

Schwermetalle in Waldböden und im Laub
von Buchenflächen des Kantons Basel-
Landschaft im zeitlichen Vergleich
1984-1996



IM AUFTRAG VON
AMT FÜR UMWELTSCHUTZ UND ENERGIE, FACHSTELLE
BODENSCHUTZ, RHEINSTR. 29, 4410 LIESTAL
INSTITUT FÜR ANGEWANDTE PFLANZENBIOLOGIE
Schönenbuch, den 10.12.03

Schwermetallkonzentrationen in Waldböden und im Laub von Buchenflächen des Kantons Basel-Landschaft im zeitlichen Vergleich

Hintergrund

Das Institut für Angewandte Pflanzenbiologie (IAP) richtete 1984 im Kanton Basel-Landschaft 19 Waldbeobachtungsflächen (0.2-0.5 ha) ein, die heute noch bestehen (Abb. 1). Der Boden in diesen Flächen wurde 1984 und 1996 mit je einer Mischprobe pro Horizont (6-8 Einstiche) beprobt. Das IAP analysierte in den Proben beider Serien pH-Wert und austauschbare Kationen, 1984 z.T. auch Totalgehalte und lösliche Gehalte an Schwermetallen nach damaliger VSBo¹. Ebenso liegen Laubproben von ausgewachsenen Buchen vor, u.a. aus den Jahren 1984 und 1999. Dieses Probenarchiv ist einmalig und geeignet für langfristiges Monitoring.

Im Auftrag des Baselbieter Amtes für Umweltschutz (AUE) wurde beim vorliegenden Projekt abgeklärt, ob mit dem vorhandenen Probenmaterial eine Aussage über die Entwicklung der Schwermetallbelastung von Waldböden möglich ist. Da sich im Nahbereich der Laufentaler Flächen mit den Metallwerken Dornach ein Schwermetallemitter befindet, wurden zwei Flächen im Schwarzbubenland mit einbezogen.

Material und Methoden

Probenahme

Mit einem Spiralbohrer (Eijkelkamp Edelman-Bohrer 8 cm) wurden in den Jahren 1984 und 1996 an 6-8 zufällig ausgewählten Stellen innerhalb der Waldfläche (0.2-0.5 ha) Bodenproben entnommen. Vom Oh an wurden die Proben nach morphologisch unterscheidbaren Horizonten aufgetrennt und diese zu jeweils einer Mischprobe vereinigt (s. Liste der Horizonte im Anhang). Insgesamt wurden pro Entnahmegahr 53 Proben untersucht. Um die Reproduzierbarkeit der Probenahme zu testen, wurde das beschriebene Prozedere im Jahre 2000 an fünf Standorten (Biel-Benken, Liestal, Sissach, Rünenberg und Brislach) insgesamt fünfmal durchgeführt, d.h. pro Standort und Horizont wurden fünf parallele Mischproben gezogen. Die Proben wurden bei 40°C getrocknet, mit dem Gummihammer zerkleinert und durch ein 2mm-Sieb gesiebt. Die Proben beider Entnahmetermine wurden durch das Labor für Umweltanalytik des AUE auf Schwermetalle analysiert.

Astproben für die Laubanalyse wurden 1984 und 1999 Ende Juli an jeweils acht markierten Bäumen pro Fläche mit dem Helikopter geerntet; einige in der Zwischenzeit gefällte Bäume wurden durch benachbarte Individuen ersetzt (diese sind in der Grafik speziell markiert). Die Laubproben wurden ungewaschen bei 70°C getrocknet und gemahlen. Je fünf Proben pro Standort und Entnahmetermine (d.h. 2x 105 Proben) wurden durch das Labor für Umweltanalytik des AUE auf Blei und Cadmium analysiert.

¹ VSBo=Verordnung über Schadstoffe im Boden; heute VBBo=Verordnung über Belastungen des Bodens (1.10.98).

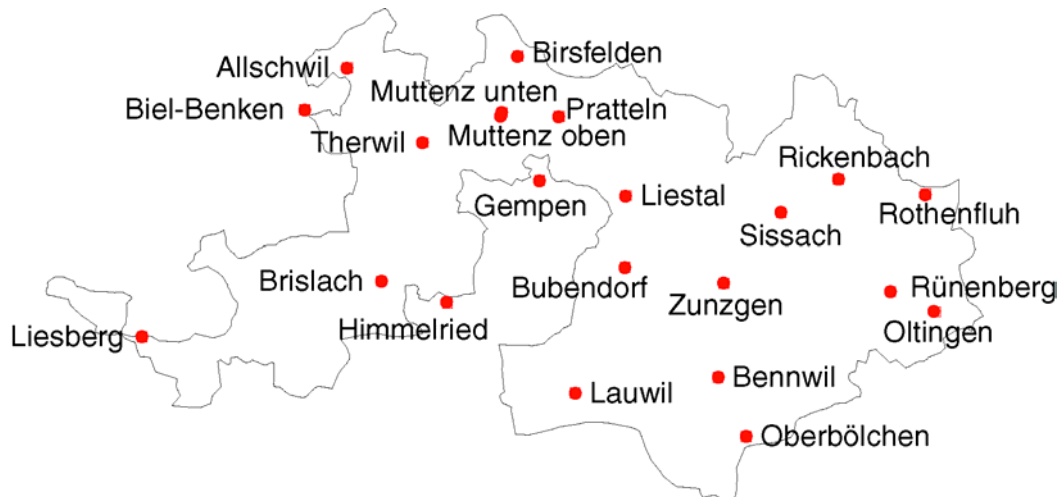


Abb. 1: Untersuchte Buchenflächen (Koordinaten vgl. Anhang)

Analytik

gemäss Angaben des Labors für Umweltanalytik AUE

Bodenproben

Probenahme und Probenaufbereitung	Im Labor für Umweltanalytik (UAN) eingegangen sind die Proben im Verlauf des Frühjahrs 2001. Bei den Proben 84/50; 84/59-60; 84/63-64 und 84/67 war die Probemenge < 10 g. Die Messresultate sind somit nur bedingt verwendbar (das VBBö-Verdünnungsverhältnis wurde aber eingehalten sowie der Methode entsprechend heissextrahiert).
VBBö Totalgehalte	10 g getrocknetes und homogenisiertes Bodenmaterial (< 2 mm) wurde mit 100 ml 2M HNO ₃ versetzt und 2 h im kochenden Heisswasserbad gehalten. Anschliessend wurde abfiltriert. Im Filtrat wurden die Schwermetalle bestimmt. Laborvorschrift: A-VSBOTOT
Messungen Cd	Die Cadmium-Messungen bei den Totalgehalten erfolgte mittels einem elektrothermische Atomabsorptionsspektrometer (Perkin Elmer 4100ZL). Laborvorschrift: CDT-GAA201
Messungen SM	Die restlichen Schwermetalle (SM) wurden bei den Totalgehalten mittels ICP-OES (Phillips PV8490) bestimmt. Laborvorschrift: VSB-ICP201

Laubproben

Probenahme und Probenaufbereitung	Erfolgte durch das IAP Schönenbuch. Die Proben wurden im Frühjahr 2001 in Schönenbuch abgeholt. Die Laubproben wurden gemahlen ans UAN weitergegeben.
Probenaufschluss	150 - 250 mg Probe wurde mit 4 ml HNO ₃ und 3 ml H ₂ O ₂ versetzt und mittels Mikrowelle in Hochdruckgefässen aufgeschlossen. Die klare Aufschlusslösung wurde in 25 ml Messkolben überführt, mit Reinstwasser auf die Marke gestellt und anschliessend aus dieser Lösung die Schwermetalle bestimmt. Laborvorschrift: A-MLS-1
Messungen Cd und Pb	Die Cadmium- und Bleimessungen erfolgten mittels einem elektrothermischen Atomabsorptionsspektrometer (Perkin Elmer 4100ZL). Laborvorschrift: CDT-GAA701 bzw. PBT-GAA701

Auswertung

Die Schwermetallgehalte in den Bodenproben wurden einerseits auf eine Tiefe von 0-20 cm umgerechnet (Vorgehen nachstehend beschrieben), um den Vergleich mit den Richtwerten der VBBo zu erhalten. An den skelettreichen Standorten Sissach und Gempfen waren allerdings nur Proben bis 15cm Tiefe verfügbar, weshalb die Auswertung dieser beiden Flächen mit Vorbehalten zu versehen ist. Andererseits wurden die Daten direkt horizontweise verglichen, wobei die Horizonte für die Grafiken in drei Grobgruppen eingeteilt wurden (vgl. auch Probentabelle im Anhang):

A: Ah, Al, BvAh, BvAl, SwAl

B: Bv, AhBv, BvBt, SdBt

C: BvCv, Cv, AhCv

Die bei den Scatterplots eingezeichnete blaue Linie ist die 1:1-Linie.

Mittelung über 0-20cm Bodentiefe

Die Analysendaten wurden über eine Tiefe von 0-20 cm gemittelt, unter Gewichtung mit dem nachstehend hergeleiteten Faktor FAK20:

- Gesamtporenvolumen GPV: Schätzung aus Bodenart und Lagerungsdichte aufgrund der Tabellen in der Bodenkundlichen Kartieranleitung (Benzler et al. 1982).
- C-Gehalt CGEH: Gehalt an organischem C nach Walkley-Black
- Lagerungsdichte RHO: $(2.65 - 0.0233) \times CGEH \times \left(1 - \frac{GPV}{100}\right)$
- Mächtigkeit MAECHT: Dicke des Horizonts in cm für Horizonte mit Endtiefe <20cm, bei Horizonten mit Anfangstiefe <20 cm und Endtiefe >20 cm anteilmässige Dicke (20 minus Anfangstiefe).
- SKELETT: Skelettgehalt in Vol% (am Profil geschätzt)
- Gewichtungsfaktor $Fak20 = \frac{RHO \times MAECHT \times (100 - SKELETT)}{1000}$

Beispiel für Gewichtung:

Tiefe	Bleigehalt	Skelett (Vol%)	Organischer Kohlenstoff (%)	Gesamt-porenvolumen	korrigierte Mächtigkeit (cm)	Rho	Gewichtungs-faktor	Blei mal Gewichtungs-faktor	
0-5cm	49	5	14.8	72.5	5	0.634	0.301	14.8	
5-25cm	40	50	11.4	66.5	15	0.799	0.599	24	
25-55cm	20	50	2.8	56	0	1.136	0	0	
							0.9	38.8	Summe

Mittlerer Bleigehalt 0-20cm: Summe "Blei mal Gewichtungsfaktor" dividiert durch "Summe Gewichtungsfaktor": $38.8/0.9 = 43.1$

Statistische Tests

Der Unterschied zwischen den Messwerten von 1984 und 1996 wurde mit dem Wilcoxon-Rangsummentest und dem paarweisen t-Test (falls ein Wert pro Standort) oder mit dem linearen gemischten Modell von SPLUS (gruppierte Daten) geprüft.

Ergebnisse

Schwermetallgehalte im Boden der Waldbeobachtungsflächen

Die Bleigehalte in den obersten 20cm haben an den meisten Standorten leicht abgenommen; die Veränderung ist allerdings nicht signifikant ($p=0.108$) (Abb. 2). In Bennwil und Gempen sind markante Zunahmen zu verzeichnen, wobei in Gempen der VBBö-Richtwert neu überschritten wird (hier jedoch nur 0-15cm Tiefe). Für die deutliche Abnahme in Himmelried gibt es keine Erklärung; die im näheren Umkreis liegenden Metallwerke Dornach haben kein Blei emittiert. Der horizontweise Vergleich deutet an, dass das Blei von den oberen in die tieferen Horizonte verlagert wird, da im Oberboden eine signifikante Abnahme, im Untergrund eine signifikante Zunahme beobachtet werden kann (Abb. 4, Abb. 6). Dass die Anreicherung erst im Untergrund stattfindet, ist möglicherweise die Folge einer Bleiimmobilisierung bei hohen pH-Werten: je höher der pH-Wert im C-Horizont, umso höher die Bleizunahme zwischen 1986 und 1999 (Abb. 5). Eine ähnliche Beziehung kann auch zwischen dem Bleigehalt in 0-20 cm Tiefe und dem durchschnittlichen pH-Wert in derselben Tiefe gefunden werden (Abb. 3). Die Abnahmen im Oberboden und die Zunahmen im Untergrund halten sich etwa die Waage, da der auf die gesamte Profiltiefe hochgerechnete Bleigehalt keine systematische Veränderung zeigt (Abb. 7).

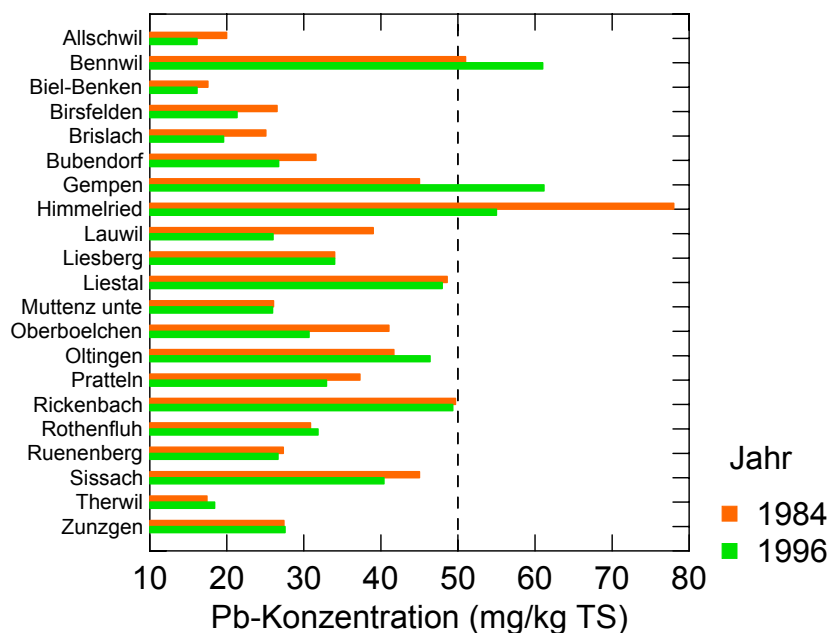


Abb. 2: Bleikonzentrationen im Boden, umgerechnet auf 0-20 cm Bodentiefe, in den Jahren 1984 und 1996. Gestrichelte Linie: Richtwert nach VBBö.

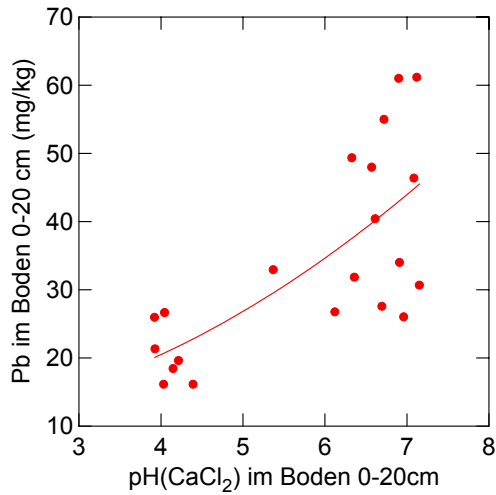


Abb. 3: Bleigehalt in 0-20 cm Tiefe (Daten 1996) in Beziehung zum Boden-pH-Wert. Die kubische Beziehung ist signifikant mit $p < 0.01$.

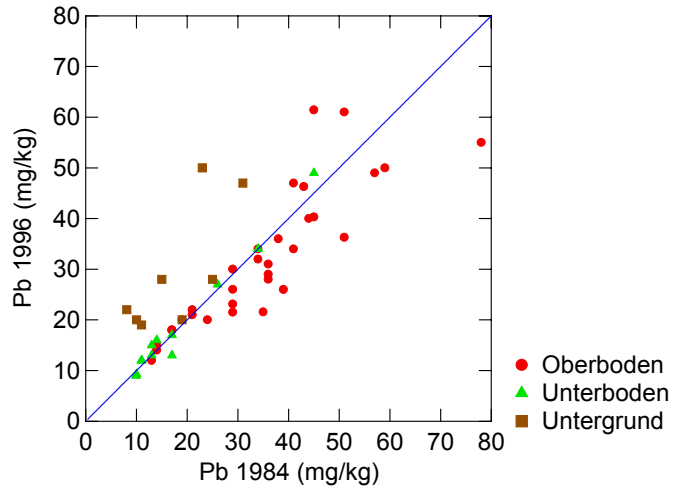


Abb. 4: Einzelprobenweiser Vergleich der Bleikonzentrationen im Boden. Die Abnahme im Oberboden ist signifikant mit $p < 0.01$ (SPLUS gemischtes Modell), die Zunahme im Untergrund ebenfalls (paarweiser t-Test). Im Unterboden (B-Horizonte) ist keine Veränderung festzustellen.

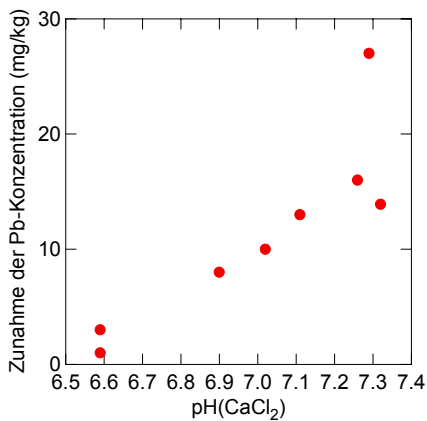


Abb. 5: Differenz der Bleiwerte zwischen 1999 und 1984 im Untergrund (C-Horizont) in Abhängigkeit vom $\text{pH}(\text{CaCl}_2)$ in der jeweiligen Bodenschicht. Die Beziehung ist signifikant mit $p < 0.001$.

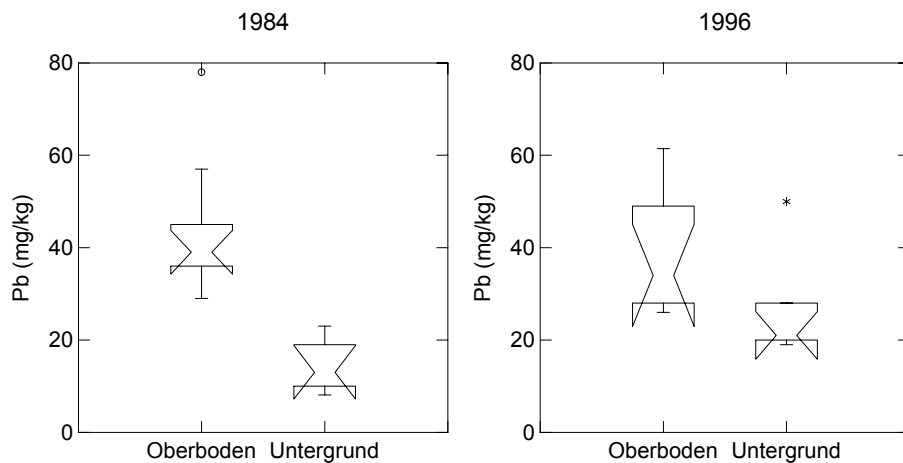


Abb. 6: Bleikonzentrationen im Oberboden (A-Horizont) und Untergrund (C-Horizont) von 7 Waldbeobachtungsflächen mit C-Horizont (da nur eine davon auch einen B-Horizont aufwies, wurden die Daten dafür weggelassen). SYSTAT-Boxplot mit dem Median als schmalste Stelle, einer Box vom 25%- zum 75%-Quantil und dem 95%-Vertrauensbereich des Medians als Einkerbung.

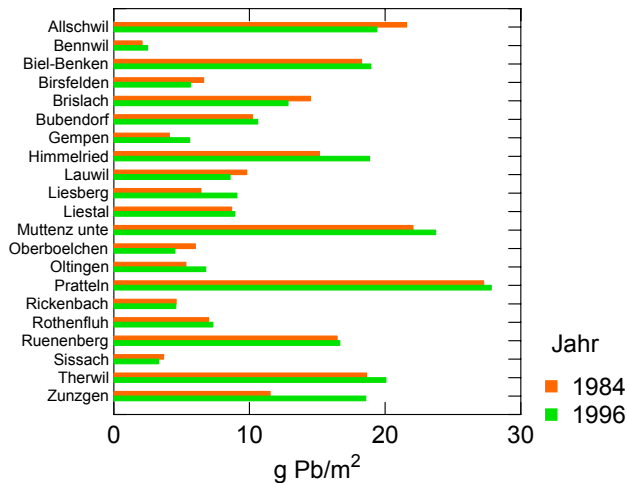


Abb. 7: Auf die Profiltiefe hochgerechnete Gesamtmenge an HNO_3 -löslichem Blei. Es lässt sich keine gerichtete Entwicklung zwischen 1984 und 1996 feststellen (Wilcoxon-Test, $p=0.17$)

Die Cadmium-Gesamtgehalte im Boden haben sich nicht stark verändert (Abb. 8). Lediglich in der Fläche Himmelried, die möglicherweise im Einflussbereich der Metallwerke Dornach liegt, ist eine leichte Abnahme zu verzeichnen. Der einzelprobenweise Vergleich zeigt, mit zwei Ausnahmen (Liesberg 20-45cm und Brislach 40-50cm), eine gute Übereinstimmung zwischen den beiden Probenahmen (Abb. 9).

Auch die Cadmiumkonzentration im Boden ist stark positiv mit dem pH-Wert korreliert (Abb. 10). Erhöhte Cadmiumgehalte wurden schon öfters in Juraböden beobachtet (Atteia et al. 1995), so auch im Kanton Basel-Landschaft (Genolet und Dubois 1996; Presler 1999). Sie sind nach Benitez Vasquez (1999) auf eine geogene Herkunft zurückzuführen.

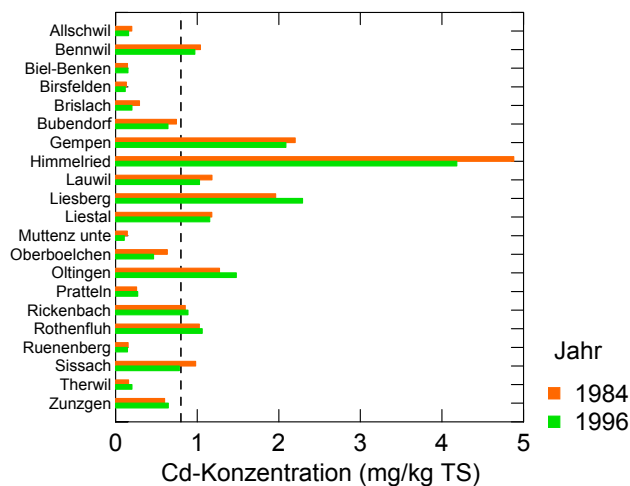


Abb. 8: Cadmiumkonzentrationen im Boden, umgerechnet auf 0-20 cm Bodentiefe, in den Jahren 1984 und 1996. Gestrichelte Linie: Richtwert nach VBBö (Wilcoxon-Test, $p=0.181$).

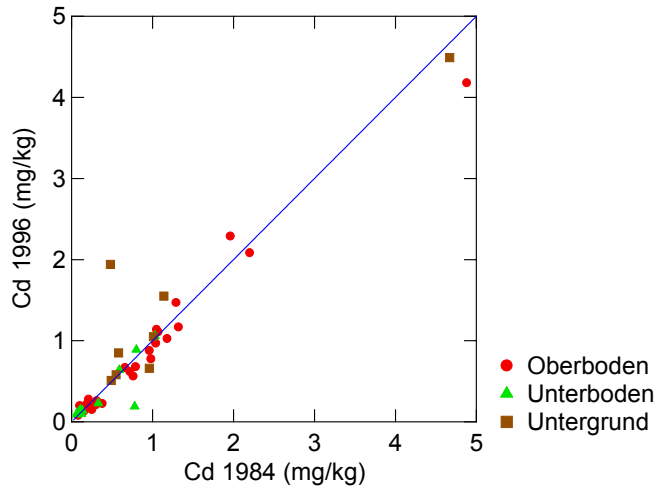


Abb. 9: Einzelprobenweiser Vergleich der Cadmiumkonzentrationen im Boden.

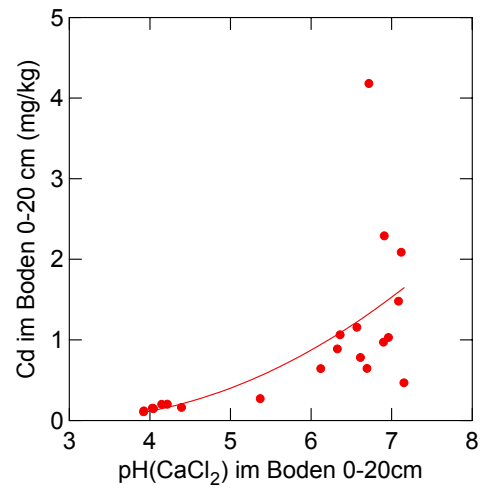


Abb. 10: Cadmiumgehalt im Boden (1996) in Abhängigkeit vom Boden-pH-Wert (gemittelt über 0-20cm Tiefe). Die kubische Beziehung ist (ohne Himmelried) signifikant mit $p < 0.01$.

Bei den Schwermetallen Chrom (Abb. 11, Abb. 12), Kobalt (Abb. 13, Abb. 14) und Nickel (Abb. 17, Abb. 18) sind keine Unterschiede zwischen der Probenahme 1984 und 1996 festzustellen. Beim Kupfer (Abb. 15, Abb. 16) und Zink (Abb. 19, Abb. 20) sind signifikante Abnahmen zu beobachten ($p=0.019$ bzw. 0.003).

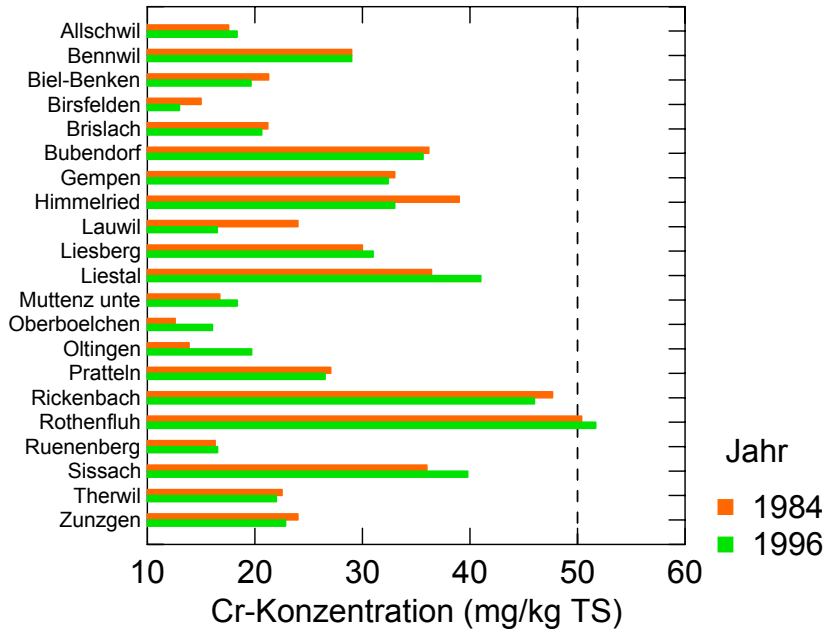


Abb. 11: Chromkonzentrationen im Boden, umgerechnet auf 0-20 cm Bodentiefe, in den Jahren 1984 und 1996. Gestrichelte Linie: Richtwert nach VBBo (50 mg/kg) (Wilcoxon-Test, $p=0.940$).

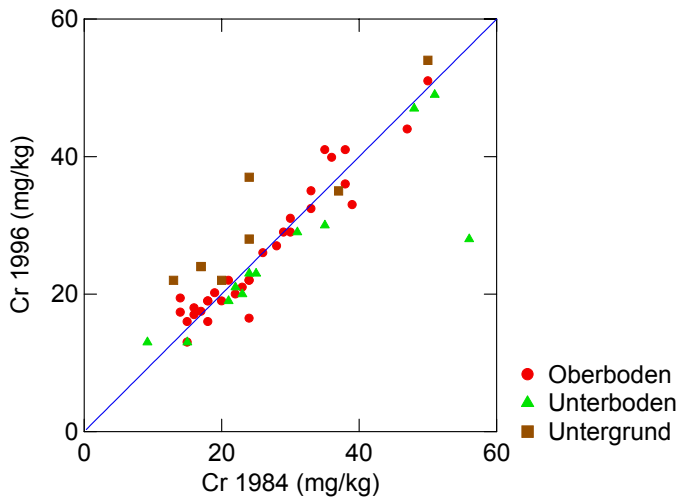


Abb. 12: Einzelprobenweiser Vergleich der Chromkonzentrationen im Boden.

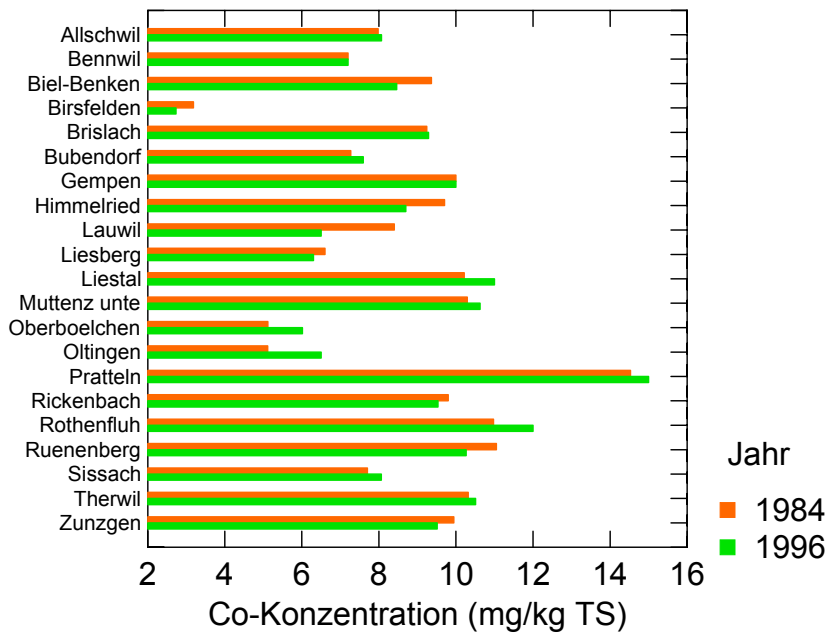


Abb. 13: Kobaltkonzentrationen im Boden, umgerechnet auf 0-20 cm Bodentiefe, in den Jahren 1984 und 1996. Der Richtwert VSBo von 25 mg/kg wurde in der Überarbeitung der Verordnung (VBBo) gestrichen (Wilcoxon-Test, 0.809).

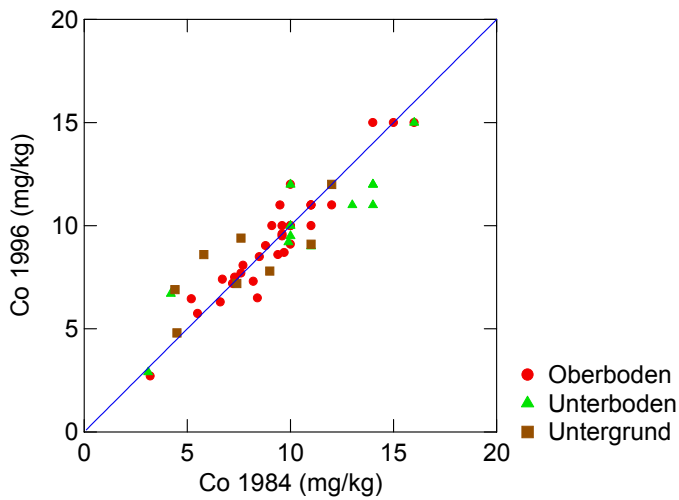


Abb. 14: Einzelprobenweiser Vergleich der Kobaltkonzentrationen im Boden.

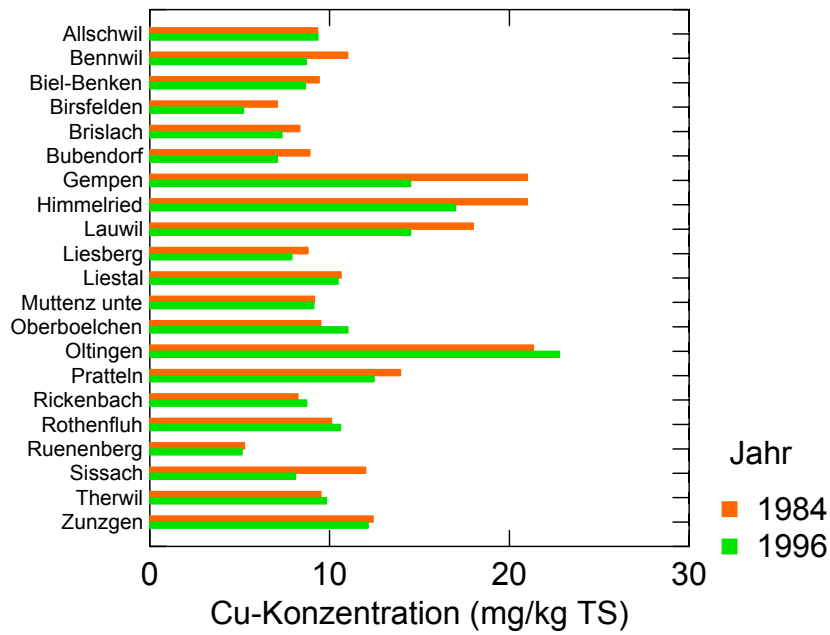


Abb. 15: Kupferkonzentrationen im Boden, umgerechnet auf 0-20 cm Bodentiefe, in den Jahren 1984 und 1996. Alle Werte liegen unter dem Richtwert nach VBBö (40 mg/kg). Die Abnahme von 1984 auf 1996 ist signifikant; sie ist vor allem in Rendzina-Flächen deutlich (Wilcoxon-Test, $p=0.019$).

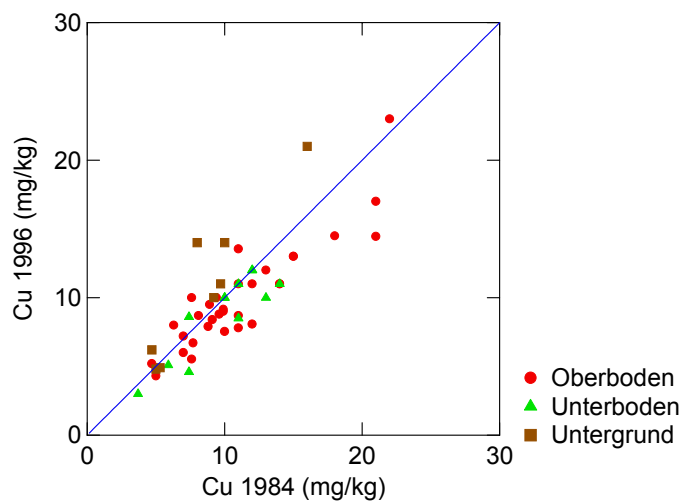


Abb. 16: Einzelprobenweiser Vergleich der Kupferkonzentrationen im Boden.

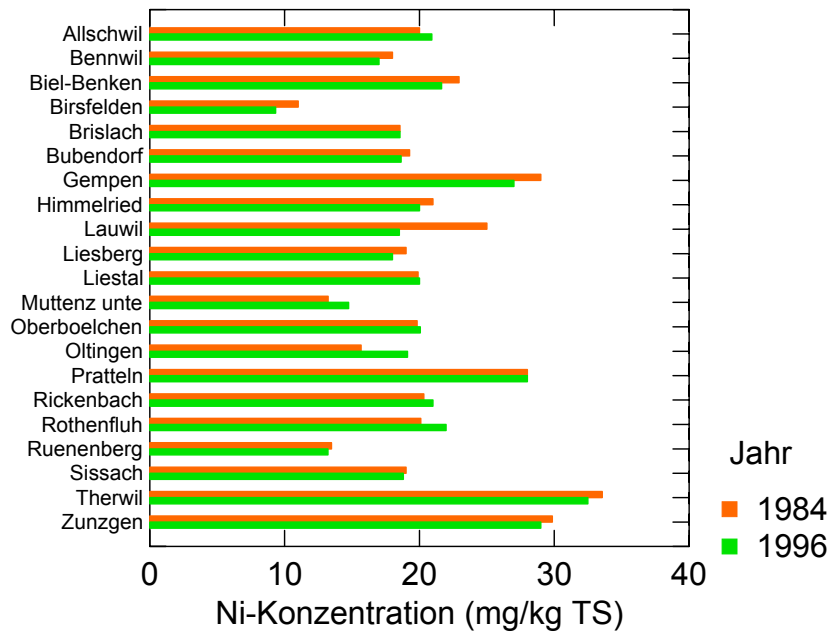


Abb. 17: Nickelkonzentrationen im Boden, umgerechnet auf 0-20 cm Bodentiefe, in den Jahren 1984 und 1996. Alle Werte liegen unter dem Richtwert nach VBBö (50 mg/kg) (Wilcoxon-Test, p=0.260).

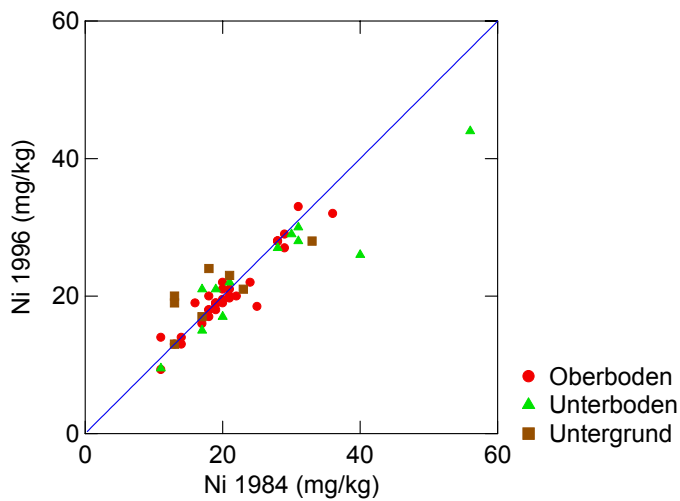


Abb. 18: Einzelprobenweiser Vergleich der Nickelkonzentrationen im Boden.

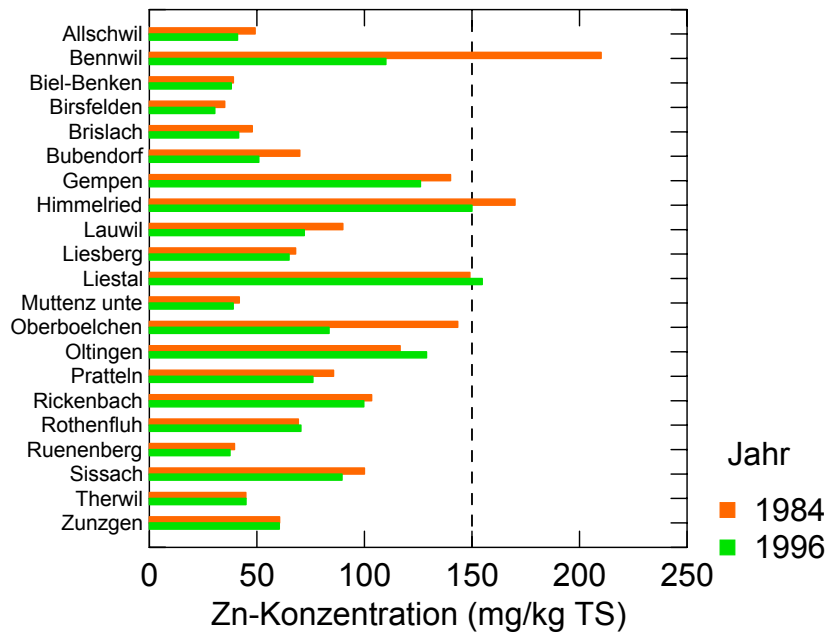


Abb. 19: Zinkkonzentrationen im Boden, umgerechnet auf 0-20 cm Bodentiefe, in den Jahren 1984 und 1996. Gestrichelte Linie: Richtwert nach VBB. Die Abnahme von 1984 auf 1996 ist signifikant (Wilcoxon-Test, $p=0.003$).

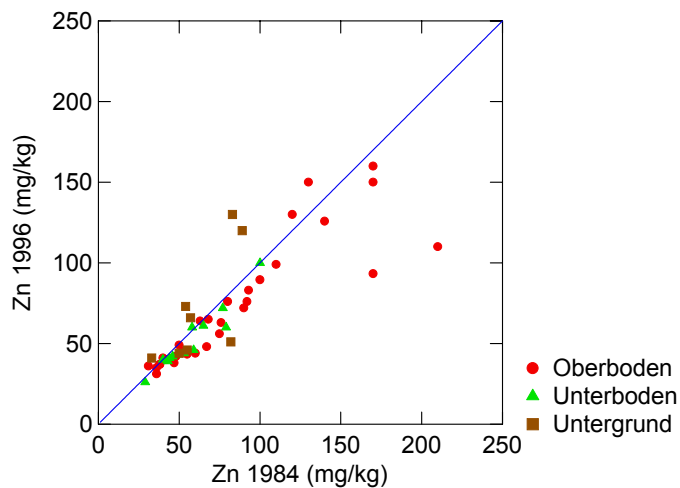


Abb. 20: Einzelprobenweiser Vergleich der Zinkkonzentrationen im Boden.

Schwermetallgehalte im Reproduzierbarkeitstest

In den fünfmal gezogenen Proben wurden ebenfalls die Schwermetalle analysiert. Um die Reproduzierbarkeit zu testen, wurden die Variationskoeffizienten für jede Wiederholung (Horizont innerhalb einer Fläche) ausgerechnet. Diese sind in Abb. 21 pro Schwermetall aufgetragen. Sie sind etwa 2-3mal grösser als die von D. Schmutz für die Analyse angegebenen Streuwerte. Desaulles und Dahinden (1994) fanden bei einem Reproduzierbarkeitstest für die Probenahme im NABO-Netz tiefere Variationskoeffizienten, wenn sowohl Probengewinnung und Analytik standardisiert waren, nicht jedoch bei unterschiedlicher Probenentnahme (Tab. 1).

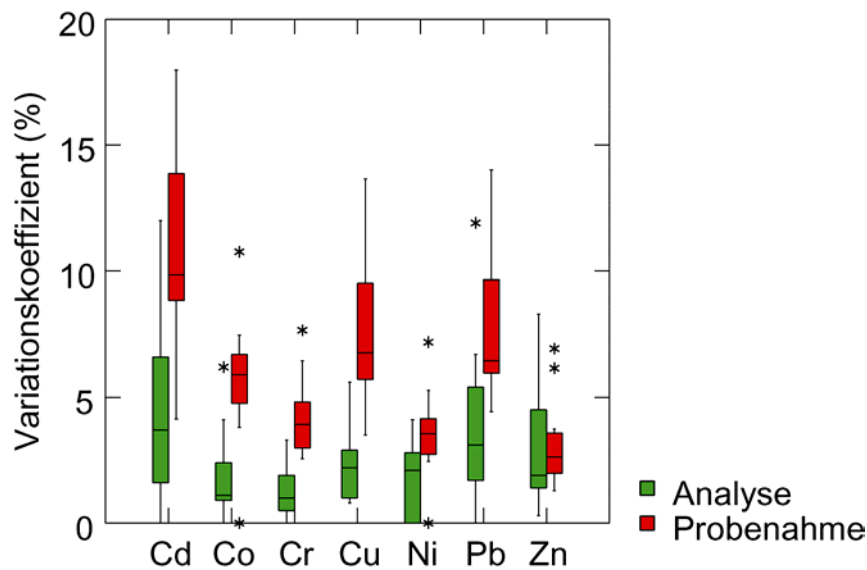


Abb. 21: Variationskoeffizienten pro Horizont bei der fünffachen Bodenprobenentnahme (rote Boxen) im Vergleich zum Variationskoeffizienten bei der Analyse (grüne Boxen). SYSTAT-Boxplot, mit dem Median als Querlinie und der Box vom 25%- bis zum 75%-Quantil.

Tab. 1: Variationskoeffizienten (%) bei Tests der Probengewinnung

Datenset	Schwermetall			
	Pb	Cu	Cd	Zn
IAP Reproduzierbarkeitstest der Probengewinnung	7.76	7.65	10.99	3.56
NABO Gleiche Probengewinnung und Analytik	3.52	2.74	7.54	2.38
NABO Unterschiedliche Probengewinnung, gleiche Analytik	8.66	3.84	8.38	3.52

Laubanalysen

Im Laub wurden Blei und Cadmium analysiert. Infolge der Einführung des Katalysators ist beim Blei eine deutliche Abnahme der Konzentration zwischen 1984 und 1999 festzustellen (Abb. 22). Bei den Mittelwerten beträgt die Abnahme 63%. Die Regressionsanalyse, die der gepaarten Datenstruktur Rechnung trägt, ergibt eine Abnahme um 73% (95%-Vertrauensbereich 69-78%). Bei einer geschätzten Streumenge von 3 t/ha hat sich der jährliche Bleieintrag via Streu von 6.6 g/ha auf 2.4 g/ha vermindert. Dies ist eine konservative Schätzung, da die Laubproben für die Bleianalyse Ende Juli geerntet wurden, eine Bleideposition aber bis zum Laubfall im Herbst stattfindet. Zwischen 1988 und 1999 hat die Bleifracht im Staubbiederschlag an den ländlichen NABEL-Stationen von 75 auf 11 g/ha (Abb. 23), die Bleikonzentration im Schwebestaub von 61 auf ca. 13 ng/m³ (Abb. 24) abgenommen. Die Abnahme des Bleigehaltes im Laub folgt somit eher dem Schwebestaub; zudem sind die Frachten im Laub auch um den Faktor 4.5-11 geringer als im Staubbiederschlag.

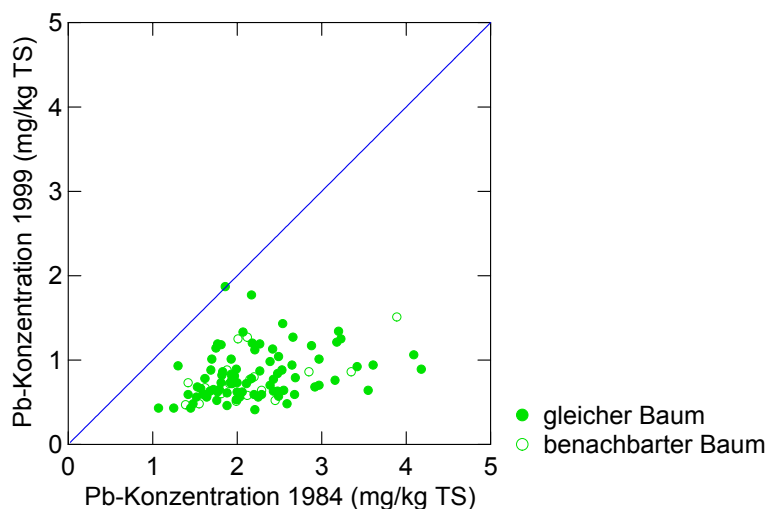


Abb. 22: Bleikonzentration im Buchenlaub der Ernte 1999 im Vergleich zum Bleigehalt bei der Ernte 1984. Ausgefüllte Punkte kennzeichnen eine Ernte bei jeweils den gleichen Bäumen in beiden Jahren. Die Abnahme des Bleigehaltes ist offensichtlich und hochsignifikant ($p < 0.001$).

Es lassen sich keine Beziehungen finden zwischen Bleigehalt im Laub und Bodenparametern (geprüft wurden Bleigehalt im Boden, Basensättigung, pH-Wert und C-Gehalt). Dies deutet auf eine überwiegende Herkunft des Bleis aus der Luft hin.

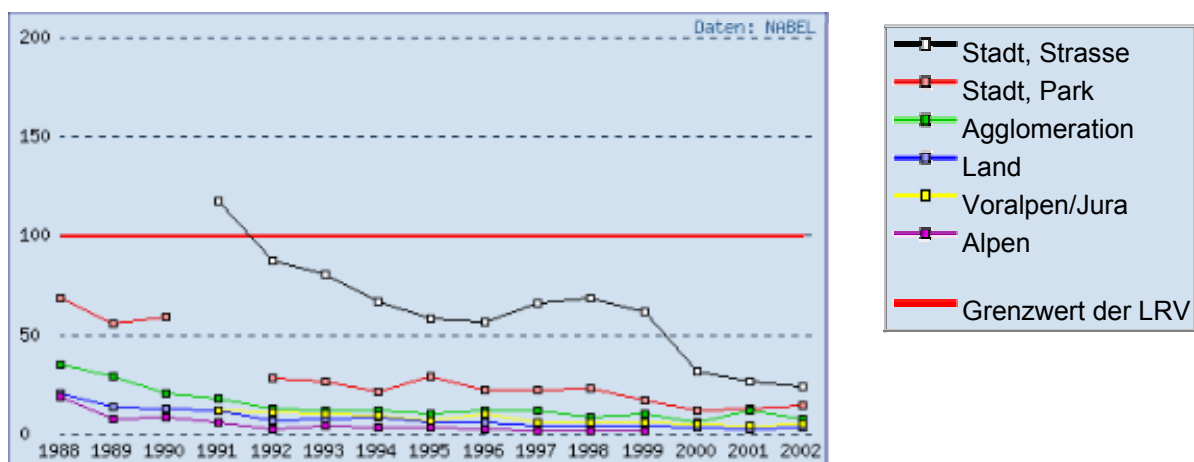


Abb. 23: Entwicklung des Bleigehaltes im Staubbiederschlag (in $\mu\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$). Daten NABEL.

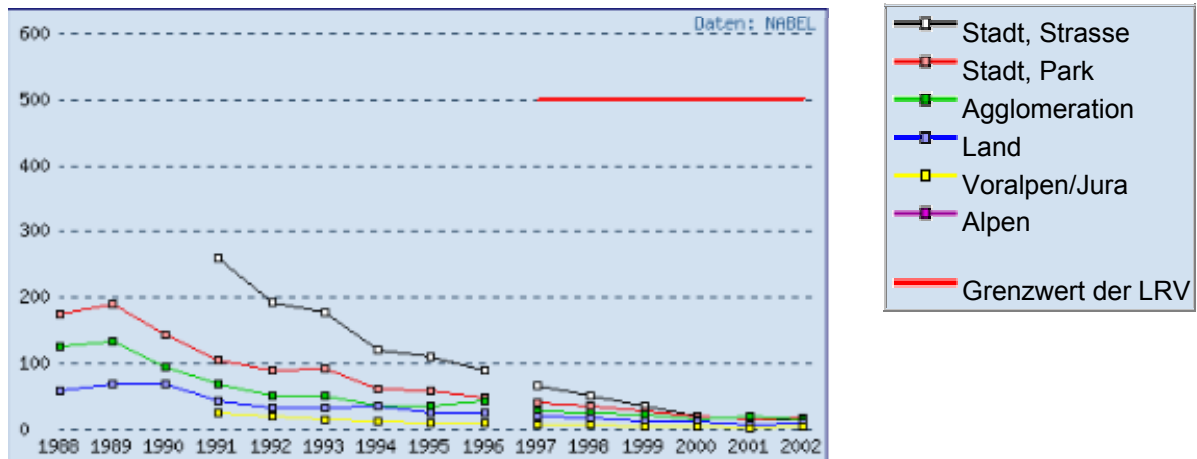


Abb. 24: Entwicklung des Bleigehaltes im Schwebestaub (ng/m^3). Daten NABEL.

Auch beim Cadmium ist eine Abnahme zu beobachten. Sie ist weniger stark als beim Blei, aber immer noch hochsignifikant (Abb. 25). Die Mittelwerte haben um 15% abgenommen; die Regressionsanalyse zeigt gar eine Reduktion um 28% (95%-Vertrauensbereich 20-36%). Diese Abnahme ist schwächer als die annähernd simultane Abnahme der Cadmiumimmissionen (zwischen 1988 und 1999) an den ländlichen NABEL-Stationen: die jährlichen Cadmiumfrachten im Staubniederschlag sanken von 148 auf $44 \mu\text{g}/\text{m}^2$ (Abb. 28), die Cadmiumkonzentrationen im Schwebestaub von 0.50 auf $0.22 \text{ ng}/\text{m}^3$ (Abb. 29).

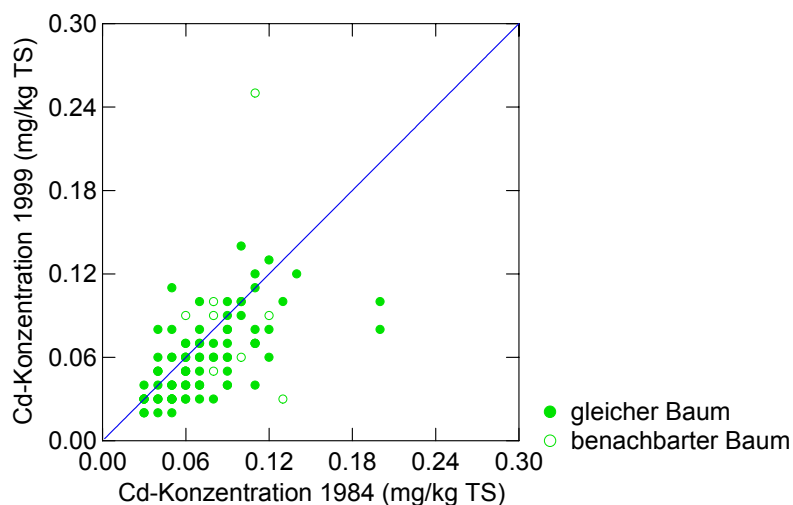


Abb. 25: Cadmiumkonzentration im Buchenlaub der Ernte 1999 im Vergleich zum Cadmiumgehalt bei der Ernte 1984. Ausgefüllte Punkte kennzeichnen eine Ernte bei jeweils den gleichen Bäumen in beiden Jahren. Es ist eine leichte, aber hochsignifikante Abnahme festzustellen.

Die Cadmiumkonzentration im Laub ist signifikant negativ mit dem Boden-pH oder mit der Basensättigung in 0-40cm Tiefe korreliert (1984 $p < 0.001$, 1999 $p < 0.05$) (Abb. 26), d.h. die Verfügbarkeit nimmt mit abnehmendem pH-Wert wieder zu. Es gibt allerdings eine Ausnahme, die nur im Rohdatenplot sichtbar ist (Abb. 27): bei stark kalkhaltigen Böden nimmt der Cd-Gehalt im Laub wieder zu, und zwar nicht nur wegen des belasteten Standorts Himmelried. Dies steht vermutlich im Zusammenhang mit dem erhöhten Cd-Gehalt in den Jurakalkböden (vgl. Abb. 10).

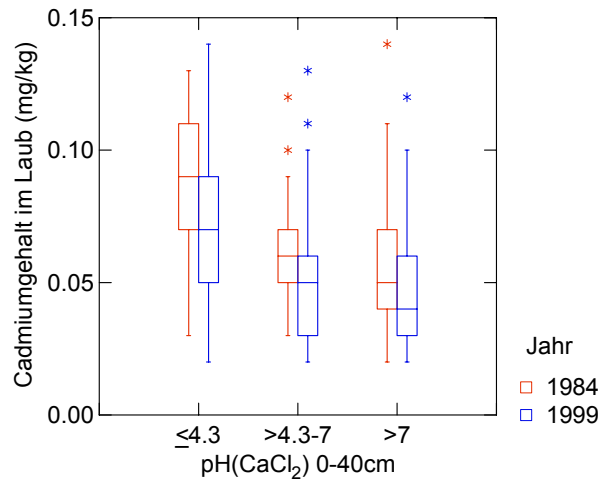


Abb. 26: Cadmiumgehalt im Laub in Abhängigkeit vom klassierten Boden-pH-Wert. Die Beziehung ist 1984 signifikant mit $p < 0.001$, 1999 mit $p < 0.05$.

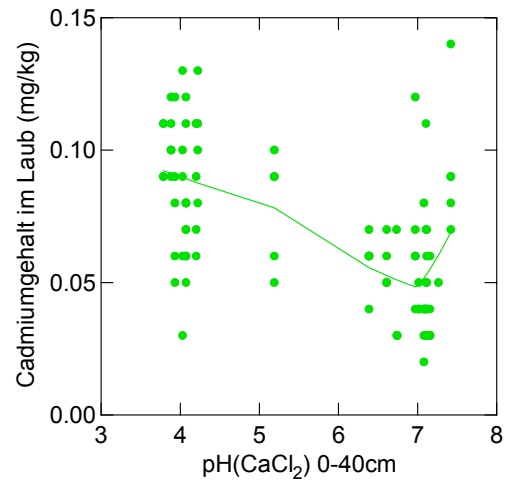


Abb. 27: Gleiche Daten wie Abb. 26 (nur 1984), aufgetragen gegen den nicht klassierten pH-Wert und mit einem nichtparametrischen Glätter (SYSTAT-Funktion LOWESS).

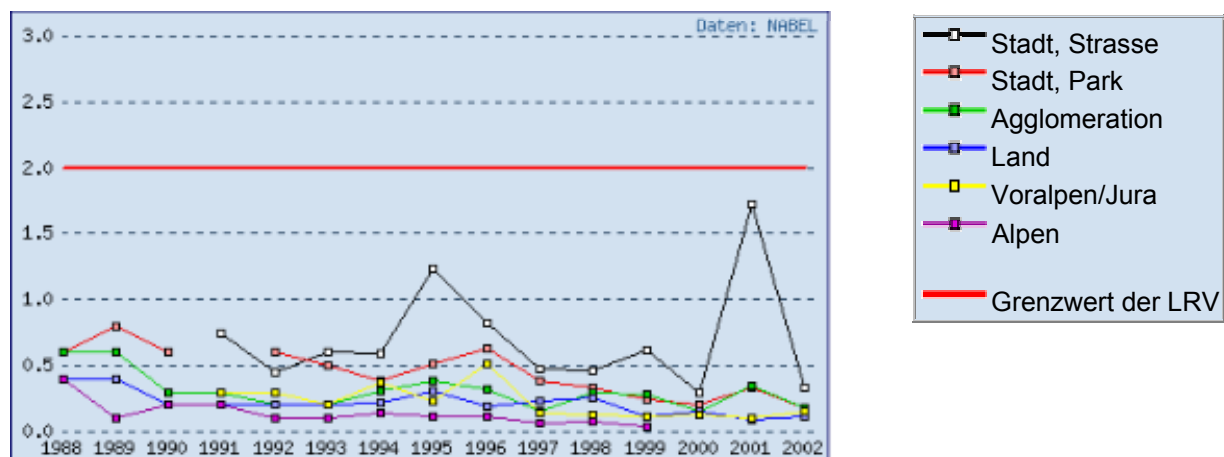


Abb. 28: Entwicklung des Cadmiumgehalts im Staubniederschlag (in $\mu\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$). Daten NABEL.

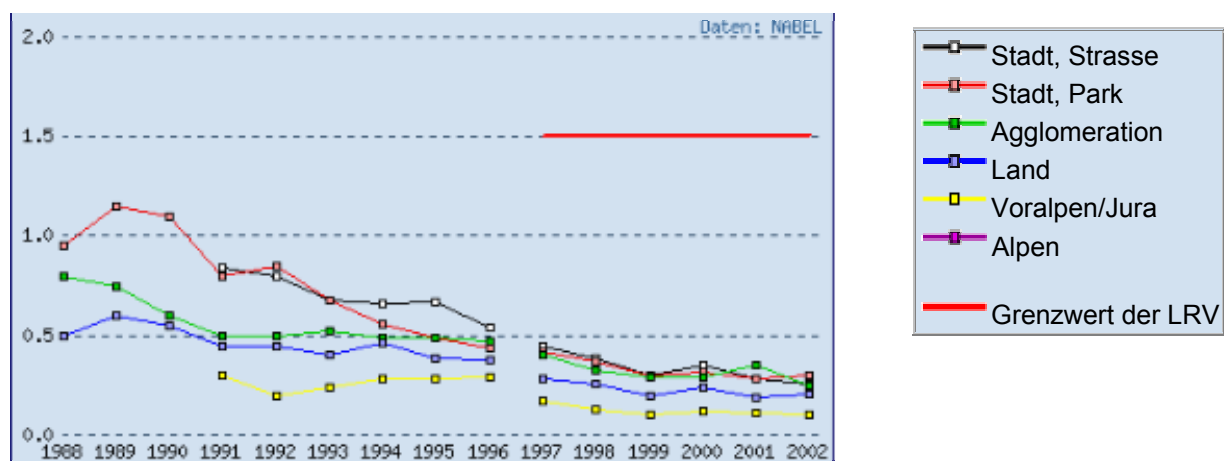


Abb. 29: Entwicklung der Cadmiumkonzentration im Schwebestaub (ng/m^3). Daten NABEL

Diskussion der Ergebnisse im Zusammenhang mit Daten anderer Bodenbeobachtungsnetze

Das nationale Bodenbeobachtungsnetz (NABO) und die kantonale Bodenüberwachung haben zum Ziel, Veränderungen des Bodens nachzuweisen. Da die VBBo gesetzliche Werte in der Regel für eine Bodentiefe von 0-20 cm vorschreibt, beziehen sich die meisten der vorliegenden Daten auf diese Tiefe. Im Gegensatz zu den vorliegenden Ergebnissen finden die kantonalen Untersuchungen von Aargau (KABO AG 2001) und St. Gallen (KABO SG 1997) häufig eine Zunahme des Bleigehaltes im Oberboden.

Bodenproben in grösseren Tiefen wurden im Kanton Aargau entnommen, doch enthält der Bericht keine Angaben über eine mögliche Entwicklung der Schwermetallgehalte im Untergrund.

In den NABO-Beobachtungsflächen lässt sich kein eindeutiger Trend der HNO_3 -extrahierbaren Bleigehalte (=sog. Totalgehalte) feststellen; die Anzahl Flächen mit Konzentrationszunahmen in 0-20 cm Tiefe ist gleich gross wie die Abnahmen (Desaules und Dahinden 2000).

Schlussfolgerungen

Die Schwermetallanalyse in Bodenproben von Walddauerbeobachtungsflächen aus den Jahren 1984 und 1996 zeigt beim Blei eine Tendenz zur Abnahme im Oberboden und zur Zunahme im Untergrund. Allerdings ist die Abnahme noch zu schwach, um die mittlere Konzentration in den obersten 20 cm signifikant zu senken. Auffällig sind die Gehalte an Blei und Cadmium in der Fläche Himmelried. Kupfer und Zink zeigen von 1984 auf 1996 eine signifikante Abnahme im Oberboden (0-20cm). Bei den gleichzeitig analysierten Proben von Buchenlaub ist zwischen 1984 und 1999 eine Abnahme des Bleigehaltes um 73% und des Cd-Gehaltes um 28% zu beobachten.

Literatur

- Atteia, O., Thélin, Ph., Pfeifer, H. R., Dubois, J. P. und Hunziker, J. C. (1995). A search for the origin of cadmium in soils of the swiss Jura. *Geoderma* 68, 149-172.
- Benitez Vasquez, N.(1999). Cadmium speciation and phyto-availability in soils of the Swiss Jura: Hypothesis about its dynamics. EPFL, Lausanne, 132 pp.
- Benzler, J. H., Finnern, H., Müller, W., Roeschmann, G., Will, K. H. und Wittmann, O.(1982). *Bodenkundliche Kartieranleitung*. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart,
- Desaules, A. und Dahinden, R.(1994). Die Vergleichbarkeit von Schwermetallanalysen in Bodenproben von Dauerbeobachtungsflächen. Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene, Liebefeld, Bern, 26 pp.
- Desaules, A. und Dahinden, R.(2000). Nationales Bodenbeobachtungsnetz. Veränderungen von Schadstoffgehalten nach 5 und 10 Jahren. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 129 pp.
- Genolet, F. und Dubois, J.-P.(1996). Etude de la teneur en cadmium dans les sols de la région Blauen-Nenzlingen BL. Lausanne et Liestal, 27 pp.
- KABO AG(2001). Bodenbeobachtungsnetz des Kantons Aargau. Baudepartement des Kantons Aargau, Abteilung Umweltschutz, Aarau, 58 pp.
- KABO SG(1997). Kantonale Bodenbeobachtung (KABO) St. Gallen. Amt für Umweltschutz, St. Gallen,
- Presler, J.(1999). Schwermetalle in Baselbieter Böden. Amt für Umweltschutz und Energie, Liestal 1999, 58 pp.

Anhang

Liste der untersuchten Standorte

Standort	Koordinaten		Höhe	Bodentyp	Bestand
	West	Nord			
Birsfelden	615524	265718	270	Braunerde-Parabraunerde	Buchen/Eichen
Allschwil	607706	264929	350	Pseudogley-Parabraunerde	Buchen
Biel-Benken	604580	262966	390	Braunerde-Parabraunerde	Buchen/Eichen
Therwil	610660	261286	390	Pseudogley-Parabraunerde	Buchen/Fichten/Eichen
MuttENZ unten	614724	262841	375	Pseudogley-Parabraunerde	Buchen
MuttENZ oben	614668	262735	380	Pseudogley-Parabraunerde	Buchen
Pratteln	617653	262648	415	Braunerde-Parabraunerde	Buchen
Liestal	621177	258610	450	Braunerde-Rendzina	Buchen/Eichen
Bubendorf	621058	254962	530	Braunerde-Rendzina	Buchen
Lauwil	618502	248528	650	Rendzina	Buchen
Zunzgen	626144	254156	580	Rendzina	Buchen/Eichen
Bennwil	625855	249346	665	Rendzina	Buchen
Oberbölchen	627315	246336	1020	Rendzina	Buchen
Sissach	629069	257753	660	Braunerde-Rendzina	Buchen/Eichen
Rickenbach	632004	259489	740	Braunerde-Rendzina	Buchen
Rünenberg	634713	253787	590	Braunerde-Parabraunerde	Buchen
Rothenfluh	636485	258755	680	Rendzina	Buchen/Tannen
Oltingen	637024	252760	780	Rendzina	Buchen
Himmelried	611926	253115	680	Rendzina	Buchen
Gempen	616644	259364	670	Rendzina	Buchen
Liesberg	596231	251375	720	Braunerde-Rendzina	Buchen
Brislach	608437	254273	435	Braunerde-Parabraunerde	Buchen

Standort	Tiefe	Horizont	Horizont- gruppe	Laufnummer Laborprobe	pH(CaCl2)	organischer Kohlenstoff	Basen- sättigung (%)	Skelett Vol%	Bodenart	Gesamt- Porenvolumen
Birsfelden	0-18cm	Ah	A	17	3.925	3.907	35.61	40	Ls3	57.5
Birsfelden	18-55cm	Bv	B	19	3.94	1.78	15.26	40	Ls3	44
Allschwil	0-10cm	Ah	A	20	4.848	2.477	89.9	0	U	56.5
Allschwil	10-55cm	(Sw)Al	A	22	4.03	0.67	59.92	0	U	45
Allschwil	55-115cm	SdBt	B	23	4.47	0.36	80.01	0	Lu	38
Biel-Benken	0-7.5cm	Ah	A	24	4.16	2.31	71.19	0	U	55
Biel-Benken	7.5-35cm	Al	A	25	3.96	1.16	40.71	0	U	52
Biel-Benken	35-110cm	BvBt	B	26	4.22	0.6	64.39	0	Lt2	48
Therwil	0-10cm	Ah	A	28	4.3	1.76	82.42	0	Us	52
Therwil	10-50cm	SwAl	A	29	4	0.88	53.08	0	Us	50.5
Therwil	50-100cm	SdBt	B	30	4.13	0.5	77.62	0	Tu3	40
MuttENZ unten	0-8cm	Ah	A	31	4.04	2.39	63.31	0	U13	56.5
MuttENZ unten	8-50cm	(Sw)Al	A	32	3.85	1.01	21.17	0	U	52
MuttENZ unten	50-100cm	SdBt	B	33	3.92	0.65	27.19	0	T	50
Pratteln	0-10cm	Ah	A	38	5.56	4.42	99.22	0	Lu	54.5
Pratteln	10-20cm	Alh	A	39	5.2	3.09	98.24	0	Lu	49.5
Pratteln	20-40cm	BvAl	A	40	5.05	2.15	99.02	0	Lu	38.5
Pratteln	40-90cm	BvBt	B	41	6.02	1.26	99.91	0	Lu	38
Liestal	0-7.5cm	Ah	A	43	6.25	14.8	99.83	5	Tu4	72.5
Liestal	7.5-25cm	BvAh	A	44	6.87	11.4	99.87	50	Lt3	66.5
Liestal	25-55cm	BvCv	C	45	6.59	2.89	100	50	Lt3	56
Bubendorf	0-10cm	Ah	A	47	5.68	6.11	100	0	Lt3	70.5
Bubendorf	10-25cm	BvAh	A	48	6.39	3.18	97.79	0	T1	51.5
Bubendorf	25-65cm	BvCv	C	49	6.9	2.13	99.99	65	T1	47
Lauwil	0-30cm	Ah oben	A	50	7	11.2	99.95	5	U14	69.5
Lauwil	30-45cm	AhCv	C	52	7.11	5.1	100	50	Lu	40.5
Zunzgen	0-3cm	Ah	A	53	6.7	9.1	99.88	5	Ltu	66.5
Zunzgen	3-20cm	AhBv	B	54	6.69	6.9	99.78	35	T1	49
Zunzgen	20-100cm	BvCv	C	55	7.02	4.2	99.82	35	T1	47
Bennwil	0-20cm	Ah	A	56	6.9	16.5	99.89	70	U13	70
Oberbölchen	0-15cm	Ah oben	A	59	7.103	9.495	99.88	10	Lu	68.5
Oberbölchen	15-20cm	AhBv	B	61	7.28	2.32	100	20	Lu	58
Sissach	0-15cm	Ah oben	A	63	6.456	7.888	100	30	Lu	68.5
Rickenbach	0-5cm	Ah	A	67	6.15	17.5	100	10	Lt3	70.5
Rickenbach	5-20cm	AhBv	B	68	6.42	7.92	100	50	Lt3	66
Rünenberg	0-5cm	Ah	A	71	4.23	3.22	70.61	0	U13	60.5
Rünenberg	5-15cm	AhAl	A	72	3.94	2.2	33.4	0	U13	53
Rünenberg	15-50cm	BvAl	A	73	4.1	1.35	30.24	0	U14	53
Rünenberg	50-70cm	BvBt	B	74	4	0.68	13.24	0	Lu	45
Rothenfluh	0-3cm	Ah	A	76	5.74	6.75	99.81	0	Lt3	67.5
Rothenfluh	3-10cm	AhBv	B	77	6.29	4.47	100	5	T1	56.5
Rothenfluh	10-25cm	(Bv)Cv	C	78	6.59	3.13	99.96	25	T1	53
Oltingen	0-17cm	Ah oben	A	81	7.066	18.55	100	40	U13	70
Oltingen	17-45cm	AhCv	C	83	7.26	15.2	100	60	U13	70
Himmelried	0-25cm	Ah	A	100	6.72	17.9	99.64	30	Lu	68.5
Himmelried	25-60cm	AhCv	C	101	7.29	11.5	99.44	50	Tu3	42
Gempen	0-15cm	Ah oben	A	103	6.934	8.492	99.74	50	Lu	50.54
Liesberg	0-20cm	Ah	A	107	6.91	10.4	99.93	15	Lt3	65
Liesberg	20-45cm	BvCv	C	108	7.32	4.71	99.98	50	Lt3	40
Brislach	0-10cm	Ah	A	110	4.195	2.025	66.61	0	U	49.16
Brislach	10-40cm	BvAl	A	112	4.23	1.18	51.44	0	Lu	38
Brislach	40-50cm	BvBt	B	113	4.26	0.58	61.28	30	T	50

