

**KABO AG**

Bodenbeobachtungsnetz des Kantons Aargau



**Mehrfachbeprobungen 2002**

Untersuchung der Streuungen und zeitlichen  
Veränderungen der Schadstoffgehalte im Boden  
sowie Evaluation der Beprobungsmethoden

Mai 2003



**Baudepartement  
Abteilung für Umwelt**

# **KABO AG**

Bodenbeobachtungsnetz des Kantons Aargau

Mehrfachbeprobungen 2002:

Untersuchung der Streuungen und zeitlichen  
Veränderungen der Schadstoffgehalte im  
Boden sowie Evaluation der Beprobungs-  
methoden

Mai 2003

## Impressum

**Herausgeber/Auftraggeber** Baudepartement des Kantons Aargau  
Abteilung für Umwelt  
Entfelderstrasse 22  
5001 Aarau

**Projektleitung** Thomas Muntwyler  
Abteilung für Umwelt

**Koordination, Beprobung und Analytik**  
AgroLab Swiss GmbH  
Labor für Landwirtschaft und Umwelt  
Oberfeld 3  
6037 Root  
Mijo Jozic

**Auswertung und Bericht** Basler & Hofmann  
Ingenieure und Planer AG  
Forchstrasse 395  
CH-8029 Zürich  
Dr. Hans Pfister

**Bezugsquelle** Baudepartement des Kantons Aargau  
Abteilung für Umwelt  
Entfelderstrasse 22  
5001 Aarau

Tel.: 062 835 33 60  
Fax: 062 835 33 69  
e-mail: [umwelt.aargau@ag.ch](mailto:umwelt.aargau@ag.ch)  
internet: [www.ag.ch/umwelt](http://www.ag.ch/umwelt)

**Foto Titelbild** Abteilung für Umwelt



Inhalt	Seite
<b>Zusammenfassung</b>	<b>1</b>
<b>1. Problemstellung und Ziele</b>	<b>3</b>
<b>2. Vorgehen, Methoden und Beurteilungsgrundlagen</b>	<b>3</b>
2.1. <u>Übersicht über Ursachen von Messungenauigkeiten</u>	3
2.2. <u>Auswahl der Standorte</u>	4
2.3. <u>Beprobung und Analytik</u>	6
2.3.1 <u>Ausgangslage: bisherige KABO-Beprobungsmethode</u>	6
2.3.2 <u>Beprobungsplan für die Mehrfachbeprobungen 2002</u>	7
2.3.3 <u>Aufbereitung der Bodenproben</u>	9
2.3.4 <u>Extraktion der Bodenproben und Analytik</u>	9
2.4. <u>Konzept der statistischen Auswertung</u>	9
2.4.1 <u>Vorgehen, Methoden und Begriffe</u>	9
2.4.2 <u>Übersicht über die Varianzkomponenten und Datensätze</u>	13
2.4.3 <u>Zusammenfassende Übersicht über die verwendeten statistischen Methoden und Verfahren</u>	15
<b>3. Ergebnisse</b>	<b>16</b>
3.1. <u>Beschreibende Statistik</u>	16
3.1.1 <u>Statistische Kennwerte und Normalverteilung der Messwerte</u>	16
3.1.2 <u>Häufigkeitsverteilungen</u>	16
3.1.3 <u>Gekerbte Box-Plots</u>	17
3.2. <u>Varianzanalysen (Anova)</u>	17
3.2.1 <u>Kleinräumige Variabilität: Datensatz Teilflächen 2, 3, 4</u>	17
3.2.2 <u>Beprobungszeitpunkt: Datensatz Proben 2.1, 2.2</u>	20
3.2.3 <u>Gesamtstreuung: Datensatz Proben 2.1, 2.2, 3, 4</u>	21
3.2.4 <u>Schlussfolgerung bezüglich Dreifach- oder Vierfachbeprobung</u>	22
3.3. <u>Merkmale, Eigenschaften und Ursachen der Streuungen</u>	22
3.3.1 <u>Elementspezifische Streuungen</u>	22
3.3.2 <u>Abhängigkeit der Streuung von der Konzentrationshöhe</u>	23
3.3.3 <u>Abhängigkeit der Streuung von der Nutzung</u>	23
3.3.4 <u>Beziehung zwischen Schwermetallgehalten und Boden Kennwerten</u>	23
3.4. <u>Beurteilung der Streuung der 36 KABO-Standorte</u>	24



<b><u>4. Beurteilung der Konzentrationsänderungen zwischen 1996/97 und 2002</u></b>	<b>25</b>
4.1. <u>Beurteilung anhand der Konfidenzintervalle</u>	25
4.2. <u>Beurteilung anhand der Spannweiten</u>	25
4.3. <u>Beurteilung der Veränderung der Messwerte nach fünf Jahren</u>	26
<b><u>5. Schlussfolgerungen und Methodenevaluation</u></b>	<b>27</b>
5.1. <u>Beurteilung der KABO-Beprobungsmethodik</u>	27
5.2. <u>Empfehlung für die nächste Hauptuntersuchung</u>	27
5.3. <u>Beprobungsrhythmus und weiteres Vorgehen</u>	28
<b><u>6. Literatur</u></b>	<b>29</b>

## **Anhang**

Verzeichnis siehe hinten



## Zusammenfassung

### Problemstellung

Die erste und zweite Hauptuntersuchung des KABO AG (1991/92 und 1996/97) basieren auf Messergebnissen von Einfachbeprobungen. Pro Beprobungsstandort wurde eine Mischprobe entnommen, daraus ein Extrakt hergestellt und davon die Schadstoffkonzentration bestimmt. Zur Beurteilung der Änderungen von Schadstoffgehalten nach fünf Jahren wurden mögliche Streuungen von Messwerten aufgrund von ausgewählten Wiederholungsmessungen und aufgrund von Literaturangaben hergeleitet. Als Grundlage für die weiteren Hauptuntersuchungen und als Qualitätskontrolle hat das Amt für Umwelt des Baudepartementes des Kantons Aargau Mehrfachbeprobungen mit Wiederholungsmessungen veranlasst. Es soll geprüft werden, ob und welche Komponenten einen signifikanten Einfluss auf die Streuung der Messwerte haben, ob diese Streuungen relevant sind, wie sich diese Streuungen auf die Beurteilung der Konzentrationsänderungen zwischen 1996/97 und 2002 auswirken und ob allenfalls die Beprobungsmethode des KABO angepasst werden muss.

### Vorgehen

An zehn KABO-Standorten wurden die je 25 Rasterflächen gemäss bisherigen KABO-Grundlagen weiter in vier Teilflächen unterteilt. Für die Abklärung der Mehrfachbeprobungen 2002 wurden drei Teilflächen eines Standorts beprobt, davon wiederholt eine Teilfläche nach ca. 14 Tagen. Pro Standort ergab dies somit vier Mischproben. Pro Mischprobe wurden drei Extrakte hergestellt und von jedem Extrakt wurden die Totalgehalte gemäss VBBo von Blei, Cadmium und Zink mit dreifacher Wiederholung bestimmt.

Mit Hilfe von Varianzanalysen wurden die Streuungskomponenten "Kleinräumige Variabilität", „Extrakte“ und „Analysen“ (Messungenaugigkeit) auf Signifikanz und Relevanz beurteilt.

### Ergebnisse

Der grösste Anteil der Streuungen, die die Relevanzgrenze von 5% der Richtwerte überschreiten, ist auf die kleinräumige Variabilität innerhalb der Standorte zurückzuführen: Bei fünf der zehn untersuchten Standorte weisen ein oder zwei Elemente Streuungen von mehr als 5% des entsprechenden Richtwertes auf. Bei zwei Standorten treten Extraktstreuungen, die grösser als 5% sind, auf. Bezüglich Analysenstreuung (Messungenaugigkeit) überschreitet ein Element bei einem Standort die 5%-Relevanzgrenze.

Beim Zink wurden keine Streuungen über der Relevanzgrenze festgestellt. Beim Blei und beim Cadmium kommen an einigen, meist unterschiedlichen Standorten Streuungen über der Relevanzgrenze vor. Die drei Elemente weisen somit bezüglich Streuung ein unterschiedliches Verhalten auf.

Beim vorliegenden Spektrum an Schadstoffgehalten gibt es kaum bzw. nur eine schwache Beziehung zwischen der Höhe der Schwermetallgehalte und den Streuungen.



Die Hypothese, wonach zwei in der gleichen Teilfläche, nach kurzer Zeitdistanz entnommene Proben identische Messergebnisse liefern, hat sich nicht bestätigt. Es gibt an den meisten Standorten signifikante Unterschiede, aber nur an vier Standorten ist für je ein Element diese Abweichung relevant, d.h. grösser als 5% des Richtwertes. Im Mittel verursachte die Wiederbeprobung eine Streuung von ca. 2-3% des Richtwertes.

Zwischen Landwirtschafts- und Waldstandorten wurde kein Unterschied hinsichtlich Streuungen der Schadstoffgehalte und Bodenkennwerte festgestellt.

#### Schlussfolgerungen

Für die Beurteilung von zeitlichen Konzentrationsveränderungen (Dauerbeobachtung) ist die Bestimmung der standortsspezifischen kleinräumigen Variabilität unerlässlich. Sie ist mit einer Mehrfachbeprobung zu eruieren. Die Ergebnisse der Mehrfachbeprobungen 2002 zeigen, dass die Aussagekraft mit der Vierfachbeprobung gegenüber der Dreifachbeprobung erhöht werden kann.

Die Messwerte der Mehrfachbeprobungen und Wiederholungsmessungen 2002 werden mit jenen der zweiten Hauptuntersuchung 1996/97 verglichen. Diese unterscheiden sich an einigen Standorten signifikant und relevant von jenen der zweiten Hauptuntersuchung 1996/97. Besonders Cadmium hat während dieser Zeitspanne bei fünf Standorten signifikant und relevant im Sinne des 5%-Kriteriums zugenommen. Allerdings gilt diese Aussage unter dem Vorbehalt, dass keine Parallelanalytik durchgeführt wurde. Um diese Feststellung weiter zu erhärten, sollten die Schadstoffgehalte von 1996/97 auch unter Bedingungen der Parallelanalytik mit den Schadstoffgehalten von 2002 verglichen werden.

Der Beprobungsrhythmus von fünf Jahren sollte zumindest für die zehn ausgewählten Standorte der Untersuchung von 2002 beibehalten werden. Allenfalls kann der Rhythmus zugunsten der Beprobung von 38 oder 75 Standorten auf zehn Jahre ausgedehnt werden.



## 1. Problemstellung und Ziele

Problemstellung	<p>Bund und Kantone erheben in regelmässigen Abständen die Schadstoffgehalte und Bodenkennwerte im Boden, um so den Gesundheitszustand der Böden beurteilen und Veränderungen der Schadstoffgehalte frühzeitig erkennen zu können. Für die richtige und aussagekräftige Interpretation der Analysenresultate kommt dabei der Qualitätskontrolle von Probenahme und Analyse eine wesentliche Bedeutung zu.</p>
Ziel der Untersuchung	<p>Die erste (Jahr 1991/92) und zweite (Jahr 1996/97) Hauptuntersuchung des KABO AG basieren auf Einfachbeprobungen. Pro Standort wurden rasterförmig je 25 Bohrkerne entnommen und zu einer Mischprobe vereinigt. Zur Beurteilung der Änderungen von Schadstoffkonzentrationen nach fünf Jahren wurden mögliche Streuungen von Messwerten aufgrund der Ergebnisse von Wiederholungsmessungen (ITÖ 2001) und aufgrund von Literaturangaben hergeleitet. Gemäss Fachbericht KABO AG (2001) sind als Grundlage für die weiteren Hauptuntersuchungen die relevanten Streuungskomponenten, insbesondere die kleinräumige Variabilität pro Beprobungsstandort, zu eruieren. Durch Mehrfachbeprobungen und Wiederholungsmessungen an repräsentativen Standorten soll</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• die Streuung der Messwerte bezüglich kleinräumiger Variabilität pro Standort, Extraktion und Analyse beurteilt, sowie</li><li>• die Streuung quantifiziert und in Bezug zu den Richtwerten gesetzt werden.</li></ul> <p>Die Veränderungen der Schadstoffkonzentrationen zwischen der zweiten Hauptuntersuchung 1996/97 und der Mehrfachbeprobungen und Wiederholungsmessungen 2002 sollen auf Basis dieser Untersuchung für ausgewählte Standorte beurteilt und allfällige Konsequenzen für die Beprobungsmethodik des KABO erörtert werden.</p>
Auftrag	<p>Die Arbeitsgemeinschaft AgroLab Swiss / Basler &amp; Hofmann wurde vom Baudepartement des Kantons Aargau, Abteilung für Umwelt, mit der Untersuchung beauftragt. Das Koreferat wurde von Dr. A. Keller (ITÖ) durchgeführt</p>

## 2. Vorgehen, Methoden und Beurteilungsgrundlagen

### 2.1. Übersicht über Ursachen von Messungenauigkeiten

Die Qualität der Analysenresultate hängt von verschiedenen Arbeitsschritten und Einflussgrössen ab. Die Messfehler werden den beiden Arbeitsschritten Probengewinnung und Analytik zugeordnet (BUWAL 2000).





Probengewinnung	<p>Zu den Probengewinnungsfehlern werden Fehler bei der eigentlichen Feldbeprobung (Probennahmefehler) und bei der Probenvorbereitung (zum Beispiel beim Trocknen, Zerkleinern und Sieben) sowie die Streuungsanteile, die auf die kleinräumige Variabilität zurückzuführen sind, gerechnet.</p>
Analytik	<p>Die Analytikfehler bestehen aus Abweichungen, die bei der Probenaufbereitung, zum Beispiel bei Einwaage, Extraktion und bei der Messung (Analyse), zum Beispiel bei Verdünnung und Eichung entstehen (BUWAL 2000).</p>
Probenheterogenität	<p>Die Fehler, die auf die Probenheterogenität zurückzuführen sind, werden je nach Versuchsanordnung den Probengewinnungsfehlern oder den Analytikfehlern zugeordnet. Folgende Ursachen können allein oder in ihrem Zusammenwirken zur Heterogenität der Proben beitragen:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Partikuläre Formen der Schadstoffe</li><li>- Wechselnde Schwermetall-Bindungsverhältnisse</li><li>- Komplexe Bodenmatrix (mineralische und organische Stoffzusammensetzung)</li><li>- VBBö-Probenaufbereitungs- und Extraktionsvorgaben: Die Proben werden mit Backenbrecher zerkleinert und auf &lt;2 mm gesiebt. Mit der Salpetersäure-Extraktion werden zudem nicht die - zum Beispiel in der Geochemie üblichen - Gesamtgehalte (effektive Totalgehalte), sondern nur „Pseudo-Totalgehalte“ erfasst (BUWAL 2000).</li></ul>
Streuungskomponenten der Mehrfachbeprobungen 2002	<p>In den Mehrfachbeprobungen und Wiederholungsmessungen 2002 wurden die kleinräumige Variabilität, die Extrakt- und die Analysenstreuung (Messungengenauigkeit) an zehn Standorten des KABO Aargau untersucht.</p>
Auswahlkriterien	<p><b>2.2. Auswahl der Standorte</b></p> <p>Mit der Auswahl von zehn zu beprobenden und zu analysierenden Standorten sollen die wichtigsten naturräumlichen Standortbedingungen und Hauptnutzungen (Landwirtschaft und Wald) des Kantons Aargau repräsentiert werden. Um ein möglichst breites Spektrum der Streuungen zu erfassen, sollen sowohl Standorte mit vermuteten hohen als auch geringen Streuungen untersucht werden. Da durch die KABO-Untersuchungen Schadstoffveränderungen in einem möglichst frühen Stadium zu erfassen sind, werden nicht nur Standorte mit höheren Schadstoffgehalten, sondern auch solche mit geringen Konzentrationen ausgewählt.</p>
Standorte der zweiten Hauptuntersuchung	<p>Für die Mehrfachbeprobungen und Wiederholungsmessungen 2002 wurden grundsätzlich nur KABO-Standorte berücksichtigt, die im Rahmen der zweiten Hauptuntersuchung (38 Standorte) analysiert wurden. Die Ergebnisse der Mehrfachbeprobungen und Wiederholungsmessungen 2002 können somit auch mit den Ergebnissen dieser zweiten Hauptuntersuchung verglichen werden.</p> <p>Die beiden Standorte 234mu (Forstpflanzgarten) und 124ab (organischer Boden) wurden bezüglich ihrer Bewirtschaftung (Hilfsstoffeinsatz im Wald) beziehungs-</p>



weise ihrer bodenkundlichen Eigenschaften in der zweiten Hauptuntersuchung als Spezialstandorte beurteilt. Sie wurden deshalb für die Mehrfachbeprobungen und Wiederholungsmessungen 2002 ausgeschlossen. Der Landwirtschaftsstandort 159st, bei dem früher Abfalldünger von schlechter Qualität eingesetzt wurde, eignet sich wegen der nachgewiesenen sehr hohen Streuung nicht für eine Dauerbeobachtung und kommt deshalb auch für die Mehrfachbeprobung und Wiederholungsmessung 2002 nicht in Frage.

Die verbleibenden 35 KABO-Standorte werden aufgrund der standortspezifischen Ergebnisse der zweiten Hauptuntersuchung (KABO AG 2001) und der naturräumlichen Standortfaktoren in zwei Gruppen unterteilt (Tabelle 1):

Gruppe 1: Standorte mit vermutlich kleinen Streuungen

Gruppe 2: Standorte mit vermutlich hohen Streuungen.

Die ausführlichen Standorts- und Nutzungsbeschreibungen der einzelnen Standortgruppen finden sich in KABO AG (2001).

Nutzung	Standortgruppen	Geologisches Ausgangsmaterial	KABO-Standorte: zweite Hauptuntersuchung	Streuung der Standorte	
				Gruppe 1: Vermutlich geringe Streuung	Gruppe 2: Vermutlich hohe Streuung
Landwirtschaft (n=21)	La 1 (n=7)	Kalkgesteine (Jura)	100ob, 101he, 122ku, 155el, 156bo, 157sc, 158me	100ob, <b>101he</b> , 156bo, 158me,	122ku, 155el, 157sc
	La 2 (n=7)	Alluvionen (Schwemmlerhne)	104me, 105me, 150sa, 151go, 154ro, 159st, 160un	<b>104me</b> , 105me, 150sa, 151go, 154ro	159st, <b>160un</b>
	La 3 (n=7)	Schotter, Moränen, Molasse	103un, 106ue, 120vo, 121gr, 123bi, 152sc, 153su	103un, 106ue, 120vo, 121gr, 152sc, <b>153su</b>	123bi
Wald (n=15)	Wa 1 (n=4)	Kalkgesteine (Jura)	221wi, 222ob, 224el, 226vi	221wi, <b>226vi</b> ,	222ob, <b>224el</b>
	Wa 2 (n=11)	Schotter, Moränen, Molasse, Hangschutt-/lehm (sauer)	237eg, 239ob, 240zo, 257ru, 263mo, 255zu, 258ge, 259tull, 268su, 269le, 273of	<b>230ob</b> <sup>1)</sup> , 239ob, 240zo, 257ru, <b>263mo</b> , 268su	255zu, 258ge, 259tull, 273of, <b>237eg, 269le</b>

Tabelle 1: 36 KABO-Standorte der zweiten Hauptuntersuchung; 124ab (Halbmoor) und 234mu (Forst-Pflanzgarten) wurden nicht aufgeführt fettgedruckte Standorte: für die Mehrfachbeprobung 2002 ausgewählt <sup>1)</sup> Der Standort 230ob wurde in der zweiten Hauptuntersuchung nicht analysiert. n = Anzahl Standorte

Zuordnung zur Gruppe 2

Bei einigen KABO-Standorten wurden bei der zweiten Hauptuntersuchung Konzentrationsänderungen von Schwermetallgehalten festgestellt, die nicht erklärt werden konnten. Es wurde vermutet, dass die Gründe dafür - zum Teil auch aufgrund von deutlichen Veränderungen der Bodenkennwerte - in heterogenen Proben und in der kleinräumigen Variabilität der Beprobungsflächen liegt. Von den Landwirtschaftsstandorten wurden sechs Standorte, darunter auch die beiden



Dauergrünland-Standorte 122ku und 155el sowie der Rebberg 157sc dieser Gruppe 2 zugeordnet. Bei fünf der acht Waldstandorten (222ob, 255zu, 258ge, 259tull, 273of) der Gruppe 2 beträgt die Hangneigung 20 oder mehr %. Bei diesen Neigungen wird eine erhöhte kleinräumige Variabilität vermutet.

#### Ausgewählte Standorte

Für die Untersuchung wurden vier Landwirtschafts- und sechs Waldstandorte ausgewählt. Bei den Landwirtschaftsstandorten handelt es sich um Ackerstandorte (offenes Ackerland oder Kunstwiese). Es wurde vermutet, dass die Landwirtschaftsstandorte, besonders die ackerbaulich genutzten, geringere Streuungen der Schadstoffgehalte aufweisen würden als die Waldstandorte.

Der Standort Obersiggenthal (230ob) wurde anstelle des ursprünglich vorgesehenen Standortes Zurzach (255zu), der stark durch den Lothar-Sturm beeinträchtigt wurde, gewählt. Dieser Standort 230ob wurde in der zweiten Hauptuntersuchung nicht beprobt und analysiert. Gemäss Angaben der ersten Hauptuntersuchung (KABO AG 1994) handelt es sich beim Boden dieses Standortes um eine Parabraunerde, die sich auf Rissmoräne gebildet hat. In 0 - 20 cm wurde 1991/92 ein pH-Wert ( $\text{CaCl}_2$ ) von 4.9 gemessen. Als Waldstandort ist er der Standortgruppe Wa 2 zuzuordnen. Seine kleinräumige Variabilität dürfte aufgrund der naturräumlichen Eigenschaften als gering einzustufen sein.

### 2.3. Beprobung und Analytik

Die Probenahme erfolgt auf 100 m<sup>2</sup> (10 x 10 m) grossen, quadratischen Beprobungsflächen. Diese sind in 25 Rasterflächen aufgeteilt (Abbildung 1).

#### 2.3.1 Ausgangslage: bisherige KABO-Beprobungsmethode

#### Einfachbeprobung

Das Handbuch "Qualitativer Bodenschutz im Kanton Aargau, Kantonales Bodenbeobachtungsnetz" (KABO AG 1997) regelt u.a. die Probenahme. Bei den bisherigen beiden Hauptuntersuchungen wurde pro Standort eine Mischprobe aus 25 Einstichen (pro Rasterfläche ein Einstich) entnommen. Die Einstiche werden jeweils in der oberen rechten Ecke der Teilflächen ausgeführt. Bei der ersten Hauptuntersuchung 1991/92 wurden die Einstiche auf Teilfläche 1 (TF 1), bei der zweiten Hauptuntersuchung 1996/97 auf TF 2 vorgenommen. Die Teilfläche TF 3 ist entsprechend für die dritte Hauptuntersuchung vorgesehen. Bei den einzelnen Hauptuntersuchungen werden daher Messwerte von Proben verschiedener Teilflächen des gleichen Standorts miteinander verglichen. Die durchschnittliche Distanz zwischen den einzelnen Einstichen beträgt somit 1 m beziehungsweise 1.4 m (Diagonale).



Beprobungsfläche

TF 2	TF 3	TF 2	TF 3	TF 2	TF 3	TF 2	TF 3	TF 2	TF 3
TF 1	TF 4	TF 1	TF 4	TF 1	TF 4	TF 1	TF 4	TF 1	TF 4
TF 2	TF 3	TF 2	TF 3	TF 2	TF 3	TF 2	TF 3	TF 2	TF 3
TF 1	TF 4	TF 1	TF 4	TF 1	TF 4	TF 1	TF 4	TF 1	TF 4
TF 2	TF 3	TF 2	TF 3	TF 2	TF 3	TF 2	TF 3	TF 2	TF 3
TF 1	TF 4	TF 1	TF 4	TF 1	TF 4	TF 1	TF 4	TF 1	TF 4
TF 2	TF 3	TF 2	TF 3	TF 2	TF 3	TF 2	TF 3	TF 2	TF 3
TF 1	TF 4	TF 1	TF 4	TF 1	TF 4	TF 1	TF 4	TF 1	TF 4
TF 2	TF 3	TF 2	TF 3	TF 2	TF 3	TF 2	TF 3	TF 2	TF 3
TF 1	TF 4	TF 1	TF 4	TF 1	TF 4	TF 1	TF 4	TF 1	TF 4
TF 2	TF 3	TF 2	TF 3	TF 2	TF 3	TF 2	TF 3	TF 2	TF 3
TF 1	TF 4	TF 1	TF 4	TF 1	TF 4	TF 1	TF 4	TF 1	TF 4

Abbildung 1: Beprobungsfläche eines KABO-Standortes mit 25 Rasterflächen;  
 pro Rasterfläche: 4 Teilflächen (TF);  
 fett (TF 2, 3 und 4): Teilflächen für die Mehrfachbeprobungen 2002

### 2.3.2 Beprobungsplan für die Mehrfachbeprobungen 2002

Mehrfachbeprobungen

Die Beprobung für die Methodenevaluation erfolgt auf der Basis der oben beschriebenen Einteilung der Beprobungsfläche in 25 Rasterflächen und in je vier Teilflächen. In einem ersten Beprobungsdurchgang wurde je eine Mischprobe aus 25 Einstichen von 0 - 20 cm Tiefe aus der Teilfläche TF2 (Probe 2.1), TF3 (Probe 3) und TF4 (Probe 4) entnommen. Damit soll in erster Linie die kleinräumige Variabilität pro Stichprobe auf einem Standort untersucht werden.

Definition "Kleinräumige Variabilität"

Der Begriff „kleinräumige Variabilität“ wird im folgenden als die Streuung der Messwerte von mehreren Mischproben aus je 25 Einzeleinstichen pro Standort verstanden und nicht als die Streuung von Messwerten von Einzeleinstichen pro Standort.

Beprobungszeitpunkt

Nach etwa 14 Tagen wurden die 10 Beprobungsflächen ein zweites Mal eingemessen und die Teilfläche 2 ein zweites Mal unter sonst gleichen Bedingungen (Vorgehen, Personal, Gerät) beprobt (Probe 2.2). Damit soll getestet werden, ob Messergebnisse von Proben, die auf denselben Teilflächen, aber zu einem späteren Zeitpunkt (ca. 14 Tage später) entnommen wurden, identisch sind mit jenen der vorangehenden Beprobung. In Tabelle 2 ist das Beprobungsschema für die Methodenevaluation dargestellt.



Teilfläche	Probe	Extrakt	Messung (Analyse) Pb, Cd, Zn
2	2.1	A	a
			b
			c
		B	a
			b
			c
	C	a	
		b	
		c	
2.2	A	a	
		b	
		c	
	B	a	
		b	
		c	
	C	a	
		b	
		c	
3	3	A	a
			b
			c
		B	a
			b
			c
	C	a	
		b	
		c	
4	4	A	a
			b
			c
		B	a
			b
			c
	C	a	
		b	
		c	

Tabelle 2: Beprobungs- und Analysenplan pro Standort für die drei Schwermetalle Blei (Pb) Cadmium (Cd) und Zink (Zn); Totalgehalte gemäss VBo 1998

Teilfläche	Probe	Messung (Analyse)
2	2.1	Corg, Tongehalt, KAK <sub>eff</sub> , ph(CaCl <sub>2</sub> )-Wert, Kalk (teilweise)
	2.2	"
3	3	"
4	4	"

Tabelle 3: Beprobungs- und Analysenplan pro Standort für die Bodenkennwerte



### 2.3.3 Aufbereitung der Bodenproben

Die Aufbereitung der Bodenproben erfolgt gemäss Handbuch KABO AG (1997) und VBBo (1998).

### 2.3.4 Extraktion der Bodenproben und Analytik

In Anhang G sind in einem Kurzbeschrieb die Analytik-Methoden für die Schwermetalle und für die Bodenkennwerte dargestellt.

#### **Schwermetalle**

Extrakte, Parameter und Analyse

Pro Mischprobe wurden drei Aufschlüsse (Extrakte A, B und C) erstellt. Von den drei Schwermetallen Blei (Pb tot), Cadmium (Cd tot) und Zink (Zn tot) wurden die Totalgehalte nach VBBo (2M HNO<sub>3</sub>-extrahierbare Gehalte) bestimmt. Diese drei Elemente wurden bei den bisherigen beiden Hauptuntersuchungen bei allen Standorten analysiert. Pro Extrakt wurden drei Bestimmungen (Analysen a, b, und c) durchgeführt. Alle 36 Analysenbestimmungen eines Standortes (vier Proben, drei Extrakte, drei Messungen) wurden am gleichen Tag und im gleichen Run durchgeführt. Damit kann ein Einfluss der Messzeit auf die Messwerte weitgehend ausgeschlossen werden.

#### **Bodenkennwerte**

Um die Ursachen allfälliger Variabilitäten der Schadstoffgehalte zu eruieren, werden zusätzlich zu den Schadstoffen auch Bodenkennwerte gemessen. Pro Probe (4 Mischproben pro Standort) wurde der Humusgehalt, der Tongehalt (Körnung), die Kationenaustauschkapazität (KAKeff), der pH(CaCl<sub>2</sub>)-Wert und bei den Kalkböden der Kalkgehalt bestimmt.

#### **Analytik**

Labor

Die Analytik erfolgte durch das Labor AgroLab Swiss GmbH. Angaben zur Qualität (Präzision, Wiederholbarkeit, laborexterne Vergleichbarkeit) finden sich in KABO AG 2001 und in den Ergebnissen der NABO-Ringversuche (FAL 2001).

## 2.4. Konzept der statistischen Auswertung

### 2.4.1 Vorgehen, Methoden und Begriffe

Grundlage: ITÖ 2000

Das Konzept der statistischen Auswertung basiert hauptsächlich auf dem Vorgehen, das für die Auswertung der Wiederholungsmessungen 1999 angewendet wurde (ITÖ 2000, Dr. A. Keller).

Software

Die Auswertungen erfolgten mit dem Statistikpaket SYSTAT 10.0 (SYSTAT, 2000). Für Zwischenauswertungen und für Darstellungen wurde teilweise auf das Excel-Programm zurückgegriffen.

Datenkontrolle

Die übermittelten Daten der Mehrfachbeprobungen und Wiederholungsmessungen 2002 wurden zunächst einer Fehlerkontrolle unterzogen. Der Datensatz wurde



hinsichtlich möglicher Übertragungsfehler, Eindeutigkeit und Vollständigkeit überprüft.

Beschreibende Statistik	Die Charakteristik der Schwermetalldaten wurde mittels Minimum, Maximum, Mittelwert, Median, Varianz, Standardabweichung, Variationskoeffizient und Schiefe beschrieben.
Häufigkeitsverteilung	Mit Histogrammen wird die Häufigkeitsverteilung der drei Schwermetalle dargestellt. Damit können mögliche Extremwerte identifiziert und die Verteilung kann auf ihre uni- oder multivariate Struktur hin geprüft werden. Die Höhe der Stufe (Abszisse) entspricht der Häufigkeit der Werte einer Klasse.
Box-Plots	Die Höhe und Verteilung der Schwermetallkonzentrationen der vier Proben pro Standort wurde mittels Box-and-Whiskers Plots (auch Box-Plots genannt) dargestellt. Bei den Box-Plots umschließt die Box - ausgehend vom Median, der mit Strich markiert ist - die mittleren 50% der Werte. Ober- und unterhalb der Box wird der am weitesten vom Median entfernte Wert, der um weniger als die 1.5-fache Boxhöhe ausserhalb der Box ist, durch eine Linie mit der Box verbunden. Noch weiter vom Median entfernte, aber weniger als die 3-fache Boxhöhe von der Box entfernte Werte werden als schwache "Ausreisser" mit einem Stern und weiter als die 3-fache Boxhöhe entfernte Werte als starke "Ausreisser" mit einem Kreis dargestellt.
Gekerbte Box-Plots	Mit gekerbten Box-Plots kann grafisch festgehalten werden, welche Paare sich mit dem entsprechenden Test signifikant unterscheiden. Bei diesen gekerbten Box-Plots gilt annäherungsweise die Regel, dass, wenn sich die Kerbenbereiche von zwei Kisten nicht überschneiden, der Unterschied statistisch signifikant ist. Als Beispiel sei auf die gekerbten Box-Plots des Bleis in Anhang A4a, Standort 104Me verwiesen. Mit Ausnahme des Proben-Paares 2.2 und 4 unterscheiden sich alle anderen Proben signifikant voneinander.
Varianzanalysen (Analysis of Variance: ANOVA)	Mit Varianzanalysen wurde untersucht, ob zwischen den Subgruppen (d.h. Faktoren: Teilflächen, Proben, Extrakte, Analyse) signifikante Unterschiede bestehen, bzw. welcher Streuungsanteil auf die kleinräumige Variabilität zurückzuführen ist.
Einweg-Varianzanalyse	Der Einfluss der Teilflächen auf die Streuung der Messresultate wurde mit folgender Einweg-Varianzanalyse getestet: $Z_{ij} = \mu + \text{Teilfläche}_i + \varepsilon_{ij}$ $Z_{ij}$ repräsentiert die Schwermetallkonzentration der Messung $j=1..9$ in der $i$ -ten ( $i=1..3$ ) Teilfläche, $\text{Teilfläche}_i$ die Abweichung vom Gesamtmittel $\mu$ auf der Teilfläche und $\varepsilon_{ij}$ gibt den Fehlerterm (Residuen) an. Eine Voraussetzung der ANOVA ist, dass die Residuen annähernd normalverteilt sind mit Erwartungswert 0 und Varianz $\sigma^2$ . Diese Varianz wird mit dem mittleren Quadrat des Fehlerterms (mean square of residuals - MSR) geschätzt, d.h. mit dem Streuungsanteil, welcher



durch das Modell nicht erklärt wird. Die Berechnung der statistischen Testgrößen der univariaten ANOVA ist in Tabelle 4 zusammengefasst. Eine detaillierte Beschreibung der Varianzanalyse findet sich in Stahel (2000).

Quelle der Variation (Faktor)	Freiheitsgrade df	Quadratsumme SS	Mittleres Quadrat MS <sup>1)</sup>	F-Wert	P-Wert
Teilfläche	$n_i - 1$	SSA	MSA	MSA/MSR	F ( $n_i - 1, N - n_i$ )
Residual	$N - n_i$	SSR	MSR		
Total	$N - 1$	SST	MST		

Tabelle 4: Berechnung der Testgrößen in der Einweg-Varianzanalyse, Bsp.: Faktor "Teilfläche"  
 $n_i$ : Anzahl Gruppen des Faktors;  $N$ : Anzahl Proben  
<sup>1)</sup>  $MS = SS / df$

Die statistische Testgröße zum Prüfen der Nullhypothese  $H_0$  - zwischen den Teilflächen unterscheiden sich die Messergebnisse nicht - wird wie folgt berechnet: Die mittlere Quadratsumme der durch den Faktor Teilfläche erklärte Anteil der Streuung der Messwerte (MSA) wird gegen die Residualstreuung (MSR, durch Extrakte und Analyse verursachte Streuung) getestet.

Zweiweg-Varianzanalyse

Um den Anteil mehrerer Faktoren, zum Beispiel "Teilflächen" und "Extrakte", an der Gesamtvarianz zu testen, wurde eine Zweiweg-Varianzanalyse nach folgendem Modell durchgeführt:

$$Z_{ijk} = \mu + \text{Teilfläche}_i + \text{Extrakt}_j + WW_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

wobei hier die gleiche Notation gilt wie in der Einweg-Varianzanalyse,  $\text{Extrakt}_j$  die Abweichung vom Gesamtmittelwert  $\mu$  zum  $j$ -ten Extrakt bedeutet, und  $WW_{ij}$  der Effekt einer Wechselwirkung zwischen den Faktoren Teilfläche und Extrakt angibt. Tabelle 5 zeigt die Berechnung der Testgrößen der 2-Weg Varianzanalyse.

Quelle der Variation (Faktor)	Freiheitsgrade df	Quadratsumme SS	Mittleres Quadrat MS	F-Wert	P-Wert
Teilfläche	$n_i - 1$	SSA	MSA	MSA/MSR	F ( $n_i - 1, n_r$ )
Extrakt	$n_j - 1$	SSB	MSB	MSB/MSR	F ( $n_j - 1, n_r$ )
Ww Teilfläche x Extrakt	$(n_i - 1)(n_j - 1)$	SSAB	MSAB	MSAB/MSR	F( $(n_i - 1)(n_j - 1), n_r$ )
Residual	$n_r$ <sup>2)</sup>	SSR	MSR		
Total	$N - 1$	SST	MST		

Tabelle 5: Berechnung der Testgrößen in der Zweiweg-Varianzanalyse; Bsp: Faktoren "Teilfläche" und "Extrakt" sowie Wechselwirkung (Ww) "Teilfläche x Extrakt"  
 $n_i$ : Anzahl Gruppen des Faktors;  $N$ : Anzahl Proben  
<sup>1)</sup>  $MS = SS / df$   
<sup>2)</sup>  $n_r = N - n_i - n_j - 2 - (n_i - 1)(n_j - 1)$

Bestimmtheitsmass

Der Anteil der Gesamtstreuung der Messwerte, welcher mit dem Modell insgesamt erklärt wird, wird Bestimmtheitsmass ( $R^2$ ) genannt und berechnet sich wie folgt:





$R^2 = 1 - SSR / SST$ . Der Anteil eines Faktors an der Gesamtvarianz der Messwerte kann durch das Verhältnis  $SSA/SST$  ausgedrückt werden.

P-Wert

Der P-Wert ist das Mass für die Vergleichbarkeit von Daten mit der Nullhypothese; er definiert den Signifikanzwert für den F-Test. In dieser Auswertung wird die übliche Notierung für die Signifikanzniveaus benützt: \*\*\* für  $P < 0.001$  (sehr stark signifikant), \*\* für  $P 0.001$  bis  $< 0.01$  (stark signifikant), \* für  $P 0.01$  bis  $< 0.05$  (schwach signifikant) und n.s. (nicht signifikant) für  $P > 0.05$ .

Reststreuungen MSR  
(Mittlere Streuungen der Residuen)

Die Reststreuungen (MSR) beinhalten jenen Streuungsanteil, der nicht auf die untersuchten Faktoren (Varianzkomponenten) und auf deren allfällige Wechselwirkungen zurückzuführen ist.

Bei der Einweg-Varianzanalyse mit dem Faktor Teilfläche umfasst die Reststreuung jenen Streuungsanteil, der durch die Extrakte und durch die Analyse bedingt sind. Bei der Einweg-Varianzanalyse mit dem Faktor Extrakt umfasst die Reststreuung jenen Streuungsanteil, der durch Teilfläche und durch die Analyse bedingt sind. Bei der Zweiweg-Analyse mit den Faktoren Teilfläche bzw. Probe und Extrakte ist die Reststreuung dem Faktor Analyse (Messungenauigkeit) zuzuordnen.

Standardfehler

Der Standardfehler  $SE_i$  eines Faktors (hier also Teilfläche oder Probe) gibt die Variation des Mittelwerts eines Faktors wieder und berechnet sich wie folgt:

$$SE_i = \sqrt{MSR/n_i}$$

wobei  $n_i$  die Anzahl der Messwerte in der Gruppe  $i$  angibt.

Konservative Schätzung der Standardfehler

Die so berechneten Standardfehler gelten für die Mehrfachbeprobungen und Wiederholungsmessungen 2002 mit entsprechend vielen Wiederholungen ( $n$ ). Bei weniger Wiederholungen pro Element und Standort nimmt der Standardfehler nichtlinear zu. Als konservative Schätzung wird der Standardfehler für nur einen Messwert pro Standort und Element berechnet (Voraussetzung: gleiche mittlere Streuung der Residuen (MSR), wie in den Varianzanalysen berechnet). Dieser so berechnete Standardfehler stellt somit ein "worst case" dar. Mit diesem konservativen Standardfehler  $SE (n=1)$  wird das Konfidenzintervall (siehe nächste Marginalie) berechnet. Damit wird der relativ grossen naturräumlichen Variabilität entsprochen und ein Vergleich mit den Messwerten (Einzelwerte) der zweiten Hauptuntersuchung ermöglicht (siehe Kapitel 4).



Konfidenzintervall	<p>Zur Bestimmung der Höhe der einzelnen Streuungskomponenten wird ein 95%-Konfidenzintervall (Vertrauensintervall) konstruiert. Unter der Annahme, dass die Schwermetallkonzentrationen annähernd normalverteilt sind, wurde das 95%-Konfidenzintervall (C.I.95%) für die mittleren Konzentrationen <math>\bar{Z}_i</math> pro Gruppe i wie folgt berechnet:</p> $\text{C.I.}_{.95\%} = \bar{Z}_i \pm 1.96 \times \text{SE}_i.$ <p>Diese Intervalle werden absolut in [mg/kg] und/oder in Relation zum jeweiligen Richtwert [% des RW] angegeben.</p>
Relevanzkriterium	<p>In Anlehnung an das NABO (BUWAL 2000) wird als Relevanzkriterium eine positive oder negative Konzentrationsänderung von mehr als 5% des entsprechenden Richtwertes festgelegt. Die Relevanz setzt zusätzlich Signifikanz voraus.</p>
Korrelationsanalysen	<p>Der Grad des linearen Zusammenhangs sowohl der relativen Streuungen (Variationskoeffizienten) als auch der absoluten Werte der Schwermetalle und der Bodenkennwerte wurde mit Korrelationsanalysen nach Spearman (Rangkorrelation) bestimmt. Bei einem Spearmansche Rangkorrelationskoeffizient (<math>r_s</math>) von</p> <p><math>r_s &lt; 0.4</math> wird kein Zusammenhang, <math>r_s: 0.4 - 0.6</math> schwacher Zusammenhang, <math>r_s: 0.6 - 0.8</math> starker Zusammenhang, <math>r_s &gt; 0.8</math> sehr starker Zusammenhang postuliert.</p>
Regressionsanalysen	<p>Ob die Höhe der Schwermetallgehalte einen Einfluss auf die Höhe der Streuungen hat, wurde mit linearer Regressionsanalyse untersucht.</p>
Spannweite	<p>Die Spannweite ist der Bereich zwischen kleinstem und grösstem Wert eines definierten Datensatzes.</p>
Datensätze	<p><b>2.4.2 Übersicht über die Varianzkomponenten und Datensätze</b></p> <p>Der Datensatz "Teilfläche 2, 3, 4" umfasst die Messwerte der Mischproben 2.1, 3 und 4. Der Datensatz "Proben 2.1, 2.2" beinhaltet die Messwerte der beiden Proben von der gleichen Teilfläche (TF 2), die zu verschiedenen Zeitpunkten entnommen wurden. Im Datensatz "Proben 2.1, 2.2, 3, 4" sind alle Messwerte der vier Mischproben zusammengefasst.</p>



Varianzkomponenten:  
Teilflächen, Extrakt- und  
Analysenstreuung

Die Tabelle 6 zeigt zusammenfassend, dass die Streuung der Varianzkomponente "Teilflächen" des Datensatzes "Teilflächen 2, 3, 4" das Mass für die kleinräumige Variabilität (Definition siehe Kapitel 2.3.2) ergibt, dass die Streuung der Varianzkomponente "Extrakte", die bei allen drei Datensätzen berechnet wurde, vorwiegend auf inhomogene Proben zurückzuführen ist, und dass die Residuen (MSR) der Zweiweg-Varianzanalysen aller drei Datensätze die Streuung, die auf Messungenauigkeiten (Analysenstreuung) zurückzuführen sind, umfasst.

<b>Varianzkomponenten (Datensätze)</b>	<b>Streuung</b>	<b>Streuungsursachen</b>
Teilflächen (Datensatz: Teilflächen 2, 3, 4)	räumlich	kleinräumige Variabilität der Mischproben pro Standort
Proben (Datensatz: Proben 2.1, 2.2)	zeitlich (und räumlich)	- unterschiedliche Zeitpunkte der Probenahme - kleinräumige Variabilität innerhalb Teilflächen (Vermessungsungenauigkeit von max. $\pm 30$ cm)
Proben (Datensatz: Proben 2.1, 2.2, 3, 4)	räumlich (und zeitlich)	primär: kleinräumige Variabilität sekundär: geringfügiger Anteil an zeitlich bedingter Variabilität (Probe 2.2)
Extrakte	Extraktstreuung	inhomogene Proben, Extraktionsvorgänge
Analysen	Analysenstreuung	Messungenauigkeit

Tabelle 6: Übersicht über die Varianzkomponenten, Datensätze und Streuungsursachen

Zusätzliche Komponente:  
Beprobungszeitpunkt

Die Streuung der Varianzkomponente "Proben" des Datensatzes "Proben 2.1, 2.2" umfasst neben den Faktoren Extrakt und Analytik die möglichen Fehlerquellen einer Wiederbeprobung (Vermessung, Probenahme, Personal, Wetterbedingungen, usw.). Probe 2.2 wurde 14 Tage nach der Probe 2.1 entnommen. Die Varianzkomponente "Proben" des Datensatzes "Proben 2.1, 2.2, 3, 4" beinhaltet daher primär die kleinräumige Variabilität und sekundär - mit der Probe 2.2 - auch einen geringen Anteil, der auf die unterschiedliche Zeitpunkte der Beprobung zurückzuführen ist.



### 2.4.3 Zusammenfassende Übersicht über die verwendeten statistischen Methoden und Verfahren

Die Tabelle 7 zeigt, welche Daten/Datensätze mit welchen statistischen Methoden/Verfahren untersucht wurde. Je nach Fragestellung wurden die Schwermetalle oder die Schwermetalle und Bodenkennwerte berücksichtigt.

Statistische Methoden /Verfahren/grafische Darstellungen	Daten/Datensätze	Boden parameter	Bemerkungen	Anhang
<i>Beschreibende Statistik:</i>				
Statistische Kennwerte	Teilflächen 2, 3, 4 Proben 2.1, 2.2, 3, 4	SM/BK		A1, A2
Variationskoeffizient CV	Proben 2.1, 2.2, 3, 4	SM/BK	Mass für Streuung	A3
Häufigkeitsverteilungen, Histogramme	Proben 2.1, 2.2, 3, 4	SM	Verteilung der Messerte	A6, A7
Balkendiagramme	Proben 2.1, 2.2, 3, 4	BK	Probenvergleich	A5
<i>Beurteilung signifikanter und relevanter Unterschiede:</i>				
Gekerbte Box-Plots	Proben 2.1, 2.2, 3, 4	SM	Probenvergleich	A4a, A4b
Varianzanalysen ANOVA	alle 3 Datensätze	SM	Signifikante Unterschiede der Teilflächen	B
Konfidenzintervalle CI	alle 3 Datensätze	SM	Höhe der Streuung (in % RW)	C / Abb.2
<i>Zusammenhänge zwischen einzelnen Parametern:</i>				
Regression (linear)	Proben 2.1, 2.2, 3, 4	SM	Zusammenhang zw. SM-Gehalten und SM-CV	D
Korrelationsanalyse nach Spearman	Absolute Werte: SM: Mittelwerte der 4 Proben; BK: Messwerte der 4 Proben	SM/BK	Mass für Zusammenhang zw. SM/BK	E
	Variationskoeffizienten SM: Mittelwerte der 4 Proben; BK: Messwerte der 4 Proben	SM/BK	Mass für linearen Zusammenhang zw. Streuungen	E
<i>Zeitliche Veränderungen:</i>				
Konfidenzintervalle	Proben 2.1, 2.2, 3, 4 und Messwerte 1996/97	SM		F1
Spannweiten	Proben 2.1, 2.2, 3, 4 und Messwerte 1996/97	SM	Streuungsmass: Spanne zw. grösstem u. kleinstem Wert	F2

Tabelle 7: Zusammenfassende Übersicht über die verwendeten statistischen Methoden, Verfahren und grafischen Darstellungen; SM = Schwermetalle; BK = Bodenkennwerte



## 3. Ergebnisse

### 3.1. Beschreibende Statistik

#### 3.1.1 Statistische Kennwerte und Normalverteilung der Messwerte

Beschreibende Statistik

In Anhang H sind sämtliche Messwerte, nach Standorten gegliedert, aufgeführt. Anhänge A1 und A2 fassen die beschreibende Statistik der Mehrfachbeprobungen und Wiederholungsmessungen 2002, nach den einzelnen Standorten und Elementen bzw. Bodenkennwerten gruppiert, zusammen.

Normalverteilung

Die Varianzanalyse nach ANOVA für die Schwermetalle (Kapitel 3.2) setzt annähernd normalverteilte Messwerte (beziehungsweise normalverteilte Residuen) voraus. Die Zusammenstellung der statistischen Kennwerte der Schwermetalle in Anhang A1 ergibt Hinweise auf die Art der Verteilung der Messwerte bezüglich Normalverteilung. Aufgrund folgender Indizien kann auf eine annähernde Normalverteilung geschlossen werden: Die Median-Werte stimmen gut mit den Mittelwerten überein (maximale Differenz: 6%). Die Schiefe der Messdaten beträgt in der Regel  $< 1$ , mit einem maximalen Wert von 1.13. Auf der Stufe der Proben (siehe Box-Plots in Anhang A4 und Histogramme in Anhang A7) kommen einige schwache und sehr wenige starke Ausreisser vor. Es kann somit von annähernd normalverteilten Daten ausgegangen werden; auf eine Transformation der Messdaten, z.B. durch log-Transformation, wurde deshalb verzichtet.

Variationskoeffizienten

In Anhang A3 sind die relativen Streuungen (Variationskoeffizienten) der Schwermetalle und Bodenkennwerte tabellarisch und grafisch dargestellt. Das Verhältnis von Standardabweichung zu Mittelwert (Variationskoeffizient) liegt für Blei bei einem Standort bei 11%. Für die anderen Standorte liegt der Variationskoeffizient für Blei bei 2-6%, für Cadmium bei 2-5% und für Zink bei 1-4%.

Beim  $\text{pH}(\text{CaCl}_2)$ -Wert beträgt der Variationskoeffizient 0-3%, beim Corg 1-7%, beim Tongehalt 0-5%, bei der KAK 1-9% und beim Kalkgehalt mit einer Ausnahme 2-11% (Ausnahme: Standort 104Me, bei dem die Werte um bis zu 25% um den Mittelwert streuten).

#### 3.1.2 Häufigkeitsverteilungen

In Anhang A6 ist die Häufigkeitsverteilung in Form von Histogrammen der Schwermetalle sämtlicher Standorte dargestellt. Die mehrgipfelige Verteilung weist auf die verschiedenen Standorte hin. Aus den drei Histogrammen geht auch das Spektrum der Schadstoffgehalte hervor. Während die Spanne bei Blei und Cadmium von nicht erhöht (unterhalb des halben Richtwertes) bis schwach belastet (über Richtwert, unterhalb des Prüfwertes) reicht, weist Zink Gehalte von nicht erhöht bis mässig erhöht (80 - 100% des Richtwertes) auf.

In Anhang A7 ist die Verteilung der drei Schwermetalle, nach Standort geordnet, dargestellt. Bei einzelnen Elementen und Standorten weisen die zwei- oder



mehrgipfligen Verteilungen auf die unterschiedlichen Ergebnisse der einzelnen Teilflächen bzw. Proben hin.

### 3.1.3 Gekerbte Box-Plots

Signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Proben

Anhang A4a zeigt mit den gekerbten Box-Plots Höhe und Verteilung der Schwermetallgehalte der einzelnen Proben. Beim Vergleich von einzelnen Schwermetallen verschiedener Standorte ist darauf zu achten, dass die Werteskala standortspezifisch unterteilt ist. Diese Darstellung zeigt, dass die Messwerte der Proben 2.1, 2.2, 3 und 4 - relativ zur Gesamtstreuung der Stichprobe - signifikant voneinander abweichen können. Es sind dies jene Proben, deren Kerbenbereiche sich nicht überschneiden (siehe Kapitel 2.4.1, Randnotiz „Gekerbte Box-Plots“).

Keine gesetzmässigen Probenverteilungen

Dieser Anhang A4a zeigt ebenfalls, dass die Probenverteilungen keiner Gesetzmässigkeit folgen. Sowohl zwischen den drei Elementen innerhalb der einzelnen Standorte als auch zwischen den einzelnen Standorten können keine übereinstimmenden, sich wiederholenden Probenverteilungsmuster erkannt werden.

Geringe absolute Probenabweichungen

Wie Abbildung A4b zeigt, können die Probenabweichungen sehr klein sein. In dieser Abbildung wurde pro Element für alle zehn Standorte ein einheitlicher Skalenumfang gewählt. Jede Skala umfasst daher die ganze Spannweite der vorkommenden Messwerte. Die gekerbten Box-Plots sind daher gestaucht.

## 3.2. Varianzanalysen (Anova)

### 3.2.1 Kleinräumige Variabilität: Datensatz Teilflächen 2, 3, 4

#### Beurteilung signifikanter Unterschiede

Signifikante Unterschiede

In Anhang B1 sind die Ergebnisse der Zweiweg-Varianzanalyse mit den Varianzkomponenten Teilflächen und Extrakte zusammengefasst. Die Teststatistik weist bei allen Standorten und Elementen auf signifikante Unterschiede zwischen einzelnen Teilflächen und bei den meisten Fällen auch zwischen den einzelnen Extrakten hin. Das heisst, es gibt signifikante Unterschiede zwischen mindestens zwei Teilflächen. Teilweise sind Varianzanteile auch auf signifikante Wechselwirkungen Teilflächen x Extrakte zurückzuführen.

Streuungsanteil der kleinräumigen Variabilität

Der Anteil der Streuung der Messwerte, der auf die kleinräumige Variabilität (Bestimmtheitsmass  $R^2$  für Varianzkomponente Teilflächen) zurückzuführen ist, wird durch das Verhältnis  $SSA/SST$  (siehe Kapitel 2.4) ausgedrückt. Es beträgt bei 70% der Standorte und Elemente über 0.5. Das heisst, die kleinräumige Variabilität ist somit die Hauptursache der Streuungen der Messwerte.

#### Höhe und Relevanz der Streuungen

Analysenstreuung (Messungenauigkeit)

Aus der Reststreuung (MSR) der Zweiweg-Varianzanalyse (Anhang B1, B2, B3) mit den Faktoren Teilflächen und Extrakte wurde das Konfidenzintervall für die Analysenstreuung (Messungenauigkeit) berechnet (Abbildung 2 und Anhang C). Die Konfidenzintervalle der Analysenstreuung betragen weniger als 1-2% des



jeweiligen Richtwertes. Eine wiederholte Analyse eines Extrakts verursacht somit keine relevante Streuung des Messwertes.

Extrakt- und  
Analysenstreuung

Bei der Einweg-Varianzanalyse (Anhang B4, B5, B6) mit dem Faktor Teilflächen umfasst die Reststreuung jene Streuungsanteile, die auf die Extrakte und auf die Analysen (Messungenauigkeit) zurückzuführen sind. Die Reststreuung des Faktors Teilfläche widerspiegelt - unter Berücksichtigung der geringen Analysestreuung - vorwiegend die Streuung, die durch die Extrakte erzeugt wurde.

Auffällig sind die relativ hohen Extraktstreuungen bei 160Un (Blei und Cadmium) und bei 226Vi (Cadmium). Bei 160Un dürften die unterschiedlichen Extraktgehalte auf die frühere Anwendung von Klärschlamm mit minderwertiger Qualität zurückzuführen sein. Partikuläre Formen der Schwermetalle führen zu inhomogenen Proben und somit zu hohen Extraktstreuungen (siehe KABO AG 2001). Bei den anderen drei Landwirtschaftsstandorten wurden gemäss Bewirtschaftungsprotokolle kein Klärschlamm angewendet.

Bei 226Vi dürfte die hohe Cadmium-Extraktstreuung auf geogen bedingte Ursachen (Cadmium-haltige, kleine Kalkgesteins-Partikel) zurückzuführen sein.

Sehr hohe Extraktstreuungen wurden auch bei den Wiederholungsmessungen 1999 (ITÖ 2001) am Standort 159St festgestellt. Diese sind ebenfalls - wie beim Standort 160Un - auf die frühere Anwendung von Abfalldünger von schlechter Qualität zurückzuführen. Weitere von uns durchgeführte Untersuchungen zeigen ebenfalls, dass Bodenproben im Bereich von Kugelfängen erhebliche Extraktstreuungen beim Blei aufweisen können, die durch partikuläre Bleiformen verursacht werden.

Kleinräumige Variabilität und  
Analysenstreuung

Bei der Einweg-Varianzanalyse mit dem Faktor Extrakte umfasst die Reststreuung die Streuungsanteile, die der kleinräumigen Variabilität (Teilflächen) und der Analysenstreuung zugeteilt werden können. Wie vorne (Randnotiz Analysenstreuung) dargestellt wurde, ist die Analysenstreuung mit wenigen Ausnahmen vernachlässigbar klein. Deshalb widerspiegelt diese Reststreuung vorwiegend die Streuung, die durch die kleinräumige Variabilität verursacht wird.

Für Blei (Pb) und Cadmium (Cd) weisen je 3 Standorte eine Streuung von mehr als 5% des entsprechenden Richtwertes auf (Abbildung 2). Bei einem zusätzlichen Standort liegt die Streuung eines Elementes knapp unter 5% (4.8%). Die Streuungsanteile, die auf die kleinräumige Variabilität zurückzuführen sind, sind also weit höher als jene der Extrakte und der Analysen. Die frühere Klärschlammmanwendung bei Standort 160Un wirkt sich nicht nur auf die Extraktstreuungen, sondern ganz wesentlich auch auf die kleinräumige Variabilität aus.

Streuung:	Einweg-Anova (Streuungskomponente: Extrakte)	Einweg-Anova (Streuungskomponente: Teilflächen (TF)/Proben)	Zweiweg-Anova (Streuungskomponenten: TF/Proben und Extrakte)
Teilflächen 2, 3, 4 Gleichzeitige Beprobung der 3 TF	<b>Kleinräumige Variabilität (u. Analysenstreuung)</b> 	<b>Extraktstreuung (u. Analysenstreuung)</b> 	<b>Analysenstreuung</b> 
Proben 2,1, 2,2 Unterschiedliche Beprobungszeitpunkte der TF 2 (Wiederholungsbeprobung)	<b>Beprob'zeitpkt. (u. kleinräum.V. u. A'streuung)</b> 	<b>Extraktstreuung (u. Analysenstreuung)</b> 	<b>Analysenstreuung</b> 
Streuung: "Gesamtstreuung"	<b>Kleinräum. V. (u. Beprob'zeitpkt. u. A'streuung)</b> 	<b>Extraktstreuung (u. Analysenstreuung)</b> 	<b>Analysenstreuung</b> 

Abbildung 2: Kleinräumige Variabilität, Extrakt- und Analysenstreuungen; 95 %-Konfidenzintervalle (CI)  
Angaben in % der Richtwerte





## Fazit

Bezüglich Analysenstreuung (Messungenauigkeit) überschreitet ein Element bei einem Standort die 5%-Relevanzgrenze. Drei Elemente bei zwei Standorten weisen Extrakt-Streuungen auf, die grösser als 5% sind. Der grösste Anteil der Streuungen über der 5%-Relevanzgrenze ist auf die kleinräumige Variabilität zurückzuführen: sechs Elemente bei fünf Standorten weisen eine Streuung von mehr als 5% auf.

Die Streuung der Analyse macht - unabhängig vom Element - ca. 1-2%, jene von Analyse und Extrakt ca. 1-4%, sowie jene von Analyse, Extrakt und Teilfläche 2-5% des Richtwertes aus. Absolut gesehen kommen zu dem Muster bei Extrakt und Analyse (Überschreitung bei zwei Standorten) mit dem Faktor Teilfläche vier neue Überschreitungen hinzu.

Für die Beurteilung von zeitlichen Konzentrationsveränderungen (Dauerbeobachtung) ist daher die Berücksichtigung der standortsspezifischen kleinräumigen Variabilität unerlässlich. Sie ist mit einer Mehrfachbeobachtung zu eruieren.

Im Gegensatz zur kleinräumigen Variabilität ist die Extrakt- und die Analysenstreuung in den meisten Fällen nicht relevant. Sie müssen daher bei Beibehaltung der bisherigen Untersuchungsbedingungen nicht mehrfach ausgeführt bzw. gemessen werden (keine Wiederholungen).

### 3.2.2 Beprobungszeitpunkt: Datensatz Proben 2.1, 2.2

## Hypothese

Es wurde die Hypothese aufgestellt, dass zwei Proben, die in gleichen Teilflächen, aber zu verschiedenen Zeitpunkten entnommen wurden, sich sowohl bezüglich Streuung als auch Gehaltshöhe nur unwesentlich unterscheiden würden. Deshalb wurde die Teilfläche 2 nach ca. 14 Tagen ein zweites Mal eingemessen und beprobt (Probe 2.2). Die Hypothese wurde mit einer Zweiweg-Varianzanalyse getestet.

## Signifikante Unterschiede

Von 30 Ergebnissen (zehn Standorte, drei Schwermetalle) wurden bei 22 Testergebnissen signifikante Unterschiede zwischen den Proben 2.1 und 2.2 festgestellt (Anhang B2). Die Proben der identischen Teilflächen weisen also in über zwei Drittel der Fälle unterschiedliche Messergebnisse auf.

Es bleibt offen, worauf diese Unterschiede zurückzuführen sind. Trotz genauer Festlegung der Einstichorte können bei einer Zweitbeobachtung räumliche Differenzen von bis zu  $\pm 30$  cm auftreten und kleinräumige Variabilitäten verursachen. Andererseits können sich unterschiedliche Probenahmezeitpunkte über unterschiedliche Bodenzustände, besonders Bodenfeuchte und Verdichtungszustand, auf die Schadstoffkonzentrationen auswirken (BUWAL 2000).



Konfidenzintervalle	Aufgrund des unterschiedlichen Beprobungszeitpunktes haben an vier Standorten je ein Element (drei Blei und ein Cadmium) die Relevanzgrenze von 5% des Richtwertes überschritten (Abbildung 2). Die Streuungen der übrigen Standorte beziehungsweise Elemente betragen weniger als 3% des Richtwertes.
Fazit	Die Hypothese, wonach zwei in der gleichen Teilfläche, nach kurzer Zeitdistanz entnommene Proben identische Messergebnisse liefern, hat sich nicht bestätigt. Es gibt an den meisten Standorten signifikante Unterschiede, aber nur an vier Standorten ist für je ein Element diese Abweichung relevant, das heisst grösser als 5% des Richtwertes. Im Mittel verursachte die Wiederbeprobung eine Streuung von ca. 2-3% des Richtwertes.
	<b>3.2.3 Gesamtstreuung: Datensatz Proben 2.1, 2.2, 3, 4</b> Da die beiden Proben der Teilfläche 2 einen wesentlichen Anteil zur Gesamtstreuung der Messwerte einer Beprobungsfläche beitragen können, wurde für die nachfolgende Beurteilung der Gesamtstreuung alle vier Proben berücksichtigt.
Signifikante Unterschiede	<b>Signifikante Unterschiede</b> Die Zweiweg-Varianzanalyse in Anhang B3 zeigt, dass von den 30 Kombination (zehn Standorte, drei Schwermetalle) bei allen Proben signifikante Unterschiede auftreten. Signifikante Unterschiede wurden auch bei den meisten Extrakten festgestellt. Bei der Hälfte der Kombinationen wurden auch signifikante Wechselwirkungen zwischen Extrakten und Proben festgestellt.
Streuungsanteile	Die Ergebnisse der Einweg-Varianzanalyse zeigen auch, dass, mit zwei Ausnahmen, mehr als 50% der Varianz auf den Faktor Proben zurückzuführen sind. Diese Streuungskomponente setzt sich zum wesentlichen aus der kleinräumigen Variabilität und untergeordnet auch aus einer möglicherweise zeitlichen Komponente, die auf die Probe 2.2 zurückzuführen ist, zusammen.
Kleinräumige Variabilität (und Beprobungszeitpunkt)	<b>Höhe der Streuungen</b> Bei sechs der zehn Standorte überschreiten Blei und/oder Cadmium die Relevanzgrenze von 5% des Richtwertes (Abbildung 2). Darunter befinden sich die drei Standorte auf Kalkunterlage (101He, 224El, 226Vi), ein Standort, bei dem früher Klärschlamm von minderwertiger Qualität angewendet wurde (160Un) und ein Standort, bei dem der Lothar-Baumwurf eine hohe kleinräumige Variabilität verursacht hat (269Le).
Extraktstreuung	Bei zwei Standorten überschreiten Blei und/oder Cadmium die Relevanzgrenze von 5% knapp. Bei zwei weiteren Standorten sind sie erhöht (2.5-5% des Richtwertes). Relevanzüberschreitungen oder erhöhte Streuungen kommen bei Standorten auf Kalkunterlagen (101He, 224El, 226Vi) und beim Standort mit früherer Abfalldünger-Anwendung (160Un) vor.



Analysenstreuung

Die Streuungen, die auf Messungenauigkeiten zurückzuführen sind, sind generell sehr klein. Einzig beim Standort 160Un können Streuungen im Bereich der 5% Relevanzgrenze auf Messungenauigkeiten zurückgeführt werden.

Gegenüber dem Datensatz „Teilflächen 2, 3, 4“ bringt der Datensatz „Proben 2.1, 2.2, 3, 4 keine neue Informationen; die Effekte überlagern sich lediglich. In Abbildung 2 ist dies ersichtlich: das Muster bleibt das gleiche, nur absolut ist die Gesamtstreuung grösser.

### **3.2.4 Schlussfolgerung bezüglich Dreifach- oder Vierfachbeprobung**

Für die Beurteilung der kleinräumigen Variabilität wurden gleichzeitig drei Mischproben pro Standort entnommen (Kapitel 3.2.1). Die Messwerte der drei Proben können sich signifikant und relevant unterscheiden. Auch die nur einige Tage später entnommene vierte Mischprobe (Probe 2.2) kann sich bezüglich Schadstoffgehalte wesentlich von den übrigen drei Proben unterscheiden und trägt somit deutlich zur Gesamtvarianz bei. Dies ist ein starkes Indiz dafür, dass auch eine vierte, gleichzeitig mit den übrigen drei Proben entnommene Mischprobe wesentlich zur Gesamtvarianz beitragen würde.

Fazit: Ergebnisse der Varianzanalysen

Die Streuung, die auf die kleinräumige Variabilität zurückzuführen ist, kann für einzelne Standorte und Schwermetalle relevant sein. Daher ist das Erfassen dieser Streuungskomponente für die Beurteilung von zeitlichen Konzentrationsveränderungen im KABO unerlässlich. Um die Aussagekraft der Messergebnisse zu verbessern, sollten die zukünftigen Hauptuntersuchungen des KABO auf einer Vierfachbeprobung aufbauen.

## **3.3. Merkmale, Eigenschaften und Ursachen der Streuungen**

### **3.3.1 Elementspezifische Streuungen**

Die Ergebnisse der Varianzanalysen der drei Datensätze unterscheiden sich bezüglich dem Verhältnis der drei Schwermetalle zueinander nur geringfügig. Nachfolgend wird deshalb die elementspezifische Streuung anhand des Datensatzes Proben 2.1, 2.2, 3, 4 (Gesamtstreuung, Abbildung 2) beleuchtet.

Zink

Zink hat die Relevanzgrenze von 5% nirgends überschritten.

Blei und Cadmium

Bei den Analysenstreuungen kommen auch bei Blei und Cadmium keine Überschreitungen der Relevanzgrenze vor.

Bei den Extraktstreuungen kommen bei Cadmium zwei und bei Blei eine Überschreitung der Relevanzgrenze vor (davon ein gemeinsames Paar).

Bei der kleinräumigen Variabilität kommen bei Blei vier und bei Cadmium drei Überschreitungen der Relevanzgrenze vor (davon ein gemeinsames Paar).



Fazit Beim Zink wurden keine Streuungen über der Relevanzgrenze festgestellt. Beim Blei und beim Cadmium kommen an mehreren, meist unterschiedlichen Standorten Streuungen über der Relevanzgrenze vor. Die drei Elemente weisen also bezüglich Streuung ein unterschiedliches Verhalten auf.

### 3.3.2 Abhängigkeit der Streuung von der Konzentrationshöhe

In Anhang D ist die Abhängigkeit der relativen Streuung (Variationskoeffizient) von der Konzentration dargestellt. Die Regressionsanalyse zeigt beim Blei einen schwach positiven Zusammenhang. Das Bestimmtheitsmass ( $R^2$ ) beträgt 0.41. Bei Cadmium und Zink besteht kein Zusammenhang zwischen der Streuung und der Gehaltshöhe; das Bestimmtheitsmass ( $R^2$ ) ist kleiner als 0.1.

Fazit Beim vorliegenden Spektrum an Schadstoffgehalten gibt es kaum bzw. nur eine schwache Beziehung zwischen der Höhe der Schwermetallgehalte und der Streuung der Messdaten.

### 3.3.3 Abhängigkeit der Streuung von der Nutzung

Hypothese Es wurde die Hypothese aufgestellt, dass die Streuung der Schwermetalle und der Bodenkennwerte auf Landwirtschaftsstandorten generell geringer sei als auf Waldstandorten. Dieser Hypothese lag die Annahme zugrunde, dass durch die landwirtschaftliche Bewirtschaftung, besonders durch die Saatbeetvorbereitung, die Böden homogenisiert werden.

Die Variationskoeffizienten der Schwermetalle und der Bodenkennwerte wurden einer Einweg-Varianzanalyse mit dem Faktor "Nutzung" (Landwirtschaft - Wald) unterzogen (Resultate liegen nicht bei). Weder bei den Variationskoeffizienten der Schwermetalle noch bei jenen der Bodenkennwerte unterscheiden sich die Landwirtschafts- und Waldstandorten signifikant.

Fazit Die Landwirtschaftsstandorte unterscheiden sich bezüglich Variabilität der Schwermetallgehalte (Variationskoeffizienten) nicht signifikant von den Waldstandorten.

### 3.3.4 Beziehung zwischen Schwermetallgehalten und Bodenkennwerten

Lineare Korrelation zwischen den relativen Streuungen

Als Mass für die Beziehung zwischen den Streuungen der Schwermetalle und den Bodenkennwerten werden die linearen Korrelationen der Variationskoeffizienten der Schwermetalle und der Bodenkennwerte nach Spearman berechnet (Spearman'sche Rangkorrelation). Die Resultate sind in Anhang E dargestellt.

Die tiefen Korrelationskoeffizienten der Variationskoeffizienten ( $r_s < 0.4$ ) weisen darauf hin, dass kaum ein Zusammenhang zwischen den Streuungen der einzelnen Parametern vorhanden ist.



Lineare Korrelation zwischen den Messwerten

Im Gegensatz zur Korrelation der Variationskoeffizienten weist die Spearman'sche Rangkorrelation der absoluten Werte auf einige starke bis sehr starke Zusammenhänge zwischen den einzelnen Parametern (Schwermetallen und Bodenkennwerte) hin.

Fazit

Die Rangkorrelationsanalyse zeigt zwischen den relativen Streuungen der Schwermetalle und Bodenkennwerte kaum Zusammenhänge auf. Hingegen sind einige bekannte Zusammenhänge zwischen den Bodenkennwerten, zum Beispiel zwischen Tongehalt und effektivem Kationenaustausch, auch durch die Mehrfachbeprobungen und Wiederholungsmessungen 2002 bestätigt worden.

### 3.4. Beurteilung der Streuung der 36 KABO-Standorte

Es wurde vermutet, dass von den zehn für die Mehrfachbeprobungen und Wiederholungsmessungen 2002 ausgewählten Standorten 160Un, 224EI, 237Eg und 269Le hohe und die übrigen Standorte geringe Streuungen aufweisen würden (Kapitel 2.2). Bei Bestätigung dieser Hypothese hätte allenfalls ein auf die Höhe der standortspezifischen Streuungen ausgerichtetes Beprobungsvorgehen vorgeschlagen werden können, zum Beispiel Einfachbeprobung bei Standorten mit geringen Streuungen und Mehrfachbeprobungen bei Standorten mit hohen Streuungen. Wie Abbildung 2 zeigt, wurden die hohen Streuungen bei 160Un, 224EI, und 269Le bei Blei und/oder Cadmium bestätigt. Zusätzlich weisen aber auch 104Me bei Blei und 226Vi bei Cadmium ebenfalls eine Streuung über 5% des Richtwertes auf. Beim Standort 237Eg konnte die vermutete hohe Streuung nicht bestätigt werden.

Fazit

Die Übereinstimmung zwischen Standorten mit vermuteter hoher bzw. geringer Streuung und gemessener ist nur mässig. Die Einteilung der 36 KABO-Standorte in die zwei Gruppen aufgrund bisheriger Untersuchungsergebnissen kann nicht als Basis für eine angepasste, optimierte Beprobungsmethodik herangezogen werden.



## 4. Beurteilung der Konzentrationsänderungen zwischen 1996/97 und 2002

Die Messwerte von neun der zehn Standorte der Mehrfachbeprobungen und Wiederholungsmessungen 2002 werden mit jenen der zweiten Hauptuntersuchung 1996/97 verglichen. 230Ob wurde 1996/97 nicht analysiert. Die Angaben der Differenzen erfolgen in % zum Richtwert. Die Aussagekraft dieses Vergleichs ist leicht eingeschränkt, da aufgrund der Hauptfragestellung keine Parallelanalytik durchgeführt wurde; das heisst, die Proben von 1996/97 wurden nicht im gleichen Run wie jene von 2002 analysiert.

### 4.1. Beurteilung anhand der Konfidenzintervalle

Die Bezugsbasis für die Messwert-Gegenüberstellung bilden die Gehalte von 2002 (100%) mit den entsprechenden Konfidenzintervallen (siehe Kapitel 2.4). Diesen standortspezifischen Daten von 2002 werden die Einzelwerte von 1996/97 gegenübergestellt. Die Ergebnisse sind in Anhang F1 dargestellt.

Blei	Beim Blei tritt eine signifikante und relevante Zunahme beim Standort 101He und eine signifikante und knapp relevante Abnahme bei 237Eg auf. Die aussergewöhnlich hohe, signifikante und relevante Abnahme von 269Le kann nicht erklärt werden.
Cadmium	Beim Cadmium kommen signifikante und relevante Zunahmen bei den vier Standorten 101He, 104Me, 153Su, 160Un und 226Vi vor. Bei den letzten beiden ist die Zunahme erheblich.
Zink	Beim Zink kommen signifikante und sehr knapp relevante Zunahmen bei 101He, 104Me und 160Un vor.

### 4.2. Beurteilung anhand der Spannweiten

Zur Beurteilung der Konzentrationsänderungen werden die Spannweiten (siehe Kapitel 2.4) der Daten von 2002 berechnet. Diese standorts- und elementbezogenen Spannweiten basieren auf den Mittelwerten der vier Mischproben. Da die Werte 1996/97 nur aus einem Messwert (Einfachbeprobung) bestehen, wurde dieser als Mittelwert betrachtet und als Spanne jene der Daten von 2002 eingesetzt.

Signifikanz- und Relevanz-Kriterium

Als Konvention für die Signifikanz einer Veränderung wird keinerlei Überlappung der Spannen der je vier Vergleichswerte geduldet. Dies entspricht für jedes einzelne Element am Standort einer statistischen Irrtumswahrscheinlichkeit von 2.9% (BUWAL 2000). Als Relevanzkriterium wird eine Konzentrationsveränderung von mehr als 5% vom entsprechenden Richtwert - unter der Bedingung der statistischen Signifikanz - festgelegt. Bei einer Dreifachbeprobung würde die statistische Irrtumswahrscheinlichkeit 10% betragen.



Ergebnis Diese Beurteilung anhand der Spannweiten ergibt ausnahmslos das gleiche Resultat bezüglich Signifikanz und Relevanz wie die Beurteilung mit den Konfidenzintervallen.

Fazit Die Messwerte der Mehrfachbeprobungen und Wiederholungsmessungen 2002 unterscheiden sich an mehreren Standorten signifikant von jenen der zweiten Hauptuntersuchung 1996/97. Bei Blei und Cadmium wurden mehrheitlich relevante Zunahmen im Sinne des 5% Kriteriums festgestellt. Allerdings gilt diese Aussage unter dem Vorbehalt, dass keine Parallelanalyse durchgeführt wurde.

#### **4.3. Beurteilung der Veränderung der Messwerte nach fünf Jahren**

Zwischen der zweiten Hauptuntersuchung und der aktuellen Untersuchung der Mehrfachbeprobung 2002 wurden an mehreren Standorten relevante und signifikante Unterschiede festgestellt.

Cadmium Beim Cadmium kommen an fünf Standorten signifikante und relevante Zunahmen vor.

Zink Beim Zink kommen fünf signifikante Zunahmen vor, wobei zwei davon nicht relevant und die anderen drei nur knapp relevant sind.

Blei Beim Blei kommt an einem Standort eine signifikante und relevante Zunahme und bei zwei Standorten kommen signifikante und relevante Abnahmen vor. Die Abnahme beim Standort 237Eg ist nur knapp relevant. Die sehr hohe Abnahme beim Standort 269Le ist unerklärlich.

Stofffluss-Betrachtung Hinsichtlich Betrachtungen der Stoffflüsse bedeutet zum Beispiel eine Änderung von 5% des RW in fünf Jahren einen Nettoinput für Cadmium von ca. 20 g/ha Jahr, für Blei 1'300 g/ha Jahr und für Zink von ca. 3'900 g/ha Jahr. (Annahme: Tiefe 20 cm, Dichte 1.3). Auf Landwirtschaftsstandorten mit hohem Viehbesatz könnten solche Fluxe für Zink erreicht werden; die mittleren Fluxe für Cadmium und Blei liegen jedoch weit unter diesen Werten (Mitteilung A. Keller, ITÖ).



## 5. Schlussfolgerungen und Methodenevaluation

### 5.1. Beurteilung der KABO-Beprobungsmethodik

Bei den Einfachbeprobungen gemäss Handbuch KABO AG (1997) ist mit Streuungen zu rechnen, die die 5%-Relevanzgrenzen überschreiten. Eine zuverlässige Aussage über die zeitlichen Veränderungen von Schadstoffgehalten ist unter diesen Bedingungen nur beschränkt möglich. Diese Einschränkung ergibt sich auch dann, wenn bei jeder Hauptuntersuchung die gleichen Teilflächen (das heisst die gleichen Einstichpunkte, siehe Kapitel 2.3) beprobt würden. Die entsprechenden Streuungen können die 5%-Relevanzgrenze ebenfalls überschreiten. Bezüglich der Frage nach der Drei- oder Vierfachbeprobung haben die Mehrfachbeprobungen und Wiederholungsmessungen 2002 gezeigt, dass sich nicht nur die Proben der drei Teilflächen, sondern zusätzlich auch die wenige Tage später entnommene Probe aus der Teilfläche 2 deutlich voneinander unterscheiden können. Die Messwerte aller vier Mischproben beeinflussen daher die Höhe der Gesamtstreuung. Es ist deshalb davon auszugehen, dass auch jede einzelne Probe von vier gleichzeitig entnommenen Mischproben einen relevanten Einfluss auf die Gesamtstreuung haben.

### 5.2. Empfehlung für die nächste Hauptuntersuchung

Mehrfachbeprobung

Bei den nächsten Hauptuntersuchung sollte deshalb von der Einfach- auf die Vierfachbeprobung umgestellt werden, damit der Streuungsanteil, der auf die kleinräumige Variabilität zurückzuführen ist, beim zeitlichen Vergleich der Konzentrationen berücksichtigt werden kann. Die Aussagen über effektive Konzentrationsänderungen gewinnen somit an Aussagekraft.

Parallelanalytik

Um die laborinternen Streuungen zu minimieren, sollte grundsätzlich weiterhin das Prinzip der Parallelanalytik durchgeführt werden. Aufgrund der guten Wiederholbarkeitsresultate und unter gleichbleibenden Untersuchungsbedingungen dürfte es allerdings genügen, aus der Erstuntersuchung - als Überprüfung der früheren Analyseergebnisse - nur die Probe einer Teilfläche (und nicht die Proben aller vier Teilflächen) erneut zu analysieren. Die Reproduzierbarkeit einer Messserie ist sehr gut.

Auswertung aufgrund der Spannweiten

Die Untersuchung Mehrfachbeprobungen und Wiederholungsmessungen 2002 hat gezeigt, dass sich mit der Berechnung der 95%-Konfidenzintervalle eine gleiche Beurteilung der zeitlichen Veränderungen der Konzentrationen ergibt wie mit der Berechnung der Spannweiten (Irrtumswahrscheinlichkeit 2.9%).

Für die weiteren Hauptuntersuchungen des KABO wird deshalb die einfach zu handhabende Methode der Spannweiten empfohlen.





### 5.3. Beprobungsrhythmus und weiteres Vorgehen

Relevante Veränderungen  
nach fünf Jahren

Nach fünf Jahren wurde unter dem Vorbehalt, dass keine Parallelanalytik durchgeführt wurde, an fünf der neun Standorte signifikante und relevante Zunahmen einzelner Elemente festgestellt. Bei einem Standort kam eine signifikante und knapp relevante Abnahme vor. Bei einem weiteren Standort wurde eine sehr hohe signifikante und relevante Abnahme beobachtet. Aufgrund dieser relevanten Veränderungen nach fünf Jahren sollte grundsätzlich ein fünfjähriger Beprobungsrhythmus beibehalten werden. Zudem sollten die vorhandenen Proben der neun beziehungsweise zehn Standorte im Sinne einer dritten Hauptuntersuchung analysiert und ausgewertet werden.

Dritte Hauptuntersuchung:  
Schadstoffgehalte 1996/97  
und 2002

Wie die vorliegenden Untersuchungsergebnisse zeigen, wird mit den neun bzw. zehn nach verschiedenen schadstoffrelevanten und geografischen Kriterien ausgewählten Standorten ein relativ guter Überblick über die Schadstoffproblematik des Kantons Aargau erreicht. Diese Standorte eignen sich daher für eine dritte Hauptuntersuchung 2002 (Hauptuntersuchung mit reduzierter Anzahl von Standorten). Für diese dritte Hauptuntersuchung sind die vorhandenen Mischproben 2002 unter Anwendung der Parallelanalytik zu analysieren, die Messwerte statistisch und fachbezogen auszuwerten, Schlussfolgerungen zu ziehen und allfällige Massnahmen vorzuschlagen. Zudem sind Veränderungen von weiteren relevanten Elementen in die Untersuchung miteinzubeziehen. Die Ergebnisse dieser dritten Hauptuntersuchung bilden zudem die Grundlage für den Entscheid des weiteren Vorgehens.

Vierte Hauptuntersuchung:  
gute räumliche Repräsentanz

Bei der vierten Hauptuntersuchung könnte das Schwergewicht auf einer guten räumlichen Repräsentanz liegen (38 beziehungsweise 75 Standorte). Der Beprobungsrhythmus müsste daher aufgrund beschränkter finanzieller Mittel auf zehn Jahre ausgedehnt werden. Die nachfolgende Übersicht zeigt die bisher ausgeführten und die vorgeschlagenen zukünftigen Untersuchungen.

#### *Bisherige und zukünftige Untersuchungen*

1991/92	erste Hauptuntersuchung	75 Standorte
1996/97	zweite Hauptuntersuchung	38 Standorte
2002	dritte Hauptuntersuchung 2002	9/10 Standorte
2012	vierte Hauptuntersuchung 2012	38/75 Standorte



## 6. Literatur

- Bärlocher F. (1999) Biostatistik. Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York.
- BUWAL (1993) NABO, Nationales Bodenbeobachtungsnetz, Messresultate 1985-1991. Schriftenreihe Umwelt Nr. 200. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern.
- BUWAL (2000) Nationales Bodenbeobachtungsnetz, Veränderungen von Schadstoffgehalten nach 5 und 10 Jahren. Schriftenreihe Umwelt Nr. 320. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern.
- BUWAL (2001a) Erläuterungen zur Verordnung vom 1. Juli 1998 über Belastungen des Bodens. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern.
- FAL (2001) VBBo-Ringanalysenbericht 2000, Nationale Bodenbeobachtung. Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Zürich.
- ITÖ (2001) Statistische Auswertung der Wiederholungsmessungen 1999 dreier Standorte des Kantonalen Beobachtungsnetzes Aargau. Dr. A. Keller, Institut für Terrestrische Ökologie, ETH Zürich.
- KABO AG (1994) Bodenbeobachtung im Kanton Aargau, Belastungszustand der Böden 1991/1992. Baudepartement des Kantons Aargau, Abteilung Umweltschutz, Aarau.
- KABO AG (1997) Qualitativer Bodenschutz im Kanton Aargau, Kantonales Bodenbeobachtungsnetz. Handbuch. Baudepartement des Kantons Aargau, Abteilung Umweltschutz, Aarau.
- KABO AG (2001) Bodenbeobachtungsnetz des Kantons Aargau. Fachbericht. Ergebnisse der zweiten Hauptuntersuchung (1996/97). Veränderung der Bodenbelastung nach fünf Jahren. Baudepartement des Kantons Aargau, Abteilung Umweltschutz, Aarau.
- KABO AG (2002) Bodenbeobachtungsnetz des Kantons Aargau. Öffentlichkeitsbericht. Ergebnisse der zweiten Hauptuntersuchung (1996/97). Veränderung der Bodenbelastung nach fünf Jahren. Baudepartement des Kantons Aargau, Abteilung Umweltschutz, Aarau.
- Stahel W.A. (2000) Statistische Datenanalyse. Vieweg Verlag Braunschweig.
- SYSTAT 2000. Statistics Manual. Version 10.