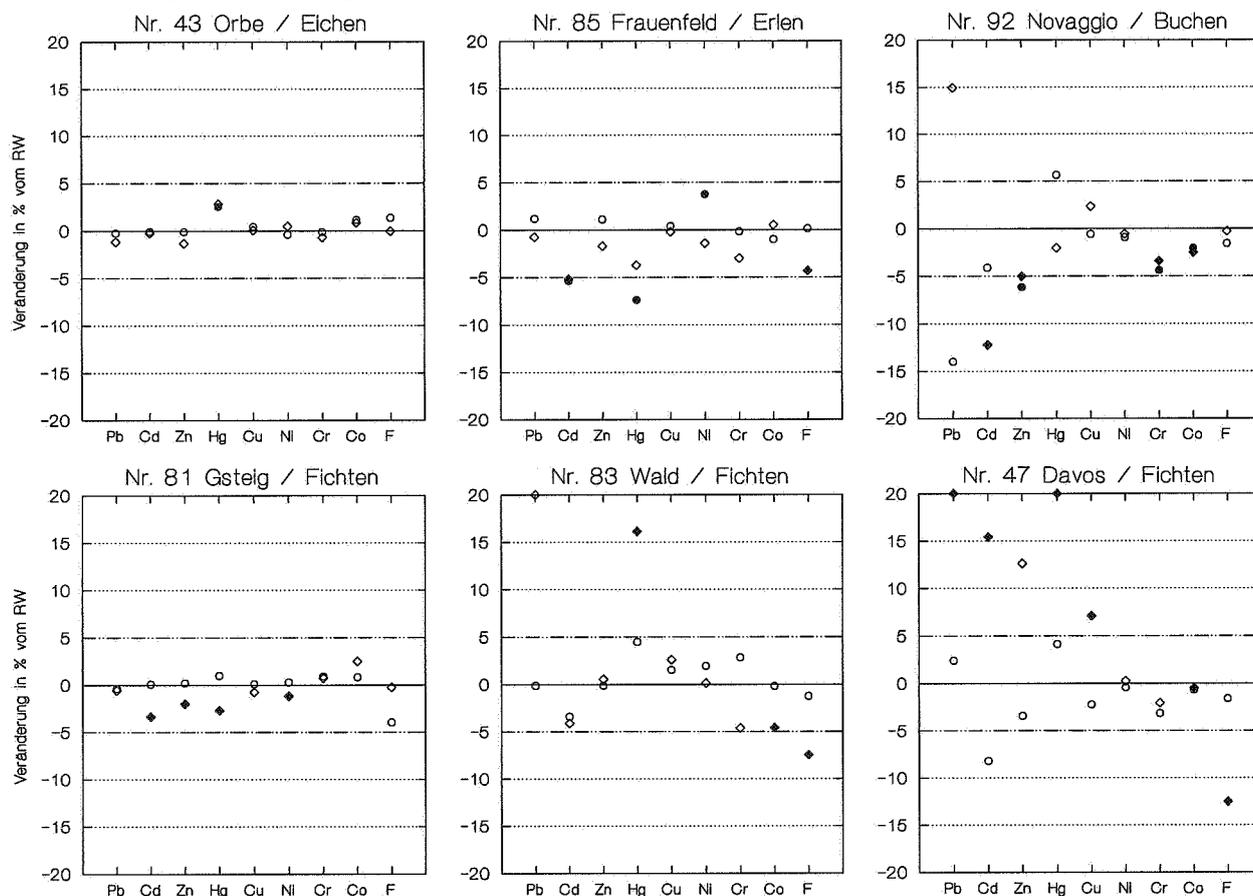


4) Waldstandorte

Von den 12 Laub- und 15 Nadelwaldstandorten wurde in *Fig. 4-12* eine Auswahl mit unterschiedlich dynamischen Veränderungsmustern getroffen. Erwartet werden primär Zunahmen bei den atmosphärischen Elementen aufgrund des Filtereffekts (Interzeption), der beim Nadelwald am höchsten sein sollte. An keinem der ausgewählten Standorte bestätigt sich diese Hypothese. Entweder ist der Filtereffekt zu gering, oder es müssen andere und teilweise gegenläufige Prozesse wirksam sein. Am biologisch aktiven Auenstandort Frauenfeld (85) wird die Abnahme vermut-

lich wegen Verdünnung durch Bioturbation von Regenwürmern verursacht. Waldstandorte mit geringen Humusauflagen (43, 81) scheinen ein ruhigeres Veränderungsmuster aufzuweisen als Standorte mit ausgeprägten und teilweise sehr unregelmässigen Humusauflagen (92, 83, 47). Ein Einfluss der Probenahme ist dabei nicht auszuschliessen.

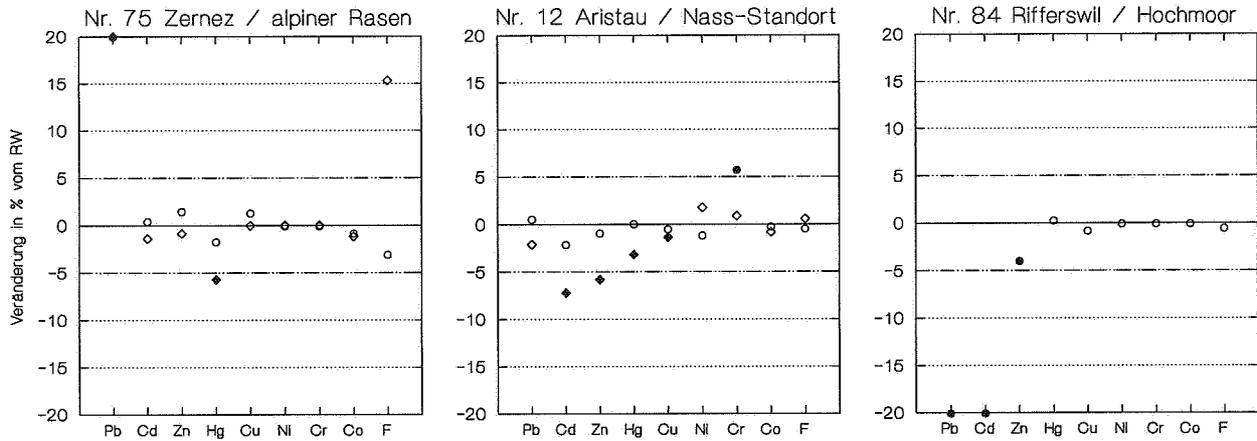
Fig. 4-12: Relative Veränderungen von Schadstoffgehalten in Böden ausgewählter Waldstandorte (Legende siehe Fig. 4-9)



5) Schutzstandorte

Darunter fallen ein alpiner Rasen im Nationalpark (75), ein Nassstandort mit Streuwiese (12) und zwei Hochmoore (84, 89). Letztere sind mit Sicherheit frei von direkten landwirtschaftlichen Einträgen. Die drei Beispiele in Fig. 4-13 zeigen wider Erwarten keine übereinstimmende Zunahme der atmosphilen Elemente. Bei der Streuwiese (12) deutet die grössere Abnahme der atmosphilen Elemente in der Bodentiefe 0-5 cm auf Verdünnung durch Bioturbation hin. Bei den biologisch stark gehemmten Standorten 75 und 84, mit teilweise extremen Tiefengradienten einzelner Schadstoffgehalte (BUWAL 1993: Anhang B), sind eher Einflüsse der Probenahme wahrscheinlich.

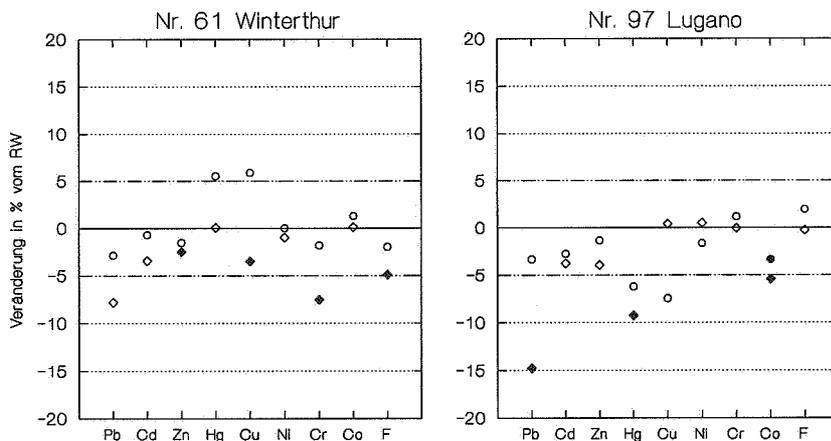
Fig. 4-13: *Relative Veränderungen von Schadstoffgehalten in Böden ausgewählter Schutzstandorte*
(Legende Fig. 4-9)



6) Stadtparks

In Fig. 4-14 sind die Ergebnisse der beiden im NABO-Netz vertretenen Parkstandorte in Winterthur (61) und Lugano (97) dargestellt. Die erwarteten Konzentrationszunahmen atmosphärischer Elemente bestätigen sich nicht - ganz im Gegenteil. Die Lufteträge werden möglicherweise durch die Bodendurchmischung wegen intensiver Regenwurmtätigkeit verdünnt, was die allgemein grösseren Abnahmen in der flachgründigeren Bodentiefe 0-5 cm erklären würde.

Fig. 4-14: *Relative Veränderungen von Schadstoffgehalten in Böden in zwei Stadtparks*
(Legende siehe Fig. 4-9)



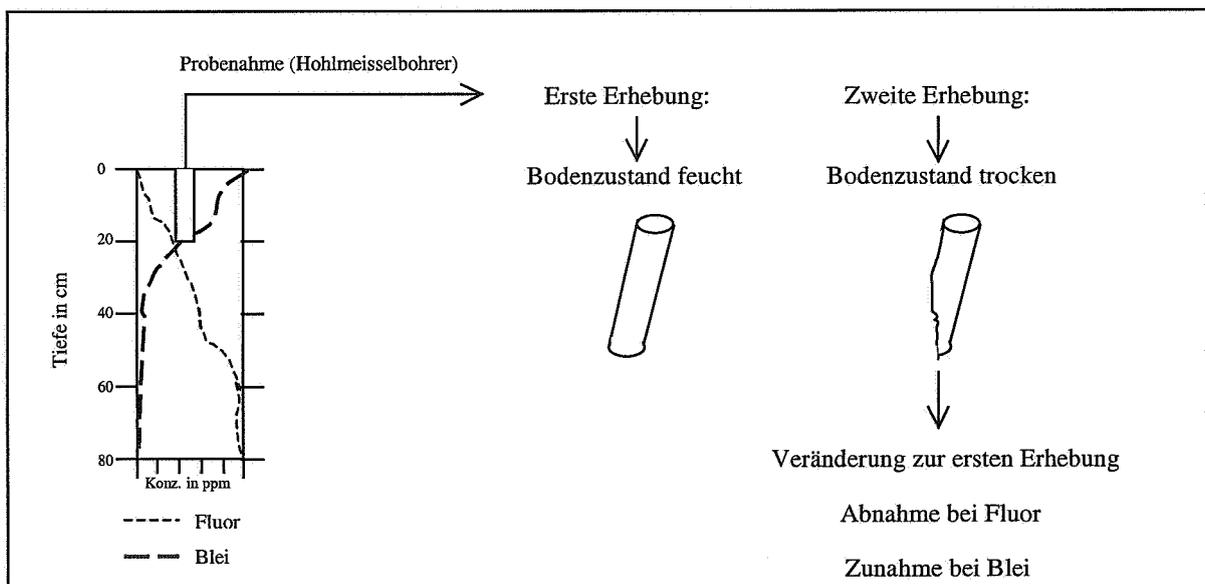
Fazit 14: Die zeitlichen Veränderungsmuster der Schadstoffgehalte an den Standorten können als Ergebnis komplexer standort- und elementspezifisch wirksamer Prozessgefüge erst ansatzweise erklärt werden. Verallgemeinerungen sind deshalb enge Grenzen gesetzt.

4.4.5 Einfluss der Probenahmezeitpunkte

Festgelegte Beprobungsintervalle und die jeweiligen Bodenzustände beim Zeitpunkt der Probenahme sind Faktoren, welche die (Schad-)Stoffkonzentrationen und deren zeitlichen Verlauf beeinflussen.

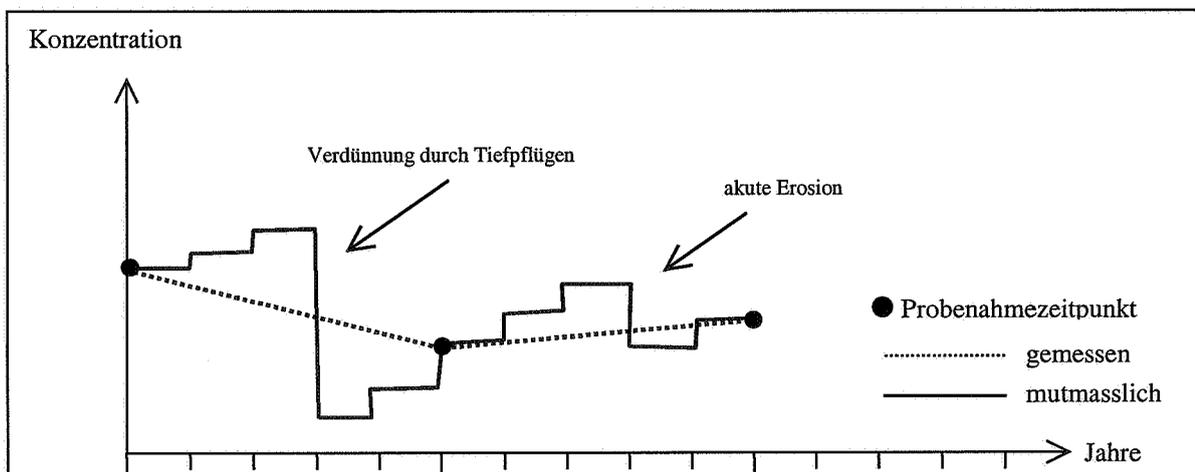
Die Wiederholpräzision der zur gleichen Zeit am gleichen Standort entnommenen Bodenproben ist in der Regel ausgezeichnet (*Kap. 3.4.4*) und auch sehr robust (Desaules & Dahinden 1994). Nicht in jedem Fall robust scheint dagegen die Probenahme gegenüber zeitlichen Veränderungen des Bodenzustands, besonders der Bodenfeuchte und des Verdichtungsgrades zu sein. Diese Vermutung stützt sich auf Beobachtungen während der Probenahme, aber auch auf nicht plausibel erklärbare Konzentrationsveränderungen. In *Fig. 4-15* wird an einem fiktiven Beispiel gezeigt, wie es in trockenen und besonders in sandigen Böden selektiv zu unvollständigen Bohrkernen kommen kann. Je nach Tiefengradient der einzelnen Schadstoffe wirkt sich dies systematisch verschieden auf die in den Proben gemessenen Konzentrationen aus.

Fig. 4-15: Mögliche Einflüsse auf Konzentrationsveränderungen durch unterschiedliche Bodenzustände bei der Probenahme



Die Intervalle der Probenahmezeitpunkte haben einen Einfluss auf den zeitlichen Verlauf von Konzentrationsveränderungen am Standort. Am Beispiel des Verlaufs der Kupferkonzentration in einem Rebbbergboden soll mit einem Szenario der Zusammenhang zwischen mutmasslichem und gemessenem Konzentrationsverlauf erläutert werden (*Fig. 4-16*).

Fig. 4-16: Szenario eines mutmasslichen und gemessenen Konzentrationsverlaufes von Cu in einem Rebberg-Oberboden.



Dem mutmasslichen Konzentrationsverlauf liegt ein dynamisches Gleichgewicht zwischen Lufteintrag und Austrag durch schleichende Erosion zugrunde, das periodisch durch Cu-Spritzungen (= Zunahmen) und, noch drastischer, episodisch durch akute Erosionsereignisse oder tiefere Bodenbearbeitung als üblich (= Abnahmen) unterbrochen wird. Wieweit sich der gemessene mit dem mutmasslichen Verlauf deckt, ist von den Zeitpunkten der Probenahmen abhängig. Die Optimierung der Probenahme setzt somit ein gutes Prozessverständnis voraus.

Fazit 15: Festgelegte Beprobungsintervalle und die jeweiligen Bodenzustände beim Zeitpunkt der Probenahme sind Faktoren, welche die (Schad-)Stoffkonzentrationen und deren zeitlichen Verlauf beeinflussen. Für realistische Trendaussagen und Prognosen tatsächlicher Konzentrationsveränderungen müssen diese Einflüsse bekannt sein. Dies setzt aber ein hinreichendes Prozessverständnis voraus.

5 FOLGERUNGEN UND AUSBLICK

Das Hauptziel des vorliegenden Berichts ist es, die im Rahmen der NABO-Untersuchungen festgestellten zeitlichen Veränderungen von Schadstoffgehalten im Boden im Hinblick auf deren Früherkennung und Prognose darzustellen. Damit sollen umweltpolitische Massnahmen zur nachhaltigen Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit wissenschaftlich noch besser abgestützt werden können. Im Folgenden soll geprüft werden, wieweit mit den vorliegenden Ergebnissen dieses Ziel erreicht wurde und wie der Beobachtungsauftrag in Zukunft noch besser erfüllt werden kann.

5.1 Aussagekraft und Gesamtbeurteilung der Ergebnisse

Zivilisationsbedingte Schadstoffeinträge in Böden und/oder Erfolge chemischer Bodenschutzmassnahmen lassen sich letztlich nur durch Messungen von Veränderungen der Schadstoffgehalte in den betroffenen Böden feststellen. Die Voraussetzungen dazu sind jedoch, (1) dass die Messergebnisse genügend zuverlässig sind, (2) die Konzentrationsveränderungen von Bedeutung (signifikant bzw. relevant) sind und sie (3) tatsächlich auf die genannten Ursachen und/oder Massnahmen zurückzuführen sind.

Bezugsbasis

Referenzmessnetze wie das NABO müssen eine langfristige Bezugsbasis abgeben und repräsentative Ergebnisse liefern. Dies ist bei den zahlreichen, zwangsläufigen Änderungen im Laufe der Zeit (*Kap. 2*) nur beschränkt möglich. Im Hinblick auf die Dauerbeobachtung müssen diese mit aufwändigen Vergleichsuntersuchungen abgestimmt werden.

Analysenqualität

Die Zuverlässigkeit der Messergebnisse hängt von der Analysenqualität ab (*Kap. 3*). Bezüglich Richtigkeit und Vergleichbarkeit der Analysenresultate ist festzustellen, dass das NABO-Referenznetz bei Cu, Ni, Cr und Zn systematisch bis tendenziell höhere und vor allem bei Hg aber auch bei Cd und Co tiefere Werte misst. Die Vergleichspräzision ist bei Hg am geringsten. (*Kap 3.2, 3.3*).

Für das NABO als Dauerbeobachtungsnetz zur Erfassung zeitlicher Konzentrationsveränderungen sind hohe Wiederholpräzision und die Stabilität des Messsystems besonders wichtig (*Kap. 3.4*). Die gleichzeitigen Analysen der vier Mischproben mit dem entsprechenden archivierten Probenmaterial der Ersterhebung gewährleisteten methodenspezifisch die grösstmögliche Messstabilität und Wiederholpräzision. Diese Wiederholpräzision (Basis n=4) dokumentiert für jeden Standort und Erhebungszeitpunkt und für jedes der neun untersuchten Elemente die 'Standortreproduzierbarkeit' der Probengewinnung und Analytik zum gleichen Zeitpunkt.

Signifikanz und Relevanz der Konzentrationsveränderungen

Die Angaben der Konzentrationsveränderungen in Prozenten der entsprechenden Richtwerte sind eine umweltrelevante und geeignete Bezugsbasis. Im Gegensatz zu den relativen Veränderungen der absoluten Konzentrationen, welche in tiefen Bereichen schon bei unbedeutenden absoluten Veränderungen eine grosse Dynamik vortäuschen, erweisen sich diese Angaben als robust. Eine Veränderung wird als statistisch signifikant bezeichnet, wenn die Konzentrationen aller vier Pro-

ben im Vergleich zur Ersterhebung höher bzw. tiefer liegen. Dies entspricht einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 2.9 %. Das heisst: bei jedem untersuchten Element werden im Durchschnitt in 2.9 % der Fälle zufällige Veränderungen irrtümlich als statistisch signifikant ausgewiesen. (In den Umweltwissenschaften wird üblicherweise mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % gearbeitet). Signifikante Konzentrationsveränderungen von mehr als 5 % der entsprechenden Richtwerte werden als relevant bezeichnet. Das bedeutet im Zeitraum von 5 Jahren eine Veränderung von 1 % pro Jahr und in 10 Jahren von jährlich 0.5 % bezogen auf den Richtwert.

Dynamik der Konzentrationsveränderungen

Dass nach 5 Jahren bereits 87 % aller Standorte bei mindestens einem oder mehreren der neun untersuchten Elemente in der Bodentiefe 0-20 cm signifikante und 62 % relevante Konzentrationsveränderungen aufweisen, deutet auf eine überraschend grosse Schadstoffdynamik im Boden hin. Allerdings treten sowohl positive wie auch negative Veränderungen auf und die Streuungen sind erheblich. Die Aussagekraft insbesondere von mittleren Veränderungen, aber auch von Medianwerten ist daher gering. Dasselbe gilt für die Gruppierung der Standorte nach Landnutzung. Die Streuungen der Konzentrationsveränderungen innerhalb der Nutzungsklassen sind generell grösser als zwischen den Klassen. Die tendenzielle Entwicklung der Konzentrationsveränderungen in den Bodentiefen 0-5 cm und 0-20 cm sowie nach 5 und nach 10 Jahren ist teilweise nicht linear und gleichgerichtet. Dies sind Hinweise dafür, dass die Dynamik sowohl in verschiedenen Bodentiefen wie auch im Zeitverlauf unterschiedlich und sogar gegenläufig sein kann. Böden sind deshalb ein sehr schwer lesbares Umweltarchiv.

Ursachen von Konzentrationsveränderungen

Die Ursachen signifikanter Konzentrationsveränderungen von Schadstoffen im Oberboden sind vielfältig. Neben zivilisationsbedingten Einträgen über die Luft und durch landwirtschaftliche Hilfsstoffe sowie Ernteentzügen sind je nach Standort auch verschiedene natürliche und teilweise anthropogen beeinflusste Prozesse beteiligt. Nicht plausibel erklärbare Ergebnisse von Dritterhebungen lassen vermuten, dass der Zeitpunkt der Probenahme und die daraus resultierenden unterschiedlichen Bodenzustände (z.B. Feuchte und Verdichtungsgrad) die Gehalte beeinflussen. Derzeit ist es noch nicht möglich, die gemessenen signifikanten Konzentrationsveränderungen an jedem Standort eindeutig und quantitativ den einzelnen Ursachen zuzuweisen. Das aktuelle Prozessverständnis ist für sinnvolle Prognosemodelle noch ungenügend. Dies ist aber eine Voraussetzung für vernünftige umweltpolitische Massnahmen. Analog zur langfristigen Waldökosystem-Forschung (LWF) haben die NABO-Standorte die Bedeutung einer Serie von 105 Langzeit-Fallstudien (Innes 1995).

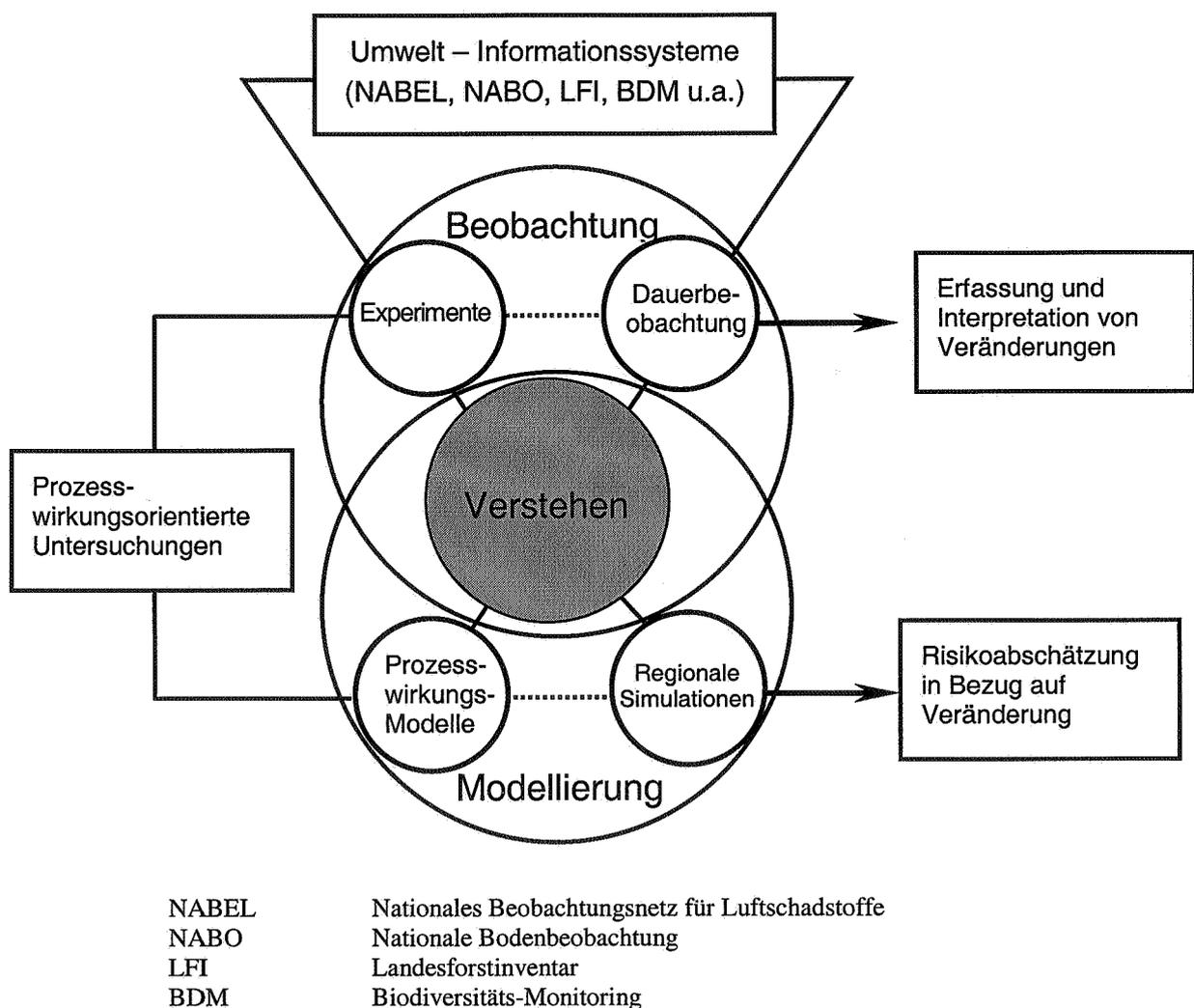
Schliesslich sei daran erinnert, dass die Ergebnisse standortbezogen und damit nicht gesichert auf die Fläche übertragbar sind und sich zudem nur auf neun anorganische Schadstoffe beschränken.

Fazit 16: Die Ergebnisse zeigen eine überraschend grosse Dynamik der Veränderungen von Schadstoffgehalten im Oberboden. Trotz der sehr guten Messpräzision ist es bisher noch nicht möglich, diese Veränderungen an jedem Standort eindeutig und quantitativ den einzelnen Ursachen zuzuordnen. Um den Erfolg chemischer Bodenschutzmassnahmen richtig zu beurteilen, können die Ergebnisse noch nicht ausreichend interpretiert werden.

5.2 Empfehlungen für das weitere Vorgehen

Die Aussagekraft der Ergebnisse ist eine direkte Konsequenz des Vorgehens bei der Dauerbeobachtung. Das Vorgehen wiederum ist abhängig vom Sachverstand und den verfügbaren Mittel. Wenn die Ergebnisse Ziel und Zweck noch nicht hinreichend erfüllen, bedeutet dies, dass Sachverstand und/oder Mitteleinsatz nicht genügen. Die Mehrung von Sachverstand (Erkenntnisgewinn) ist ein iterativer Prozess, der zielorientiert zu optimieren ist. Die WSL hat für die langfristige Waldökosystem-Forschung (LWF) ein Konzept entwickelt, das allgemein gültig ist (Fig. 5-1). Es zeigt, dass die Dauerbeobachtung ihrem Auftrag nur gerecht werden kann, wenn sie in ein Forschungskonzept integriert ist, dem prozess- und wirkungsorientierte Untersuchungen (Kausalanalysen) zugrunde liegen. Dies gilt grundsätzlich auch für das NABO-Netz.

Fig. 5-1: Konzept der langfristigen Ökosystemforschung (nach Kräuchi 1995, verändert)



Aufgrund der Komplexität und der zeitlichen und räumlichen Dimension der langfristigen Ökosystemforschung setzen sich in verschiedenen Bereichen der Umweltbeobachtung zunehmend modulartige Konzepte durch (Kap. 1.3, Förster 1998, BUWAL 1998a). Mit diesem systemaren Ansatz bleibt die Übersicht und Kontrolle der einzelnen Elemente (Bausteine) gewährleistet,

womit grundlegende Ausgangsbedingungen zur Systemmodellierung und damit zur Fehleranalyse und zur ökologischen sowie ökonomischen Optimierung der Beobachtung gegeben sind.

Die Ergebnisse aus dem NABO-Messnetz zusammen mit den obenstehenden grundsätzlichen Erkenntnissen zur Dauerbeobachtung sind wegweisend für das weitere Vorgehen und führen zu einer Reihe konkreter Empfehlungen.

1) Verbesserung des langfristigen Qualitätsmanagements

Zur langfristigen genauen Wiederauffindung der Dauerbeobachtungs-Standorte sind mindestens drei verschiedene, voneinander unabhängige Einmesspunkte empfehlenswert.

Für den Nachweis von zeitlichen Konzentrationsveränderungen ist eine ausgezeichnete Messpräzision notwendig. Diese ist methodenspezifisch maximal, wenn die entsprechenden Proben der Ersterhebung und der Folgerhebung innerhalb der gleichen Messserie unmittelbar hintereinander gemessen werden.

Bei zeitlich verschobenen Probenahmen am selben Standort ist darauf zu achten, die Proben bei möglichst den gleichen Bodenzuständen (Feuchte, Verdichtungsgrad) zu entnehmen. Die Zweit- und Dritterhebung ergab Hinweise auf einen möglicherweise grossen Einfluss auf die gemessenen Schadstoffkonzentrationen durch die Probenahme am selben Standort zu verschiedenen Zeitpunkten. Zur Abklärung ist eine Untersuchung angelaufen, welche an sechs ausgewählten NABO-Standorten verschiedener Nutzung, das Intervall der Probenahme von einmal pro 5 Jahren auf zweimal jährlich erhöht. Die Probenahmebedingungen sollen dabei möglichst kontrastreich sein. Mit dieser Zeitreihen-Untersuchung soll die Grössenordnung der Einflüsse der Probenahme besser erfasst und Hinweise über anthropogen bedingte Einflüsse und das natürliche Hintergrundrauschen gewonnen werden.

2) Intensivierung der Prozessforschung

Die Ergebnisse der oben erwähnten Untersuchung werden auch durch bodendynamische Prozesse wie Durchmischung, Verlagerung und Rückstandsanreicherungen von Schadstoffen beeinflusst. Deren Anteile an den Konzentrationsveränderungen müssen mittels Kurz- oder Langzeitexperimenten quantifiziert werden, um so ihren Einfluss von den zivilisationsbedingten Schadstoffeinträgen trennen zu können.

Eine besondere Herausforderung ist dabei das Quecksilber. Dieses Schwermetall ist aufgrund seiner physiko-chemischen Eigenschaften, insbesondere seiner Leichtflüchtigkeit, sowohl analytisch wie auch in seinem Umweltverhalten ein problematischer Schadstoff und wurde deshalb trotz seiner prioritären ökotoxikologischen Bedeutung anders als in Nordeuropa (z.B. Hakanson et al. 1990) u.a. in Mitteleuropa bisher vernachlässigt. Die Quecksilber-Dynamik in den Böden der Schweiz hat sich aber in diesem Bericht als extrem gross erwiesen. Die Ursachen dazu sind nicht klar, können nicht nur der Analytik zugeschrieben werden. Sie sollten deshalb genauer untersucht werden. Die Bedeutung des Quecksilbers als Schadstoff wurde offensichtlich auch in den Vereinigten Staaten erkannt und schlägt sich im 'Quecksilber-Aktionsplan' der amerikanischen Umweltschutzagentur (EPA) nieder (Renner 1999).

3) Erfassung von Schadstoffflüssen

Zur Prozessforschung gehört auch die Erfassung der verschiedenen Schadstoffflüsse an den Beobachtungsstandorten als Beitrag zur Kausalanalyse (indirektes Monitoring). Nur Messungen zeitlicher Konzentrationsveränderungen in Böden (direktes Monitoring) können deren Ursachen nicht erklären. Stoffflussanalysen allein führen dagegen auch nicht zum Ziel, weil sie mit grossen Unsicherheiten verbunden sind und ihr räumlicher Auflösungsgrad oft sehr ungenau und diffus ist.

4) Erarbeitung räumlicher Extrapolationsgrundlagen

Den NABO-Standorten kommt der Stellenwert von 105 Langzeit-Fallstudien zu. Die bisherigen Ergebnisse zeigen, dass sinnvolle Gruppierungen und eine damit verbundene flächenbezogene Aussage aufgrund der Vielfalt und verschiedenen Intensitäten der wirksamen Faktoren kaum möglich sind. Für die Erarbeitung räumlicher Extrapolationsgrundlagen besteht ein grosser Forschungsbedarf. Vorerst geht es darum, raumbezogene Grundlagen zu schaffen. Projekte in dieser Richtung sind die Verknüpfung der Bodenschadstoff-Datenbank mit einem Geographischen Informationssystem (Keller & Desaulles 1999) und eine landesweite Übersichtskartierung über die Bodenempfindlichkeit gegenüber Schwermetallbelastungen.

5) Einstieg in die wirkungsorientierte Forschung

Bisher werden in der Schweiz die Schadstoffbelastungen im Boden und ihre Veränderungen anhand von Richtwerten (VBBo 1998) beurteilt, die auf der langfristigen Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit nach dem Vorsorgeprinzip beruhen (USG 1983, Art. 35). Die internationale Entwicklung im Rahmen der 'UN/ECE Konvention für grenzüberschreitende Luftverschmutzungen' zielt nun aber darauf ab, tolerierbare Eintragsraten (Critical Loads) für Schwermetalle und persistente organische Schadstoffe festzulegen, die wirkungsorientiert definiert und räumlich differenziert sein sollen (Gregor et al. 1998). Davon wird auch die Schweiz als Unterzeichnerstaat der Konvention betroffen sein. Ein vorbereitender Schritt dazu ist die erwähnte Bodenempfindlichkeitskarte.

6) Optimierung und Integration der schadstoffbezogenen Bodenbeobachtung

Die begrenzten Finanzmittel verlangen eine ökonomische und damit auch ökologische optimierte Dauerbeobachtung, zumal die Mittel langfristig gebunden sind. Je besser der Sachverstand ist, desto gezielter und effizienter lassen sich Schadstoffe im Boden beobachten. Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse wird deshalb empfohlen, die flachgründige Beprobung von 0-5 cm fallen zu lassen und dafür die Periodizität der Beobachtung zu erhöhen. Die Dynamik in der flachgründigen Bodenschicht ist nicht wie ursprünglich erwartet deutlich grösser. Hingegen ist die Dynamik in der Bodenschicht von 0-20 cm oft genügend gross, um die Beobachtungsperiodizität zu erhöhen. Auf diese Weise entstehen innert nützlicher Frist analysierbare Zeitreihen, eine Grundvoraussetzung für die Erstellung von Prognosen. Die Mittelbeschränkung und die Notwendigkeit der Beobachtungsintensivierung führen - wie bei der Waldschadensforschung (Förster 1998) - zwangsläufig zu einer Hierarchie der Beobachtungsintensität bei den Standorten. Deshalb müssen künftig auch Methoden für die Übertragung von Ergebnissen von Intensivstandorten auf extensive Basisstandorte entwickelt werden (Transferfunktionen).

Die bisherige Bodenbeobachtung (direktes Monitoring) hat sich allein als zuwenig aussagekräftig erwiesen und sollte deshalb vermehrt in die Ökosystemforschung integriert werden (*Fig. 5-1*). Erst durch die Verknüpfung von direktem und indirektem Monitoring werden Interpretationen überprüfbar (Desaules 1998). Letztlich liefert nur die integrierte Bodenbeobachtung mit wirkungsorientierten, raumbezogenen und bodendynamischen Analysen relevanter Schadstoffflüsse die notwendigen Entscheidungsgrundlagen für ein nachhaltiges Schadstoffmanagement von Bodenökosystemen (vgl. Moolenaar 1998).

7) Ausbau der Bodenbeobachtung

„Es gilt, das Bodenökosystem als Ganzes und insbesondere seine Dynamik zu erkennen: die vergangene Nutzung und deren Einfluss auf den heutigen Zustand, die heutige Nutzung und deren Wirkung auf den künftigen Zustand. [...] Anstelle der Konzentration einzelner Schadstoffe muss vermehrt der biologische Zustand des Bodens, die Präsenz und die Leistung der Bodenlebewesen sowie des ganzen biologischen Systems als Massstab dienen.“ Diese holistische Forderung ist eine Folgerung aus dem Nationalen Forschungsprogramm 'Nutzung des Bodens in der Schweiz' (Häberli et al. 1991). Zumindest der wissenschaftliche Weg führt aber nicht an sehr guten Kenntnissen der einzelnen Systemelemente vorbei und dazu gehören chemische, physikalische wie auch biologische Parameter. Wie aufwändig und schwierig es ist, nur schon die Dynamik vergleichsweise leicht messbarer Schwermetalle zu erfassen und vor allem richtig zu interpretieren, zeigt dieser Bericht. Daraus ergibt sich die Forderung, neue Parameter oder Indikatoren zuvor in aussagekräftigen Voruntersuchungen auf ihre Eignung für die Dauerbeobachtung zu prüfen. Derzeit laufen solche Abklärungen für die organischen Schadstoffe PAK und PCB und geplant ist weiter ein Pilotprojekt zur Langzeitbeobachtung physikalischer und biologischer Bodeneigenschaften.

Fazit 17: Damit sinnvolle umweltpolitische Entscheide zum nachhaltigen Management relevanter Schadstoffkreisläufe von Bodenökosystemen getroffen werden können, müssen die einzelnen Schadstoffflüsse in ihrer Dynamik und Wirkung zuverlässig und mit zeitlich und räumlich genügendem Auflösungsgrad erfasst und interpretiert werden können. Zusätzliche Parameter und Indikatoren sollten in Pilotprojekten stets auf ihre Eignung für die Dauerbeobachtung getestet werden.

6 LITERATUR

- AfU/BL, 1997: Langfristige Überwachung der Schadstoffanreicherung in Siedlungsböden. Bodenüberwachung, Baustein 12; Erstbeprobung. Amt für Umweltschutz und Energie (Hrsg.), Liestal.
- AfU/BL, 1997a: Langfristige Überwachung der Schadstoffanreicherung in Waldböden. Bodenüberwachung, Baustein 10; Erstbeprobung. Amt für Umweltschutz und Energie (Hrsg.), Liestal.
- AfU/GR, 1997: Langfristiges Bodenbeobachtungsnetz des Kantons Graubünden - Bericht über die Auswertung der Erstbeprobung 1990-1993. Amt für Umweltschutz Graubünden (Hrsg.), 7001 Chur.
- AfU/LU, 1989: Bodenfruchtbarkeit. Teil 1: Schwermetallanalysen repräsentativer Böden (ohne Sedimente in Gewässern) im Kanton Luzern. Kantonales Amt für Umweltschutz (Hrsg.), Luzern.
- AfU/SG, 1995: Kantonale Bodenbeobachtung (KABO) St. Gallen - Auswertung der Erstbeprobung. Fachbericht. Amt für Umweltschutz (Hrsg.), 9001 St. Gallen.
- AfU/SG, 1997: Kantonale Bodenbeobachtung (KABO) St. Gallen - Auswertung der Zweitbeprobung. Fachbericht. Amt für Umweltschutz (Hrsg.), 9001 St. Gallen.
- AfU/ZG, 1995: Bodenqualität im Kanton Zug. Blickpunkt Umwelt Nr. 3: 4-15. Informationen aus dem Amt für Umweltschutz des Kantons Zug.
- AgOS, 1997: OSBO-Bericht (Organische Schadstoffe im Boden). Untersuchung zur Standardisierung des Vorgehens bei der Bestimmung von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen im Boden - Verschiedene PAK-Analysenmethoden im Vergleich. Arbeitsgruppe 'Organische Schadstoffe': Fachstellen Bodenschutz der Kantone ZH, TG, AG, BE und Institut für Umweltschutz und Landwirtschaft (IUL). Bezug: Sulzer Innotec AG, Chemische Analytik 15082, Postfach 65. 8404 Winterthur.
- Arrouays, D., Vogel, H., Eckelmann, W., Armstrong-Brown, S., Loveland, P. & Coulter, B., 1998: Soil monitoring in Europe: a review." Proc. of the 16th World Congress of Soil Science, 20-26/08/1998 in Montpellier, France. 7 p. (CD-Rom).
- Armstrong-Brown, S., Loveland, P., Holman, J., Arrouays, D., Eckelmann, W. & Vogel, H., 1998: A Proposal for a European soil monitoring network: content, coverage and users." Proc. of the 16th World Congress of Soil Science, 20-26/08/1998 in Montpellier, France. 7 p. (CD-Rom).
- Baize, D., 1997: Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols (France). INRA, Paris.
- Bak, J., Jensen, J., Larsen, M.M., Pritzl, G. & Scott-Fordsmann, J., 1997: A heavy metal monitoring-programme in Denmark. *The Science of the Total Environment*, 207: 179-186.
- BD/AG, 1994: Bodenbeobachtung im Kanton Aargau - Belastungszustand der Böden 1991/92. Baudepartement des Kantons Aargau, Abteilung Umweltschutz (Hrsg.), Aarau.
- BD/AI, 1994: Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit im Kanton Appenzell Innerrhoden. Baudepartement des Kantons Appenzell i.R. (Hrsg.), Appenzell.
- Berset, J.D. & Holzer, R., 1995: Organic micropollutants in Swiss agriculture: Distribution of polynuclear aromatic hydrocarbons (PAH) and polychlorinated biphenyls (PCB) in soil, liquid manure, sewage sludge and compost samples; a comparative study. *Intern. J. Environ. Anal. Chem.*, 59: 145-165.
- Berset, J.D., 1997: Distribution, analyse et impact environnemental des micropolluants organiques dans l'écosystème sol. *Revue suisse Agric.*, 29: 179-183.
- Bilisoly, R.L., Nokes, S.E. & Workman, S.R., 1997: Statistical treatment of soil chemical concentration data. *J. Environ. Qual.*, 26: 877-883.

- Blum, W.E.H., Brandstetter, A., Riedler, Ch. & Wenzel, W.W., 1996: Bodendauerbeobachtung - Empfehlung für eine einheitliche Vorgangsweise in Österreich. Umweltbundesamt (Hrsg.), A-1090 Wien.
- BLW, 1999: Direktzahlungen 1998 an die Landwirtschaft. Bundesamt für Landwirtschaft, 3003 Bern.
- BMELF, 1996: Deutscher Waldbodenbericht 1996 - Ergebnisse der bundesweiten Bodenzustandserhebung im Wald von 1987-1993 (BZE). Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (BMELF) (Hrsg.), D-53123 Bonn.
- BSF/BE, 1997: Bodenbeobachtung im Kanton Bern. Ein physikalisch-biologisch-chemischer Ansatz. Bodenschutzfachstelle des Kantons Bern, Amt für Landwirtschaft (Hrsg.), Zollikofen.
- BUWAL, 1992: Bodenverschmutzung durch den Strassen- und Schienenverkehr in der Schweiz. Schriftenreihe Umwelt Nr. 185. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), 3003 Bern. (Auch als Schlussbericht des Forschungsauftrags Nr. 57/90 beim Bundesamt für Strassenbau veröffentlicht).
- BUWAL, 1993: Nationales Bodenbeobachtungsnetz: Messresultate 1985-1991. Schriftenreihe Umwelt. Nr. 200. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), 3003 Bern.
- BUWAL, 1997: Zur chemischen Belastung von Böden. Eine synoptische Darstellung der Schadstoffgehalte und Bindungsstärken der Böden des NABO. Umwelt-Materialien Nr. 77. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), 3003 Bern.
- BUWAL, 1998: NABEL - Luftbelastung 1997. Schriftenreihe Umwelt. Nr. 303. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), 3003 Bern.
- BUWAL, 1998a: Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer: Modul-Stufen-Konzept. Mitteilungen zum Gewässerschutz, Nr. 26. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), 3003 Bern.
- BUWAL & FAC, 1987/89: Wegleitung für die Probenahme und Analyse von Schadstoffen im Boden. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) & Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene (FAC) (Hrsg.).
- Célarin, F., Chatenoux, L. & Meylan, G., 1992: Réseau genevois d'observation du sol (GEOS). Archs Sci. Genève, 45: 171-187.
- Darwin, Ch., 1881: The Formation of Vegetable Mould through the Action of Worms, with Observations on their Habits. Murray, London.
- Desaules, A., 1993: Soil monitoring in Switzerland by the NABO-network: objectives, experiences and problems. In: Schulin, R., Desaules, A., Webster, R. & von Steiger, B. (eds), 1993: Soil monitoring. Basel, Birkhäuser: 7-24.
- Desaules, A. & Zihler, J., 1994: Das Nationale Bodenbeobachtungsnetz - ein Instrument des Bodenschutzes. Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene, Liebefeld (Hrsg.).
- Desaules, A. & Dahinden, R., 1994: Die Vergleichbarkeit von Schwermetallanalysen in Bodenproben von Dauerbeobachtungsflächen - Ergebnisse eines Probenahmeringversuches. Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene (FAC), CH-3097 Liebefeld. 25 S.
- Desaules, A. & Dahinden, R., 1995: Untersuchung von Blei- und Kupfergehalten in Bodenprofilen im Zielgelände von Schiessanlagen. FAC-Liebefeld.
- Desaules, A. & Dahinden, R., 1996: Schadstoffgehalte von Böden in der Schweiz - Schlüssel zur Identifikation gesteinsbedingter Richtwertüberschreitungen. Vollzug Umwelt. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), 3003 Bern.
- Desaules, A., Dahinden, R. & Lischer, P., 1996: Untersuchungen zum Nachweis der zeitlichen Stabilität von Schwermetall- und Fluoranalysen in archivierten Bodenproben im Hinblick auf die Dauerbeobachtung. Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg., 87: 230-243.

- Desaules, A., Studer, K., Geering, S., Meier, E. & Dahinden, R., 1996a: Die Nationale Bodenbeobachtung in der Schweiz - Konzept, Stand und Perspektiven. In: Rosenkranz, D., Bachmann, G., Einsele, G. & Harress, H.-M. (Hrsg.), Grundwerk 1988, 22. Lfg 1996: Bodenschutz - Ergänzbare Handbuch der Massnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser. Erich Schmidt Verlag, Berlin. Ziffer 3260. 19 S.
- Desaules, A., Dahinden, R. & Lischer, P., 1997: VSBo-Ringversuch - Ergebnisse 1996. Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau - Institut für Umweltschutz und Landwirtschaft (IUL), 3003 Bern.
- Desaules, A., Dahinden, R. & Lischer, P. 1997a: Prognosen von Richtwertüberschreitungen löslicher Schwermetall- und Fluorgehalte anhand von Totalgehalten und pH im Boden. Institut für Umweltschutz und Landwirtschaft (IUL), 3003 Bern.
- Desaules, A., 1998: Zeitliche Veränderung von Schadstoffgehalten im Nationalen Bodenbeobachtungsnetz (NABO) der Schweiz. Mitt. der Deutschen Bodenkundlichen Ges., 87: 319-322.
- Desaules, A., 1999: Medienbeobachtung zum Bodenschutz in der Schweiz 1995 bis 1998 - Eine Bilanz. Bulletin Bodenkundl. Ges. Schweiz, 23: 9-14.
- Desaules, A. & Dahinden, R. 1999: VBBo-Ringversuch 1998 - organische Schadstoffe. Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau - Institut für Umweltschutz und Landwirtschaft (IUL), 3003 Bern.
- De Vries, W., Reinds, G.J., Deelstra, H.D., Klap, J.M. & Vel, E.M., 1998: Intensive Monitoring of Forest Ecosystems in Europe - Technical Report 1998. Forest Intensive Monitoring Coordinating Institute. EC-UN/ECE, Brussels, Geneva.
- EC, 1996: European Programme for the Intensive Monitoring of Forest Ecosystems. European Commission - Directorate of Agriculture (DG VI), B-1049 Brussels.
- FAL, 1995: Arbeitsprogramm 1996-1999. Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau. 8046 Zürich Reckenholz.
- FAL, 1998: Methodenbuch für Boden-, Pflanzen- und Lysimeterwasser-Untersuchungen. Schriftenreihe der FAC Nr. 5. Schriftenreihe der FAL 27. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Zürich-Reckenholz mit Institut für Umweltschutz und Landwirtschaft, Liebefeld, CH-3003 Bern (Hrsg.).
- Förster, M., 1998: International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests - ICP Forests. United Nations Economic Commission for Europe. (<http://www.dainet.de/bfh/icpfor/icpfor.htm>)
- Funk, W., Dammann, V. & Donnevert, G., 1992: Qualitätssicherung in der Analytischen Chemie. VCH Verlagsges., Weinheim.
- Gregor, H.-D., Spranger, T. & Hönerbach, F. (eds.), 1998: Workshop on critical limits and effect based approaches for heavy metals and persistent organic pollutants - Proceedings. Bad Harzburg, 3-7 November 1997. Texte 5/98. Umweltbundesamt, Berlin.
- Groot, M.S.M., Bronswijk, J.J.B., Willems, W.J., de Haan T. & del Castillo P., 1996: Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit - Resultaten 1993. RIVM-rapport nr. 714801007. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Postbus (RIVM), 1 NL-3720 BA Bilthoven. 149 p.
- Groot, M.S.M., Bronswijk, J.J.B., Willems, W.J., de Haan T. & del Castillo P., 1997: Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit - Resultaten 1994. RIVM-rapport nr. 714801017. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Postbus, 1 NL-3720 BA Bilthoven. 151 p.
- Gy, P.M., 1991: Sampling: the foundation block of analysis. Mikrochimica Acta (Wien) II: 457-466.
- Häberli, K., Hämmann, M. & Gupta, S.K., 1998: Richt-, Prüf- und Sanierungswerte für organische Schadstoffe im Boden - Fallbeispiel PAK. Umwelt-Materialien Nr. 96. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (Hrsg.), 3003 CH-Bern.

- Häberli, R., Lüscher, C., Praplan Chastonay, B. & Wyss, Ch., 1991: Boden-Kultur: Vorschläge für eine haushälterische Nutzung des Bodens in der Schweiz. Verlag der Fachvereine, Zürich. 192 S.
- Hakanson, L., Nilsson, A. & Andersson, T., 1990: Mercury in the Swedish mor layer - Linkages to mercury deposition and sources of emission. *Water, Air and Soil Pollution*, 50: 311-329.
- Hämmann, M. & Gupta, S.K., 1997: Herleitung von Prüf- und Sanierungswerten für anorganische Schadstoffe im Boden. Umwelt-Materialien Nr. 83. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (Hrsg.), CH-3003 Bern.
- Hornburg, V. & Brümmer, G., 1993: Verhalten von Schwermetallen in Böden: 1. Untersuchungen zur Schwermetallmobilität. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 156: 467-477.
- Horwitz, W., 1982: Evaluation of analytical methods used for regulation of foods and drugs. *Analytical Chemistry*, 54: 67A-76A.
- Houba, V.J.G. & Uittenbogaard, J., 1994: Chemical composition of various plant species. Int. Plant-Analytical Exchange (IPE). Dep. of Soil Science and Plant Nutrition, Wageningen Agricultural University, The Netherlands.
- Innes, J.L., 1995: Theoretical and practical criteria for the selection of ecosystem monitoring plots in swiss forests. *Environm. Monitoring and Assessment*, 36: 271-294.
- Julien, P. & Morand, D., 1995: FRIBO - Réseau d'observation des sols agricoles 1987-1994. Institut agricole de l'Etat de Fribourg, Station Cantonale de Production Végétale Grangeneuve, 1725 Po-sieux.
- Juritsch., G., 1998: Stand und Entwicklung der Bodendauerbeobachtung im Bundesland Salzburg sowie ein österreichischer Überblick. *Mitt. der Deutschen Bodenkundlichen Ges.*, 87: 311-314.
- Keller, Th. & Desaulles, A., 1997: Vanadium in Böden der Schweiz. Schriftenreihe der FAL 22. Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Zürich-Reckenholz mit Institut für Umweltschutz und Landwirtschaft, Liebefeld, CH-3003 Bern (Hrsg.).
- Keller, Th. & Desaulles, A., 1997a: Flächenbezogene Bodenbelastung mit Schwermetallen durch Klärschlamm. Schriftenreihe der FAL 23. Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Zürich-Reckenholz mit Institut für Umweltschutz und Landwirtschaft, Liebefeld, CH-3003 Bern (Hrsg.).
- Keller, Th. & Desaulles, A., 1999: Schadstoffgehalte in Böden der Schweiz 1990 bis 1996. Umweltmaterialien, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (Hrsg.), 3003 Bern. 107 S. (Entwurf)
- Krebs, J. & Desaulles, A., 1997: Anorganische Schadstoffflüsse zwischen Boden und Lithosphäre beziehungsweise Atmosphäre: Standortbestimmung und Empfehlungen. Ein Beitrag zur interdisziplinären Bodenbeobachtung. Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau - Institut für Umweltschutz und Landwirtschaft (IUL), 3003 Bern.
- KL/SH, 1993: Belastung der Böden im Kanton Schaffhausen mit Schwermetallen (Kantonales Bodenbeobachtungsnetz, KABO). Kantonales Laboratorium Schaffhausen (Hrsg.), 8204 Schaffhausen.
- Knecht, K., Keller, Th. & Desaulles, A., 1999: Arsen in Böden der Schweiz. Schriftenreihe der FAL 32. Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Zürich-Reckenholz mit Institut für Umweltschutz und Landwirtschaft, Liebefeld, CH-3003 Bern (Hrsg.).
- Kobza, J., 1999: Soil monitoring in Slovakia. In: Proc. from the 4th International Conference on Soil Monitoring, 31 may to 1 June 1999 in Brno. Central Institute for Supervising and Testing Agriculture, Brno, ISBN 80-86051-43-9, p. 12-14.
- Kräuchi, N., 1995: Einführung zum Projekt: Langfristige Waldökosystem-Forschung (LWF). Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL). (<http://www.wsl.ch/wsldb/wsldbDEU/lwfintroDEU.html>)

- KSV, 1981: Klärschlammverordnung vom 8. April 1981. SR 814.225.23.
- LBP, 1997: Boden-Dauerbeobachtungs-Flächen (BDF) -Bericht nach 10jähriger Laufzeit. Teil I: Einführung, Stoffbestand des Bodens - Nährstoffe, Schadstoffe. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau (LBP), Freising-München.
- LRV, 1985: Luftreinhalte-Verordnung vom 16. Dezember 1985. SR 814.318.142.1.
- Martin, S., Baize, D., Bonneau, M., Chaussod, R., Gaultier, J.-P., Lavelle, P., Legros, J.-P., Lepretre, A. & Sterckeman, Th., 1998: The French National "Soil Quality Observatory". Proc. of the 16th World Congress of Soil Science, 20-26/08/1998 in Montpellier, France. 6 p. (CD-Rom).
- McBride, G.B., Loftis, J.C & Adkins, N.C., 1993: What Do Significance Tests Really Tell Us About the Environment? *Environmental Management* 17: 423-432.
- Moolenaar, S.W., 1998: Sustainable management of heavy metals in agro-ecosystems. Doctoral thesis. Wageningen Agricultural University. Wageningen, The Netherlands. 191 p.
- NCM, 1989: Methods for integrated monitoring in the nordic countries. Miljorapport 1989: 11. Nordic Council of Ministers, Copenhagen.
- Németh, T., Marth, P. & Gabor, G., 1999: Study of organic contaminants in the soil conservation information and monitoring system. In: Proc. from the 4th International Conference on Soil Monitoring, 31 may to 1 June 1999 in Brno. Central Institute for Supervising and Testing Agriculture, Brno, ISBN 80-86051-43-9, p. 6-8.
- Niederer, M., Maschka-Selig, A. & Hohl, C., 1995: Monitoring Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) and Heavy Metals in Urban Soil, Compost, and Vegetation. *Environ. Sci. and Pollut. Res.* 2: 83-89.
- Noger, D., Felber, H. & Pletscher, E., 1996: Verwertung und Beseitigung von Holzaschen. Schriftenreihe Umwelt Nr. 269. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (Hrsg.), CH-3003 Bern.
- Papritz, A., 1995: Statistik und Bodenbeobachtung. *Mitt. der Deutschen Bodenkundlichen Ges.*, 78: 171-178.
- Ponette, Q., Ulrich, E., Brêthes, A., Bonneau, M. & Lanier, M., 1997: RENECOFOR - Chimie des sols dans les 102 peuplements du réseau (REseau National de suivi à long terme des ECOSystèmes FOREstiers). Office National des Forêts, Département des Recherches Techniques, F-77300 Fontainebleau.
- Renner, R., 1999: EPA to strengthen persistent, bioaccumulative, and toxic pollutant controls - Mercury the first to be targeted. *Environm. Science & Technology / News*, Feb. 1, 1999: 62 A.
- Sanka, M., 1999: Agricultural soil monitoring and soil inventarisation programs in the Czech Republic and use of the results in state administration. In: Proc. from the 4th International Conference on Soil Monitoring, 31 may to 1 June 1999 in Brno. Central Institute for Supervising and Testing Agriculture, Brno, ISBN 80-86051-43-9, p. 15-18.
- Schilling, B., 1997: Wiederholungsuntersuchungen an Boden-Dauerbeobachtungsflächen in Bayern. GLA-Fachberichte 14: 48-91. Bayerisches Geologisches Landesamt (Hrsg.), D-80797 München.
- Schweizerischer Bundesrat, 1996: Botschaft zur Reform der Agrarpolitik: Zweite Etappe (Agrarpolitik 2002). *Bundesblatt* 18, Bd. IV: 1 ff. (26. Juni 1996).
- Stähli, R., Suter, E. & Cuendet, G., 1997: Die Regenwurmfauna von Dauergrünland des Schweizer Mittellandes. Schriftenreihe Umwelt Nr. 291. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (Hrsg.), CH-3003 Bern.
- Steiger von, B. & Baccini, P., 1990: Regionale Stoffbilanzierung von landwirtschaftlichen Böden mit messbarem Ein- und Austrag. Nationales Forschungsprogramm "Boden", Bericht 38. Liebefeld-Bern.

- StoV, 1986: Verordnung über umweltgefährdende Stoffe vom 9. Juni 1986 (Stand 12. Januar 1999). SR 814.013.
- Studer, K., Gsponer, R. & Desaulles, A., 1995: Erfassung und Ausmass der flächenhaften Kupferbelastung in Rebbergböden der Schweiz. Schriftenreihe der FAC-Liebefeld Nr. 20. Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene (Hrsg.), CH-3097 Liebefeld-Bern.
- Terelak, H. & Stuczynski, T., 1999: Soil survey and monitoring in Poland. In: Proc. from the 4th International Conference on Soil Monitoring, 31 May to 1 June 1999 in Brno. Central Institute for Supervising and Testing Agriculture, Brno, ISBN 80-86051-43-9, p. 9-11.
- Thöni, L., 1998: Deposition von Luftschadstoffen in der Schweiz - Moosanalysen 1990/1995. Umweltmaterialien Nr. 101. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), 3003 Bern.
- Tuchschnid, M.P., 1995: Quantifizierung und Regionalisierung von Schwermetall- und Fluorgehalten bodenbildender Gesteine der Schweiz. Schriftenreihe Umwelt-Materialien Nr. 32. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (Hrsg.), 3003 Bern.
- USG, 1983: Bundesgesetz über den Umweltschutz vom 7. Oktober 1983 (Stand am 10. Juni 1997). SR 814.01.
- VBBö, 1998: Verordnung über Belastungen des Bodens vom 1. Juli 1998. SR 814.12.
- VLF, 1995: Verordnung über die landwirtschaftliche Forschung vom 8. November 1995. SR 426.10.
- Vollmer, M.K., 1995: Herleitung und Anwendung von Prüf- und Sanierungswerten für schwermetallbelastete Böden in der Schweiz - Fallbeispiel Cadmium. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene (FAC), Liebefeld-Bern.
- Vollmer, M.K. & Gupta, S.K., 1995: Konzept zur Risikobeurteilung bei schadstoffbelasteten Böden in der Schweiz - Allgemeines Vorgehen und Fallbeispiel Cadmium. Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene (FAC), Liebefeld-Bern.
- VSBo, 1986: Verordnung über Schadstoffe im Boden vom 9. Juni 1986. SR 814.12.
- Wagner, G., Desaulles, A., Theocharopoulos, S.P. & Muntau, H., 1996: Comparative Evaluation of European Methods for sampling and Sample Preparation of Soils (CEEM-Soil). EU-Projekt Nr. PL95-3090. (Laufzeit 1.10.1996-30.9.1999).
- WSL, 1998 LWF-Flächen - Überblick Standortcharakteristika. Langfristige Waldökosystem-Forschung (LWF). Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL). (<http://www.wsl.ch/wsidb/wsidbDEU/lwfsitesDEU.html>). (Stand: 06.01.1999).
- Zuzok, A. & Burghardt, W., 1987: Erosionsbedingtes Muster der Schwermetallverteilung einer Ackerfläche auf Löss an einer stark befahrenen Strasse. Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch., 53: 361-366.

ANHANG

Anhang A	Angaben zu den Boden-Beobachtungsnetzen in der Schweiz	95
Anhang B	Standortdaten zum NABO-Messnetz	97
Anhang C	Beprobungsjahre der NABO-Standorte	100
Anhang D	Daten der NABO-Standorte 103-105	103
Anhang E	Legende zu den Boxplots	106
Anhang F	Vergleiche von Extraktionsmethoden	107
Anhang G	Daten zu den Konzentrationsveränderungen	109
Anhang H	Figuren zu den Konzentrationsveränderungen	121

Anhang A ANGABEN ZU DEN BODEN-BEOBACHTUNGNETZEN IN DER SCHWEIZ

Tab. A-1: Periodische Analysenprogramme der Boden-Beobachtungsnetze in der Schweiz
(Stand: Ende 1997)

Messnetze	Schadstoffe mit Richtwerten nach VSBo (1986) T = Totalgehalte / L = lösliche Gehalte											Organika		weitere Parameter		
	Pb	Cd	Cr	Co	Cu	Mo	Ni	Zn	Hg	Tl	F	PAK	PCB	chem.	biol.	phys.
NABO	T	T	T	T	T		T	T	T		T	(x)	(x)			
AG	T L	T L	T	T	T L		T L	T L	T		T L			x		
AI	T	T L			T L		T	T L						x		
BL	T L	T L	T	T	T L	T	T L	T L	T	T						
BS	T L	T L			T L			T L		T		x		x		
BE	T	T	T	T	T	T	T	T	T			x	x		x	x
FR	T	T	T	T	T		T	T				x	x			
GE	T	T	T		T		T	T						x	x	
GR	T L	T L	T	T	T L	T	T L	T L	T	T	T L			x		
LU	T L	T L	T		T L		T L	T L							x	
NE	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T		(x)		x		
OW	T	T			T		T	T			T					
SG	T L	T L	T	T	T L	T	T L	T L	T	T		x		x		
SH	T L	T L	T	T	T L	T	T L	T L	T					x		
SZ	T L	T L	T	T	T L		T L	T L						x		
VS	T L	T L	T	T	T L		T L	T L	T	T	T L			x		
ZG	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T					
ZH	T L	T L	T	T	T L	T	T L	T L	T	T				x		
LWF	T	T	T		T		T	T						x		
Total	19 10	19 11	16	13	19 11	8	18 9	19 11	11	8	6 3					

Tab. A-2: Angaben zur Probenahme der Boden-Beobachtungsnetze in der Schweiz

Messnetze	Angaben zur Probenahme								
	Datum 1. Probe-nahme	Datum 2. Probe-nahme	Periodi-zität (Jahre)	Proben-fläche (m ²)	Anzahl Misch-proben	Proben-tiefen (cm)	Humus-auflage	Raum-gewicht	Proben-archiv
NABO	1985-89	1990-94	5	100	4	0-20 0-5 ²⁾	inkl.	ja	ja
AG	1991-92	1996-97	(5)	100	1	0-20 0-5 ²⁾ 0-10 ³⁾	sep.	z.T.	ja
AI	1993	(1998/99)	5	100	1	0-20	inkl.	ja	ja
BL	1995	offen	ca. 5	100	1	0-20	exkl.	ja	ja
BS	1988-94	offen	ca. 10	var.	1	0-20	inkl.	z.T.	ja
BE	1994-99	ab 2000	ca. 7	100	1	0-20 20-40	exkl.	z.T.	ja
FR	1987-91	1992-96	5	100	1	0-20 60-90	exkl.	nein	ja
GE	1990	1995	5	100	1	0-20 20-40 40-60 60-80	exkl.	nein	ja
GR	1990-92	1995-97	5	100	1	0-20	sep.	ja	ja
LU	1988-90		offen	100	1	0-20 0-5 ²⁾	exkl.	nein	ja
NE	1987-94		offen	100	1	0-20	inkl.	nein	ja
OW	1992	1993	5-10	100	1	0-20	inkl.	nein	ja
SG	1988-91	1995	5-10	100	3	0-20 0-10 ³⁾	sep	ja	ja
SH	1989-90	1999-2000	10	100	1	0-20 0-5 ²⁾	inkl.	nein	ja
SZ	1989-93		5	100		0-20 0-5 ²⁾	inkl.	nein	ja
VS	1989	1991 z.T.	offen	100	1	0-20	exkl.	nein	nein
ZG	1992-94		offen	100	1	0-20 0-5 ²⁾	inkl. sep.	nein	ja
ZH	1995-97		offen	100 400 ¹⁾	3	0-20 40-60	sep.	ja	ja
LWF	1995-97		10	1849	4	0-5 5-10 10-20 20-40 60-80	sep.	ja	ja

1) Waldstandorte

2) Standorte ohne Bodenbearbeitung insbesondere im Wald

3) für organische Schadstoffuntersuchungen

Anhang B STANDORTDATEN ZUM NABO-MESSNETZ

Eine vollständige Datenzusammenstellung für die Standorte 1-102 findet sich im ersten NABO-Bericht (BUWAL 1993: Anhang A, Anhang B, Anhang C) und für die Standorte 103-105 im *Anhang D* dieses Berichts.

Tab. B-1: Standortdaten zum NABO-Messnetz

Nr.	Gemeinde / Ort	Kt.	H.ü.M (m)	Vegetation / Nutzung	Bodentyp
1	Ettenhausen / Tänikon	TG	537	Dauerwiese	Braunerde
2	Zürich / Zürichberg	ZH	668	Nadelwald	Braunerde-Pseudogley
3	Payerne / Les Invuardes	VD	488	Ackerbau	Braunerde
4	Conthey / Les Fougères	VS	478	Intensiv-Obstanlage	Fluvisol
5	La Neuveville / Schafis	BE	475	Rebbau	Kalkbraunerde
6	Grindelwald / Itramen	BE	1'915	Alpweide	Braunpodsol
7	Oberstammheim / Stammerberg	ZH	581	Nadelwald	Braunerde
8	Rothenfluh / Kei	BL	695	Laubwald	Rendzina
9	Binningen / Bruderholz	BL	324	Ackerbau	Parabraunerde
10	Gais / Schlitteren	AR	935	Dauerweide	Braunerde-Gley
11	La Sarraz / En Verdet	VD	515	Ackerbau	Braunerde
12	Aristau / Werd	AG	380	Nassstandort	Fahlgley
13	Wiedlisbach / Sandacker	BE	455	Ackerbau	Braunerde
14	Dübendorf / Waldegg	ZH	440	Ackerbau	Kalkbraunerde
15	Ins / Heumoos	BE	433	Ackerbau	Halbmoor
16	Mühlebach / Lärch	VS	1'220	Dauer- / Naturwiese	Phaeozem
17	Niedermuhlern / Uecht	BE	945	Ackerbau	Braunerde
18	Langenthal / Riedhof	BE	525	Nadelwald	Parabraunerde
19	Wettingen / Lägern	AG	685	Laubwald	Parabraunerde
20	Roggwil / Esserswil	TG	460	Intensiv-Obstanlage	Braunerde
21	Köniz / Liebefeld	BE	565	Ackerbau	Parabraunerde
22	Staffelbach / Altrüti	AG	675	Nadelwald	Saure Braunerde
23	Möhlin / Lindenhof	AG	343	Ackerbau	Parabraunerde
24	Niederlenz / Länzert	AG	387	Laubwald	Parabraunerde
25	Schleitheim / Miltenhof	SH	545	Ackerbau	Braunerde
26	Avully / Ferrage	GE	428	Ackerbau	Braunerde
27	Jussy / Les Grands Bois	GE	505	Laubwald	Pseudogley
28	Leuggern / Etwil	AG	465	Ackerbau	Braunerde-Pseudogley
29	Eschenbach / Hööndlen	LU	450	Dauer- / Naturwiese	Braunerde-Gley
30	Ebikon / Ob. Aebrüti	LU	635	Dauer- / Naturwiese	Saure Braunerde
31	Coffrane / Les Favargettes	NE	775	Ackerbau	Braunerde
32	La Brévine / Les Sagnettes	NE	1'215	Alpweide	Braunerde

Tab. B-1: Fortsetzung

Nr.	Gemeinde	Kt.	H.ü.M (m)	Vegetation / Nutzung	Bodentyp
33	Mollis / Riet	GL	431	Dauer- / Naturwiese	Fahlgley
34	Elm / Ob. Aempächli	GL	1'880	Alpweide	Saure Braunerde
35	Le Cerneux-Péquignot	NE	1'093	Dauer- / Naturwiese	Braunerde
36	Hochdorf / Hofterer Feld	LU	500	Ackerbau	Braunerde
37	Ependes / Grange Neuve	FR	735	Dauer- / Naturwiese	Braunerde
38	Koppigen / Oeschberg	BE	478	Ackerbau	Buntgley
39	Kiesen / Chlinau	BE	534	Ackerbau	Fluvisol
40	St. Cierges / Vusery	VD	851	Nadelwald	Saure Braunerde
41	Kyburg-Buchegg	SO	464	Dauer- / Naturwiese	Braunerde-Gley
42	(Staatswald) / Galmwald	FR	580	Laubwald	Saure Braunerde
43	Orbe / Chassagne	VD	622	Laubwald	Parabraunerde
44	Hendschiken / Hanfacher	AG	417	Ackerbau	Parabraunerde
45	Alpthal / Erlentobel	SZ	1'180	Nadelwald	Fahlgley
46	Vallon / Le Chaffard	FR	439	Ackerbau	Braunerde-Gley
47	Davos / Seehornwald	GR	1'655	Nadelwald	Humus-Eisenpodsol
48	Oberriet / Blattenhof	SG	409	Ackerbau	Moor
49	Unterschächen / Breiten	UR	1'100	Dauer- / Naturwiese	Braunerde
50	Realp / Witenwasseren	UR	2'120	Alpweide	Humus-Eisenpodsol
51	Wartau / Weite	SG	464	Konservengemüsebau	Fluvisol
52	Krummenau / Wideralp	SG	1'338	Alpweide	Braunerde
53	Gempfen / Stollen	SO	626	Ackerbau	Braunerde
54	Zuzwil / Talacher	BE	557	Ackerbau	Braunerde
55	Nyon / Changins	VD	440	Rebbau	Kalkbraunerde
56	Trub / Buechsachen	BE	998	Ackerbau	Saure Braunerde
57	St. Stephan / Halte	BE	1'030	Trockenstandort	Braunerde
58	Mels / Rütliwald	SG	910	Nadelwald	Saure Braunerde
59	Dällikon / Chrümbel	ZH	425	Dauer- / Naturwiese	Fahlgley
60	Entlebuch / Alp	LU	955	Dauer- / Naturwiese	Buntgley
61	Winterthur / Bühlerpark	ZH	445	Parkanlage	Braunerde
62	Bettlach / Bettlachstock	SO	1'065	Laubwald	Braunerde
63	Oensingen / Breitfeld	SO	450	Ackerbau	Braunerde-Pseudogley
64	Duggingen / Oberäsch	BE	375	Intensiv-Obstanlage	Karbonatregosol
65	Cornol / La Pran	JU	482	Ackerbau	Braunerde
66	St. Ursanne / Haute Côte	JU	540	Laubwald	Rendzina
67	Method / Les Vernes	VD	432	Frischgemüsebau	Moor
68	Etoy / Les Chanets	VD	435	Ackerbau	Braunerde

Tab. B-1: Fortsetzung

Nr.	Gemeinde	Kt.	H.ü.M (m)	Vegetation / Nutzung	Bodentyp
69	Attalens / Rombuet	FR	818	Dauer- / Naturwiese	Braunerde
70	Disentis / Salaplauna	GR	1'105	Dauer- / Naturwiese	Braunerde
71	Lohn / Dros	GR	1'818	Alpweide	Saure Braunerde
72	Bivio / La Motta	GR	2'118	Alpweide	Braunerde
73	Alvaneu / Simmeliloch	GR	1'560	Nadelwald	Regosol
74	Mörschwil / Beggetwil	SG	526	Dauer- / Naturwiese	Pseudogley
75	Zernez / Munt la Schera	GR	2'400	Schutzstandort	Braunerde
76	Sent / Dartòs	GR	1'690	Nadelwald	Braunerde
77	Paspels / Dusch	GR	830	Ackerbau	Phäozem
78	Igis / Landquart	GR	532	Ackerbau	Humus-Mischgesteinsb.
79	Pailly / Les Asses	VD	684	Ackerbau	Braunerde
80	Chevenez / Longues Royes	JU	538	Ackerbau	Braunerde
81	Gsteig / Heitibüel	BE	1'355	Nadelwald	Braunerde
82	Kappelen / Stockeren	BE	441	Laubwald	Kalkbraunerde
83	Wald / Bachtel	ZH	1'040	Nadelwald	Saure Braunerde
84	Rifferswil / Hagenholz	ZH	597	Nassstandort	Saures Moor
85	Frauenfeld / Wuer	TG	383	Laubwald	Aue
86	Lützelflüh / Bifängli	BE	618	Ackerbau	Braunerde
87	Klarsreuti / Oberbuchacker	TG	559	Ackerbau	Braunerde
88	L'Abbaye / Grand Bois à Ban	VD	1'358	Nadelwald	Rendzina
89	St. Moritz / Mauntschas	GR	1'825	Nassstandort	Saures Moor
90	Sta. Maria / Bosch de Bald	GR	1'245	Nadelwald	Braunpodsol
91	Campo / Cimalmotto	TI	1'517	Nadelwald	Braunpodsol
92	Novaggio / Cima Pianca	TI	1'080	Laubwald	Humus-Eisenpodsol
93	Marthalen / Abist	ZH	405	Laubwald	Braunerde
94	S. Antonio / Martinello	TI	209	Frischgemüsebau	Braunerde-Gley
95	Coldrerio / Mezzana	TI	336	Ackerbau	Braunerde
96	Gudo / Progero	TI	265	Rebbau	Humus-Eisenpodsol
97	Lugano / Parco Civico	TI	273	Parkanlage	Braunerde
98	Erstfeld / Feldmatt	UR	455	Dauer- / Naturwiese	Fluvisol
99	Visp / Albulawald	VS	830	Nadelwald	Braunerde
100	St. Martin / Eison	VS	2'340	Alpweide	Eisenpodsol
101	Chamoson / Raffort	VS	730	Rebbau	Kalkbraunerde
102	Vouvry / Les Cornes	VS	379	Ackerbau	Fluvisol
103	Härkingen / Lerchenbüel	SO	431	Ackerbau	Braunerde-Pseudogley
104	Küssnacht / Seebodenalp	SZ	1'025	Dauerweide	Braunerde
105	Neuchâtel / Chaumont	NE	1'135	Dauer- / Naturwiese	Rendzina

Anhang C BEPROBUNGSJAHRE DER NABO-STANDORTE

Die Beprobungsperiodizität beträgt 5 Jahre. Bis 1987 wurde bei der Standortaufnahme nur eine Mischprobe entnommen. Diese wurde an ungepflügten Standorten 1989 durch eine 4-fache Mischprobe ergänzt. Deshalb stimmt das Jahr der Standortaufnahme nicht überall mit der 1. Erhebung überein. An 25 Landwirtschaftsstandorten existiert entsprechend nur eine Mischprobe der 1. Erhebung.

Tab. C-1: Beprobungsjahre der NABO-Standorte (Stand Ende 1999)

Nr.	Gemeinde / Ort	Kt.	Standort- aufnahme	1. Erhebung	2. Erhebung	3. Erhebung
1	Ettenhausen / Tänikon	TG	85	89	94	99
2	Zürich / Zürichberg	ZH	85	89	94	99
3*	Payerne / Les Invuaries	VD	85	85	90	95
4*	Conthey / Les Fougères	VS	85	85	90	95
5*	La Neuveville / Schafis	BE	85	85	90	95
6	Grindelwald / Itramen	BE	85	89	94	99
7	Oberstammheim / Stammerberg	ZH	85	89	94	99
8	Rothenfluh / Kei	BL	85	89	94	99
9*	Binningen / Bruderholz	BL	85	85	90	95
10	Gais / Schlitteren	AR	85	89	94	99
11*	La Sarraz / En Verdet	VD	85	85	90	95
12	Aristau / Werd	AG	85	89	94	99
13*	Wiedlisbach / Sandacker	BE	85	85	90	95
14*	Dübendorf / Waldegg	ZH	85	85	90	95
15*	Ins / Heumoos	BE	85	85	90	95
16	Mühlebach / Lärch	VS	86	89	94	99
17*	Niedermuhlern / Uecht	BE	86	86	91	96
18	Langenthal / Riedhof	BE	86	89	94	99
19	Wettingen / Lägern	AG	86	89	94	99
20*	Roggwil / Esserswil	TG	86	86	91	96
21*	Köniz / Liebefeld	BE	86	86	91	96
22	Staffelbach / Altrüti	AG	86	89	94	99
23*	Möhlin / Lindenhof	AG	86	86	91	96
24	Niederlenz / Länzert	AG	86	89	94	99
25*	Schleitheim / Miltenhof	SH	86	86	91	96
26*	Avully / Ferrage	GE	86	86	91	96
27	Jussy / Les Grands Bois	GE	86	89	94	99
28*	Leuggern / Etwil	AG	86	86	91	96
29*	Eschenbach / Hööndlen	LU	86	86	91	96
30	Ebikon / Ob. Aebrüti	LU	86	89	94	99
31*	Coffrane / Les Favargettes	NE	86	86	91	96
32	La Brévine / Les Sagnettes	NE	86	89	94	99
33*	Mollis / Riet	GL	86	86	91	96
34	Elm / Ob. Aempächli	GL	86	89	94	99

*Standorte mit nur einer Mischprobe bei der 1. Erhebung

Tab. C-1: Fortsetzung

Nr.	Gemeinde / Ort	Kt.	Standort- Aufnahme	1. Erhebung	2. Erhebung	3. Erhebung
35	Le Cerneux-Péquignot	NE	86	89	94	99
36*	Hochdorf / Hofterer Feld	LU	86	86	91	96
37	Ependes / Grange Neuve	FR	86	89	94	99
38*	Koppigen / Oeschberg	BE	86	86	91	96
39*	Kiesen / Chlinau	BE	87	87	92	97
40	St. Cierges / Vusery	VD	87	89	94	99
41	Kyburg-Buchegg	SO	87	89	94	99
42	(Staatswald) / Galmwald	FR	87	89	94	99
43	Orbe / Chassagne	VD	87	89	94	99
44*	Henschiken / Hanfacher	AG	87	87	92	97
45	Alpthal / Erlentobel	SZ	87	89	94	99
46*	Vallon / Le Chaffard	FR	87	87	92	97
47	Davos / Seehornwald	GR	87	89	94	99
48*	Oberriet / Blattenhof	SG	87	87	92	97
49	Unterschächen / Breiten	UR	87	89	94	99
50	Realp / Witenwasserer	UR	87	89	94	99
51*	Wartau / Weite	SG	87	87	92	97
52	Krummenau / Wideralp	SG	87	89	94	99
53	Gempfen / Stollen	SO	88	88	93	98
54	Zuzwil / Talacher	BE	88	88	93	98
55	Nyon / Changins	VD	88	88	93	98
56	Trub / Buechsachen	BE	88	88	93	98
57	St. Stephan / Halte	BE	88	88	93	98
58	Mels / Rütliwald	SG	88	88	93	98
59	Dällikon / Chrümbel	ZH	88	88	93	98
60	Entlebuch / Alp	LU	88	88	93	98
61	Winterthur / Bühlerpark	ZH	88	88	93	98
62	Bettlach / Bettlachstock	SO	88	88	93	98
63	Oensingen / Breitfeld	SO	88	88	93	98
64	Duggingen / Oberäsch	BE	88	88	93	98
65	Cornol / La Pran	JU	88	88	93	98
66	St. Ursanne / Haute Côte	JU	88	88	93	98
67	Method / Les Vernes	VD	88	88	93	98
68	Etoy / Les Chanets	VD	88	88	93	98
69	Attalens / Rombuet	FR	88	88	93	98
70	Disentis / Salaplauna	GR	88	88	93	98
71	Lohn / Dros	GR	88	88	93	98
72	Bivio / La Motta	GR	88	88	93	98
73	Alvaneu / Simmeliloch	GR	88	88	93	98
74	Mörschwil / Beggetwil	SG	88	88	93	98
75	Zernez / Munt la Schera	GR	88	88	93	98

*Standorte mit nur einer Mischprobe bei der 1. Erhebung

Tab. C-1: Fortsetzung

Nr.	Gemeinde / Ort	Kt.	Standort- Aufnahme	1. Erhebung	2. Erhebung	3. Erhebung
76	Sent / Dartòs	GR	88	88	93	98
77	Paspels / Dusch	GR	88	88	93	98
78	Igis / Landquart	GR	88	88	93	98
79	Pailly / Les Asses	VD	88	88	93	98
80	Chevenez / Longues Royes	JU	88	88	93	98
81	Gsteig / Heitibüel	BE	88	88	93	98
82	Kappelen / Stockeren	BE	88	88	93	98
83	Wald / Bachtel	ZH	88	88	93	98
84	Rifferswil / Hagenholz	ZH	88	88	93	98
85	Frauenfeld / Wuer	TG	88	88	93	98
86	Lützelflüh / Bifängli	BE	88	88	93	98
87	Klarsreuti / Oberbuchacker	TG	88	88	93	98
88	L'Abbaye / Grand Bois à Ban	VD	88	88	93	98
89	St. Moritz / Mauntschas	GR	88	88	93	98
90	Sta Maria / Bosch de Bald	GR	88	88	93	98
91	Campo / Cimalmotto	TI	88	88	93	98
92	Novaggio / Cima Pianca	TI	88	88	93	98
93	Marthalen / Abist	ZH	88	88	93	98
94	S. Antonio / Martinello	TI	88	88	93	98
95	Coldrerio / Mezzana	TI	88	88	93	98
96	Gudo / Progero	TI	89	89	94	99
97	Lugano / Parco Civico	TI	89	89	94	99
98	Erstfeld / Feldmatt	UR	89	89	94	99
99	Visp / Albulawald	VS	89	89	94	99
100	St. Martin / Eison	VS	89	89	94	99
101	Chamoson / Raffort	VS	89	89	94	99
102	Vouvry / Les Cornes	VS	89	89	94	99
103	Härkingen / Lerchenbüel	SO	95	95		
104	Küssnacht / Seebodenalp	SZ	95	95		
105	Neuchâtel / Chaumont	NE	95	95		

Anhang D DATEN DER NABO-STANDORTE 103-105**NABO 103 Härkingen SO****STANDORTDATEN**

Projekt: NABO
Gemeinde/Ort:

Standortnr.: 103
Härkingen / Lerchenbüel

Aufnahmedatum: 19.09.1995
Kanton: SO

Standortbeschreibung:

Physiographische Einheit (Bodeneignungskarte 1/200 000):
Ebenen des tieferen Mittellandes

Code: F3

Relief:

Geländeform: Ebene, gestreckt
Hangneigungsklasse: eben

Neigung: 1 %

Exposition: X

Höhe ü.M.: 431 m

Klima und Lufthygiene:

Niederschlag (N/J): 1015 mm (1995-97)
Klimaeignungszone (1/200 000): sehr mild - heiss / mässig feucht
Lage zur Hauptnebelschicht: darunter
Referenzstation: NABEL Härkingen

Temperatur (T/J): 10.1° C

Code: A4

Windexposition: exponiert

Hauptwindrichtung: 1. W, 2. E

Emissionsquellen:

Autobahn

Höhendiff.

-1

Distanz

15 m

Richtung

S

Vegetation und Nutzung:

Aktuelle Nutzung: Ackerbau
Zusatznutzung: Konservengemüse

seit über 30 Jahren

Info: IP-Betrieb, 9-jährige Fruchtfolge

Frühere Nutzung:

Gestein:

Lockergestein gemischt

Info: feink. Alluv. über Schotter

Boden:

Typ: BRAUNERDE-PSEUDOGLEY schwach sauer

Humusform: Mull typisch

Humusklasse (0-20 cm): schwach humos

Bodenart (0-20 cm): Lehm Boden

Skeletgehalt (0-20 cm): skelettarm

Reaktionsklasse (0-20 cm): schwach sauer

Horizontfolge ([] = Horizontgrenze ab Terrainoberfläche in cm): Ahp [20], Apx (g) [33], Bg [60], BCgg [100], DC [>120]

Bearbeitungstiefe: 33 cm

LABORDATEN

Parameter	Flächenproben		Profilproben			
Probentiefe Beginn (cm)	0	0	0	20	33	60
Probentiefe Ende (cm)	5	20	20	33	60	100
Probenanzahl	4	4	1	1	1	1
pH H ₂ O	6.3		6.2	6.2	6.4	6.8
pH CaCl ₂	6.2		5.7	5.8	6.0	6.2
CaCO ₃ (% g/g)	0.2		0.0	0.0	0.0	0.0
org. C (%g/g)	2.9		2.7	2.2	0.8	0.3
Bodenart		L	L	L	tL	tL
Ton (%g/g)		26.8	27.4	27.5	30.3	38.4
Schluff (%g/g)		41.1	40.1	39.8	39.4	34.3
Sand (%g/g)		32.1	32.5	32.8	30.4	27.4
KAK pot (mMol/z/100g)		26.2	25.2	24.8	21.8	24.8
KAK eff (mMol/z/100g)		20.5	18.4	20.2	18.9	22.4
P CO ₂ Testzahl		8.7	3.7	4.1	0.6	0.2
Raumgewicht (kg/dm ³)		1.2	1.2	1.3	1.5	1.5
Cd HNO ₃ 2M (mg/kg) [0.8]		0.265	0.312	0.246	0.185	0.213
Co HNO ₃ 2M (mg/kg) [25]		7.67	7.54	7.58	9.30	15.70
Cr HNO ₃ 2M (mg/kg) [50]		38.3	37.2	34.0	36.1	50.0
Cu HNO ₃ 2M (mg/kg) [40]		20.2	19.6	26.7	11.5	19.7
Hg HNO ₃ 2M (mg/kg) [0.5]		0.086	0.092	0.078	0.040	0.049
Ni HNO ₃ 2M (mg/kg) [50]		29.4	30.0	31.3	40.2	80.0
Pb HNO ₃ 2M (mg/kg) [50]		32.7	30.1	24.9	14.1	17.8
Zn HNO ₃ 2M (mg/kg) [150]		72.0	68.8	59.2	48.0	58.2
F NaOH (mg/kg) [700]		412	409	420	442	587

[Richtwert nach VBBo und VSBo für Co]

NABO 104 Küssnacht / Seebodenalp SZ

STANDORTDATEN

Projekt: NABO Standortnr.: 104
Gemeinde/Ort: Küssnacht / Seebodenalp

Aufnahmedatum: 10.10.1995
Kanton: SZ

Standortbeschreibung:

Physiographische Einheit (Bodeneignungskarte 1/200 000):
Alpenrand, vorwiegend Nagelfluh

Code: P8

Relief:

Geländeform: Kuppe, gestreckt

Hangneigungsklasse: stark geneigt

Neigung: 28 %

Exposition: NW

Höhe ü.M.: 1'025 m

Klima und Lufthygiene:

Niederschlag (N/J): 1'307 mm (1994-97)

Temperatur (T/J): 7,2° C

Klimaeignungszone (1/200 000): mässig feucht - unausgeglichen / ziemlich rauh bis kühl

Code: E4-6

Lage zur Hauptnebelschicht: darüber

Windexposition: exponiert

Hauptwindrichtung: W

Referenzstation: NABEL Seebodenalp / Rigi

Emissionsquellen:

Höhendiff.

Distanz

Richtung

Vegetation und Nutzung:

Aktuelle Nutzung: Alpweide

Info: Ca. 20 Weidetage

Zusatznutzung:

Frühere Nutzung:

Gestein:

Moräne aus Nagelfluh der Rigi

Info: Einzelne Findlinge aus Granit

Boden:

Typ: BRAUNERDE schwach entwickelt, schwach gleyig

Humusform: Mull typisch

Humusklasse (0-20 cm): humos

Bodenart (0-20 cm): Lehmboden

Skelettgehalt (0-20 cm): schwach skeletthaltig

Reaktionsklasse (0-20 cm): sauer

Horizontfolge ([] = Horizontgrenze ab Terrainoberfläche in cm): Ah(x) [15], AB [35], B(cn) [65], Bcg [85], Cch [>130]

Bearbeitungstiefe:

LABORDATEN

Parameter	Flächenproben			Profilproben			
Probentiefe Beginn (cm)	0	0	0	15	35	65	85
Probentiefe Ende (cm)	5	20	15	35	65	85	115
Probenanzahl	4	4	1	1	1	1	1
pH H ₂ O	5.4	5.4	5.2	5.1	5.2	5.4	5.7
pH CaCl ₂	4.8	4.8	4.4	4.1	4.2	4.4	4.8
CaCO ₃ (% g/g)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1
org. C (%g/g)	5.5	5.5	4.4	1.0	0.6	0.3	0.3
Bodenart	L	L	L	sL	sL	sL	L
Ton (%g/g)	22.8	21.9	21.4	17.8	19.0	16.9	20.1
Schluff (%g/g)	30.7	31.5	30.3	29.0	31.8	31.3	27.3
Sand (%g/g)	46.5	46.6	48.4	53.3	49.3	51.9	52.6
KAK pot (mMol/z/100g)	24.3	21.0	21.3	13.1	12.3	11.4	13.4
KAK eff (mMol/z/100g)	10.6	8.5	8.7	6.6	6.2	6.1	9.1
P CO ₂ Testzahl	2.5	2.3	1.2	0.3	0.1	0.1	0.1
Raumgewicht (kg/dm ³)		1.0	1.0	1.0	1.3		
Cd HNO ₃ 2M (mg/kg) [0.8]	0.306	0.277	0.212	0.239	0.283	0.376	0.397
Co HNO ₃ 2M (mg/kg) [25]	4.74	5.55	5.70	6.95	6.01	6.22	6.13
Cr HNO ₃ 2M (mg/kg) [50]	27.4	23.4	23.8	24.2	18.4	20.4	25.4
Cu HNO ₃ 2M (mg/kg) [40]	9.9	9.2	10.0	12.8	10.2	13	15.1
Hg HNO ₃ 2M (mg/kg) [0.5]	0.170	0.127	0.142	0.118	0.138	0.127	0.123
Ni HNO ₃ 2M (mg/kg) [50]	13.7	15.0	16.2	24.8	26.1	36.6	43.8
Pb HNO ₃ 2M (mg/kg) [50]	31.2	29.0	28.2	15.2	13.8	15.4	14.7
Zn HNO ₃ 2M (mg/kg) [150]	61.4	56.2	56.8	45.8	40.3	42.9	42.5
F NaOH (mg/kg) [700]	271	272	302	314	319	319	417

[Richtwert nach VBBo und VSBo für Co]

NABO 105 Neuchâtel / Chaumont NE

STANDORTDATEN

Projekt: NABO Standortnr.: 105 Aufnahme datum: 01.11.1995
 Gemeinde/Ort: Neuchâtel / Chaumont de Bosset Kanton: NE

Standortbeschreibung:
 Physiographische Einheit (Bodeneignungskarte 1/200 000): Code: E5
 Höhenzüge im Kettenjura

Relief:
 Geländeform: Kuppe, konvex
 Hangneigungsklasse: schwach geneigt Neigung: 6 % Exposition: SE Höhe ü.M.: 1'135 m

Klima und Lufthygiene:
 Niederschlag (N/J): 1'245 mm Temperatur (T/J): 5.7° C
 Klimateignungszone (1/200 000): Ziemlich kalt - ziemlich rau Code: F
 Lage zur Hauptnebelschicht: darüber Windexposition: exponiert Hauptwindrichtung: 1. W, 2. E
 Referenzstation: SMA-Station Chaumont (1961-90)

Emissionsquellen: Höhendiff. Distanz Richtung

Vegetation und Nutzung:
 Aktuelle Nutzung: Dauergrünland, Naturwiese seit über 50 Jahren Info:
 Zusatznutzung: Frühere Nutzung:

Gestein:
 Kalkstein spätig Info:

Boden:
 Typ: RENDZINA verbraunt
 Humusform: Mull typisch Humusklasse (0-20 cm): humusreich
 Bodenart (0-20 cm): toniger Lehm Skelettgehalt (0-20 cm): schwach skeletthaltig Reaktionsklasse (0-20 cm): schwach sauer
 Horizontfolge ([] = Horizontgrenze ab Terrainoberfläche in cm): Ahh [10], Ah [20], Abw [40], B_kC [>80]
 Bearbeitungstiefe:

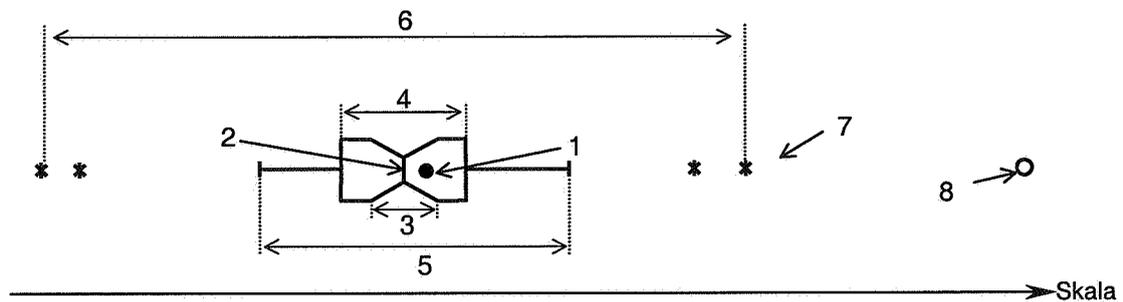
LABORDATEN

Parameter	Flächenproben		Profilproben			
	0	0	0	10	20	40
Probtiefe Beginn (cm)	0	0	0	10	20	40
Probtiefe Ende (cm)	5	20	10	20	40	80
Probenanzahl	4	4	1	1	1	1
pH H ₂ O	6.2	6.3	6.3	6.5	7.1	7.4
pH CaCl ₂	6.0	6.2	6.0	6.3	6.6	6.8
CaCO ₃ (% g/g)	0.4	0.5	0.6	0.4	7.8	14.8
org. C (%g/g)	7.9	6.9	7.2	4.8	1.9	1.0
Bodenart	tL	tL	tL	tU	IU	IU
Ton (%g/g)	33.9	34.1	33.0	32.9	25.1	21.8
Schluff (%g/g)	48.5	48.9	49.3	50.3	52.9	60.4
Sand (%g/g)	17.7	17.0	17.8	16.9	22.0	17.9
KAK pot (mMol/z/100g)	45.3	43.8	43.9	38.8		
KAK eff (mMol/z/100g)	35.6	35.3	33.0	32.4	26.6	19.2
P CO ₂ Testzahl	4.3	2.5	3.5	1.1	0.3	0.2
Raumgewicht (kg/dm ³)		1.0	0.8	1.0		
Cd HNO ₃ 2M (mg/kg) [0.8]	1.136	1.013	1.054	1.044	0.767	0.625
Co HNO ₃ 2M (mg/kg) [25]	8.69	8.74	9.06	9.78	9.34	8.93
Cr HNO ₃ 2M (mg/kg) [50]	35.2	36.2	34.4	36.7	32.7	26.9
Cu HNO ₃ 2M (mg/kg) [40]	11.4	11.1	11.1	10.8	10.8	11.5
Hg HNO ₃ 2M (mg/kg) [0.5]	0.135	0.140	0.144	0.145	0.134	0.086
Ni HNO ₃ 2M (mg/kg) [50]	31.2	32.1	31.1	32.6	30.1	28.0
Pb HNO ₃ 2M (mg/kg) [50]	26.1	25.7	28.0	23.4	16.8	12.7
Zn HNO ₃ 2M (mg/kg) [150]	71.8	70.3	74.2	66.7	55.9	45.8
F NaOH (mg/kg) [700]	492	500	467	489	497	498

[Richtwert nach VBBo und VSBo für Co]

Anhang E LEGENDE ZU DEN BOXPLOTS

(gekerbte Box-and-Whiskers-Diagramme)



1	Mittelwert	arithmetisches Mittel
2	Median	Zentralwert d.h. 50.-Perzentilwert
3	Kerbenintervall	95 %-Vertrauensintervall des Medians (Fig 3-6 ohne Kerbenintervalle)
4	Interquartilsdistanz	Zwischen unterem und oberem Quartil d.h. dem 25.- und 75.-Perzentilwert; enthält 50 % aller Werte
5	Innerer Zaun	Maximal 1.5 mal die Interquartildistanz ausserhalb des unteren und oberen Quartils
6	Äusserer Zaun	Maximal 3 mal die Interquartildistanz ausserhalb des unteren und oberen Quartils
7	Aussenpunkte	Werte zwischen innerem und äusseren Zaun
8	Fernpunkte	Extreme Ausreisserwerte

Anhang F VERGLEICHE VON EXTRAKTIONSMETHODEN

Sie zeigen den Einfluss der Extraktionsmethoden auf die Vergleichbarkeit entsprechender Analysenresultate.

1) Extraktionsvergleich: Salpetersäure / Gesamtaufschluss

In der Schweiz ist nach VBBo (1998) für die sogenannten "Totalgehalte" bei den Schwermetallanalysen die Extraktion in 2 molarer heisser Salpetersäure (2M HNO₃) vorgeschrieben. Dabei handelt es sich aber tatsächlich nur um Pseudo-Totalgehalte. In der Geochemie sind jedoch echte Totalgehalte (Gesamtgehalte) üblich. In einer Vergleichsuntersuchung mit Gesteinsproben findet Tuchs Schmid (1995) unter Wiederholbedingungen summarisch die in *Tab. F-1* zusammengestellten Ergebnisse.

Tab. F-1: Mit Salpetersäure (2M HNO₃) extrahierbare Schwermetallgehalte in % echter Totalgehalte (HF/HNO₃-Mikrowellen-Druckaufschluss) in Proben von 20 Locker- und Festgesteinen unter Wiederholbedingungen (aus: Tuchs Schmid 1995)

Element	Median (%)	Häufiger Bereich ¹ (%)
Cd	65	45-81
Co	42	24-74
Cr	33	23-43
Cu	77	58-92
Ni	66	55-79
Pb	59	<30-78
Zn	66	46-78

¹10. - 90. Perzentil

Die mit Salpetersäure extrahierbaren Anteile der echten Totalgehalte nehmen in der Reihenfolge Cu > Cd, Zn, Ni > Pb > Co > Cr ab. Während die Anteile von Cr, Ni, Zn, Cd und Cu recht gut definiert werden können, zeigen Co und Pb eine grosse Variabilität.

2) Extraktionsvergleich: Königswasser / Salpetersäure

In der Schweiz ist für die "Totalgehalte" nach VBBo (1998) bei den Schwermetallanalysen die Extraktion in heisser 2 molarer Salpetersäure vorgeschrieben. International und besonders in Deutschland wird aber oft 'Königswasser' ein Gemisch aus konzentrierter Salpetersäure und konzentrierter Salzsäure im Volumenverhältnis von 1:3 als Extraktionsmittel verwendet. Bei beiden Extraktionen handelt es sich nur um Pseudo-Totalgehalte. In *Tab. F-2* ist die Übereinstimmung der Ergebnisse sowohl unter Vergleichs- wie auch Wiederholbedingungen dargestellt.

Tab. F-2: Mit Königswasser extrahierbare Schwermetallgehalte in % der Totalgehalte nach VBBo (1998) unter Vergleichs- und Wiederholbedingungen

Element	Analysen- bedingungen	Analysen- zahl (n)	Median (%)	häufiger Bereich ² (%)
Cd	Vergleichbarkeit ¹	32	101	90-129
	Wiederholbarkeit	19	97	93-193
Co	Vergleichbarkeit ¹	37	119	108-145
	Wiederholbarkeit	19	119	110-140
Cr	Vergleichbarkeit ¹	28	169	115-234
	Wiederholbarkeit	18	148	131-185
Cu	Vergleichbarkeit ¹	32	111	102-142
	Wiederholbarkeit	18	99	86-138
Hg	Vergleichbarkeit ¹	29	111	99-149
	Wiederholbarkeit	20	103	98-113
Ni	Vergleichbarkeit ¹	28	126	113-155
	Wiederholbarkeit	18	117	109-175
Pb	Vergleichbarkeit ¹	31	100	92-110
	Wiederholbarkeit	20	108	96-116
Zn	Vergleichbarkeit ¹	37	115	99-159
	Wiederholbarkeit	20	121	109-173

¹Daten aus dem "International Soil-Analytical Exchange Programme" (ISE) der Periode 1991-1996 mit freundlicher Genehmigung von V. Houba, landwirtschaftliche Universität Wageningen NL.

²10. - 90. Perzentil

Die Übereinstimmung der Ergebnisse zwischen Vergleichs- und Wiederholbedingungen ist u.a. deshalb so schlecht, weil die Vergleichsuntersuchungen an unterschiedlichen Probenkollektiven stattfanden und der Königswasseraufschluss in den Labors oft modifiziert wird. Für den Resultatevergleich wird deshalb auf die weitaus besser standardisierten Wiederholbedingungen abgestellt. Die mit Königswasser extrahierbaren Gehalte nehmen gegenüber den Totalgehalten nach VBBo (1998) generell in der Reihenfolge Cd, Cu < Hg, Pb << Ni, Co, Zn << Cr zu. Die Umrechnung der Resultate mit einem Faktor ist jedoch aufgrund der oft erheblichen Variabilität (Spanne zwischen 10.-90. Perzentil) nicht vertretbar.

Anhang G DATEN ZU DEN KONZENTRATIONSVERÄNDERUNGEN

Legende zu Tab. G-1

a	Erste Bestimmung der Ersterhebung in mg/kg (siehe Fig. 4-1)
b	Veränderung in mg/kg zur entsprechenden Bestimmung der Ersterhebung (siehe Fig. 4-1)
c	Veränderung (b) in % zur entsprechenden Bestimmung der Ersterhebung
d	Veränderung (b) in % vom Richtwert

	keine Probe in dieser Tiefe oder Messung ausstehend

0.234	keine signifikante Veränderung
0.004	
2%	
1%	

36.5	Signifikante nicht relevante Veränderung (< 5 % vom Richtwert)
-1.8	
-5%	
-4%	

8.03	Signifikante relevante Veränderung (> 5 % vom Richtwert)
-2.27	
-28%	
-9%	

NB	Fehler bei Probenahme
NB	
NB	
NB	

Tab. G-1: Fortsetzung

Element Jahre / Tiefe (cm)	Cd		Co		Cr		Cu		Hg		Ni		Pb		Zn		F		
	5/5	10/20	5/5	10/20	5/5	10/20	5/5	10/20	5/5	10/20	5/5	10/20	5/5	10/20	5/5	10/20	5/5	10/20	
	RW = 0.8 mg/kg		RW = 25 mg/kg		RW = 50 mg/kg		RW = 40 mg/kg		RW = 0.5 mg/kg		RW = 50 mg/kg		RW = 50 mg/kg		RW = 150 mg/kg		RW = 700 mg/kg		
11 Ackerbau	a	0.234	0.234	8.03	8.03	36.5	36.5	22.9	22.9	0.071	0.071	46.8	46.8	18.7	18.7	54.5	54.5	462	462
	b	0.004	-0.036	-2.27	-0.30	-1.8	-1.5	-1.0	0.1	0.009	0.091	-2.2	-1.4	-0.2	-0.3	2.8	-2.4	-13	3
	c	2%	-14%	-28%	-3%	-5%	-4%	-4%	1%	15%	131%	-4%	-3%	-1%	-2%	-5%	-4%	-3%	1%
	d	1%	-4%	-9%	-1%	-4%	-3%	0%	0%	2%	18%	-4%	-3%	0%	-1%	-2%	-2%	-2%	0%
12 Streuland	a	0.407	0.291	6.77	7.92	28.5	24.2	19.4	20.2	0.167	0.107	33.8	33.8	37.0	26.8	78.6	78.6	505	593
	b	-0.058	-0.017	-0.21	-0.05	0.4	2.9	-0.5	-0.2	-0.016	0.000	0.9	-0.5	-1.1	0.3	-8.7	-1.3	4	-3
	c	-15%	-6%	-3%	-1%	2%	10%	-3%	-1%	-9%	0%	4%	-2%	-3%	1%	-9%	-2%	1%	-1%
	d	-7%	-2%	-1%	0%	1%	6%	-1%	0%	3%	0%	2%	-1%	-2%	1%	-6%	-1%	1%	0%
13 Ackerbau	a	0.364	0.364	4.35	4.35	24.3	24.3	23.1	23.1	0.122	0.122	21.0	21.0	33.8	33.8	62.5	62.5	257	257
	b	-0.012	-0.021	-0.11	-0.22	0.3	-1.6	-0.7	-1.0	0.023	0.068	0.3	-0.6	-3.3	-3.1	0.2	-5.4	-6	-14
	c	-4%	-6%	-3%	-4%	1%	-6%	-3%	-4%	21%	58%	2%	-3%	-10%	-10%	0%	-9%	-2%	-5%
	d	-1%	-3%	0%	-1%	1%	-3%	-2%	-3%	5%	14%	1%	-1%	-7%	-6%	0%	-4%	-1%	-2%
14 Ackerbau	a	0.285	0.285	6.30	6.30	24.9	24.9	23.8	23.8	0.051	0.051	28.1	28.1	24.4	24.4	52.0	52.0	381	381
	b	-0.007	0.003	-0.09	-0.06	0.1	-1.5	-2.3	-0.9	0.015	0.072	-1.2	-0.5	-1.2	-1.6	-1.3	1.1	2	-17
	c	-3%	1%	-2%	-1%	0%	-6%	-10%	-4%	29%	126%	-4%	-2%	-5%	-7%	-9%	2%	1%	-4%
	d	-1%	0%	0%	0%	0%	-3%	-6%	-2%	3%	14%	-2%	-1%	-2%	-3%	-1%	1%	0%	-2%
15 Ackerbau	a	0.394	0.395	4.37	4.37	33.4	33.4	34.4	34.4	0.149	0.149	22.3	22.3	26.0	26.0	43.9	43.9	766	766
	b	-0.007	-0.035	0.52	1.02	2.6	2.0	0.3	-2.1	0.018	0.038	2.3	3.7	2.5	-0.3	1.6	1.2	46	70
	c	-2%	-8%	16%	22%	8%	6%	1%	-5%	11%	25%	9%	14%	12%	-1%	4%	2%	5%	9%
	d	-1%	-4%	2%	4%	5%	4%	1%	-5%	4%	8%	5%	7%	5%	-1%	1%	1%	7%	10%
16 Dauerwiese	a	0.237	0.174	6.99	7.13	19.6	20.0	16.3	15.3	0.165	0.123	19.6	20.5	19.4	18.2	72.8	65.0	583	618
	b	0.011	-0.016	0.35	-0.06	0.4	-0.1	0.6	0.0	-0.073	-0.044	0.4	-0.7	-0.4	-0.6	3.6	0.2	-14	8
	c	5%	-9%	6%	-1%	2%	-1%	4%	0%	-38%	-32%	2%	-3%	-2%	-3%	5%	0%	-2%	1%
	d	1%	-2%	1%	0%	1%	0%	2%	0%	-15%	-9%	1%	-1%	-1%	-1%	2%	0%	-2%	1%
17 Ackerbau	a	0.213	0.213	4.52	4.52	22.0	22.0	13.8	13.8	0.091	0.091	16.2	16.2	18.1	18.1	51.0	51.0	245	245
	b	-0.033	-0.003	-0.12	-0.01	0.1	0.1	0.1	1.7	0.044	0.049	0.5	-0.9	-3.1	-0.2	2.0	5.4	9	-6
	c	-17%	-1%	-2%	0%	0%	1%	0%	13%	52%	54%	3%	-5%	-19%	-1%	4%	11%	3%	-2%
	d	-4%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	4%	9%	10%	1%	-2%	-6%	0%	1%	4%	1%	-1%
18 Nadelwald	a	0.186	0.120	3.95	4.83	17.9	15.3	8.7	8.7	0.352	0.145	13.6	16.8	69.9	25.7	53.0	45.7	195	237
	b	0.061	0.006	-0.90	0.44	3.7	0.4	1.1	1.1	0.151	0.025	-1.0	-1.9	43.8	6.3	9.5	0.5	-52	-17
	c	35%	8%	-27%	-9%	2%	-20%	13%	3%	43%	16%	-9%	-12%	74%	23%	18%	1%	-26%	-7%
	d	8%	1%	-4%	-2%	1%	-7%	9%	3%	30%	5%	-2%	-4%	88%	13%	6%	0%	-7%	-2%
19 Laubwald	a	0.420	0.329	13.82	13.10	31.4	31.6	25.0	24.3	0.215	0.153	44.6	43.7	47.4	35.8	107.3	96.0	451	483
	b	0.010	0.037	-0.41	0.37	-1.4	1.9	-0.5	0.6	-0.023	-0.014	-0.8	1.7	0.5	5.0	-1.4	4.8	-29	-4
	c	2%	11%	-3%	3%	-5%	6%	-2%	3%	-10%	-8%	-2%	4%	1%	15%	-1%	5%	-5%	-1%
	d	1%	5%	-2%	1%	-3%	4%	-1%	2%	-5%	-3%	-2%	3%	1%	10%	-1%	3%	-4%	-1%
20 Obstanlage	a	0.285	0.285	5.59	5.59	20.9	20.9	20.7	20.7	0.061	0.061	18.5	18.5	23.1	23.1	60.4	60.4	323	323
	b	0.012	-0.016	1.19	0.50	0.6	-1.0	0.1	2.7	0.015	0.048	0.6	1.6	0.4	0.7	9.6	11.9	16	-7
	c	5%	-5%	26%	8%	3%	-4%	0%	12%	19%	54%	3%	9%	2%	3%	16%	20%	4%	-2%
	d	2%	-2%	5%	2%	1%	-2%	0%	7%	3%	10%	1%	3%	1%	1%	6%	8%	2%	-1%

Tab. G-1: Fortsetzung

Element Jahre / Tiefe (cm)	Cd		Co		Cr		Cu		Hg		Ni		Pb		Zn		F		
	5/5	10/20	5/5	10/20	5/5	10/20	5/5	10/20	5/5	10/20	5/5	10/20	5/5	10/20	5/5	10/20	5/5	10/20	
	RW = 0.8 mg/kg		RW = 25 mg/kg		RW = 50 mg/kg		RW = 40 mg/kg		RW = 0.5 mg/kg		RW = 50 mg/kg		RW = 50 mg/kg		RW = 150 mg/kg		RW = 700 mg/kg		
21 Ackerbau	a	0.192	4.76	28.2	17.4	0.091	17.4	22.2	22.2	43.9	43.9	199	199						
	b	-0.018	0.009	-1.0	-1.5	0.041	0.047	0.2	0.1	-0.9	0.1	-9	3						
	c	-10%	4%	-3%	-5%	48%	50%	11%	1%	-5%	0%	-4%	1%						
	d	-2%	1%	-1%	-3%	8%	9%	4%	0%	-2%	0%	-1%	-1%						
22 Nadelwald	a	0.134	0.081	1.80	3.35	15.9	18.0	8.7	6.1	0.309	0.142	62.8	30.0	39.9	38.6	228	259		
	b	-0.003	0.000	0.00	0.26	-1.9	0.0	1.0	0.2	0.030	-0.003	7.4	0.8	1.4		-8	-8		
	c	-2%	0%	0%	7%	-11%	0%	11%	4%	8%	-2%	12%	3%	3%	3%	-4%	-3%		
	d	0%	0%	0%	1%	-4%	0%	3%	1%	6%	-1%	0%	15%	2%	1%	-1%	-1%		
23 Ackerbau	a	0.162	0.162	5.78	5.78	20.9	20.9	13.3	13.3	0.061	0.061	17.9	17.9	15.6	15.6	243	243		
	b	0.004	0.064	-0.31	0.33	0.3	1.1	0.7	4.7	0.046	0.017	2.1	5.2	0.1	0.4	0.0	-10	43	
	c	3%	41%	-5%	5%	1%	5%	5%	29%	76%	20%	11%	29%	1%	2%	1%	0%	-3%	17%
	d	1%	8%	-1%	1%	1%	2%	2%	12%	9%	3%	4%	10%	0%	1%	0%	0%	-1%	6%
24 Laubwald	a	0.355	0.296	2.95	3.09	14.7	15.0	7.5	7.2	0.183	0.144	40.3	33.8	51.4	45.6	264	285		
	b	-0.016	-0.007	-0.06	0.31	-1.2	-0.2	-0.2	-0.1	-0.020	-0.009	-1.8	0.2	-2.6	-0.8	6	-8		
	c	-5%	-2%	-2%	9%	-7%	-1%	-2%	-1%	-10%	-6%	-5%	1%	-5%	-2%	2%	-3%		
	d	-2%	-1%	0%	1%	-2%	0%	0%	0%	0%	-4%	-2%	-4%	0%	-2%	-1%	1%	-1%	
25 Ackerbau	a	0.363	0.363	23.88	23.88	38.4	38.4	31.9	31.9	0.062	0.062	74.0	74.0	28.8	28.8	689	689		
	b	-0.018	0.042	-0.73	-0.44	-2.7	-1.4	-2.2	-3.1	0.010	0.021	-2.8	-0.4	0.8	0.1	15	50		
	c	-6%	15%	-3%	-2%	-7%	-4%	-7%	-9%	17%	32%	-3%	-1%	3%	1%	2%	7%		
	d	-2%	5%	-3%	-2%	-5%	-3%	-6%	-8%	2%	4%	-6%	-1%	2%	0%	2%	7%		
26 Ackerbau	a	0.172	0.172	4.45	4.45	26.0	26.0	11.7	11.7	0.061	0.061	19.7	19.7	19.5	19.5	271	271		
	b	0.008	0.013	-0.03	0.17	-0.3	-0.8	0.1	0.3	0.024	0.081	0.7	0.1	0.1	2.0	18	7		
	c	6%	8%	-1%	3%	-1%	-3%	1%	3%	41%	100%	3%	0%	0%	10%	6%	2%		
	d	1%	2%	0%	1%	-1%	-2%	0%	1%	5%	16%	1%	0%	0%	4%	3%	1%		
27 Laubwald	a	0.143	0.143	6.29	7.00	33.7	35.5	11.8	11.7	0.123	0.092	37.5	38.5	22.4	22.4	340	342		
	b	0.030	0.028	-0.25	0.69	-1.0	-1.4	-0.2	-0.2	0.011	0.021	-1.3	-0.3	0.1	0.7	-12	-11		
	c	21%	22%	-3%	10%	-3%	-4%	-2%	-2%	7%	19%	-3%	-1%	1%	4%	-3%	-3%		
	d	4%	3%	-1%	3%	-2%	-3%	0%	0%	2%	4%	-3%	-1%	0%	1%	-2%	-2%		
28 Ackerbau	a	0.162	0.162	4.46	4.46	17.8	17.8	9.5	9.5	0.051	0.051	14.3	14.3	16.6	16.6	219	219		
	b	-0.003	0.004	0.10	-0.04	1.1	0.1	0.5	-1.7	0.034	0.036	0.0	0.1	-1.3	-0.5	-4	-13		
	c	-2%	2%	2%	-1%	6%	1%	5%	-13%	63%	49%	0%	1%	-8%	-4%	-2%	-5%		
	d	0%	0%	0%	0%	2%	0%	1%	4%	7%	7%	0%	0%	-3%	-1%	-1%	-2%		
29 Dauerwiese	a	0.364	0.364	5.77	5.77	30.1	30.1	21.9	21.9	0.111	0.111	23.5	23.5	31.3	31.3	478	478		
	b	-0.018	-0.027	0.55	0.15	-0.2	0.2	0.5	-0.9	0.026	0.052	0.2	-0.2	-1.0	-1.0	-16	-22		
	c	-5%	-7%	11%	2%	-1%	1%	2%	-4%	32%	51%	1%	-1%	-4%	-4%	-9%	-4%		
	d	-2%	-3%	2%	1%	0%	0%	1%	-2%	5%	10%	0%	0%	-2%	-2%	-2%	-3%		
30 Dauerwiese	a	0.296	0.270	5.29	5.40	37.2	38.1	29.6	21.8	0.102	0.097	24.8	26.5	21.8	20.1	299	312		
	b	-0.019	-0.008	-0.01	-0.37	-0.3	-1.7	-6.0	-0.7	0.076	0.058	1.4	-0.9	-0.3	-0.1	-5	1		
	c	-7%	-3%	0%	-6%	-1%	-4%	-20%	-3%	60%	51%	6%	-3%	-1%	-1%	-1%	0%		
	d	-2%	-1%	0%	-1%	-1%	-3%	-15%	-2%	15%	12%	3%	-2%	-1%	0%	-1%	0%		

Tab. G-1: Fortsetzung

Element Jahre / Tiefe (cm)	Cd		Co		Cr		Cu		Hg		Ni		Pb		Zn		F		
	5/5	10/20	5/5	10/20	5/5	10/20	5/5	10/20	5/5	10/20	5/5	10/20	5/5	10/20	5/5	10/20	5/5	10/20	
	RW = 0.8 mg/kg		RW = 25 mg/kg		RW = 50 mg/kg		RW = 40 mg/kg		RW = 0.5 mg/kg		RW = 50 mg/kg		RW = 50 mg/kg		RW = 150 mg/kg		RW = 700 mg/kg		
31 Ackerbau	a	0.236	0.236	5.65	5.65	33.4	33.4	10.0	10.0	0.062	0.062	27.6	27.6	16.8	16.8	37.1	37.1	385	385
	b	0.014	0.000	-0.11	0.05	-0.9	1.0	0.1	0.3	0.013	0.048	1.4	0.2	-0.5	1.4	0.4	-0.7	-10	-15
	c	7%	0%	-2%	1%	-3%	3%	1%	2%	19%	49%	5%	1%	-9%	9%	1%	-2%	-3%	-4%
	d	2%	0%	0%	0%	-2%	2%	0%	1%	3%	10%	-3%	0%	-1%	3%	0%	0%	-1%	-2%
32 Alpweide	a	1.960	1.902	7.14	7.34	61.4	61.4	9.7	8.9	0.323	0.328	23.4	41.9	42.6	42.6	82.1	82.1	472	478
	b	0.161	0.194	0.01	1.75	-1.4	4.6	0.1	1.0	0.043	0.025	-0.8	-1.6	4.6	4.6	21.4	21.4	17	10
	c	9%	12%	0%	23%	-2%	7%	1%	10%	13%	7%	-3%	-4%	13%	13%	9%	26%	4%	2%
	d	20%	24%	0%	7%	-3%	-3%	0%	2%	9%	5%	-2%	-2%	-3%	9%	5%	14%	2%	1%
33 Dauerwiese	a	0.466	0.466	11.65	11.65	37.6	37.6	39.8	39.8	0.095	0.095	42.6	42.6	49.6	49.6	105.7	105.7	819	819
	b	0.031	-0.009	0.37	-0.98	5.3	2.8	-0.1	2.5	0.046	0.028	-0.3	-2.8	2.0	-0.2	4.2	-0.8	45	22
	c	8%	-2%	3%	-7%	13%	7%	0%	6%	43%	21%	-1%	-6%	5%	0%	4%	-1%	6%	3%
	d	4%	-1%	1%	-4%	11%	6%	0%	6%	9%	6%	-1%	-6%	4%	0%	3%	-1%	6%	3%
34 Alpweide	a	0.289	0.164	6.58	7.65	29.5	35.0	15.5	16.6	0.165	0.107	31.4	26.4	32.8	32.8	74.1	74.1	644	684
	b	0.000	0.038	-0.62	-1.51	-0.2	-1.3	-0.4	-0.7	0.043	0.049	-2.4	-0.4	-1.0	-1.0	-1.9	-0.1	-19	-10
	c	0%	27%	-7%	-14%	-1%	-4%	-2%	-4%	23%	39%	-1%	-8%	-1%	-3%	0%	0%	-3%	-1%
	d	0%	5%	-2%	-6%	0%	-3%	-1%	-2%	9%	10%	-1%	-5%	-1%	-1%	-1%	0%	-3%	-1%
35 Dauerwiese	a	0.545	0.570	6.97	6.57	29.5	29.4	10.4	9.8	0.144	0.144	24.1	24.1	24.7	24.7	71.4	69.8	510	538
	b	0.056	-0.042	0.05	-0.45	-0.9	-0.1	-0.1	0.8	0.064	0.064	-0.3	0.5	-1.0	-0.1	3.4	8.4	7	-2
	c	12%	-8%	1%	-5%	-3%	0%	-1%	8%	27%	39%	2%	-1%	0%	0%	5%	13%	1%	0%
	d	7%	-5%	0%	-2%	-2%	0%	0%	2%	8%	13%	1%	-1%	-2%	0%	2%	6%	1%	0%
36 Ackerbau	a	0.306	0.306	6.23	6.23	30.3	30.3	20.5	20.5	0.082	0.082	23.9	23.9	27.7	27.7	58.2	58.2	472	472
	b	0.005	0.023	-5.84	0.00	-0.3	0.1	-0.6	-1.3	0.029	0.049	0.2	-0.2	1.5	0.8	3.3	3.4	-44	-37
	c	2%	10%	-53%	0%	-1%	0%	-3%	-6%	39%	53%	1%	-1%	7%	4%	5%	6%	-8%	-7%
	d	1%	3%	-23%	0%	-1%	0%	-2%	-3%	6%	10%	0%	0%	3%	2%	2%	2%	-6%	-5%
37 Dauerwiese	a	0.327	0.255	5.60	5.41	32.3	32.3	17.7	17.5	0.150	0.150	25.8	25.8	24.3	20.1	71.3	57.4	321	324
	b	-0.043	-0.022	-0.19	-0.33	-1.7	-1.6	-1.5	-1.7	0.009	-0.042	-1.3	-1.8	-1.2	0.6	-4.0	1.1	1	-21
	c	14%	-8%	-3%	-5%	-5%	-5%	-8%	-9%	4%	-25%	-5%	-6%	-6%	3%	-6%	2%	0%	-7%
	d	-5%	-3%	-1%	-1%	-3%	-3%	-4%	-4%	2%	-8%	-3%	-4%	-2%	1%	-3%	1%	0%	-3%
38 Ackerbau	a	0.155	0.155	5.16	5.16	28.4	28.4	17.0	17.0	0.093	0.093	18.2	18.2	20.1	20.1	44.3	44.3	262	262
	b	-0.002	0.021	-0.26	0.04	0.4	1.7	-0.5	-1.5	0.027	0.040	-0.2	-1.7	-2.8	-1.4	-2.6	-1.9	2	-4
	c	-2%	19%	-6%	1%	1%	6%	-3%	-8%	31%	39%	-1%	-9%	-14%	-8%	-6%	-4%	1%	-1%
	d	0%	3%	-1%	0%	1%	3%	-1%	-4%	5%	8%	0%	-3%	-6%	-3%	-2%	-1%	0%	-1%
39 Ackerbau	a	0.316	0.316	6.62	6.62	24.1	24.1	38.8	38.8	0.061	0.061	24.9	24.9	27.6	27.6	67.5	67.5	502	502
	b	-0.007	-0.021	-0.30	0.05	1.7	-0.3	-1.5	0.3	0.015	-0.008	0.2	-0.1	2.2	-0.1	1.5	4.1	-24	-42
	c	-3%	9%	-5%	1%	7%	-1%	-4%	1%	23%	-10%	1%	0%	7%	0%	2%	6%	-5%	-8%
	d	-1%	-3%	-1%	0%	3%	-1%	-4%	1%	3%	-2%	0%	0%	4%	0%	1%	3%	-3%	-6%
40 Nadelwald	a	0.156	0.066	2.46	3.54	17.9	21.1	7.9	4.8	0.344	0.135	17.4	15.3	22.5	22.5	37.6	32.8	185	211
	b	-0.044	0.000	-0.09	0.60	-0.5	-0.1	-0.4	-0.3	-0.072	-0.023	0.5	0.7	-5.6	-0.1	-0.4	0.2	-12	-10
	c	-27%	0%	-3%	17%	-3%	0%	-5%	-6%	-18%	-15%	3%	4%	-13%	-1%	-1%	1%	-6%	-4%
	d	-6%	0%	0%	2%	-1%	0%	-1%	-1%	-14%	-5%	1%	1%	-11%	0%	0%	0%	-2%	-1%

Tab. G-1: Fortsetzung

Element	Cd		Co		Cr		Cu		Hg		Ni		Pb		Zn		F		
	5/5	10/20	5/5	10/20	5/5	10/20	5/5	10/20	5/5	10/20	5/5	10/20	5/5	10/20	5/5	10/20	5/5	10/20	
Nr	RW = 0.8 mg/kg		RW = 25 mg/kg		RW = 50 mg/kg		RW = 40 mg/kg		RW = 0.5 mg/kg		RW = 50 mg/kg		RW = 50 mg/kg		RW = 150 mg/kg		RW = 700 mg/kg		
41 Dauerwiese	a	0.214	0.163	5.24	5.52	27.5	26.5	18.8	18.8	0.061	0.064	20.4	20.9	21.0	21.3	55.3	52.7	342	351
	b	0.010	0.010	0.65	0.50	2.9	2.4	0.8	1.1	0.063	0.074	0.0	1.4	1.2	0.7	5.3	3.7	27	32
	c	5%	6%	13%	10%	9%	8%	4%	6%	73%	91%	0%	6%	6%	4%	10%	7%	7%	9%
	d	1%	1%	3%	2%	6%	5%	2%	3%	13%	15%	0%	3%	2%	1%	4%	2%	4%	5%
42 Laubwald	a	0.071	0.071	1.90	2.89	11.2	13.2	3.0	0.1	0.337	0.086	8.5	10.7	22.8	12.8	22.9	23.0	138	145
	b	-0.014	-0.005	-0.11	-0.10	-0.2	1.9	0.5	0.0	-0.076	0.005	-0.4	-0.6	3.4	0.6	0.4	-0.6	-2	-3
	c	-1.7%	-6%	-5%	-4%	-1%	17%	16%	1%	-28%	5%	-4%	-6%	18%	5%	2%	-2%	-2%	-2%
	d	-2%	-1%	0%	0%	0%	4%	1%	0%	-15%	1%	-1%	-1%	7%	1%	0%	0%	0%	0%
43 Laubwald	a	0.194	0.094	2.87	2.85	13.6	13.6	4.4	3.4	0.113	0.071	11.3	10.8	22.7	14.4	31.6	23.3	173	166
	b	-0.002	0.000	0.21	0.31	-0.3	0.0	0.0	0.2	0.014	0.013	0.2	-0.2	-0.6	-0.1	-2.0	0.0	0	10
	c	-1%	0%	7%	11%	-3%	0%	1%	6%	10%	15%	2%	-1%	-3%	0%	-7%	0%	0%	6%
	d	0%	0%	1%	1%	-1%	0%	0%	1%	3%	3%	0%	0%	-1%	0%	-1%	0%	0%	1%
44 Ackerbau	a		0.234	5.28	5.28	21.8	21.8	24.3	24.3	0.162	0.162	14.1	14.1	20.4	20.4	48.4	48.4	272	272
	b		-0.021	-0.013	-0.69	0.00	1.2	-0.4	0.2	-0.057	-0.064	0.9	0.4	9.0	0.0	0.2	2.1	-2	-14
	c		-10%	-7%	-16%	0%	5%	-2%	1%	-38%	-41%	5%	3%	43%	0%	0%	5%	-1%	-5%
	d		-3%	-2%	-3%	0%	2%	-1%	0%	-11%	-13%	2%	1%	18%	0%	0%	1%	0%	-2%
45 Nadelwald	a	0.600	0.386	5.93	4.74	18.8	22.0	13.0	11.2	0.294	0.184	17.7	19.7	67.0	44.0	105.0	88.6	481	534
	b	0.073	0.058	-1.35	-1.16	-0.8	-0.1	-0.6	-0.8	0.056	0.039	-1.4	-1.7	4.7	-0.1	-4.4	-3.2	-37	-32
	c	12%	14%	-20%	-15%	-4%	0%	-5%	-7%	18%	18%	-16%	-16%	8%	0%	-4%	-4%	-8%	-6%
	d	9%	7%	-5%	-5%	-2%	0%	-2%	-2%	11%	8%	-3%	3%	9%	0%	-3%	-2%	-5%	-5%
46 Ackerbau	a		0.353	12.66	12.66	59.0	59.0	37.1	37.1	0.135	0.135	67.6	67.6	24.0	24.0	100.4	100.4	673	673
	b		0.037	-0.008	-1.35	0.10	-4.2	-0.8	7.6	-0.004	-0.072	-3.0	1.7	7.4	0.3	-1.0	16.1	-9	-18
	c		13%	-3%	-10%	1%	-7%	-1%	20%	-3%	-45%	-4%	2%	30%	1%	-1%	18%	-1%	-3%
	d		5%	-1%	-5%	0%	8%	-2%	19%	-1%	-14%	-6%	3%	15%	1%	-1%	11%	-1%	-3%
47 Nadelwald	a	0.529	0.201	1.00	1.41	-5.5	12.5	7.9	7.0	0.286	0.141	-5.0	-5.0	74.2	20.7	83.4	26.8	202	350
	b	0.123	-0.065	-0.12	-0.15	0.0	-1.5	2.8	-0.9	0.170	0.021	0.0	0.0	23.1	1.3	18.9	-5.0	-88	-10
	c	39%	-28%	23%	-9%	0%	-11%	30%	-11%	48%	12%	0%	0%	50%	7%	39%	-18%	-37%	-3%
	d	15%	-8%	0%	-1%	0%	-3%	7%	-2%	34%	4%	0%	0%	46%	3%	13%	-3%	-13%	-1%
48 Ackerbau	a		0.345	10.99	10.99	27.3	27.3	51.4	51.4	0.248	0.248	41.8	41.8	41.0	41.0	63.6	63.6	752	752
	b		0.023	-0.025	0.90	-0.32	4.8	3.4	9.5	-0.089	-0.098	4.8	0.2	5.9	1.7	4.8	1.7	28	-9
	c		8%	-5%	8%	-3%	17%	12%	18%	-35%	-36%	12%	0%	16%	5%	8%	3%	4%	-1%
	d		3%	-3%	4%	-1%	10%	7%	24%	-18%	-20%	10%	0%	12%	3%	3%	1%	4%	-1%
49 Dauerwiese	a	0.509	0.355	7.64	7.99	52.7	42.2	31.8	28.9	0.166	0.144	29.9	26.3	37.3	31.8	115.2	101.2	713	691
	b	-0.055	-0.027	0.57	-0.05	-1.5	3.0	1.5	2.0	0.013	0.008	0.3	2.5	-2.0	-0.3	-1.3	7.3	0	8
	c	-10%	-7%	7%	-1%	-3%	7%	4%	7%	7%	5%	1%	8%	-6%	-1%	-1%	7%	0%	1%
	d	-7%	-3%	2%	0%	-3%	6%	4%	5%	3%	2%	1%	5%	-4%	-1%	-1%	5%	0%	1%
50 Alpweide	a	0.331	0.086	<1.0	1.51	<10.0	13.5	6.1	3.0	0.103	0.033	-5.0	-5.0	48.9	12.8	35.6	23.1	172	187
	b	-0.011	-0.002	0.0	-0.07	0.0	1.1	-0.5	0.0	0.059	0.018	0.0	0.0	8.6	2.5	3.7	-0.3	5	5
	c	-4%	-3%	0%	-5%	0%	9%	-7%	-1%	41%	36%	0%	0%	19%	19%	10%	-2%	3%	2%
	d	-1%	0%	0%	0%	0%	2%	-1%	0%	12%	4%	0%	0%	17%	5%	2%	0%	1%	1%

Tab. G-1: Fortsetzung

Element	Cd		Co		Cr		Cu		Hg		Ni		Pb		Zn		F		
	5/5	10/20	5/5	10/20	5/5	10/20	5/5	10/20	5/5	10/20	5/5	10/20	5/5	10/20	5/5	10/20	5/5	10/20	
Nr	RW = 0.8 mg/kg		RW = 25 mg/kg		RW = 50 mg/kg		RW = 40 mg/kg		RW = 0.5 mg/kg		RW = 50 mg/kg		RW = 50 mg/kg		RW = 150 mg/kg		RW = 700 mg/kg		
51 Gemüsebau	a	0.203	0.203	8.00	8.00	12.3	12.3	33.8	33.8	0.030	0.030	22.5	22.5	18.0	18.0	48.3	48.3	605	605
	b	-0.018	0.010	-1.72	0.32	0.8	0.5	4.7	3.8	0.011	-0.008	3.8	0.5	8.5	0.5	3.5	5.4	39	31
	c	-9%	10%	-17%	4%	6%	4%	13%	12%	30%	-20%	13%	2%	45%	4%	7%	11%	7%	5%
	d	-2%	1%	-7%	1%	2%	1%	12%	10%	2%	-2%	8%	1%	17%	1%	2%	4%	6%	4%
52 Alpweide	a	0.672	0.547	4.36	4.74	37.2	34.7	13.1	20.4	0.114	0.113	7.0	9.4	92.7	67.8	93.2	92.0	917	857
	b	0.093	0.051	0.28	-0.39	1.1	-1.5	-1.0	-9.1	0.064	0.039	0.0	-0.3	-7.2	-1.9	2.6	1.2	30	2
	c	15%	9%	7%	-8%	3%	-4%	-8%	-42%	50%	30%	0%	-2%	-10%	-3%	3%	1%	3%	0%
	d	12%	6%	1%	-2%	2%	-3%	-3%	-23%	13%	8%	0%	-1%	-14%	-4%	2%	1%	4%	0%
53 Ackerbau	a		0.988		10.29		47.7		21.5		0.098		22.0		38.2		111.1		523
	b		0.029		-0.07		-0.6		0.1		-0.001		-1.8		-0.5		-0.2		12
	c		4%		-1%		-1%		1%		-1%		-9%		-1%		0%		2%
	d		4%		0%		-1%		0%		0%		-4%		-1%		0%		2%
54 Ackerbau	a		0.169		4.36		18.5		21.4		0.058		15.1		11.6		41.1		226
	b		0.030		-0.20		0.1		1.4		0.001		0.0		-0.2		0.6		-4
	c		31%		-4%		1%		6%		2%		0%		-2%		1%		-2%
	d		4%		-1%		0%		3%		0%		0%		0%		0%		-1%
55 Rebbaud	a		0.283		10.78		49.9		226.0		0.094		66.1		21.6		81.1		519
	b		0.020		-0.49		-1.0		18.3		0.017		2.2		-0.7		3.3		-4
	c		8%		-5%		-2%		8%		16%		3%		-3%		4%		-1%
	d		3%		-2%		-2%		46%		3%		4%		-1%		2%		-1%
56 Dauerwiese	a		0.118		4.29		22.8		8.1		0.123		14.7		17.9		54.4		277
	b		0.004		-0.31				0.7		0.049		-0.4		0.2		0.6		-11
	c		2%		-8%				8%		36%		-3%		1%		1%		-4%
	d		0%		-1%				2%		10%		-1%		0%		0%		-2%
57 Alpweide	a		0.267		10.35		17.7		30.1		0.133		42.7		17.8		46.2		1919
	b		-0.017		0.58		0.0		-3.1		0.007		-1.4		0.8		0.1		100
	c		-6%		7%		0%		-10%		5%		-3%		3%		0%		5%
	d		-2%		2%		0%		-5%		1%		-3%		2%		0%		6%
58 Nadelwald	a		0.156		2.68		11.8		10.9		0.323		11.6		60.2		43.8		488
	b		-0.062		-0.12		1.1		-0.7		-0.136		0.6		-5.4		1.9		77
	c		-31%		-4%		8%		-5%		-28%		5%		-10%		-4%		16%
	d		-8%		0%		2%		-2%		-27%		1%		-11%		1%		11%
59 Gemüsebau	a		0.287		5.83		30.8		27.6		0.061		22.9		26.9		56.6		452
	b		-0.009		-0.18		0.2		11.3		0.018		-0.9		-0.5		4.2		9
	c		-3%		-3%		1%		39%		25%		-3%		-2%		7%		2%
	d		-1%		-1%		0%		28%		4%		-2%		-1%		3%		1%
60 Dauerwiese	a		0.215		1.68		21.3		8.5		0.143		-6.0		18.3		42.2		183
	b		-0.027		0.00		-4.4		0.2		-0.005		0.0		0.0		5.1		1
	c		-11%		0%		-19%		2%		-9%		0%		0%		11%		0%
	d		-3%		0%		-9%		0%		-1%		0%		0%		3%		3%

Tab. G-1: Fortsetzung

Element	Cd		Co		Cr		Cu		Hg		Ni		Pb		Zn		F		
	5/5	10/20	5/5	10/20	5/5	10/20	5/5	10/20	5/5	10/20	5/5	10/20	5/5	10/20	5/5	10/20	5/5	10/20	
Nr	RW = 0.8 mg/kg		RW = 25 mg/kg		RW = 50 mg/kg		RW = 40 mg/kg		RW = 0.5 mg/kg		RW = 50 mg/kg		RW = 50 mg/kg		RW = 150 mg/kg		RW = 700 mg/kg		
61 Parkanlage	a	0.255	0.230	6.11	6.20	30.6	26.7	29.1	31.0	0.357	0.298	25.3	26.3	76.8	78.7	86.6	64.4	313	311
	b	-0.027	-0.005	0.03	0.35	-3.8	-0.9	-1.4	2.4	0.000	0.028	-0.5	0.1	-3.9	-1.4	-3.7	-2.2	34	-13
	c	-9%	-2%	0%	5%	-12%	-3%	-4%	7%	0%	9%	-2%	0%	-5%	-2%	-6%	-3%	-10%	-4%
	d	-3%	-1%	0%	1%	-8%	-2%	-3%	6%	0%	6%	-1%	0%	-8%	-3%	-2%	-1%	-5%	-2%
62 Laubwald	a	0.354	0.317	5.59	5.61	17.3	17.3	5.1	3.6	0.135	0.106	9.7	7.8	39.2	31.5	61.6	52.1	557	586
	b	0.010	0.030	0.56	0.35	2.1	1.4	0.1	0.5	-0.017	-0.013	0.6	0.1	-0.6	2.6	-0.8	-0.3	28	21
	c	2%	8%	12%	7%	11%	7%	2%	14%	-12%	-12%	10%	1%	-2%	9%	-1%	-1%	5%	4%
	d	1%	4%	2%	1%	4%	3%	0%	2%	-3%	-3%	1%	0%	-1%	5%	-1%	0%	4%	3%
63 Ackerbau	a		0.326		8.48		33.9		15.4		0.083		30.6		27.6		65.7		508
	b		0.021		0.09		0.7		0.2		-0.007		0.6		0.8		0.9		35
	c		7%		1%		2%		1%		-8%		2%		4%		1%		7%
	d		3%		0%		1%		1%		-1%		1%		2%		1%		5%
64 Obstbau	a	0.749	0.643	5.35	5.35	30.8	24.9	76.9	50.7	0.063	0.078	15.9	16.0	25.0	23.9	89.1	80.4	494	493
	b	0.015	0.074	0.13	-0.22	-0.5	-0.8	2.0	4.2	-0.013	-0.006	-0.1	-0.4	0.3	-0.2	-1.4	-4.0	17	-11
	c	2%	13%	3%	-4%	-2%	-3%	2%	8%	-14%	-8%	0%	-2%	1%	-1%	-1%	-4%	3%	-2%
	d	2%	9%	1%	-1%	-1%	-2%	5%	10%	-3%	-1%	0%	-1%	1%	0%	-1%	-3%	2%	-2%
65 Ackerbau	a		0.183		8.31		19.9		13.1		0.089		17.1		20.1		42.6		242
	b		0.008		0.73		0.1		0.6		-0.007		1.0		-1.0		1.6		1
	c		4%		8%		0%		5%		-7%		5%		-4%		4%		1%
	d		1%		3%		0%		2%		-1%		2%		-2%		1%		0%
66 Laubwald	a	1.093	1.088	5.23	5.42	19.8	22.0	8.5	8.1	0.223	0.214	16.1	17.2	28.7	25.9	61.2	60.6	777	835
	b	0.030	-0.032	0.20	-0.23	-0.7	-4.6	0.4	-0.3	-0.029	-0.024	-0.7	-2.0	-2.2	-1.0	-4.2	-6.1	28	-35
	c	3%	-3%	3%	-3%	-3%	-3%	4%	-4%	-13%	-12%	-4%	-11%	-8%	-4%	-6%	-10%	4%	-4%
	d	4%	-4%	1%	-1%	-1%	-9%	1%	-1%	-6%	-5%	-1%	-4%	-4%	-2%	-3%	-4%	4%	-5%
67 Gemüosebau	a		0.644		6.35		61.0		25.9		0.220		19.4		16.5		35.1		672
	b		0.030		1.92		3.4		0.0		-0.024		-0.1		1.8		1.9		4
	c		6%		37%		6%		0%		-13%		0%		9%		5%		-1%
	d		4%		8%		7%		0%		-5%		0%		4%		1%		-1%
68 Ackerbau	a		0.150		7.66		45.8		26.3		0.097		53.5		18.4		46.0		448
	b		0.015		-0.25		0.2		0.8		0.001		-0.5		-0.2		0.2		-1
	c		10%		-3%		1%		3%		1%		-1%		-1%		0%		0%
	d		2%		-1%		0%		2%		0%		-1%		0%		0%		0%
69 Dauerwiese	a	0.237	0.217	7.05	8.17	37.5	38.6	21.2	18.7	0.124	0.108	45.2	49.4	14.6	15.7	66.9	60.2	461	430
	b	-0.008	0.012	0.08	0.13	-2.3	-0.5	-0.2	0.5	0.015	0.047	0.4	0.7	-1.0	0.3	1.3	2.5	-21	13
	c	-3%	5%	1%	2%	-6%	-1%	-1%	2%	12%	42%	1%	1%	-5%	2%	2%	4%	-5%	3%
	d	-1%	1%	0%	1%	-5%	-1%	0%	1%	3%	9%	1%	1%	-2%	1%	1%	2%	-3%	2%
70 Dauerwiese	a	0.225	0.207	6.55	7.07	24.7	22.5	28.3	26.3	0.112	0.107	14.6	15.0	35.8	35.7	83.2	75.9	517	541
	b	0.014	-0.008	0.22	-0.64	-2.6	-1.2	-1.8	-1.2	-0.043	-0.017	-0.7	-1.1	-1.3	-0.9	1.9	-1.4	25	20
	c	5%	-4%	2%	-7%	-10%	-6%	-6%	-4%	-32%	-14%	-5%	-7%	-3%	-2%	2%	-2%	4%	4%
	d	2%	-1%	1%	-3%	-5%	-2%	-4%	-3%	-9%	-3%	-1%	-2%	-3%	-2%	1%	-1%	4%	3%

Tab. G-1: Fortsetzung

Element Jahre / Tiefe (cm)	Cd		Co		Cr		Cu		Hg		Ni		Pb		Zn		F			
	5/5	10/20	5/5	10/20	5/5	10/20	5/5	10/20	5/5	10/20	5/5	10/20	5/5	10/20	5/5	10/20	5/5	10/20		
	RW = 0.8 mg/kg		RW = 25 mg/kg		RW = 50 mg/kg		RW = 40 mg/kg		RW = 0.5 mg/kg		RW = 50 mg/kg		RW = 50 mg/kg		RW = 150 mg/kg		RW = 700 mg/kg			
71 Alpweide	a	0.312	0.159	5.22	5.55	13.9	16.8	18.8	17.2	0.167	0.131	17.7	16.4	29.1	23.4	55.6	35.6	759	735	
	b	0.021	0.004	0.79	0.32	0.1	0.3	0.5	-0.1	0.007	-0.035	1.7	1.0	3.1	1.6	9.4	2.6	-39	2	
	c	7%	3%	13%	5%	1%	2%	3%	0%	0%	4%	-25%	3%	6%	10%	6%	7%	-5%	0%	0%
	d	3%	1%	3%	1%	0%	1%	1%	0%	0%	1%	-7%	3%	2%	6%	3%	6%	2%	-6%	0%
72 Alpweide	a	0.304	0.202	34.24	44.62	466.0	554.4	19.1	18.9	0.178	0.117	297.4	336.4	42.9	24.4	78.3	64.1	397	448	
	b	0.003	0.008	-2.97	-0.19	-15.4	-8.7	-0.2	-1.1	-0.033	-0.021	-2.9	-7.6	0.0	0.6	4.5	-0.3	-2	-7	
	c	1%	4%	-8%	0%	-3%	-2%	-1%	-5%	-16%	-15%	-1%	-2%	0%	3%	5%	0%	0%	-2%	0%
	d	0%	1%	-12%	-1%	-31%	-17%	-1%	-3%	-7%	-4%	-6%	-15%	0%	1%	3%	0%	0%	0%	-1%
73 Nadelwald	a	0.230	0.115	2.12	2.54	<5.0	<5.0	5.6	4.0	0.199	0.110	<5.0	<5.0	41.9	31.7	41.5	22.1	509	671	
	b	0.006	0.014	-0.57	-0.54	0.0	0.0	0.5	0.5	0.028	-0.009	0.0	0.0	-1.5	2.2	4.1	1.7	-60	13	
	c	2%	9%	-19%	-16%	0%	0%	9%	13%	11%	-7%	0%	0%	-3%	7%	9%	8%	-10%	2%	
	d	1%	2%	-2%	-2%	0%	0%	1%	1%	6%	-2%	0%	0%	-3%	4%	3%	1%	-9%	2%	
74 Dauerwiese	a	0.398	0.399	6.99	6.60	35.5	38.4	48.3	31.9	0.147	0.122	19.0	28.9	35.6	36.0	148.0	98.1	501	608	
	b	-0.021	0.004	-0.26	-0.47	-0.7	-1.0	-9.5	1.2	0.027	0.021	-1.5	-2.3	-1.9	-0.2	-12.5	5.6	25	51	
	c	-6%	1%	-4%	-7%	-2%	-3%	-18%	3%	18%	16%	-4%	-6%	-5%	-1%	-9%	5%	5%	10%	
	d	-3%	0%	-1%	-2%	-1%	-2%	-24%	3%	5%	4%	-3%	-5%	-4%	0%	-8%	4%	4%	7%	
75 Alp. Rasen	a	0.308	0.232	3.47	3.65	<5.5	<5.5	8.1	7.5	0.113	0.069	<5.0	<5.0	32.1	85.3	96.2	82.5	1494	1430	
	b	-0.011	0.004	-0.29	-0.20	0.0	0.0	0.0	0.5	-0.029	-0.008	0.0	0.0	15.2	13.7	-1.3	2.3	107	-21	
	c	-4%	2%	-7%	-5%	0%	0%	0%	7%	-23%	-11%	0%	0%	24%	20%	-1%	3%	7%	-1%	
	d	-1%	0%	-1%	-1%	0%	0%	0%	1%	-6%	-2%	0%	0%	30%	27%	-1%	2%	15%	-3%	
76 Nadelwald	a	0.166	0.084	6.20	8.56	39.0	47.3	11.8	11.3	0.166	0.092	34.8	40.5	23.9	17.1	50.2	39.2	306	365	
	b	-0.004	-0.004	-0.47	-0.47	0.9	0.5	-0.5	-0.6	-0.066	-0.025	-0.2	-0.1	-0.4	1.9	-1.4	-0.2	5	-17	
	c	-3%	-4%	-5%	-5%	2%	1%	-4%	-5%	-31%	-29%	-1%	0%	-2%	11%	-3%	0%	1%	-4%	
	d	-1%	0%	-2%	-2%	2%	1%	-1%	-1%	-13%	-5%	0%	0%	-1%	4%	-1%	0%	1%	-2%	
77 Ackerbau	a		0.397		13.51		24.6		49.9		0.084		44.5		29.6		95.7		753	
	b		0.003		-0.49		-1.4		-1.0		-0.010		-1.9		-0.3		-0.7		-19	
	c		1%		-4%		-5%		-2%		-11%		-4%		-1%		-1%		-3%	
	d		0%		-2%		-3%		-3%		-2%		-4%		-1%		0%		-3%	
78 Ackerbau	a		0.382		10.14		34.5		38.2		0.092		32.4		25.9		78.5		925	
	b		0.014		-1.31		2.2		3.9		0.020		2.7		2.1		10.5		32	
	c		5%		-12%		7%		10%		21%		6%		7%		12%		3%	
	d		2%		5%		4%		10%		4%		5%		4%		7%		5%	
79 Ackerbau	a		0.149		5.50		21.9		17.4		0.071		23.7		13.5		39.5		349	
	b		0.000		-0.58		-1.2		-0.6		0.005		-1.5		-0.5		-1.0		-21	
	c		0%		-11%		-6%		-3%		7%		-6%		-4%		-2%		-6%	
	d		0%		-2%		-2%		-1%		1%		-3%		-1%		-1%		-3%	
80 Ackerbau	a		0.293		9.91		28.3		15.9		0.115		22.2		24.7		42.1		525	
	b		0.007		0.37		-1.2		-0.3		0.000		-1.6		0.7		-1.1		-15	
	c		2%		3%		-4%		-2%		0%		-6%		3%		-3%		-3%	
	d		1%		1%		-2%		-1%		0%		-3%		1%		-1%		-2%	

Tab. G-1: Fortsetzung

Element Jahre / Tiefe (cm)	Cd		Co		Cr		Cu		Hg		Ni		Pb		Zn		F			
	5/5	10/20	5/5	10/20	5/5	10/20	5/5	10/20	5/5	10/20	5/5	10/20	5/5	10/20	5/5	10/20	5/5	10/20		
Nr Nutzung	RW = 0.8 mg/kg		RW = 25 mg/kg		RW = 50 mg/kg		RW = 40 mg/kg		RW = 0.5 mg/kg		RW = 50 mg/kg		RW = 50 mg/kg		RW = 150 mg/kg		RW = 700 mg/kg			
81 Nadelwald	a	0.156	0.129	4.18	4.20	14.9	15.9	5.5	4.9	0.166	0.134	8.3	6.9	22.2	18.9	47.3	42.3	874	891	
	b	-0.027	0.001	0.63	0.23	0.4	0.5	-0.3	0.1	-0.013	0.005	-0.6	0.2	-0.3	-0.1	-3.0	0.5	-2	-27	
	c	-15%	1%	19%	7%	3%	3%	-5%	2%	4%	-8%	-9%	3%	-1%	-1%	-6%	1%	0%	0%	-3%
	d	-3%	0%	3%	1%	1%	1%	-1%	0%	1%	-3%	-1%	0%	-1%	0%	-2%	0%	0%	0%	-4%
82 Laubwald	a	0.268	0.294	6.09	6.16	20.6	21.0	20.2	20.4	0.103	0.103	24.4	24.9	15.8	15.6	51.8	51.5	536	564	
	b	0.027	0.002	-0.28	1.23	-0.1	-1.2	1.1	-0.5	-0.012	-0.009	0.8	-0.8	0.5	-0.2	2.7	-0.3	8	-3	
	c	11%	1%	-4%	20%	-1%	-5%	5%	-2%	-11%	-9%	3%	-3%	2%	-1%	4%	0%	2%	-1%	0%
	d	3%	0%	-1%	5%	0%	-2%	3%	-1%	-2%	-2%	2%	-2%	1%	0%	2%	0%	1%	0%	0%
83 Nadelwald	a	0.397	0.366	5.86	8.41	38.3	44.1	12.9	11.9	0.324	0.229	26.9	34.1	77.1	43.6	51.0	49.1	327	366	
	b	-0.033	-0.026	-1.14	-0.02	-2.3	1.5	1.0	0.6	0.081	0.023	0.1	1.0	10.9	0.0	0.8	0.0	52	-8	
	c	-9%	-8%	-17%	0%	-6%	3%	7%	5%	24%	10%	0%	3%	15%	0%	2%	0%	-15%	-2%	
	d	-4%	-3%	-5%	0%	-5%	3%	3%	2%	2%	5%	0%	2%	0%	22%	0%	1%	0%	7%	-1%
84 Hochmoor	a		0.879		<0.2				7.3	0.338			<5.0			80.1			14	
	b		-0.203		0.0		0.0		-0.3	0.002			0.0			-5.9			-3	
	c		-22%		0%		0%		-4%	0%			0%			-8%			-20%	
	d		-25%		0%		0%		-1%	0%			0%			-4%			0%	
85 Laubwald	a	0.249	0.223	4.57	5.08	26.2	26.6	19.1	19.3	0.124	0.124	26.5	27.1	24.3	23.1	53.7	51.6	445	439	
	b	-0.041	-0.042	0.13	-0.23	-1.5	0.0	-0.1	0.2	-0.018	-0.036	-0.7	1.9	-0.4	0.6	-2.5	1.8	-30	2	
	c	-15%	-15%	3%	-4%	-6%	0%	0%	1%	-14%	-26%	-2%	6%	-1%	3%	-5%	3%	-7%	0%	
	d	-5%	-5%	1%	-1%	-3%	0%	0%	0%	0%	-7%	-1%	4%	-1%	1%	-2%	1%	-4%	0%	
86 Ackerbau	a		0.197		4.79		23.6		17.5	0.079			18.5			49.1			290	
	b		-0.003		0.07		0.8		-0.1	0.054			0.5			3.0			6	
	c		-2%		1%		4%		-1%	62%			9%			5%			2%	
	d		0%		0%		2%		0%	11%			1%			2%			1%	
87 Ackerbau	a		0.243		6.84		25.4		18.1	0.061			26.2			49.5			396	
	b		-0.002		-0.37		-1.6		-2.5	0.085			-3.7			0.1			-54	
	c		-1%		-13%		-6%		-13%	124%			-13%			-2%			-13%	
	d		0%		-4%		-3%		-6%	17%			-7%			-1%			-3%	
88 Nadelwald	a	1.543	1.262	6.23	6.78	33.7	37.2	8.0	7.5	0.338	0.333	21.9	23.8	52.5	48.4	104.7	99.1	984	997	
	b	-0.133	0.002	-0.77	0.01	-0.9	-1.5	-0.2	-0.1	0.002	-0.005	2.2	1.1	-2.1	-1.7	-0.2	-2.9	-78	50	
	c	-9%	0%	11%	0%	-3%	-4%	-2%	-1%	1%	-2%	15%	6%	-4%	4%	0%	-3%	-8%	5%	
	d	-17%	0%	-3%	0%	-2%	-3%	0%	0%	0%	0%	4%	2%	-4%	-3%	0%	-2%	-11%	7%	
89 Hochmoor	a		0.385		4.42		<8.3		6.5	0.134			<7.5			82.6			23	
	b		-0.085		-0.91		0.0		-0.2	0.212			0.0			34.0			20	
	c		-21%		-18%		0%		-3%	129%			0%			43%			127	
	d		-11%		-4%		0%		-1%	42%			0%			30%			3%	
90 Nadelwald	a	0.294	0.193	2.85	3.76	22.6	29.2	13.2	11.8	0.231	0.148	11.0	12.9	57.1	33.6	64.6	52.9	225	267	
	b	0.018	0.004	-0.45	-0.83	-2.9	-2.7	0.2	-0.5	-0.005	-0.019	-1.1	-1.2	3.5	-1.0	13.7	1.7	-32	-6	
	c	6%	2%	-18%	-19%	-14%	-9%	1%	-4%	-2%	-11%	-13%	-13%	6%	-3%	27%	4%	-15%	-2%	
	d	2%	0%	-2%	3%	-6%	-5%	0%	-1%	-1%	-4%	-2%	-2%	7%	-2%	9%	1%	-5%	-1%	

Tab. G-1: Fortsetzung

Element Jahre / Tiefe (cm)	Cd		Co		Cr		Cu		Hg		Ni		Pb		Zn		F			
	5/5	10/20	5/5	10/20	5/5	10/20	5/5	10/20	5/5	10/20	5/5	10/20	5/5	10/20	5/5	10/20	5/5	10/20		
	RW = 0.8 mg/kg		RW = 25 mg/kg		RW = 50 mg/kg		RW = 40 mg/kg		RW = 0.5 mg/kg		RW = 50 mg/kg		RW = 60 mg/kg		RW = 150 mg/kg		RW = 700 mg/kg			
91 Nadelwald	a	0.467	0.175	1.78	3.04	19.3	36.9	14.9	22.3	0.197	0.154	9.0	13.3	74.3	31.6	95.1	36.2	248	304	
	b	0.072	0.032	0.19	0.40	-1.2	-2.2	0.6	-0.7	-0.018	-0.014	0.2	-0.9	7.9	2.2	7.2	1.0	-20	17	
	c	16%	21%	8%	13%	-5%	-6%	4%	-3%	-8%	-9%	2%	-7%	11%	7%	11%	3%	-7%	-5%	-5%
	d	9%	4%	1%	2%	-2%	-4%	2%	-2%	-4%	-3%	0%	-2%	16%	4%	5%	1%	-3%	-2%	-2%
92 Laubwald	a	0.553	0.446	5.68	5.62	21.8	23.2	15.7	11.6	0.250	0.193	10.2	10.1	118.4	72.3	101.2	87.6	309	291	
	b	-0.098	-0.032	0.63	0.49	-1.7	-2.1	0.9	-0.2	-0.010	0.029	-0.3	-0.4	7.5	-6.9	-7.5	-9.1	-2	-10	
	c	-20%	-9%	-14%	-11%	-8%	-9%	6%	-2%	-4%	15%	-4%	-5%	7%	-10%	-8%	-11%	-1%	-4%	-1%
	d	-12%	-4%	-3%	2%	-3%	4%	2%	0%	2%	-2%	6%	-1%	-1%	15%	-14%	-5%	0%	0%	-1%
93 Laubwald	a	0.122	0.114	3.92	4.16	21.1	22.3	11.3	11.2	0.081	0.071	18.3	19.1	21.1	18.5	40.9	38.2	373	334	
	b	-0.001	-0.006	0.29	0.22	0.0	-0.6	0.1	0.0	0.011	0.005	-0.1	-0.1	-0.4	-0.4	0.8	0.2	-2	-13	
	c	-1%	-5%	7%	5%	0%	-2%	1%	0%	12%	6%	-1%	0%	-2%	-2%	2%	0%	-1%	-4%	-4%
	d	0%	-1%	1%	1%	0%	-1%	0%	0%	2%	1%	0%	0%	0%	-1%	1%	0%	0%	0%	-2%
94 Gemüsebau	a		0.206		11.28		36.2		31.3		0.061		27.1		39.8		72.6		654	
	b		0.014		0.39		1.0		1.7		-0.017		-0.6		-1.9		5.2		12	
	c		7%		4%		3%		6%		-24%		-2%		-5%		6%		2%	
	d		2%		2%		2%		4%		-3%		-1%		-4%		3%		2%	
95 Ackerbau	a		0.289		8.88		31.9		42.8		0.104		0.6		29.3		68.7		480	
	b		0.011		0.20		-3.8		-2.1		-0.006		0.6		-0.3		-2.3		-5	
	c		4%		3%		-10.8		-4.6		-4.862		1.7		-1.1		-2.9		-1	
	d		1%		1%		-7.5		-5.2		-1.185		1.2		-0.7		-1.5		-1	
96 Rebbaubau	a		0.683		3.74		27.3		883.4		0.131		14.4		48.7		126.2		480	
	b		-0.169		0.25		-1.0		-230		-0.069		2.0		-9.7		-7.7		-76	
	c		-26%		6%		-3%		-27%		-50%		15%		-20%		-6%		-16%	
	d		-21%		1%		-2%		-57%		-14%		4%		-19%		-5%		-11%	
97 Parkanlage	a	0.802	0.508	14.02	12.65	37.0	30.4	42.1	52.4	0.463	0.418	30.4	34.2	169.0	136.7	172.1	148.6	500	540	
	b	-0.030	-0.021	-1.36	-0.82	0.0	0.6	0.2	-2.9	-0.046	-0.031	0.3	-0.8	-7.4	-1.6	-5.9	-1.9	-2	14	
	c	-4%	-5%	-11%	-6%	0%	2%	0%	-5%	-10%	-7%	1%	-2%	-6%	-2%	-3%	-1%	0%	3%	
	d	-4%	-3%	-5%	-3%	0%	1%	0%	-7%	-9%	-6%	1%	-2%	-15%	-3%	-4%	-1%	0%	2%	
98 Dauerwiese	a	0.595	0.510	4.59	4.89	32.9	28.8	25.5	21.3	0.103	0.092	12.4	12.6	36.0	32.6	109.5	96.6	435	400	
	b	0.020	0.005	-0.28	-0.38	-1.4	-1.1	0.8	1.9	-0.023	-0.004	0.1	-0.1	2.1	1.2	3.8	0.6	23	3	
	c	5%	1%	-5%	-7%	-4%	-4%	3%	9%	-15%	-3%	1%	-1%	6%	4%	3%	1%	5%	1%	
	d	3%	1%	-1%	-2%	-3%	2%	2%	5%	-5%	-1%	0%	0%	4%	2%	3%	0%	3%	0%	
99 Nadelwald	a	0.124	0.112	9.58	11.38	22.2	24.6	26.9	29.9	0.372	0.214	35.5	43.2	37.0	24.9	50.4	42.9	563	609	
	b	-0.001	0.011	-0.15	-1.20	-2.0	-2.0	-2.2	-1.6	-0.061	-0.032	-2.7	-1.5	-3.0	0.5	1.1	-0.7	26	24	
	c	0%	13%	-1%	-10%	-8%	-7%	-7%	-5%	-20%	-13%	-7%	-3%	-9%	2%	2%	-1%	4%	4%	
	d	0%	1%	-1%	-5%	-4%	-4%	-5%	-4%	-16%	-8%	-5%	-3%	-6%	1%	1%	0%	4%	3%	
100 Alpweide	a	0.404	0.156	6.24	6.73	11.6	14.3	9.9	8.1	0.072	0.082	9.3	9.6	26.3	19.9	65.3	37.9	676	773	
	b	0.030	0.050	0.35	0.10	-0.2	-0.7	0.0	0.1	-0.037	-0.032	-0.5	-1.0	1.3	-0.2	1.1	4.1	-23	-30	
	c	7%	34%	7%	2%	-1%	-5%	0%	2%	-22%	-27%	-5%	-10%	5%	-1%	2%	11%	-3%	-4%	
	d	4%	6%	1%	0%	0%	-1%	0%	0%	-7%	-6%	-1%	-2%	3%	0%	1%	3%	-3%	-4%	

Tab. G-1: Fortsetzung

Element Jahre / Tiefe (cm)	Cd			Co			Cr			Cu			Hg			Ni			Pb			Zn			F		
	5/5	5/20	10/20	5/5	5/20	10/20	5/5	5/20	10/20	5/5	5/20	10/20	5/5	5/20	10/20	5/5	5/20	10/20	5/5	5/20	10/20	5/5	5/20	10/20	5/5	5/20	10/20
Nr	RW = 0.8 mg/kg			RW = 25 mg/kg			RW = 50 mg/kg			RW = 40 mg/kg			RW = 0.5 mg/kg			RW = 50 mg/kg			RW = 50 mg/kg			RW = 150 mg/kg			RW = 700 mg/kg		
101	a	0.502		6.81			18.0			469.2			0.310			29.6			22.4			99.9			981		
	b	0.002		-0.04			-0.6			36.9			-0.025			-0.6			-0.3			4.7			6		
	c	1%		-1%			-3%			8%			-9%			-2%			-1%			5%			1%		
	d	0%		0%			-1%			92%			-5%			-1%			-1%			3%			1%		
102	a	0.163		6.25			18.9			34.8			0.020			33.6			10.8			47.4			574		
	b	0.014		-0.22			2.1			0.0			0.001			1.3			0.2			3.1			7		
	c	8%		-4%			10%			0%			2%			4%			1%			7%			1%		
	d	2%		-1%			4%			0%			0%			3%			0%			2%			1%		

* Dritterhebung nach 12 Jahren

Anhang H · FIGUREN ZU DEN KONZENTRATIONSVERÄNDERUNGEN

Legende

- ◇ Mittelwert der Bodentiefe 0 - 5 cm nach 5 Jahren ○ Mittelwert der Bodentiefe 0 - 20 cm nach 5 Jahren
 □ Mittelwert der Bodentiefe 0 - 20 cm nach 10 Jahren ■◆ Signifikante Veränderung (Irrtumswahrscheinlichkeit = 2.9%)
 Veränderungen über ± 20 % sind bei 20 % eingezeichnet
 - - - - Relevanzgrenze (± 5% vom Richtwert)
 Richtwert (RW) in mg/kg: Pb=50, Cd=0.8, Zn=150, Hg=0.5, Cu=40, Ni=50, Cr=75, Co=25, F=700

