

Handbuch Boden

Bodendauerbeobachtung in Baden-Württemberg

Schwermetalle, Arsen, Organochlorverbindungen

Stand: Frühjahr 1993

**Baden-
Württemberg**



Umweltministerium



**BODEN
ABFALL
ALTlastEN**

Materialien zum Bodenschutz





Bodenschutzfachinformation im WWW

Impressum

Herausgeber: Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg
Griesbachstr. 1
76185 Karlsruhe

Bearbeitung: Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg
Abteilung Boden, Abfall, Altlasten
Referat 51 Bodenschutz, Leitung: E. Hildenbrand

Dr. H.-K. Hauffe
A. Haussmann
R. Kohl
H.-O. Kühl
M. Lehle

Dr. T. Nöltner
K. Rahtkens
Dr. M. Schöttle
Dr. V. Schweikle
D. Wolf

und

Y. Buchleither¹

J. Gromotka¹

S. Jauz¹

Dr. J. Rupp¹

¹ ehemalige Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter

Kartographie: C. Ritter, Ladenburg

Der Einband zeigt einen Ausschnitt der Bodenkarte 1 : 1.000.000 des Geologischen Landesamts B.-W. mit den zugehörigen Standorten des Bodenmeßnetzes entsprechend Anlage 1 zu diesem Band. Die klein gedruckten Zahlen entsprechen der fortlaufenden Numerierung der Bodengesellschaften in der o.g. Karte.

Karlsruhe, 1995

Bei diesem Ausdruck handelt es sich um eine Adobe Acrobat Druckvorlage. Abweichungen im Layout vom Original sind rein technisch bedingt. Der Ausdruck sowie Veröffentlichungen sind - auch auszugsweise- nur für eigene Zwecke und unter Quellenangabe des Herausgebers gestattet.

Bodendauerbeobachtung in Baden - Württemberg

Schwermetalle, Arsen, Organochlorverbindungen

Herausgeber:

*Landesanstalt für Umweltschutz
Baden - Württemberg*

Bearbeitung:

*Landesanstalt für Umweltschutz
Baden - Württemberg
Abteilung Boden, Abfall, Altlasten
Referat 51 Bodenschutz*

Vorwort

Der Boden ist neben der Luft und dem Wasser eines der drei wichtigsten Umweltmedien. Der Erhalt des Bodens als Naturkörper und Lebensgrundlage für Menschen und Tiere, der Schutz des Bodens vor Belastungen sowie die Beseitigung bereits eingetretener Belastungen sind Ziele des im Jahre 1991 erlassenen Bodenschutzgesetzes. Ein wesentliches Instrument des Bodenschutzes ist die Bodendauerbeobachtung. Die Landesanstalt für Umweltschutz (LfU) betreibt daher als Bestandteil der landesweiten Umweltüberwachung ein Netz von Bodendauerbeobachtungsflächen, um den Zustand und die Veränderung der Beschaffenheit von Böden, die für die Gebiete des Landes typisch sind, zu erkennen und zu überwachen.

Im Jahre 1986 wurde mit der Erfassung des Bodenzustandes an 155 für die Naturräume des Landes repräsentativen Bodendauerbeobachtungsflächen begonnen. Die Lage dieser Beobachtungsflächen wurde so ausgewählt, daß mit ihrer Hilfe die ubiquitäre Hintergrundbelastung der Böden in Baden-Württemberg ermittelt werden kann. Ergänzt wird dieses Netz von Dauerbeobachtungsflächen durch Intensivbeobachtungsflächen, deren Böden erhöhten äußeren Einwirkungen ausgesetzt sind. Insgesamt werden zukünftig 25 dieser Flächen eingerichtet. Die erste Intensivbeobachtungsfläche wurde im Jahr 1992 direkt an der Bundesautobahn AS in der Nähe von Bruchsal eingerichtet. An dieser Fläche sollen vor allem die Auswirkungen des von Verkehrswegen ausgehenden Schadstoffeintrags in Böden untersucht werden. An weiteren noch einzurichtenden Intensivbeobachtungsflächen sollen zum Beispiel die langfristigen Bodenveränderungen durch die landwirtschaftliche Nutzung, die Auswirkungen von Bodenverdichtungen und Vernässungen oder die Folgen eines überhöhten Nährstoffeintrags langfristig beobachtet werden.

Im vorliegenden Bericht werden die bis jetzt vorhandenen bodenchemischen, bodenphysikalischen und bodenbiologischen Untersuchungsergebnisse zusammengefaßt. Insbesondere wurde festgestellt, daß die Schwermetalle Blei und Cadmium sowie in geringerem Ausmaße auch Quecksilber ubiquitär in die Umwelt eingetragen und nachweisbar in den obersten Schichten der Waldböden angereichert werden. Zusätzlich wurden in 80% der untersuchten obersten Bodenschichten im Wald polychlorierte Biphenyle und Organochlorpestizide nachgewiesen. Die Schadstoffgehalte nehmen aber mit zunehmender Tiefe deutlich ab.

Die Landesanstalt für Umweltschutz wird in regelmäßiger Folge über die Ergebnisse der Bodendauerbeobachtung berichten. Der nächste Bericht wird die Hintergrundgehalte organischer Schadstoffe der Böden Baden-Württembergs zum Thema haben.

Dr. Kiess

Präsident der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg

Inhaltsverzeichnis

1 EINLEITUNG.....	2
2 METHODIK.....	5
2.1 AUSWAHL DER MEßFLÄCHEN.....	5
2.2 STAND DER UNTERSUCHUNGEN.....	5
3 SCHWERMETALLE UND ARSEN IN BÖDEN	9
4 SCHWERMETALLE UND ARSEN IN PILSEN.....	16
5 ORGANOCHLORVERBINDUNGEN IN BÖDEN	20
5.1 PCB.....	21
5.2 PFLANZENBEHANDLUNGSMITTEL.....	24
5.3 PCDD/F.....	27
6 EIGUNGUNG BODENBIOLOGISCHER METHODEN ALS MONITORING – INSTRUMENT.....	29
7 ZUSAMMENFASSUNG.....	34
8 LITERATUR.....	36
9 GLOSSAR.....	37
ANLAGEN	39
ANLAGE 1: VERZEICHNIS DER BODEN-DAUERBEOBACHTUNGSFLÄCHEN, GRUNDMEßNETZ (BDF I).....	39
ANLAGE 2: SCHWERMETALL- UND ARSENGEHALTE IN BÖDEN DES BODENMEßNETZES ALLER NUTZUNGSFORMEN.....	45
ANLAGE 3B: HINTERGRUNDBELASTUNG DER BÖDEN VON ACKERSTANDORTEN MIT PCDD/F.....	48
ANLAGE 3 A: HINTERGRUNDBELASTUNG DER BÖDEN VON GRÜNLANDSTANDORTEN MIT PCDD/F.....	49
ANLAGE 3C: HINTERGRUNDBELASTUNG DER BÖDEN VON WALDSTANDORTEN MIT PCDD/F.....	50
INDEXVERZEICHNIS	51
ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	52
TABELLENVERZEICHNIS	53

1 Einleitung

Im Bodenschutzgesetz Baden-Württemberg ist die Erfassung und Überwachung der Bodenbeschaffenheit als Aufgabe der Landesanstalt für Umweltschutz festgelegt. Hierzu gehören neben der Einrichtung und Betreuung von Bodendauerbeobachtungsflächen (§ 16 BodSchG), die Einrichtung und Führung eines Bodenzustandskatasters (§ 15 BodSchG), einer Bodenprobenbank (§ 17 BodSchG) und einer Bodendatenbank (§ 18 BodSchG).

Auf dieser gesetzlichen Grundlage und in Anlehnung an die Vorgaben der Sonderarbeitsgruppe Informationsgrundlagen Bodenschutz der Umweltministerkonferenz (Arbeitshefte zum Bodenschutz 1 der Unterarbeitsgruppe "Boden-Dauerbeobachtungsflächen" 1991), wurde eine Konzeption zur Einrichtung und zum Betrieb von in Baden-Württemberg erarbeitet, mit den folgenden wesentlichen Zielen:

- Erfassung der Beschaffenheit gebietstypischer Böden, ihres aktuellen Zustands und ihrer Veränderungen;
- Ersterfassung des Schadstoffpotentials der Böden sowie Abbildung der landesspezifischen Situation an landschaftsrepräsentativen Standorten;
- Aufzeigen von Veränderungen der Bodenfunktionen anhand von Wiederholungsuntersuchungen als Instrument zur langfristigen Risikobeurteilung und -vorhersage.

Die Ersterfassung und Beschreibung der Bodeneigenschaften und des gegenwärtigen Bodenzustands wurde mit dem auf der Basis des Bodenschutzprogramms 1986 eingerichteten realisiert. Es handelt sich hierbei nicht um ein flächendeckendes rasterförmiges Meßnetz, sondern es umfaßt 155 ausgewählte, für die Naturräume des Landes repräsentative Beobachtungsflächen mit jeweils typischen Böden. Die Nutzungsarten der Flächen sind Wald (64), Acker (49) und Grünland (42 Standorte). Abbildung 1 nächste Seite) zeigt die Lage der Standorte; ein Standortverzeichnis befindet sich in Anlage 1. Die in den vorangegangenen Berichten (Jahresbericht 86/87 der Landesanstalt für Umweltschutz, Arbeitsgruppe Bodenschutz; Bodenmeßnetz B,-W.; Zwischenbericht 1988 der Arbeitsgruppe Bodenschutz zum Bodenmeßnetz) vorgestellte Konzeption des Bodenmeßnetzes wurde für den jetzigen Berichtszeitraum (1991/92) beibehalten.

Die Standorte des Bodenmeßnetzes wurden so ausgewählt, daß an ihnen die ubiquitäre Hintergrundbelastung der Böden Baden-Württembergs gemäß den Hauptnutzungen ermittelt werden kann. Nach Abschluß der ersten Untersuchungsreihe ist es nun möglich, für Böden unter bestimmter Nutzung und auf unterschiedlichen petrographisch/geologischen Einheiten Stoffgehaltsklassen natürlicher Inhaltsstoffe abzugrenzen. Hierbei ist allerdings zu berücksichtigen, daß viele Böden nicht aus dem anstehenden Gestein gebildet wurden. Infolge glazialer Oberflächenbewegungen und des Eintrags äolischer Sedimente (Löß) kam es in unterschiedlichem Ausmaß zu wechselnder Bodenentwicklung und damit zur Ausbildung unterschiedlicher Bodeneigenschaften auch innerhalb von petrographisch/geologischen Einheiten.

Im vorliegenden Bericht werden der Sachstand und die aktuellen Ergebnisse der bodenchemischen, bodenphysikalischen und bodenbiologischen Untersuchungen dargestellt. Abkürzungen und Fachbegriffe werden im Glossar (Kap. 9) erläutert.

Die Weiterführung der Boden-Dauerbeobachtung erfolgt künftig in zwei Stufen:

- Das bisherige Bodenmeßnetz wird als Grundmeßnetz (BDF I) weitergeführt. Neben der Ersterfassung der Schadstoffgehalte der Böden (natürlicher Hintergrund, vgl. Kap. 3

sowie Sachstandsbericht 4 der Arbeitsgruppe Bodenschutz der LfU 1990) steht bei diesem Grundmeßnetz die Untersuchung der langfristigen stofflichen Einwirkungen (luftgetragene oder bewirtschaftungsbedingte Schadstoffeinträge) im Vordergrund, d. h. die Eigenschaften dieser Standorte als Schadstoffsene werden zur Dokumentation von Stoffeinträgen genutzt. Wiederholungsbeprobungen sind in größeren Zeitabständen (ca. 10 Jahre) vorgesehen.

- In einem Intensivmeßnetz (BDF II) werden Standorte ausgewählt, die einem erhöhten lokalen oder regionalen exogenen Veränderungsdruck ausgesetzt sind und deren Böden gegenüber diesen Einwirkungen als sensibel bzw. gefährdet einzustufen sind. An diesen Standorten sind Messungen von Einwirkungen und Auswirkungen in kürzeren Intervallen im Sinne möglicher Beeinträchtigungen von Bodenfunktionen vorgesehen.

Während beim Grundmeßnetz der Schwerpunkt auf der Dokumentation des Bodenzustands liegt, stellen die Standorte des Intensivmeßnetzes ein "Frühwarnsystem" im Sinne des vorsorgenden Bodenschutzes dar. Insgesamt sind bis zu 25 Intensiv-Meßstandorte mit unterschiedlichem Ausrüstungsgrad und unterschiedlicher Meßintensität vorgesehen. Aus rationellen Gründen werden die Standorte auf jeweils ein oder zwei Schwerpunkt-Themen mit spezifischen Untersuchungsprogrammen ausgerichtet, z. B. direkter Schadstoffeintrag über die Luft, Eintrag durch Überschwemmung, Bodenversauerung, Bodenverdichtung und Eutrophierung oligotropher Böden. Ein Pilotstandort an der Autobahn A 5 bei Forst (Nähe Bruchsal) mit Schwerpunkt-Fragestellung "Verkehrsimmissionen" wurde eingerichtet.

Im Rahmen der Untersuchungen im Intensivmeßnetz werden nicht alle Parameter des Bodenmeßnetzes, sondern gezielt solche erfaßt, die hinsichtlich der jeweiligen Ein- und Auswirkungen relevant sind. Hiermit soll auch eine Untersuchung der Wirksamkeit von Maßnahmen ermöglicht werden, z. B. des Verbots bestimmter Pflanzenbehandlungsmittel, des Verbots des Einsatzes von Scavengern im bleihaltigen Benzin, der Reduzierung des bleihaltigen Benzins sowie Untersuchungen des Eintrags "neuartiger" Stoffe wie Platingruppenelemente aus Abgaskatalysatoren.

Die Frage des Wiederbeprobungsturnus in Bodenmeßnetzen wurde in verschiedenen Arbeitsgruppen auf Bund-/Länder-Ebene diskutiert. Danach sind die Untersuchungs-Intervalle so zu bemessen, daß zeitliche Veränderungen der zu bestimmenden Merkmale und der damit zu charakterisierenden Eigenschaften oder Leistungen von Böden erfaßbar, d. h. statistisch sicher nachweisbar werden. Dies gilt sowohl für makroskopische Merkmale (z. B. Vegetationsmuster, Humusform, Bodenfarbe) als auch für chemische Analysenparameter (z. B. pH-Wert, Gehalte anorganischer und organischer Schadstoffe, Austauschkapazität).

Die parameter- und standortbezogene Beurteilung des exogenen Veränderungsdrucks und der Standortempfindlichkeit ist erst durch den Vergleich der Ergebnisse mehrerer Untersuchungsreihen möglich. An dem Pilotstandort des Intensivmeßnetzes sind Wiederbeprobungen des Bodens nach drei, danach jeweils nach acht Jahren vorgesehen. Stoffein- und -austräge (Deposition, Sickerwasser) werden in kurzen Intervallen (2 - 4 Wochen) untersucht.

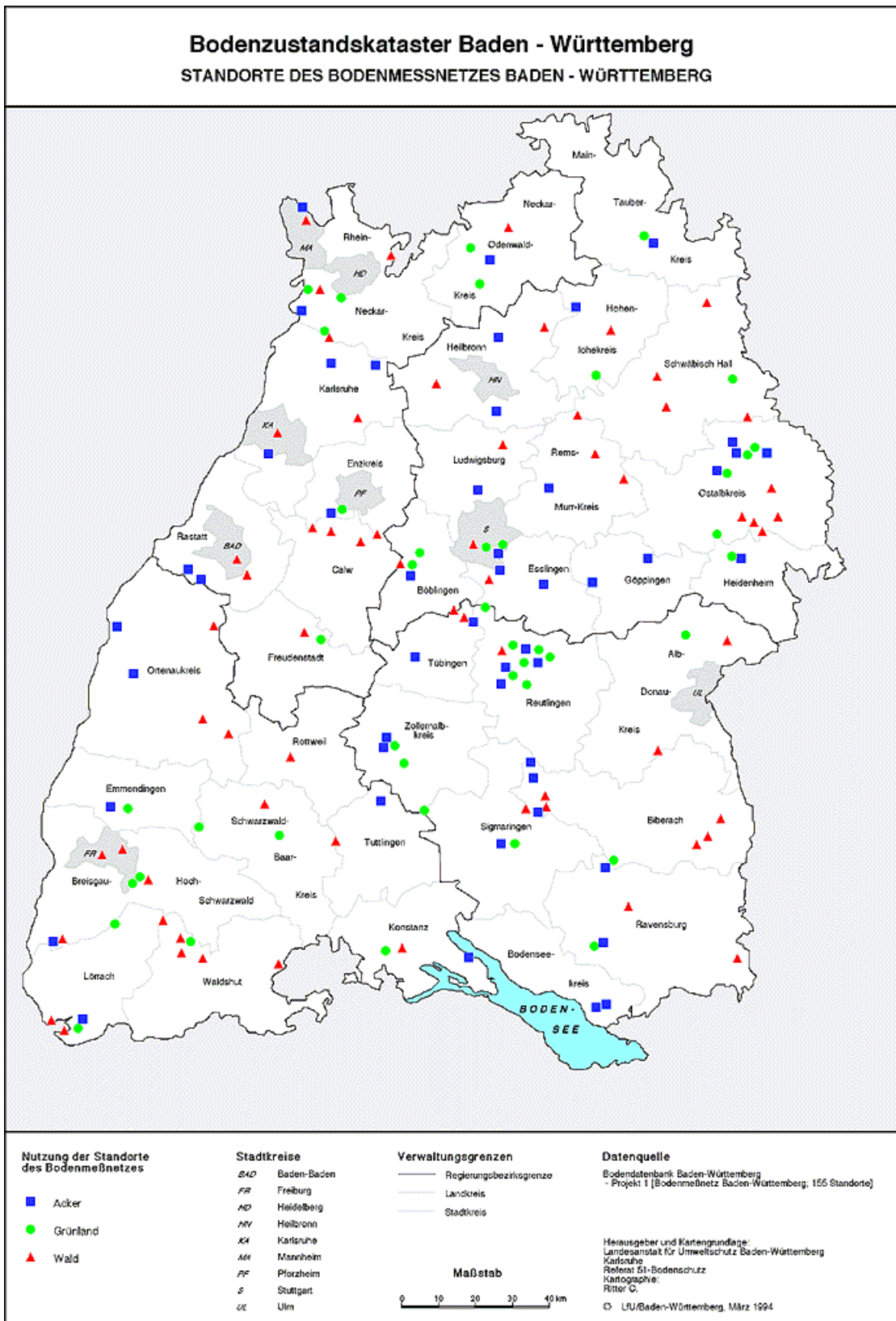


Abb. 1: Standorte des Bodenmeßnetzes Baden - Württemberg

2 METHODIK

2.1 Auswahl der Meßflächen

Die Auswahl der Bodenmeßnetz-Standorte erfolgte gemeinsam mit dem GLA, der LUFA und der FVA nach folgenden Kriterien:

- Ausgangsgestein der Bodenbildung,
- Bodengesellschaften,
- repräsentative Bodentypen,
- Naturraum, Niederschlagshöhe, Klima,
- Hauptnutzungsarten,
- möglichst unbelastete Standorte,
- langfristige Verfügbarkeit der Meßstellen.

Bedingt durch das kleinräumige Vorkommen verschiedener Bodentypen im Bereich der mittleren Alb, tritt in diesem Gebiet (Staatsdomäne St. Johann) eine Häufung von Standorten auf. Dadurch ist auch eine langfristige Verfügbarkeit der Flächen gesichert.

Jeweils weitere regionale Verdichtungen von Meßstellen finden sich im Bereich der Landkreise Heidenheim und Ostalb infolge der Anbindung der Flächen an die Dauerbeobachtungsflächen der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt im Zusammenhang mit der Erforschung von Ursachen der Waldschäden. Weitere Gründe für die regionale Verdichtung der Meßflächen sind das lokale Vorkommen besonderer bodenbildender Gesteinsformationen (z. B. Feuersteinlehme) sowie der kleinräumige Wechsel von Bodenarten im Keuperbergland.

Die Aufnahme der Bodenprofile erfolgte nach der bodenkundlichen Kartieranleitung der Arbeitsgruppe Bodenkunde der BGR und der GLÄ (1982),

Gegenüber dem Stand Herbst 1988 entfallen drei Meßstellen (Kraichtal 1, Kraichtal 2, St. Leon-Acker) wegen Umnutzung der Flächen. Vier Meßstellen wurden neu eingerichtet (Karlsruhe-Hardtwald, Freiburg-Stadtgarten, Weil am Rhein-Nonnenholz und Grenzach-Whylen).

2.2 Stand der Untersuchungen

Im Hinblick auf die Einrichtung der Bodendauerbeobachtung erfolgt z. Zt. eine Inventur des gesamten Datenbestands des Bodenmeßnetzes sowie eine Prüfung der Eignung der Einzelstandorte des Bodenmeßnetzes zur Übernahme in das Grundmeßnetz der Bodendauerbeobachtung (BDF I).

Folgende obligatorische Felddaten zu den Profilen des Bodenmeßnetzes liegen vor:

- Rechts- und Hochwert,
- Höhe über NN, Relief (Form, Neigung, Exposition, Kleinrelief),
- Nutzungsart,
- Oberflächenbeschaffenheit (Bearbeitungszustand, Erosion, Streu, Melioration),

- Ausgangsmaterial der Bodenbildung (Geologie),
- Horizontfolge,
- Bodenart, Steingehalt,
- Bodengefüge, Lagerungsdichte (LD), makroskopischer Hohlraumanteil,
- Bodenfarbe, Ausfällungen, Hydromorphiemerkmale,
- Humusgehalt und Humusform,
- Durchwurzelung, Gründigkeit,
- Wasserverhältnisse.

Hierzu gehören die Bestimmung der Trockenrohddichte (Raumgewicht), der Korngrößenverteilung, der Wasserleitfähigkeit (Kf-Wert), des Gesamtporenvolumens, der Feldkapazität und der nutzbaren Feldkapazität sowie der Luftkapazität. Zusätzlich wurde an 10 ausgewählten Standorten die Wasserleitfähigkeit im ungesättigten Bereich (UK[w]) ermittelt. Die Messungen - der bodenphysikalischen Parameter an den Standorten des Bodenmeßnetzes sind abgeschlossen.

Im Rahmen der Inventur des Datenbestands wurden die bisher durchgeführten Einzelbestimmungen der Rohdichten verschiedener Bodenschichten an unterschiedlichen Standorten neu ausgewertet. Hierbei zeigte sich, daß die bisher für Mineralböden verwandten mittleren Standardrohddichten einer Korrektur bedürfen (Tab. 1).

Schicht	Standardrohddichte bisher	neu berechnet
Humusauflage	0,3	0,3
Oberboden Acker	1,3	1,4
Oberboden Wald/Grünl.	1,2	1,1
Unterböden	1,5	1,5

Tab. 1: Korrigierte Mittelwerte für Standard-Trockenrohddichten (g/cbm), ermittelt aus Böden des Bodenmeßnetzes

Schadstoffgehalte in Böden werden in Gewichtsanteilen angegeben. Zur Beurteilung des Stoffeintrags pro Flächeneinheit wird, insbesondere für Auflagehorizonte an Waldstandorten, die Trockenrohddichte benötigt. Da diese in Routineuntersuchungen selten bestimmt wird, werden aus den Böden des Bodenmeßnetzes die durchschnittlichen Werte ("Standardrohddichten") für Bodenschichten ermittelt, die auch für lokale thematische Untersuchungen herangezogen werden können.

Eine Bewertung individueller und ein Vergleich verschiedener Standorte - insbesondere der Auflagen – bezüglich der Immissionsbelastung kann jedoch nur auf der Grundlage exakter, durch direkte Messung ermittelter Rohdichten vorgenommen werden.

- Bodenchemische Grunddaten, Pflanzennährstoffe

An allen Proben wurden die pH-Werte (pH [KCl], pH [Ca-Acetat]) bestimmt. Das pH [Ca-Acetat] kann in Verbindung mit der Bestimmung des pH-Werts in Neutralsalzlösung (z. B. pH [KCl]) zur Ermittlung des Kalkbedarfs von Böden verwandt werden. An Böden unter forstwirtschaftlicher Nutzung wurde zusätzlich das pH [H₂O] bestimmt. Weiter werden Karbonatgehalt, Gesamtkohlenstoff- und -stickstoffgehalt sowie die potentielle und effektive Kationenaustauschkapazität (KAK_{pot.}, KAK_{eff.}) ermittelt.

Als wichtigste Pflanzennährstoffe werden in landwirtschaftlich genutzten Böden Phosphor und Kalium im CAL-Extrakt sowie Magnesium im CaCl_2 -Extrakt gemessen. Die Gehalte pflanzenverfügbaren Stickstoffs (Nitrat- und Ammoniumstickstoff) in landwirtschaftlich genutzten Böden wurden wegen der starken Variationen im Jahreslauf nicht bestimmt. Die Pflanzennährstoffgehalte variieren auch mit der Art der Nutzung und der Bewirtschaftung der Böden. Die Daten stehen für Auswertungen im Rahmen des produktionsbezogenen Bodenschutzes bei der LUFA zur Verfügung. Eine separate Auswertung durch die LfU erfolgt nicht.

In forstwirtschaftlich genutzten Böden werden die salzsäurelöslichen Anteile von Phosphor, Kalium, Magnesium, Calcium sowie die Streuabbaurate bestimmt. Hierzu wurden nach einer von der Staatlichen Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Freiburg (FVA) entwickelten Methode aus 2 Tiefen (0 – 4 cm und 4 – 10 cm) jeweils 6 Einzelproben zu einer Mischprobe vereint. Durch Angabe der Mengenverhältnisse, jeweils bezogen auf Kohlenstoff, wird die Nährstoffversorgung abgeschätzt. Die Auswertung der Daten erfolgt durch die FVA.

- Anorganische Schadstoffe (Schwermetalle und Arsen)

Bei der Untersuchung anorganischer Stoffe werden die Gesamtgehalte von Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber, Zink, Arsen und Thallium (nach Königswasser-Aufschluß) bestimmt. Von den insgesamt 2.800 Bodenproben wurden ausgewählte Proben (ca. 80 %) auf Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Blei, Quecksilber, Thallium und Zink untersucht. Ca. 33 % der Proben wurden auf Arsen untersucht. Die Ergebnisse werden in Kap. 3 vorgestellt.

In einem noch laufenden Untersuchungsprogramm werden die nach dem Entwurf der Vornorm DIN V 19 730 in Ammoniumnitratlösung extrahierbaren Schwermetall- und Arsengehalte an allen Standorten des Bodenmeßnetzes sowie an ausgewählten Standorten mit stark erhöhten Stoffeinträgen ermittelt. Die Untersuchung soll die Datengrundlage zu natürlichen Hintergrundgehalten "mobiler" Elemente in Böden und zu den Gehalten bei spezifischen Belastungssituationen (z. B. Verkehrsemissionen) erweitern.

- Organische Schadstoffe

Aus der Vielzahl organischer Stoffe waren im Rahmen des bisherigen Untersuchungsprogramms Analysen auf PCB (6 Einzelsubstanzen), HCB, sowie auf die Organochlorpestizide DDT mit Metaboliten, Lindan (γ -HCH) und Chlordan vorgesehen. Bisher wurden ca. 1060 Proben auf PCB und Organochlorpestizide analysiert, PCDD/F-Analysen wurden an Proben von Auflagen und Mineraloberböden von 20 ausgewählten Standorten des Bodenmeßnetzes durchgeführt (Kap. 5). Sie können zusammen mit Ergebnisse aus anderen Untersuchungsprojekten zur Ermittlung ubiquitärer PCDD/F-Gehalte in Böden Baden-Württemhergs herangezogen werden.

Der Untersuchungsumfang organischer Parameter in Böden des Bodenmeßnetzes wurde inzwischen um die Schadstoffe bzw. Stoffgruppen PAK (16 Einzelsubstanzen nach EPA sowie Coronen), PCP und Phthalsäureester (4 Einzelsubstanzen) erweitert. Die Standorte des Bodenmeßnetzes wurden im Jahr 1992 neu beprobt und auf alle oben genannten organischen Parameter analysiert. Die Auswertung der Ergebnisse erfolgt derzeit.

Im Gegensatz zu den Arbeitsmethoden der Bodenphysik und -chemie standen bei der Einrichtung des Bodenmeßnetzes in der Bodenbiologie nur wenige Standardmethoden, die zu reproduzierbaren Ergebnissen führen, zur Verfügung. Daher lag der Schwerpunkt der durchgeführten Arbeiten zunächst auf der Prüfung der Eignung bekannter bodenbiologischer Labor- und Freilandmethoden für Routineuntersuchungen sowie auf deren Weiterentwicklung und Auswahl zur:

- biologischen Charakterisierung unterschiedlicher Standorttypen,
- Erfassung des Ist-Zustands mit biologischen Parametern,
- Diagnose von Umweltveränderungen und Störungen, d. h. Abweichungen vom Soll-Zustand,
- Prognostizierbarkeit der Schadstoffverteilung, Bioverfügbarkeit von Schadstoffen, Bioakkumulation und biologischen Abbaubarkeit.

Reaktionen von Organismen gegenüber Umweltveränderungen oder -störungen können in unterschiedlichen Organisationsstufen (von der einzelnen Zelle bis zur gesamten Biozönose) stattfinden. Bei der Auswahl der Methoden wurden die Organisationsstufen Organ, einzelne , Zelle, Individuum, Population und Biozönose berücksichtigt.

Folgende Themenbereiche wurden bearbeitet:

- Erprobung verschiedener Fang- und Auslesemethoden in Freiland und Labor;
- Populationsuntersuchungen an Regenwürmern (Lumbriciden);
- Rückstandsuntersuchungen an mit Schwermetallen belasteten Asseln und Regenwürmern;
- Bestimmung der mikrobiellen Aktivität;
 - über die Messung des Sauerstoffverbrauchs im Labor,
 - über die Messung der Kohlendioxidproduktion im Freiland;
- Bestimmung der biologischen Zersetzungsrates mit Netzbeuteln;
- Analyse von standardisiertem Material (Laub, Zellulose), das in durchlässigen Behältern (Netzbeuteln) am Standort für bestimmte Zeitintervalle deponiert wird.

Die Untersuchungsmethodik sowie einige Ergebnisse dieser Arbeiten werden in Kapitel 6 gestellt.

Im Rahmen der 1991 angelaufenen bodenbiologischen Untersuchungen wurde an den Standorten des Bodenmeßnetzes die mikrobielle Biomasse (Bestimmung über die substratinduzierte Respiration), die mikrobielle Basalatmung und metabolische Quotienten ermittelt. Die Probenahme und die Messungen hierzu sind abgeschlossen. Die Ergebnisse werden zur Zeit ausgewertet.

3 SCHWERMETALLE UND ARSEN IN BÖDEN

Die Erstbeprobung der Bodenmeßnetzstandorte hatte zum Ziel, den gegenwärtigen Bodenzustand an ausgewählten, repräsentativen Meßflächen bzw. Profilgruben landesweit zu erfassen. Aufgrund der vorwiegend emittententfernen Lage der Standorte können direkte Stoffeinträge auf die Beobachtungsflächen, z. B. Immissionen über die Luft, Klärschlammbeaufschlagung oder periodische Überschwemmung, weitgehend ausgeschlossen werden. Daher kann davon ausgegangen werden, daß es sich bei den Gehalten anorganischer Schadstoffe (Schwermetalle und Arsen) überwiegend um die natürlichen Hintergrundgehalte der Böden handelt. Sie werden in den Böden, die sich aus dem im Untergrund anstehenden Gestein entwickelt haben, vornehmlich durch die Art und Zusammensetzung dieser Ausgangsgesteine geprägt. Die mittleren Gehalte und die Streubreite der Konzentrationen einiger Schwermetalle in Mineralböden Baden-Württembergs wurden im Sachstandsbericht 4 der Arbeitsgruppe Bodenschutz (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg 1990) in Abhängigkeit von den wichtigsten bodenbildenden Ausgangsgesteinen errechnet und die Verbreitung der entsprechenden Böden kartographisch dargestellt.

Die Tabellen in Anlage 2 zeigen die Anzahl der insgesamt aus dem Bodenmeßnetz vorhandenen Einzelmeßwerte für Schwermetalle und Arsen sowie die arithmetischen Mittel-, 50. Perzentil- (= Median-) und 90. Perzentilwerte der Gehalte dieser Elemente in verschiedenen Bodenschichten (Werte in mg/kg; ppm). Hierzu wurden die Daten für unterschiedlich genutzte Böden aggregiert. Die Angaben beziehen sich auf die Gesamtgehalte der Böden nach Aufschluß des Feinbodenanteils < 2 mm mit Königswasser (DIN 38.414 Teil 7). Eine landesweite Untersuchung der in Ammoniumnitrat-Lösung extrahierbaren ("mobilen") Schwermetallanteile (DIN V 19.730) wurde an Proben aus dem Bodenmeßnetz durchgeführt. Die Ergebnisse werden derzeit ausgewertet,

In der vorliegenden Auswertung werden besonders die für die Schwermetalle Blei, Cadmium, Chrom und Nickel, untergeordnet auch für Quecksilber beobachteten, charakteristischen vertikalen Konzentrationsgradienten in den Profilen des Bodenmeßnetzes unter Einbezug der organischen Auflagen von Waldböden diskutiert. Die vier Schwermetalle wurden deshalb für eine detailliertere Auswertung ausgewählt, weil sie verschiedene chemische Eigenschaften aufweisen und ihre unterschiedliche Herkunft in Böden anhand der Konzentrationsgradienten im Profil besonders deutlich wird.

An den untersuchten Standorten wird Blei bevorzugt im Oberboden, an Waldstandorten in der Auflage akkumuliert. Gezielte Untersuchungen an ausgewählten Standorten des Bodenmeßnetzes zeigen, daß die hohen Bleigehalte in Auflagen und in den obersten Profilmillimetern von Mineraloberböden durch ubiquitäre anthropogene Einträge bedingt sind. Analysen der Isotopenverhältnisse des Bleis im Boden ermöglichen hierbei nicht nur die Identifikation der Herkunft des Bleis vornehmlich aus dem Kraftfahrzeugverkehr, sondern auch eine Abschätzung der Größenordnung dieses anthropogenen Anteils (im Mittel ca. 10-20 % in 0 – 10 cm Tiefe, s. Abb. 2). Die Geschwindigkeit der Tiefenverlagerung des anthropogenen Bleis kann mit 0,6 - 1,3 mm/Jahr angegeben werden (Universität Karlsruhe 1991/Landesanstalt für Umweltschutz B.-W. 1992).

Die Daten für die einzelnen Horizonte von Waldbodenprofilen zeigen, daß die Bleianreicherungen in den organischen Auflagen in den Oh-Horizonten am ausgeprägtesten sind und im Mineralboden mit zunehmender Tiefe rasch abnehmen (Abb. 3a). Blei wird von bodenlebenden Organismen aufgenommen (Kap. 6) und dadurch im Oberboden weiter akkumuliert. Auffällige, dem Blei ähnliche vertikale Verteilungsmuster im Boden (deutliche Maxima in den organischen

Auflagen) zeigen auch Kupfer und Quecksilber, allerdings bei geringeren Gesamtgehalten (Abb. 3b; Tab. 3 und 4 in Anlage 2). Die mittleren Bleigehalte in verschiedenen Bodenschichten unter Einbezug aller Bodennutzungen zeigen Abbildung 4a sowie Tabelle 6 in Anlage 2.

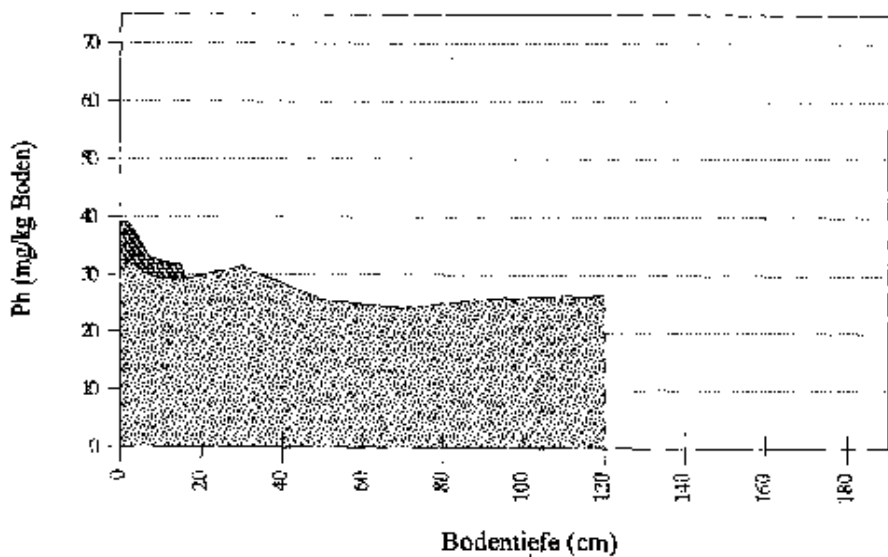


Abb. 2: Geogener und anthropogener Anteil am Gesamtblei in einem Waldbodenprofil (Tuningen Wald) anhand von Isotopenanalysen. Die Erhöhung des Bleigehalts in den obersten Profiltentimetern durch den anthropogenen Anteil ist deutlich erkennbar

Die Mobilität und Mobilisierbarkeit von Schwermetallen und Arsen in Waldböden wird im wesentlichen durch ihre chemische Bindungsform im Boden, den Boden-pH-Wert, das Redoxpotential, die Gehalte und Zusammensetzung des organischen Materials (Anteile von Humin- und Fulvosäuren), der Art und dem Anteil der Tonminerale sowie der Eisen- und Manganoxide kontrolliert.

Blei ist unter Verwitterungsbedingungen nur wenig mobilisierbar. Sorptionsprozesse an Tonmineralen und Huminstoffen sowie die geringe Löslichkeit des im Boden vorwiegend in Phosphat- und Karbonat-Bindung vorliegenden Bleis bedingen u. a. die vergleichsweise geringe Mobilität. Die Löslichkeit von Blei steigt jedoch bei niedrigen pH-Werten im Boden, unterhalb eines pH-Werts von ca. 5, exponentiell an.

Durchschnittliche Cadmiumgehalte unbelasteter Mineralböden können je nach Ausgangsgestein mit 0,1 bis 0,5 mg/kg angegeben werden, An etwa 58 % der Bodenmeßnetzstandorte liegen die Werte < 0,1 mg/kg Cadmium, an 86 % unter 0,5 mg/kg (Tab. 1 in Anlage 2). In Waldauflagen ist Cadmium in der Regel angereichert (Abb. 4b). Nach den vorliegenden Daten ergehen sich keine Unterschiede für Auflagen von Laub- und von Nadelwäldern.

Die mittleren Cadmiumgehalte in verschiedenen Bodenschichten unter Einbezug aller Bodennutzungen zeigen Abbildung 4b und Tabelle 1 in Anlage 2. Die Tiefenverteilungsmuster in Auflagen und Mineralbodenschichten anhand der aus dem Bodenmeßnetz vorliegenden Daten weisen auf einen gleichförmigen ubiquitären Eintrag von Blei und Cadmium über den Luftpfad hin (Indikatorfunktion dieser Elemente).

Cadmium ist unter Einwirkung sulfat- und chloridhaltiger Bodenlösungen leicht mobilisierbar. Die niedrigen pH-Werte in Auflagen und Oberbodenschichten von Waldböden (pH 3 - 5) bewirken einen starken Anstieg der Löslichkeit von Cadmium und seinen Verbindungen. Immobilisierungsmechanismen durch Bildung organischer Metallkomplexe sind für Cadmium kaum von Bedeutung.

Bei den niedrigen pH-Werten in Waldböden ist daher mit erhöhter Mobilität und Bioverfügbarkeit von Cadmium zu rechnen. Cadmium kann bevorzugt in humusabbauenden Pilzen angereichert werden (Kap. 4). Am Standort Mannheim-Karlstern wurden Anreicherungen von Cadmium auch in Regenwürmern und Asseln festgestellt (Kap. 6).

Die Chrom-Konzentrationen (Abb. 4a; Tab. 2 in Anlage 2) sind an den Standorten des Bodenmeßnetzes in den Auflagen und Oberböden, ebenso wie in den Mineraloberböden der Acker- und Grünlandstandorte, niedrig. Unter Einbezug der Trockenrohdichte ergeben sich sehr geringe Mengen an Chrom in Auflagen und somit keine Hinweise auf ubiquitären, anthropogenen Eintrag dieses Elements über die Luft.

Chrom ist unter den normalerweise in der Natur vorkommenden Bedingungen weitgehend immobil. Die Löslichkeit von Chrom wird durch seine Oxidationsstufe und den pH-Wert der Bodenlösung bestimmt. Geogenes Chrom liegt gewöhnlich in der stabilen, dreiwertigen Form (Cr^{3+}) in Böden vor. Eine Umlagerung durch Lösungstransport und Pflanzenverfügbarkeit geogenen Chroms bei den normalerweise in Böden herrschenden pH-Werten ist wenig wahrscheinlich. Mit leicht erhöhter Mobilität ist in eisenarmen, sehr sauren und schlecht durchlüfteten Böden zu rechnen (Stagnogleye, Moore). Sechswertiges Chrom (Cr^{6+}) ist meist anthropogener Herkunft (z. B. aus chromathaltigen Abwässern oder Verbrennungsprozessen) und in stark alkalischen, gut durchlüfteten Böden mobil.

Die Nickelgehalte der Böden der Bodenmeßnetzstandorte nehmen mit der Tiefe zu und sind - ebenso wie die Chromgehalte - geogen. In Auflagen und Oberböden weist Nickel meist geringfügig höhere Werte als Chrom auf. In Unterböden, die den geogenen Hintergrund der beiden Elemente widerspiegeln, liegen hingegen die Chromgehalte im Mittel etwas höher (Abb. 4b; Tab. 5 in Anlage 2). In den meisten Ausgangsgesteinen der Böden Baden-Württembergs zeigen Chrom und Nickel ähnliche, zwischen 10 und 60 mg/kg variierende Gehalte.

Nickel wird unter Verwitterungsbedingungen zwar leicht freigesetzt, im Boden jedoch zusammen mit Eisen- und Manganoxiden schnell wieder ausgefällt. Das Element ist unter natürlichen Bedingungen meist wenig mobil. Nickel wird bevorzugt in metallorganische (chlorophyllähnliche) Komplexe eingebaut, die leicht abbaubar sind.

Chrom und Nickel sind in Ackerböden mit durch Kalkung angehobenen pH-Werten kaum, in Waldböden mit überwiegend niedrigen pH-Werten dagegen leichter mobilisierbar,

Ubiquitär über die Luft eingetragene Elemente wie Blei und Cadmium sind auch bei nutzungsbezogener Auswertung der Daten zu erkennen. Neben der Akkumulation in organischen Auflagen wurden auch in Mineraloberböden (besonders Grünland) Anreicherungen dieser Elemente festgestellt. Bei Ackernutzung findet, vermutlich aufgrund der Durchmischung bei der Bodenbearbeitung, keine signifikante Anreicherung dieser Elemente im Oberboden statt. In organischen Auflagen (Wald) und in Mineraloberböden (Wald, Grünland) finden sich auch gegenüber tieferen Bodenschichten erhöhte Konzentrationen an Quecksilber (Abb. 3b; Tab. 4 in Anlage 2), die ebenfalls auf einen weitverbreiteten, gleichförmigen Eintrag dieses Schwermetalls über die Luft hinweisen.

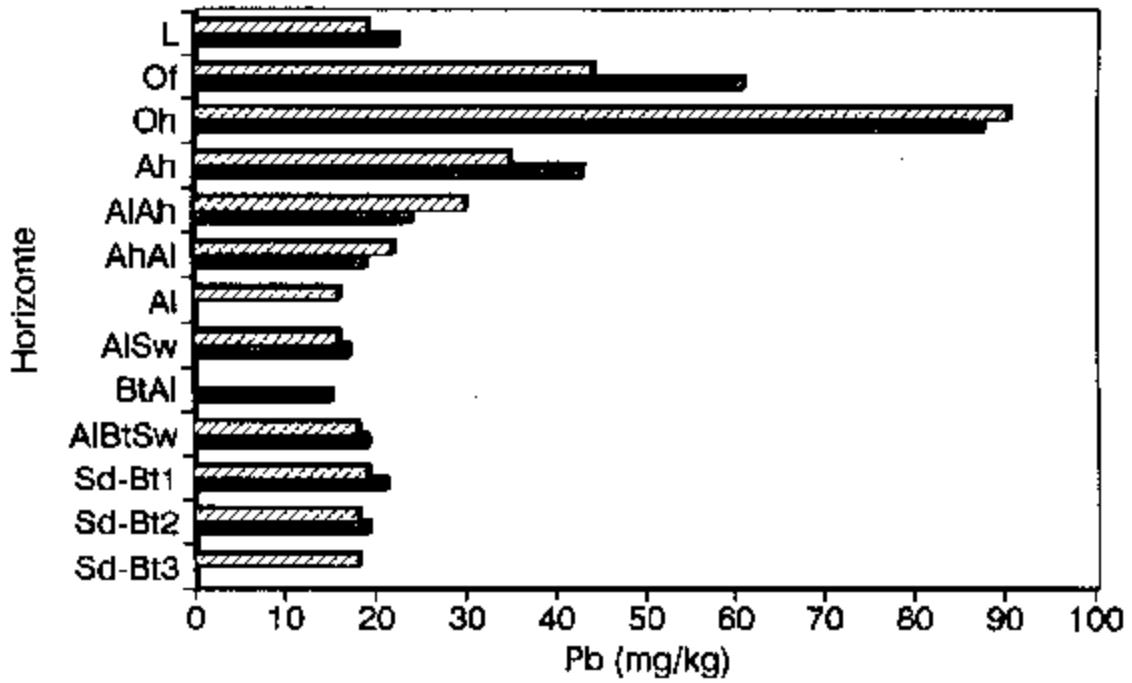


Abb. 3a: Verteilung von Blei innerhalb der Horizonte von zwei Waldbodenprofilen (Riedlingen Wald). Die Horizontmächtigkeiten sind nicht maßstäblich dargestellt

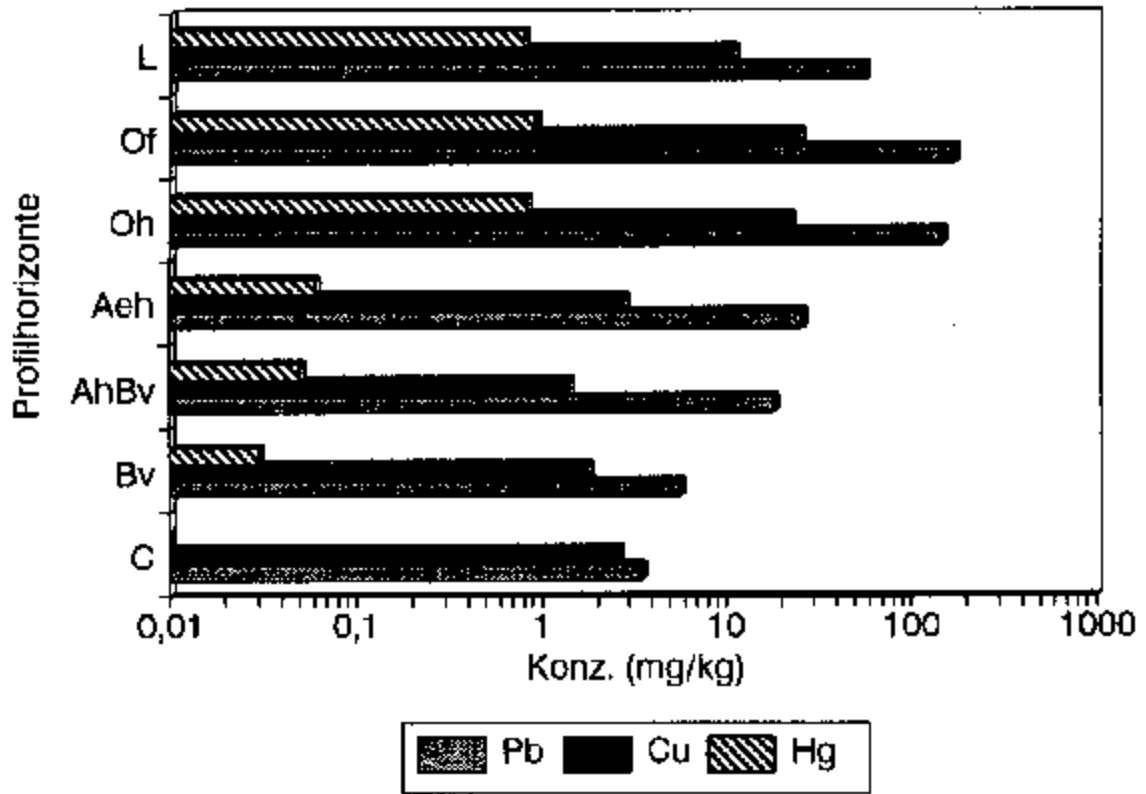


Abb. 3b: Schematische Konzentrationsverteilung von Blei, Kupfer und Quecksilber in Waldböden am Beispiel eines ausgewählten Standorts (Murrhardt Wald). Die Horizontmächtigkeiten sind nicht maßstäblich dargestellt

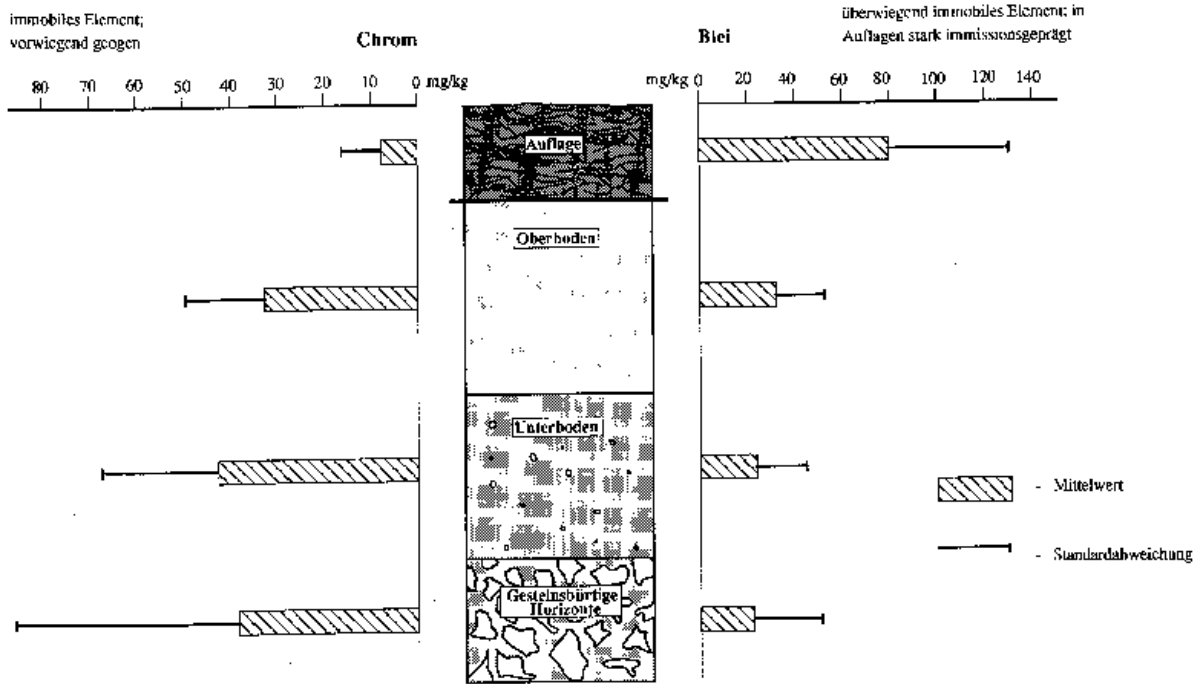


Abb. 4a: Schematisches Tiefenprofil und vertikale Verteilung von Chrom und Blei in Böden des Bodenmeßnetzes.

Abb. 4a: Schematisches Tiefenprofil und vertikale Verteilung von Chrom und Blei in Böden des Bodenmeßnetzes

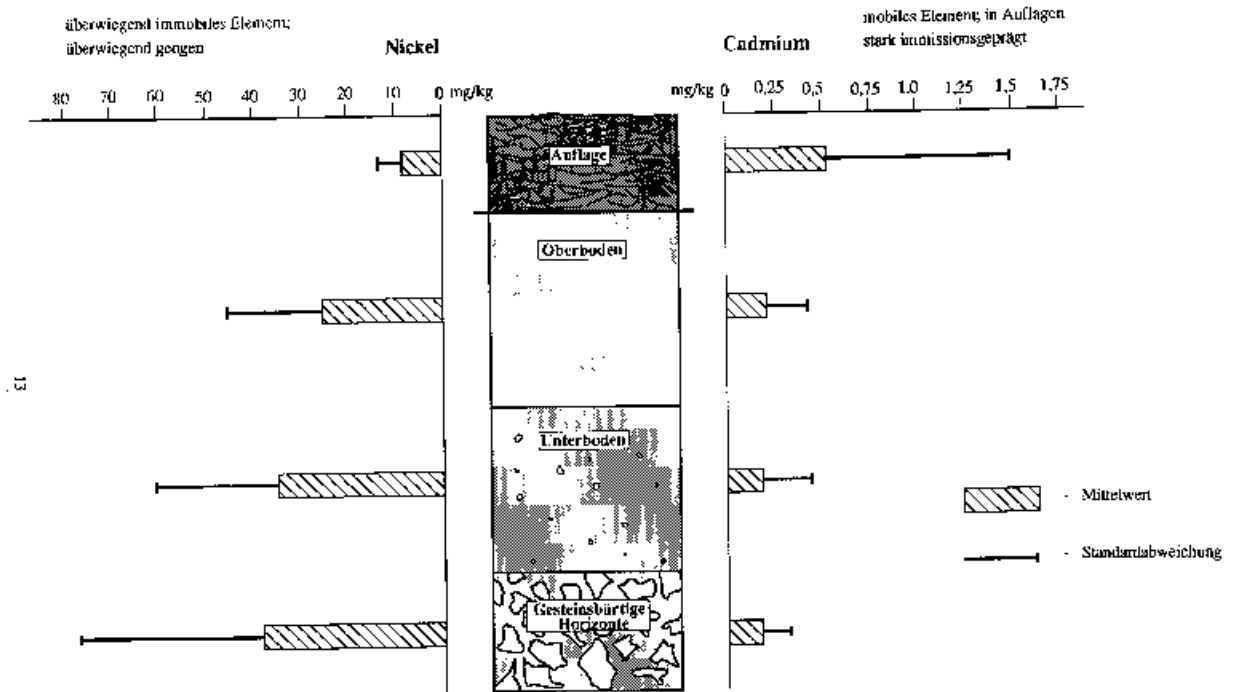


Abb. 4b: Schematisches Tiefenprofil und vertikale Verteilung von Nickel und Cadmium in Böden des Bodenmeßnetzes.

Abb. 4b: Schematisches Tiefenprofil und vertikale Verteilung von Nickel und Cadmium in Böden des Bodenmeßnetzes

4 SCHWERMETALLE UND ARSEN IN PILSEN

Großpilze sind empfindliche Indikatoren des Zustands von Böden. An einem Fichtenforst-Standort im westlichen Odenwald (geplante Einrichtung einer BDF II) wurden Proben von vier Pilzarten (Mischproben aus 2-3 Individuen je Art) sowie zwei Proben des Waldbodens (organische Auflage und Mineraloberboden) entnommen und auf Schwermetalle sowie einige weitere Spurenelemente analysiert. Der Maronenröhrling (*Xerocomus badius*) und der violette Rötelritterling (*Lepista nuda*) kommen besonders auf sauren Böden häufig vor und finden als Speisepilze Verwendung (MICHAEL et al. 1983). Perlpilz (*Amanita rubescens*) und Anistrichterling (*Clitocybe odora*) sind auf Böden unterschiedlicher Zusammensetzung und Alkalinität zu finden. Bei den Ritterlings- und Trichterlingsarten handelt es sich um typische Streu- und Rohhumuszersetzer, die den hellbräunlichen Weißfäulehumus bilden.

Die Maronenröhrlinge wurden in Röhren- sowie Hut-Teile zerlegt, um vergleichbare Werte zu anderen Untersuchungen zu erhalten. Die Analysenergebnisse sind in Tabelle 2 zusammengefaßt. Die Ergebnisse und die im folgenden angegebenen Vergleichswerte beziehen sich auf die Frischmasse. Auffällig sind die unterschiedlichen Gehalte an Quecksilber, Kupfer, Arsen, Blei und Rubidium der verschiedenen Pilzarten, die hohen Werte für Kupfer (Anistrichterling) und Rubidium sowie die Unterschiede der Kupfer- und Cadmiumkonzentrationen in Röhren- und Hut-Teilen der Maronenröhrlinge, Zwei Proben zeigen etwas höhere Arsen-Gehalte als die weiteren untersuchten Proben. In den Röhren der Maronenröhrlinge sind Quecksilber und Kupfer um ca. den Faktor 3 gegenüber den Hut-Teilen angereichert. Nahrungsmittel-Richtwerte für Schwermetallgehalte in Pilzen bestehen nicht.

Die Blei-Gehalte in Pilzen von als unbelastet eingestuftem Waldböden werden durchschnittlich mit 0,6 bis 12,6 mg/kg, für Rötelritterlinge mit 0,2 mg/kg, für Trichterlingsarten mit 0,5 mg/kg angegeben (DIETL 1986). Sie liegen unter den hier gefundenen Werten (Tab. 2). Weitere Vergleichsdaten für Schwermetallgehalte in Pilzen liegen für Blei, Cadmium, Kupfer und Quecksilber vor (COLLET 1977, SEEGER 1978). Einige Literaturdaten zu Konzentrationsbereichen von Schwermetallen in Pilzen sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

Analysen von Pilzen aus der Nachbarschaft verkehrsreicher Standorte ergaben Cadmium-Gehalte im Pilzhut zwischen 2,5 und 7,5 mg/kg (DIETL 1986: Fichtenforst, 5 - 50 m Entfernung von der A 8 bei Ulm-Ost). Dabei handelte es sich jedoch um andere als die hier untersuchten Pilzarten. Die Blei-Gehalte im Pilzhut variieren nach DIETL zwischen 0,24 und 7,1 mg/kg in der Nachbarschaft verkehrsreicher Standorte. In Rötelritterlingen von solchen Standorten wurden 4 mg/kg, in diversen Trichterlingsarten 2,6 bis 7,1 mg Blei/kg Frischmasse gefunden. Die Cadmium- und Blei-Gehalte der von DIETL untersuchten Pilze lagen somit deutlich über den in der vorliegenden Untersuchung festgestellten Werten (Tab. 2). Diese Daten bestätigen auch die bevorzugte Anreicherung von Cadmium in den Röhren bzw. Lamellen von Pilzen.

Zur Berechnung der Bioakkumulation Pilz/Auflage werden die Schwermetallgehalte in den Pilzen mit den Konzentrationen der Humusaufgabe verglichen, da diese das Nährsubstrat der Pilze bildet (Tab. 3). Hierzu wurden die Schwermetallkonzentrationen der Pilze mit dem Faktor 10 multipliziert ($TM = 10 \% FM$). Die Ergebnisse zeigen, daß Kupfer, Zink, Molybdän, Cadmium, Quecksilber und Thallium unterschiedlich stark in den Pilzen angereichert werden. Chrom, Nickel, Antimon und Blei sind in den Pilzen gegenüber der organischen Auflage verarmt. In zwei Hut-Proben (Maronenröhrlinge) ergeben sich Anreicherungen von Cadmium, Kupfer, Quecksilber und Thallium (Tab. 3).

Der Vergleich der Schwermetallgehalte in der organischen Auflage mit denen des Oberbodens zeigt, daß an dem untersuchten Standort ausnahmsweise auch die Elemente Chrom und Nickel etwas höher in der Auflage als im Oberboden konzentriert sind. Dies kann durch die Lage des Standorts östlich des Rhein-Neckar-Ballungsraums und geringfügigen Eintrag über die Luft dieser sonst kaum immissionsgeprägten Elemente bedingt sein. Die geringen Gehalte dieser Elemente in den Pilzen bestätigen jedoch ihre relativ geringe Mobilität im Waldboden (Kap. 3; Tab. 2, 5 in Anlage 2). Der beprobte Standort zeichnet sich auch durch hohe Gehalte von Blei (244 mg/kg) in der organischen Auflage aus.

Pilzart/ Element	Maronen- röhrling Hut + Stiel	Maronen- röhrling Röhren	Perl- pilz	Rötel- ritterling	Anis- trichter- ling	Maronen- röhrling ¹ Hut + Stiel	Maronen- röhrling ¹ Röhren	Perlpilz ¹	Rötel- ritterling ¹	Anis- trichling ¹	Boden Auflage	Ober- boden
Chrom	0,21	0,27	0,50	0,29	0,26						11	6,7
Nickel	0,15	0,18	0,25	0,17	0,16						13	2,9
Kupfer	5,1	19	23	28	205	1,2 – 5,9	1,2 – 5,9	2,2 – 3,8	2,0 – 18	11	28	5,3
Zink	25	36	56	57	42						62	14
Arsen	0,31	0,46	1,5	6,5	2,7							
Rubidium	99	102	312	82	41							
Molybdän	0,26	0,11	0,65	0,63	0,80						2,9	0,51
Cadmium	0,08	0,51	1,3	0,21	0,58	0,01 – 0,25	0,01 – 0,78	0,07 – 0,3	0,04 – 0,25	0,03 – 0,34	0,26	0,20
Zinn	1,9	0,61	0,88	0,44	1,0						9,6	2,5
Antimon	0,06	0,05	0,06	0,15	0,09						9,4	2,6
Cäsium	0,86	0,73	1,6	0,14	0,20							
Quecksil- ber	0,05	0,16	0,40	3,5	2,20						0,37	< 0,01
Thallium	0,02	0,03	0,04	0,96	0,09						0,20	0,25
Blei	0,22	0,29	0,91	4,7	9,8	0,05 – 0,37	0,05 – 0,37	0,01 – 0,075	0,02 – 1,8	0,26	244	44
Wismut	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,15	0,26						5,6	1,8
Uran	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01						0,40	0,31

Gehalte in Pilzen in mg/kg FM

Gehalte im Boden und in der Auflage in mg/kg TM

¹ Literaturwerte (COLLET 1977; SEEGER 1978; DIETL 1986)

Tab. 2: Schwermetall- und Arsengehalte in einigen Pilzproben und in einer Waldbodenprobe sowie Vergleichsdaten zu Gehalten in Pilzen aus der Literatur

Element	Maronenröhrling Stiel	Maronenröhrling Röhren	Perlpilz	Rötelritterling	Anistrichterling
Chrom	0,18	0,24	0,44	0,25	0,23
Nickel	0,12	0,14	0,20	0,14	0,13
Kupfer	1,8	6,6	8,1	10	73
Zink	4,0	5,7	8,9	9,2	6,8
Molybdän	0,89	0,38	2,2	2,2	2,7
Cadmium	3,1	20	50	8,1	22
Zinn	2,0	0,64	0,92	0,46	1,1
Antimon	0,06	0,05	0,06	0,16	0,10
Quecksilber	1,4	4,3	11	96	58
Thallium	1,0	1,5	2,0	48	4,5
Blei	< 0,01	< 0,01	0,04	0,20	0,40
Wismut	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,27	0,47
Uran	< 0,01	< 0,01	0,25	< 0,01	< 0,01

Tab. 3: Bioakkumulation von Schwermetallen in Pilzen (angegeben sind die Quotienten aus den Konzentrationen in Pilzen und Auflagehorizont)

5 ORGANOCHLORVERBINDUNGEN IN BÖDEN

Zur Bestimmung der organischen Schadstoffgehalte in Böden Baden-Württembergs wurden im Rahmen der Untersuchungen am Bodenmeßnetz PCB und Pflanzenbehandlungsmittel (Organochlorpestizide) sowie an einigen ausgewählten Meßstellen PCDD/F analysiert. Die Analysen der PCB und OCP wurden von der LUFA Augustenberg durchgeführt.

Die Ergebnisse der Horizont-, Teilhorizont- und Parallelproben von den untersuchten Standorten werden im folgenden zusammengefaßt zu Bodenschichten (Auflage, Oberböden, Unterböden) ausgewertet. Als Lageparameter werden die arithmetischen Mittelwerte und die Medianwerte (50. Perzentil) angegeben.

Bisher wurden Analysen auf PCB und OCP nur an einem Teil der Standorte des Bodenmeßnetzes (ausgewählte Proben; siehe auch Abb. 6) durchgeführt. Die hierzu vorliegenden Daten sind in Tabelle 4 zusammengefaßt. Die Auswertung dieser Daten kann beim derzeitigen Untersuchungsstand nur Tendenzen wiedergeben. Daher wird zur Zeit eine systematische Neubeprobung aller Bodenmeßnetzstandorte durchgeführt (Kap. 2.2). Eine abschließende Beurteilung der Gehalte organischer Schadstoffe in Böden kann erst nach Vorliegen aller Ergebnisse aus den laufenden Untersuchungen erfolgen.

Parameter	Bodenschicht	Anzahl der Proben	arith. Mittel	50. Perzentil	90. Perzentil
PCB₆	Auflagen	151	42	< NG	119
	Oberböden	328	11	< NG	28
	Unterböden	416	4	< NG	11
	Lockergestein	167	2	< NG	< NG
DDT	Auflagen	150	10	< NG	22
	Oberböden	318	3	< NG	3
	Unterböden	406	< NG	< NG	< NG
	Lockergestein	105	< NG	< NG	< NG
Lindan	Auflagen	113	30	0,02	74
	Oberböden	228	2	< NG	5
	Unterböden	227	1	< NG	5
	Lockergestein	46	1	< NG	3

Tab. 4: Ubiquitäre PCB-, DDT- und Lindangehalte (mg/kg) in Böden Baden-Württembergs (NG = Nachweisgrenze)

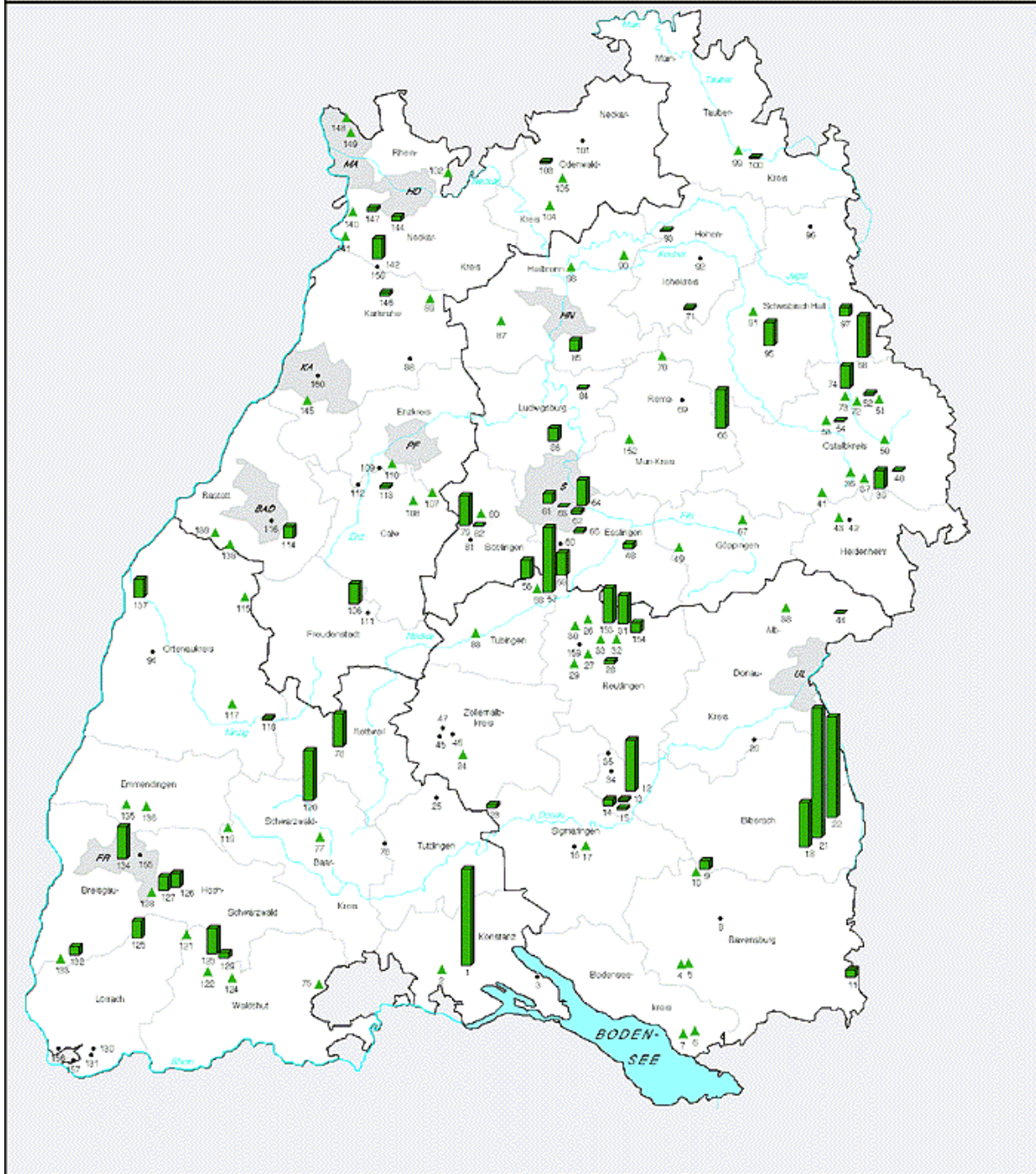
5.1 PCB

PCB werden den umwelt- und humantoxikologisch relevanten Industriechemikalien zugeordnet. Es handelt sich dabei um persistente Verbindungen mit hoher Bio- und Geoakkumulationstendenz. Von 209 Stoffisomeren werden im Rahmen der Untersuchungen die Isomere 28, 52, 101, 136, 153 und 180 (nach Ballschmiter) analysiert. Eine Zusammenfassung erfolgt über einfache Summenbildung dieser 6 Leitsubstanzen zur Summe PCB₆. Die nach dieser Berechnungsmethode ermittelten PCB-Summen sind keine Gesamt-PCB-Gehalte und lassen sich nicht mit den nach dem Standard der LUFA errechneten Gesamt-PCB-Gehalten (als Summe von Clophen A30- und A60-Werten) vergleichen, da diese durch eine andere Berechnungsmethode ermittelt werden.

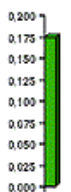
An 22 % der untersuchten Standorte des Bodenme0netzes (alle Nutzungen) konnten PCB in der Auflage, und/oder in den Mineralböden nachgewiesen werden. Der arithmetische Mittelwert der Oberbodenproben (Acker, Grünland und Wald) liegt bei 11 µg/kg, der organischen Auflagen von Waldböden bei 42 µg/kg PCB₆. Fünzig Prozent der Meßwerte liegen jedoch unter der Nachweisgrenze (Tab. 4).

Die Lage der Standorte, von denen PCB-Analysen vorliegen und die Ergebnisse für Mineral- Oberböden zeigt Abbildung 6. Bei den in dieser Darstellung angegebenen Werten handelt es sich teils um Ergebnisse von Einzelproben, teils auch um Mittelwerte von Parallelproben aus dem Oberboden. Eine Interpretation der Meßwerte ist nur eingeschränkt möglich, da nur an wenigen Profilen Analysenergebnisse aller Bodenhorizonte vorliegen. Auch können vor allem die höheren Werte bislang nicht durch Analysen von Parallelproben abgesichert werden.

Bodenzustandskataster Baden-Württemberg PCB-GEHALTE IN MINERAL-OBERBÖDEN DES BODENMESSNETZES



PCB - Gehalt in mg/kg



▲ PCB-Gehalt liegt unter der Nachweisgrenze (< 0,0005 mg/kg)

● es liegen keine Meßergebnisse für diese Bodenmeßstandorte vor

00 Profnummer des Bodenmeßnetzstandortes

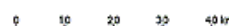
Städtkreise

- BAD Baden-Baden
- FR Freiburg
- HD Heidelberg
- HB Heilbronn
- KA Karlsruhe
- MA Mannheim
- PF Pforzheim
- S Stuttgart
- UL Ulm

Verwaltungsgrenzen

- Regionalsbezirksgrenze
- Landkreis
- Stadtkreis

Maßstab



Datenquelle

Bodendatenbank Baden-Württemberg
- Projekt I (Bodenmeßnetz Baden-Württemberg; 155 Standorte)

Herausgeber und Kartengrundlage:
Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg
Kartische Referat: 51-Bodenschutz
Kartographie:
Ritter G.

© LIU/Baden-Württemberg, März 1993

Nach Untersuchungen der LUFA Speyer liegen die PCB-Gehalte in unbelasteten Ackerböden zwischen 5 und 35 µg/kg bei einem Mittelwert von 14 µg/kg. Die im Rahmen des Bodenmeßnetzes ermittelten Durchschnittsgehalte (Tab. 4, 5) liegen damit in dem genannten Bereich und bestätigen einen ubiquitären Eintrag von PCB in Böden. Abbildung 7 zeigt die Häufigkeitsverteilung der PCB-Gehalte in Mineraloberböden. Die Abweichung des Medianwerts vom arithmetischen Mittelwert (Tab. 4) ist durch die linkssteile Verteilungskurve bedingt.

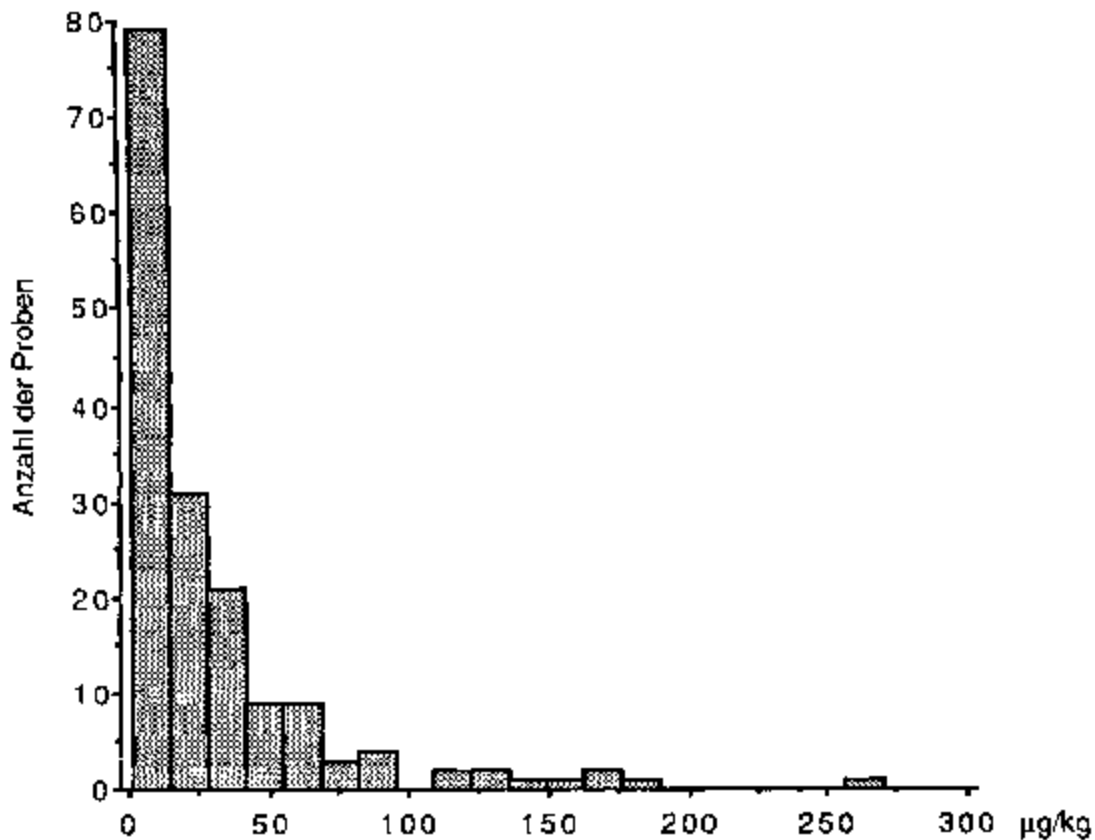


Abb. 7: Häufigkeitsverteilung von PCB₆-Gehalten) > Nachweisgrenze in Mineraloberböden

Die Ergebnisse aus dem Bodenmeßnetz weisen darauf hin, daß PCB auch in tieferen Bodenschichten vorliegen können. Zwar gehen die Mittelwerte in Unterböden mit ca. 9 µg/kg im Vergleich zu den Oberböden deutlich zurück, dennoch liegen 45 % der Meßergebnisse über der Nachweisgrenze. Die mittleren Gehalte in Ober- und Unterböden unter verschiedener Nutzung zeigt Tabelle 5. Eine mögliche Verlagerung von PCB in tiefere Bodenschichten ist aufgrund der vorhandenen Daten nicht sicher nachzuweisen.

In Oberböden läßt sich ein Einfluß der Bodennutzung durch gestufte PCB₆-Gehalte erkennen (Tab. 5): Böden aus Wald- bzw. Grünlandnutzung weisen ca. 4 bzw. 2 mal höhere PCB₆-Gehalte auf als Ackerböden. Als Ursache für derartige Konzentrationsunterschiede können Auskämmeffekte durch die Vegetation, der höhere Anteil an organischer Substanz an Grünland- und Waldstandorten (Sorptionsseffekte) sowie die Verdünnung durch Bodenbearbeitung bei Ackernutzung in den oberen Schichten der Mineralböden angenommen

werden. In Unterböden liegen die Gehalte im Mittel innerhalb eines Bereichs von 3 und 6 µg/kg (Tab. 5).

Organische Auflagen von Waldböden

Die mittleren PCB-Konzentrationen sind in den organischen Auflagen der Waldböden um mehr als das Doppelte gegenüber Mineralbodenschichten erhöht (Tab. 5). In ca. 70 % der Proben von Waldauflagen wurden PCB nachgewiesen. Ähnlich den vorwiegend luftgetragenen Schwermetallen Blei, Cadmium und Quecksilber werden auch organische Schadstoffe in den organischen Auflagen in besonderem Maße angereichert. Bei Vergleichen der Konzentrationen in Auflagen und Mineralböden ist zu beachten, daß die Auflage meist nur wenige Zentimeter mächtig ist und ein wesentlich niedrigeres Raumgewicht besitzt. Unter Berücksichtigung der Trockenrohichte (Kap. 2.2) ergeben sich geringere Unterschiede der in Auflagen und Mineralböden enthaltenen bzw. pro Flächeneinheit eingetragenen Schadstoffmengen.

	W* n	W* arith. Mittel	W* 50. Perc.	W* 90. Perc.	Gl* n	Gl* arith. Mittel	Gl* 50. Perc.	Gl* 90. Perc.	A* n	A* arith. Mittel	A* 50. Perc.	A* 90. Perc.
Org. Auflagen	151	42	< 0,5	121								
Oberböden	102	20	< 0,5	56	154	8	< 0,5	14	72	5	< 0,5	8
Unterböden	170	6	< 0,5	18	103	3	< 0,5	15	143	3	< 0,5	< 0,5

W* = Wald
 Gl* = Grünland
 A* = Acker

Tab. 5: Mittlere PCB₆-Gehalte (µg/kg) in organischen Auflagen von Waldböden sowie in Mineralober- und -unterböden bei unterschiedlicher Bodennutzung:

5.2 Pflanzenbehandlungsmittel

Aus dem Spektrum der Organochlorpestizide werden erste Ergebnisse für die Gruppe der DDT-Verbindungen und Lindan vorgestellt. Diese Verbindungen fanden besonders in der Vergangenheit breite Anwendung in land- und forstwirtschaftlichen Kulturen und sind in hohem Maße persistent und toxisch. Obwohl der Einsatz von DDT nicht mehr gestattet ist, werden diese Verbindung und ihre Abbauprodukte im Umweltkompartiment Boden noch immer nachgewiesen. Aus Gründen der Vergleichbarkeit mit anderen Untersuchungen wurden DDT und dessen Metaboliten (Ortho- und Paraverbindungen) durch Addition zu "Gesamt- DDT" zusammengefaßt.

Tendenziell gilt für die Verteilung von DDT und Lindan in Böden dasselbe wie für die PCB (Tab. 4). In den Mineralböden nehmen die OCP-Gehalte mit zunehmender Profiltiefe deutlich ab. Liegt das Mittel bei DDT in Oberböden noch bei 3 µg/kg, so liegen die Werte in Unterböden unterhalb der Nachweisgrenze. Für Lindan sind mittlere Gehalte um 2 µg/kg

zu finden (Tab. 4). Die Häufigkeitsverteilungen von DDT- und Lindan-Gehalten in Mineraloberböden zeigen die Abbildungen 8 und 9.

In mehr als 75 % der Proben von Waldboden-Auflagen wurden Organochlorpestizide nachgewiesen. Dies unterstreicht die ubiquitäre Verteilung und hohe Persistenz dieser Verbindungen. Der arithmetische Mittelwert ubiquitärer Hintergrundgehalte in Auflagen beträgt für Gesamt-DDT 10 µg/kg. Die Lindan-Gehalte liegen bei 30 µg/kg (Tab. 4). Wie bei den PCB kann auch für die persistenten Organochlorpestizide eine Verlagerung in tiefere Bodenbereiche aufgrund der bisherigen Datenlage nicht sicher nachgewiesen werden.

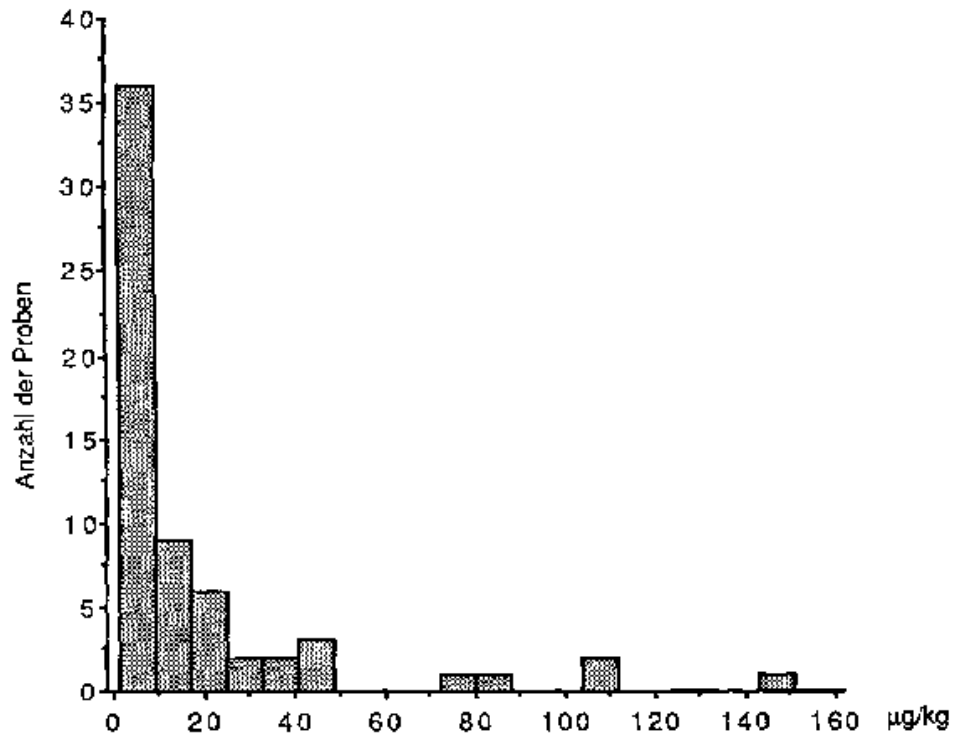


Abb. 8: Häufigkeitsverteilung von DDT-Gehalten > Nachweisgrenze in Mineraloberböden

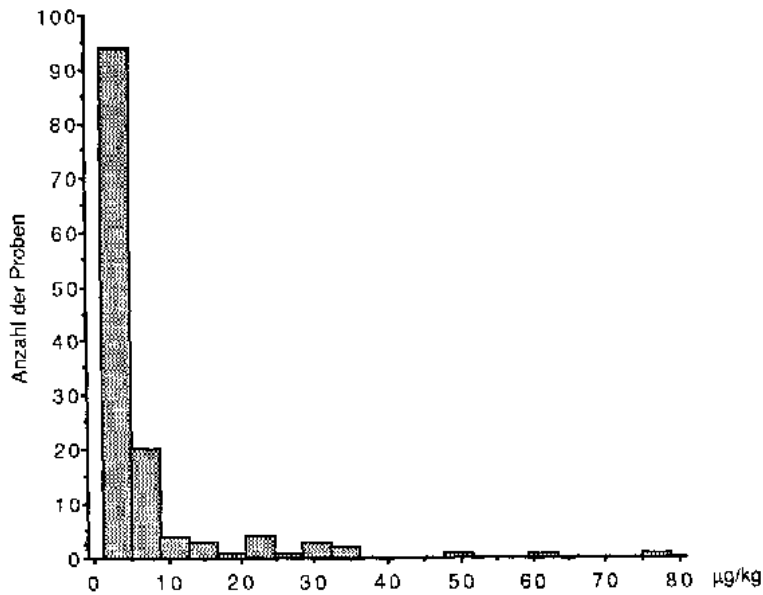


Abb. 9: Häufigkeitsverteilung von Lindan - Gehalten > Nachweisgrenze in Mineraloberböden

5.3 PCDD/F

Zur Ermittlung der Hintergrundbelastung der Böden des Landes mit Dioxinen und Furanen konnte auf Daten von 6 Grünland-, 7 Acker- und 6 Waldstandorten aus dem Bodenmeßnetz zurückgegriffen werden. Zur Ergänzung wurden aus verschiedenen landesweiten und regionalen thematischen Untersuchungen die Ergebnisse solcher Proben herangezogen, die ebenfalls die Hintergrundgehalte der Böden widerspiegeln (Anlage 3 a - c). Die Datenbasis bilden somit 112 Proben (Tab. 6). In Abbildung 10 sind die landwirtschaftlich genutzten Standorte (Acker- und Grünland) und die Hintergrundgehalte einiger Böden dargestellt (vgl. Anlage 3a, b).

Die Werte in Tabelle 6 sind in ng I-TEq/kg angegeben. Danach liegen die Medianwerte der PCDD/F-Gehalte bei Acker- und Grünlandnutzung im ländlichen Raum bei 1,0 bzw. 0,4 ng I-TEq/kg Boden und somit deutlich unter dem vom Bundesgesundheitsamt empfohlenen Wert von <5 ng TE/kg Boden für uneingeschränkte landwirtschaftliche Nutzung.

Für Mineraloberböden an Waldstandorten ergibt sich gegenüber landwirtschaftlich genutzten Böden ein höherer Medianwert: Die Untersuchung von 15 Bodenproben ergab 3,7 ng I-TEq/ kg (Tab. 6 u. Anlage 3c), Eine Ursache hierfür dürfte der "Auskämmeffekt" der Bäume und der damit einhergehende erhöhte flächenhafte Eintrag bilden.

In den organischen Auflagen von Waldböden sind nochmals deutlich erhöhte PCDD/F-Konzentrationen (Tab. 6). Eine Beurteilung dieser Gehalte ist schwierig, da die Empfehlungen des Bundesgesundheitsamts lediglich für landwirtschaftlich genutzte Böden gelten. Von der Chemischen Landesuntersuchungsanstalt (CLUA) Stuttgart wurden PCDD/F-Gehalte in Großpilzen untersucht und ihre Auswirkungen auf die Dioxinaufnahme des Menschen über die Nahrungskette beleuchtet. Solche Untersuchungen können auch Hinweise auf die Beschaffenheit von Waldböden geben.

Auf die Bedeutung der geringen Rohdichte von Humusauflagen für die Berechnung der darin enthaltenen Schadstoffmengen sei hier nochmals hingewiesen (vgl. Kap. 2.2).

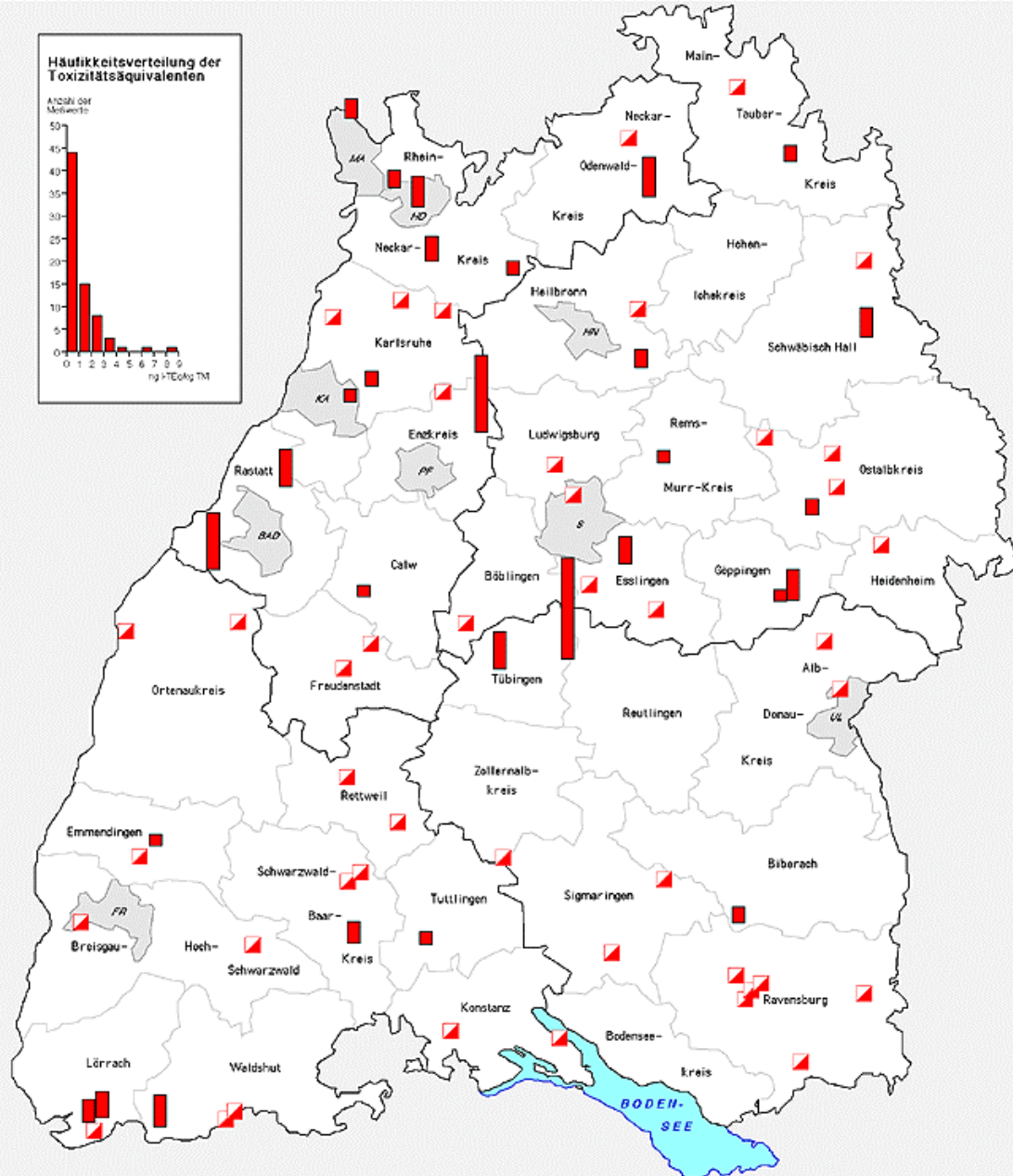
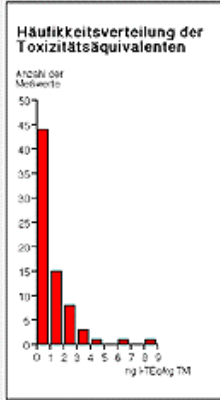
Landesweite, regionale und lokale PCDD/F-Gehalte in Böden wurden in dem separaten Bericht "Dioxine in Böden Baden-Württembergs" ausführlich behandelt (LfU 1993).

		n	arith. Mittel	50. Perzentil	75. Perzentil
Acker	Oberböden	40	1,5	1,0	2,0
Gründland	Oberböden	39	0,7	0,4	0,9
Wald	Auflagen	18	23	16	27
	Oberböden	15	12	3,7	7

Tab. 6: Hintergrundbelastung der Böden des ländlichen Raums durch Dioxine und Furane (ng I-TEq/kg)

Bodenzustandskataster Baden - Württemberg

PCDD/F - GEHALTE IN LANDWIRTSCHAFTLICH GENUTZTEN BÖDEN



Toxizitätsäquivalente (TE) in ng I-TEQ / kg TM



Standorte mit Dioxingehalten < 1 ng I-TEQ / kg TM

Stadtkreise

- BAD* Baden-Baden
- FR* Freiburg
- AD* Heidelberg
- HB* Heilbronn
- KA* Karlsruhe
- MA* Mannheim
- PZ* Pforzheim
- S* Stuttgart
- UL* Ulm

Verwaltungsgrenzen

- Regierungsbezirksgrenze
- Landkreis
- Stadtkreis

Datenquelle

Bodendatenbank Baden-Württemberg

Herausgeber und Kartengrundlage:
Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg
Karlsruhe
Releit: 51-Bodenschutz
Kartographie:
Ritter C.

© LIU/ Baden-Württemberg, März 1993

Maßstab



6 EIGUNG BODENBIOLOGISCHER METHODEN ALS MONITORING – INSTRUMENT

Im Rahmen der bodenbiologischen Untersuchungen wurden an 11 Standorten des Bodenmeßnetzes verschiedene Fang- und Auslesemethoden unter besonderer Berücksichtigung von Methoden zur Gewinnung von Regenwürmern, Asseln, Milben und Insekten erprobt. Von den insgesamt 7 getesteten Freilandmethoden erwiesen sich nur die elektrische Fangmethode für Regenwürmer und die Stechzylindermethode für Kleinarthropoden (Collembolen, Milben) mit anschließender Extraktion als geeignet. Für andere Organismen waren mit den getesteten Methoden keine für weitergehende Untersuchungen ausreichenden Individuenzahlen zu erhalten.

Die Effektivität der Regenwurmfangmethode liegt bei nahezu 90 %. Sie ermöglicht zusätzlich den Lebendfang, der eine wichtige Voraussetzung für Schadstoffanalysen darstellt. Durch gute Fangergebnisse, relativ leichte Artbestimmung und eine hohe Biomasse können Regenwürmer als geeignete Organismen für weitergehende Untersuchungen auf Populations- und Individuenebene (Rückstandsanalysen, Erfassung subletaler Schäden, Biotests) angesehen werden.

Die Bestimmung von Besiedlungsdichte, Fortpflanzungsraten (Altersstruktur der Population), Biomasse pro Individuum und charakteristischer Zusammensetzung des Artenspektrums von Regenwürmern gibt Hinweise zur biologischen Aktivität eines Standorts, die ihrerseits sowohl die Schadstoff-Verteilung (zeitlich und räumlich) und -Abbaukapazität als auch ihre Toxizität und das Auftreten subletaler Schädigungen an Bodenorganismen beeinflusst.

Folgende Parameter erwiesen sich bei Populationsuntersuchungen als geeignet:

- Individuendichte,
- Individuendominanz,
- Biomasse der Individuen,
- Altersstruktur der Population.

Die Anzahl der erhaltenen Individuen (Mittelwert aus vier Probennahmen innerhalb eines Jahres) variiert an den 11 ausgewählten Standorten zwischen 2 und 100 Individuen/qm. Mit einer Ausnahme wurden an den untersuchten Standorten aus Grünlandböden höhere Individuenzahlen erhalten als aus Böden unter Ackernutzung.

An den 11 ausgewählten Standorten wurden verschiedene Regenwurmartenspezies auf Blei und Cadmium untersucht. Entsprechend der Zielsetzung des Bodenmeßnetzes (s. Kap. 1) handelt es sich dabei überwiegend um nicht bzw. gering belastete Standorte, welchen der anthropogen beeinflusste Standort "Mannheim-Karlstern" gegenübergestellt wurde.

Erhöhte Gehalte von Blei und Cadmium in verschiedenen Regenwurmartenspezies wurden nur am Standort "Mannheim-Karlstern" festgestellt. Die Blei- und Cadmiumgehalte der Regenwürmer sind hier höher als aufgrund der Konzentrationen dieser Elemente im Boden zu vermuten gewesen wäre: Blei ist in Regenwürmern um den Faktor 100, Cadmium um einen Faktor von ca. 10 gegenüber den Regenwürmern der anderen untersuchten Standorte angereichert. Im Boden (Auflage und Oberboden) am "Karlstern" sind diese Elemente

dagegen nur um etwa die Faktoren 6 (Pb) und 3 (Cd) gegenüber den anderen Standorten angereichert.

Rückstandsuntersuchungen besitzen nur dann Aussagekraft, wenn sichergestellt werden kann, daß beobachtete Schädigungen durch bestimmte Schadstoffe, z. B. Schwermetalle hervorgerufen wurden und Kriterien vorhanden sind, die eine Beurteilung der Schädigung erlauben.

Um solche Kriterien entwickeln zu können, wurde als Methode zur Erfassung subletaler Schäden die elektronenmikroskopische Erfassung von Zellveränderungen an mit Blei belasteten Asseln und Lumbriciden erprobt. Es wurde festgestellt, daß Blei in den leberanalogen Organen von Asseln und Regenwürmern angereichert wird. Weiter wurden Veränderungen der ultrastrukturellen Zellverhältnisse beobachtet, die auf eine subletale Schädigung hinweisen.

Während sich die bisher genannten Untersuchungen mit Individuen und Populationen einzelner Tiergruppen befassen, wurden im Rahmen weiterer Untersuchungen biologische Prozesse untersucht. Bei der Bestimmung der Atmungsaktivität wird die Aktivität der Mikroorganismen über die Höhe der Kohlendioxid-Produktion gemessen.

Nach den praktischen Erfahrungen im Freiland und den Meßergebnissen ist diese Methode für den Routineeinsatz im Gelände nicht geeignet. Die Meßergebnisse werden stark von den zum Zeitpunkt der Probennahme herrschenden Feuchtigkeits- und Temperaturbedingungen bestimmt. Ein weiterer Nachteil dieser Methode liegt darin, daß das durch Wurzelatmung erzeugte Kohlendioxid nicht von mikrobiell erzeugtem unterschieden werden kann. Die Ergebnisse liefern demnach keine Hinweise auf die tatsächliche bodenbiologische Aktivität bzw. auf die Abbauleistung der Mikroorganismen.

Neben dem Abbau natürlicher Substrate kommt auch der Metabolisierung von Schadstoffen im Boden durch Mikroorganismen eine hohe Bedeutung zu. Je ungünstiger die Lebensbedingungen für die Mikroorganismen an einem Standort sind, desto langsamer und unvollständiger laufen Zersetzungs- und Abbauvorgänge ab.

Die potentielle mikrobielle Biomasse ist ein allgemeiner mikrobiologischer Parameter, der die Aktivität aller Glukose verwertenden Bakterien und Pilze quantifizierbar macht und damit eine Beurteilung der wichtigsten und elementarsten Lebensabläufe im Boden erlaubt.

Im Gegensatz zu der oben beschriebenen Bestimmung der CO₂-Produktion im Freiland wird die Aktivität der Mikroorganismen bei Bestimmung der potentiellen mikrobiellen Biomasse über den Sauerstoffverbrauch gemessen (ANDERSON & DOMSCH 1978). Der Sauerstoffverbrauch zeigt sowohl zu anderen mikrobiologischen Bodenparametern als auch zum Humus- und Gesamtstickstoffgehalt von Böden statistisch signifikante positive Korrelationen.

Die Untersuchungen zur potentiellen mikrobiellen Biomasse wurden zunächst an 20 Bodenmeßnetzstandorten vorgenommen. Hierzu wurden die elf Standorte, an denen bereits bodenbiologische Untersuchungen durchgeführt wurden sowie neun weitere Standorte ausgewählt.

Die Höhe des mikrobiologischen Potentials eines Standortes erwies sich als nutzungsabhängig (Abb. 11). Innerhalb eines Standortbereiches wiesen die Grünlandstandorte stets höhere Werte als vergleichbare Acker- und Waldstandorte auf. Dieser Unterschied ist vor allem auf die im Grünland höheren Humus- und Stickstoffgehalte und das reichhaltigere (und vielfältigere) Angebot an organischen Substanzen zurückzuführen.

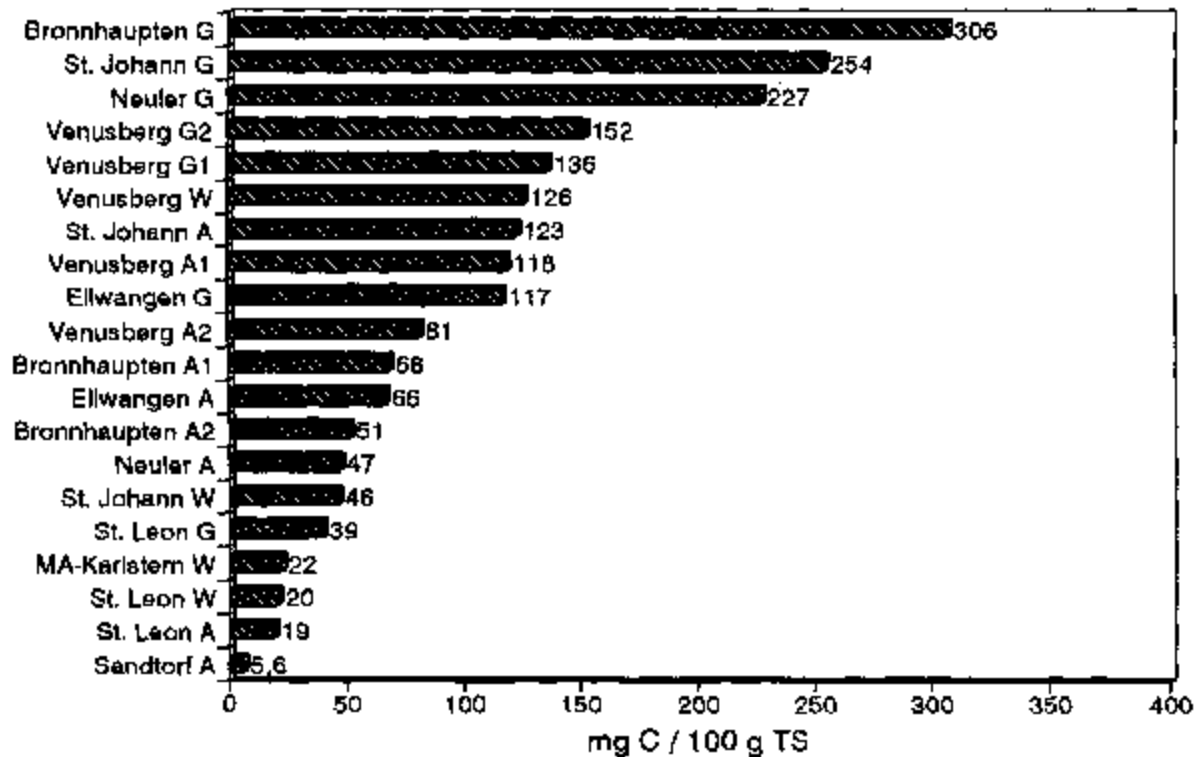


Abb. 11: Jahresmittelwerte der potentiellen mikrobiellen Biomasse in den Oberbodenschichten (0 - 10 cm) der untersuchten Standorte (nach ANDERSON & DOMSCH 1978). W = Wald, G = Grünland, A = Acker; TS = Trockensubstanz:

Auch bei der Berechnung des Anteils von mikrobiell gebundenem Kohlenstoff am Gesamtkohlenstoffgehalt der Böden ergaben sich für die Grünlandböden höhere Werte.

Bei bekannten Humus- und Gesamtstickstoff-Gehalten (Nährstoff-Verhältnis) ermöglicht das gemessene mikrobielle Potential eine erste Charakterisierung und Beurteilung eines Standorts. Die Bestimmung der potentiellen mikrobiellen Biomasse ist ein standardisiertes, quantitatives Verfahren, das einen Vergleich und eine Bewertung verschiedener Standorte bezüglich ihrer mikrobiellen Aktivität ermöglicht.

Die Geschwindigkeit des Streuzersetzungsprozesses und die Änderung der Streuzusammensetzung während des Abbauprozesses geben Hinweise auf die Zersetzungsleistung. An dieser Zersetzungsleistung ist die gesamte Bodenflora und -fauna eines Standorts beteiligt.

Im Rahmen dieser Untersuchungen wurden der Gewichtsverlust und das C/N-Verhältnis als Indikatoren für die Geschwindigkeit und Qualität des Zersetzungsprozesses von Buchenlaub und Gras an fünf Standorten des Bodenmeßnetzes über einen Zeitraum von insgesamt neun Monaten bestimmt.

Es zeigte sich, daß die Bestimmung des Gewichtsverlusts allein aufgrund der vielen – durch die Freilandexposition bedingten – Fehlerquellen nicht als Indikator für die Zersetzungsgeschwindigkeit angewandt werden kann. Aufgrund der hohen Variabilität wären sehr viele Versuchsanordnungen pro Standort notwendig, wodurch die Einsetzbarkeit dieser Methode in der Routine eingeschränkt wird. Zwar konnte an allen Standorten eine kontinuierliche Abnahme der C/N-Verhältnisse mit der Expositionszeit beobachtet werden (Abb. 12), für Routineanwendungen wären jedoch noch praktische Verbesserungen notwendig. So würde z. B. ein leichter abbaubares Ausgangssubstrat die Expositionszeit verkürzen und die klimatisch bedingten Fehlerquellen reduzieren.

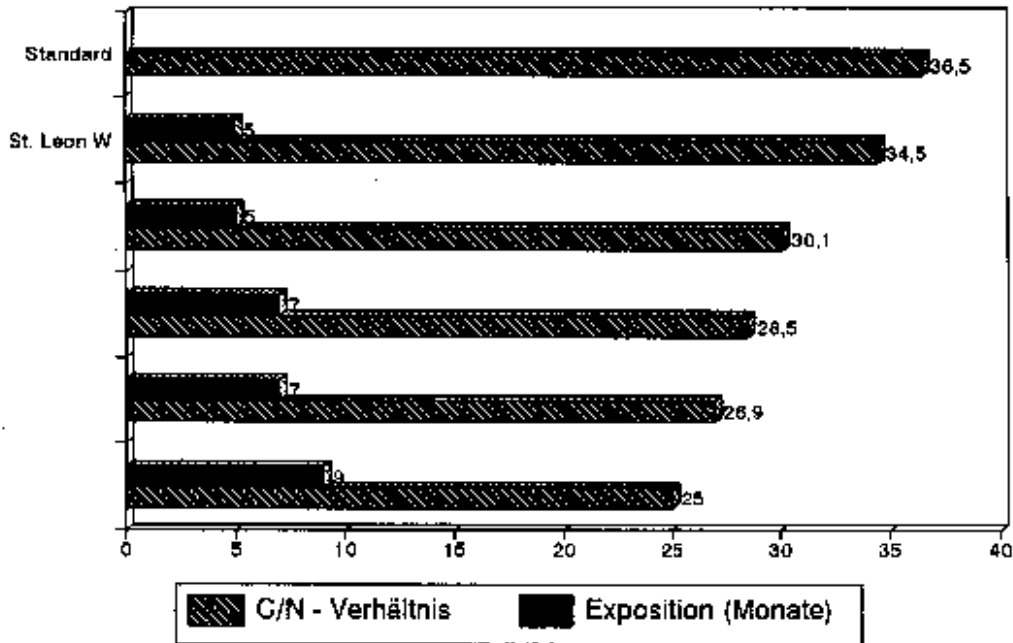


Abb. 12: C/N-Verhältnis in Buchenstreu in Abhängigkeit von der Expositionszeit in Monaten am Beispiel des Standorts St. Leon, Wald:

Für Routineuntersuchungen sollten solche Methoden Vorrang haben, die sich in der Praxis an allen Bodenmeßnetzstandorten durchführen lassen, eindeutige Aussagen ergeben und nicht zu aufwendig sind:

1. Die Bestimmung der mikrobiellen Biomasse nach ANDERSON & DOMSCH:

Über die Bestimmung der potentiellen mikrobiellen Aktivität wird die Leistung der Mikroorganismen an qualitativ unterschiedlichen Standorten quantitativ meßbar. Die Leistung der Mikroorganismen entscheidet über Freisetzung, Verfügbarkeit und Abbau von Schadstoffen in Böden. Die Anwendung dieser Methode ermöglicht Prognosen über Abbaubedingungen bei unterschiedlichen Umwelteinflüssen.

Im Rahmen des laufenden Untersuchungsprogramms (Kap. 2.2) wird die mikrobielle Aktivität und die Basalatmung an den Standorten des Bodenmeßnetzes gemessen. Eine Auswertung erfolgt nach Abschluß der hierzu notwendigen zeitlich versetzten Wiederholungsuntersuchungen im Lauf des Jahres 1993.

2. Verbesserung der Streuzersetzungsmethode für Routineanwendungen

Die Bestimmung der Streuzersetzungsrate ist grundsätzlich ein wichtiger Parameter, da hiermit nicht nur die Zersetzungsleistung der Mikroorganismen, sondern der gesamten Flora und Fauna eines Standorts dokumentiert wird. Die Kenntnis der gesamten Zersetzungsleistung ermöglicht wiederum Prognosen des Verhaltens von Schadstoffen in Ökosystemen.

Für die praktische Anwendung des Verfahrens im Routinebetrieb besteht jedoch noch methodischer Verbesserungsbedarf, u. a. hinsichtlich der Abbaubarkeit des Ausgangssubstrats.

3. Populationsuntersuchungen an Regenwürmern (Lumbriciden)

Neben der Durchführung von Aktivitätsmessungen bzw. Untersuchungen zu biologischen Prozeßabläufen ist die populationsanalytische Untersuchung zumindest einer Organismengruppe zu empfehlen. Hierzu bieten sich die Lumbriciden an wegen des einfachen Fangs, der relativ einfachen Artbestimmung, der hohen Biomasse, des überschaubaren Artenspektrums, ihrer Korrelation zur mikrobiellen Aktivität und ihrer wichtigen Funktion im Boden (u. a. Verteilung und Freisetzung von Nähr- und Schadstoffen, Bioakkumulation, bedeutender Einfluß auf das Porensystem: "biogene Grobpore").

7 ZUSAMMENFASSUNG

Die bisherige Konzeption des Bodenmeßnetzes umfaßt im wesentlichen die nutzungsbezogene Erhebung der natürlichen bzw. gegenwärtigen Hintergrundwerte der Schadstoffgehalte in ausgewählten, für Baden-Württemberg repräsentativen Böden. Aufbauend auf den Ergebnissen dieser Ersterhebung soll eine differenziertere und problemorientierte Vorgehensweise einsetzen. Hierzu gehört u. a. die individuelle Bestimmung des Vorgehens bei der Probennahme, des Beprobungszyklus, der Meßparameter und der Standorte selbst, jeweils in Abhängigkeit von der Fragestellung. Das Konzept wurde unter Beibehaltung der wesentlichen Komponenten des bisherigen Bodenmeßnetzes durch das einzurichtende Intensivmeßnetz (BDF II, vgl. Kap. 1) erweitert. Hierbei werden Standorte, die erhöhtem exogenen Veränderungsdruck ausgesetzt sind und empfindliche Böden aufweisen, einbezogen.

Der Stand Frühjahr 1993 der bodenchemischen, bodenphysikalischen und bodenbiologischen Untersuchungen am Bodenmeßnetz sowie das erweiterte Konzept der Bodendauerbeobachtung werden vorgestellt.

Insbesondere die Schwermetalle Blei und Cadmium, in geringerem Maß auch Quecksilber werden ubiquitär in die Umwelt eingetragen und besonders in den organischen Auflagehorizonten von Waldböden angereichert. Bei den in Auflagen nachgewiesenen Elementkonzentrationen handelt es sich jedoch aufgrund der im Vergleich zu den Mineralböden niedrigeren Trockenrohdichten um geringe eingetragene Stoffmengen pro Flächeneinheit. Eine direkte Vergleichbarkeit der (gewichtsbezogenen) Schadstoffkonzentrationen in Auflagen mit denjenigen in Mineralbodenhorizonten ist daher nur unter Einbezug der Trockenrohdichte möglich.

Dennoch kann mit einer tiefenstufenbezogenen Auswertung der bisher vorliegenden Daten unter Annahme eines mittleren Werts für die Trockenrohdichte der Auflagehorizonte gezeigt werden, daß es sich bei den (bezogen auf die Fläche geringen) Mengen an Blei und Cadmium in Auflagen um Anreicherungen handelt. In den obersten Zentimetern der Auflagen finden sich stets höhere Mengen dieser ubiquitär eingetragenen Schwermetalle als in den darunter folgenden Mineralbodenhorizonten. Dies zeigen auch die entsprechenden Gehalte in bodenlebenden Organismen. Darüber hinaus können Cadmium und Blei bei der Zersetzung des Humus durch Pilze aufgenommen werden. Da in den stark humosen Auflagehorizonten einige Schwermetalle nicht nur angereichert werden, sondern auch infolge der dort vorhandenen niedrigen pH-Werte mobil sind, ist ein Übergang in die Nahrungskette nicht auszuschließen.

Nach Vereinheitlichung und Festlegung einer Methode zur Bestimmung mobiler Schwermetallgehalte in Böden werden solche Untersuchungen auch im Rahmen des weiteren Betriebs des Bodenmeßnetzes sowie der Bodendauerbeobachtung durchgeführt.

Untersuchungen von Blei-Isotopen an Proben von Waldstandorten ermöglichten sowohl eine qualitative Bestimmung der überwiegenden Herkunft des Bleis aus dem Kraftfahrzeugverkehr als auch eine halbquantitative Abschätzung der Größenordnung dieses anthropogen eingetragenen Anteils.

An ausgewählten Proben wurden PCB, Organochlorpestizide (DDT und Abbauprodukte sowie Lindan, Chlordan, HCB) und Dioxine/Furane untersucht. Von den Daten zu den Or-

ganochlorpestiziden (OCP) gelangten Ergebnisse für Gesamt-DDT und Lindan zur Auswertung.

Anhand der bisher durchgeführten Analysen können erste Tendenzen aufgezeigt werden, wonach PCB und OCP ubiquitär in Böden eingetragen werden, eine Tiefenverlagerung der Verbindungen beider Schadstoffgruppen jedoch nicht sicher nachweisbar ist. Nach den vorliegenden Daten sind die organischen Auflagehorizonte von Waldböden am höchsten belastet. In ca. 80 % der untersuchten Auflagen wurden diese Schadstoffe nachgewiesen. Die Konzentrationen nehmen mit zunehmender Profiltiefe deutlich ab. Eine Neubeprobung aller Bodenmeßnetzstandorte zur Untersuchung organischer Schadstoffe wird zur Zeit durchgeführt.

Die derzeitige Hintergrundbelastung landwirtschaftlich genutzter Böden (Acker und Grünland) durch PCDD/F liegt bei 0,4 - 2,0 ng I-TEq/kg. Diese Angabe basiert auf Analysen von Proben aus dem Bodenmeßnetz sowie aus weiteren landesweiten Untersuchungsprogrammen. In organischen Auflagehorizonten von Waldböden muß nach der derzeitigen Datenlage eine Hintergrundbelastung von ca. 16 ng I-TEq/kg angenommen werden. Die zur Berechnung der eingetragenen PCDD/F-Mengen einzubeziehende Trockenrohdichte der Auflagen ist in diesen Angaben nicht berücksichtigt.

Im Rahmen dieser Untersuchungen wurden Methoden zum Fang und zur Auslese von Bodenorganismen im Freiland und Labor erprobt, geeignete Parameter für Populations- und Rückstandsuntersuchungen an Regenwürmern und Asseln festgelegt, mikrobielle Biomasse und potentielle mikrobielle Aktivität in Böden sowie Streuzersatzungsraten bestimmt.

Aus den unterschiedlichen angewandten Fang- und Ausleseverfahren wurde die für ein bodenbiologisches Monitoring in der Routine am besten geeignete Methode, insbesondere im Hinblick auf künftige Untersuchungsvorhaben, ermittelt.

Rückstandsuntersuchungen an Regenwürmern und Asseln aus Proben des Bodenmeßnetzstandorts "Mannheim-Karlstern" zeigten deutliche Anreicherungen von Blei und Cadmium gegenüber den Organismen von anderen Bodenmeßnetzstandorten.

Die Bestimmung der potentiellen mikrobiellen Aktivität in Verbindung mit der Ermittlung der Basalatmung erwies sich als ein geeigneter Parameter zur nutzungsabhängigen Charakterisierung, Quantifizierung und Beurteilung des mikrobiellen Potentials der Standorte.

8 LITERATUR

- 1 ANDERSON, J. P. E. & DOMSCH, K. H. (1978): A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass. – *Soil Biol. Biochem.*, 215-221.
- 2 ARBEITSGRUPPE BODENKUNDE der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und der geologischen Landesämter der BRD (1982): *Bodenkundliche Kartieranleitung*, 3. verbesserte und erweiterte Auflage, 331 S.; Hannover.
- 3 COLLET, P. (1977): Die Bestimmung von Schwermetallspuren in Lebensmitteln mit Hilfe der Inverspolarographie. – *Deutsche Lebensmittelrundschaу*, 73. Jahrg., 3: 75-82.
- 4 DIETL, G. (1986): Großpilze als Bioindikatoren - Möglichkeiten und Beispiele. - *Ulmer Pilzflora I*, 10 Jahre Arbeitsgemeinschaft Mykologie: 142-151; Ulm.
- 5 LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ B.-W. (1987): *Jahresbericht der Arbeitsgruppe Bodenschutz*. – Sachstandsbericht, 56 S.; Karlsruhe.
- 6 LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ B.-W. (1988): *Bodenmeßnetz Baden-Württemberg*. - Zwischenbericht September 1988, 61 S.; Karlsruhe.
- 7 LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ B.-W. (1990): *Schwermetallgehalte der Böden aus verschiedenen Ausgangsgesteinen in Baden-Württemberg*. - Sachstandsbericht 4 der Arbeitsgruppe Bodenschutz, 14 S.; Karlsruhe.
- 8 LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ B.-W. (1992): *Jahresbericht 1991*, S. 117- 120; Karlsruhe,
- 9 LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ B.-W. (1993): *Dioxine in Böden Baden- Württembergs*. – Materialien zum Bodenschutz, Band 1, 60 S.; Karlsruhe.
- 10 MICHAEL, E., HENNING, B. & KREISEL, H. (1983): *Handbuch für Pilzfreunde*. – Band I, 5. überarbeitete Auflage: 408 S.; Stuttgart (G. Fischer Verlag).
- 11 RUPP, J. (1989): *Bestimmung der potentiellen mikrobiellen Aktivität und Biomasse über den Sauerstoffverbrauch, Bestimmung des Streuabbaus mit der Netzbeutelmethode sowie Versuche zum Einfluß der Elemente As, Hg und Zn auf die Mineralisationstätigkeit der Mikroorganismen*. – Unveröffentlichte Untersuchung im Auftrag der Landesanstalt für Umweltschutz B.-W., 90 S.; Karlsruhe.
- 12 SEEGER, R. (1978): Cadmium in Pilzen. - *Zeitschr. Lebensm. Unters. Forsch.*, **23-34**.
- 13 SONDERARBEITSGRUPPE INFORMATIONSGRUNDLAGEN BODENSCHUTZ (SAG), UAG "Boden-Dauerbeobachtungsflächen" (1991): *Konzeption zur Einrichtung von Boden-Dauerbeobachtungsflächen*. – Arbeitshefte zum Bodenschutz 1 der SAG: 56 S.; München.
- 14 UNIVERSITÄT KARLSRUHE (1991): *Zur Isotopenzusammensetzung und Herkunft von Blei in Waldböden Südwestdeutschlands*, – Untersuchung im Auftrag der Landesanstalt für Umweltschutz B.-W."90 S., unveröffentl.; Karlsruhe.

9 GLOSSAR

Auflage	Organische Horizonte, dem Mineralboden aufliegend mit > 30 Gew.-% organischer Substanz, z. B. L-, Of-, Oh-Horizonte
Arthropoden	Gliederfüßler; in der Mesofauna (Größe ca. 100 µm – 1 cm) hauptsächlich Milben und Springschwänze, in der Makrofauna (> 1 cm) meist Asseln und Tausendfüßler
BDF	Bodendauerbeobachtungsfläche
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
Biozönose	Lebensgemeinschaften bzw. Systeme von Populationen, die einen bestimmten Ausschnitt der Erdoberfläche bewohnen
Bodenart	mit der Bodenart wird die Korngrößenzusammensetzung des mineralischen Bodenmaterials gekennzeichnet (Bestimmung im Labor nach DIN 19.683 Teil 1 und 2, im Gelände durch die Fingerprobe und nach sichtbaren Merkmalen an feuchten bzw. angefeuchteten Proben)
Bodenform	wird durch den Bodentyp und das Ausgangsgestein der Bodenbildung beschrieben
Bodengesellschaft	Typische Kombination von Bodentypen, die in einer (Boden)Landschaft miteinander verknüpft sind
Bodenhorizont	Durch Bodenentwicklung entstandener vertikaler (Teil)Abschnitt des Bodenprofils, der hinsichtlich seines makroskopischen Erscheinungsbilds, seiner stofflichen Zusammensetzung, seines Chemismus und seiner physikalischen Eigenschaften hinreichend homogen ist; es werden organische und mineralische Bodenhorizonte unterschieden
Bodenprofil	Abfolge von Bodenhorizonten; charakteristische Horizontabfolgen Kennzeichnen die verschiedenen Bodentypen
Bodenschicht	Zusammenfassung mehrerer sich überlagernder Horizonte; im vorliegenden Bericht wird zwischen den Bodenschichten "Auflage", "Oberboden" und "Unterboden" unterschieden
Clophen	Handelsname für PCB eines Herstellers, wobei z. B. die Bezeichnung A30 auf durchschnittlich 3 Chloratome pro Molekül hinweist
Chlordan	Chlorkohlenwasserstoff-Verbindung mit der Summenformel C ₁₀ H ₆ Cl ₈ ; Verwendung als Insektizid in der BRD nicht mehr zugelassen
Coronen	Substanz der PAK mit sechs ringförmig kondensierten Benzolringen (C ₂₄ H ₁₂)
DDT	I. w. S. Bezeichnung für ein technisches Gemisch der folgenden Chlorkohlenwasserstoffe: p,p'-DDT (77,1 %), o,p'-DDT (14,9 %), p,p'-DDE (4,0 %), p,p'-DDD (0,3 %), o,p'-DDE (0,1 %) I. e. S. Kurzbezeichnung für das Isomer p,p'-DDT (1,1 Bis-[4-chlorphenyl]-2,2,2-trichlorethan, Summenformel C ₁₄ H ₉ Cl ₅), das wirksamste Insektizid; Herstellung und Verwendung in der BRD, außer zu Forschungszwecken, verboten

EPA	Environmental Protection Agency, U.S.A.
Feuersteinlehm	Pleistozäne Lehmböden mit Feuersteinen, in B.-W. vorwiegend im Bereich der Hohenloher Ebene
FVA	Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt
GLA	Geologisches Landesamt
HCB	Hexachlorbenzol (C ₆ Cl ₆); Verwendung als Fungizid bei der Saatgutbehandlung und als Holzschutzmittel; Zusatzstoff bei der Herstellung von Gummi, PVC und Isoliermaterialien
HCH	Hexachlorcyclohexan (C ₆ H ₆ Cl ₆); Verwendung als Insektizid
Isomer	Zwei oder mehr chemische Verbindungen mit gleicher Summenformel und gleicher Molekülmasse aber verschiedenen physikalischen und chemischen Eigenschaften
Isotop, Isotopenverhältnisse	Die zu einem Element gehörenden Atome gleicher Kernladungs- und damit Ordnungszahl. Die Isotope eines Elements enthalten gleich viele Protonen aber unterschiedlich viele Neutronen; sie unterscheiden sich somit nur ihrer Masse nach, die chemischen Eigenschaften sind weitgehend gleich. Die meisten natürlichen Elemente bestehen aus einem Gemisch von Isotopen, die bestimmte Verhältnisse zueinander aufweisen
I-Teq	Internationale Toxizitätsäquivalente (PCDD/F) nach NATO/CCMS
Lindan	γ -HCH = 1 α ,2 α ,3 β ,4 α ,5 α ,6 β -Hexachlorcyclohexan; Verwendung als Insektizid
Lockergesteinshorizont	Gesteinsnahe, wenig verwitterte Bodenschicht, z. B. Cc-, Cn-, Cv-Horizonte
LUFA	Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt Augustenberg
Metabolit	Stoffwechselprodukt; chemische Stoffe, die im biologischen Stoffwechsel auftreten
Oberböden	Mineralische Bodenhorizonte mit Akkumulation organischer Substanz und/ oder Verarmung an mineralischer Substanz, z. B. Ah-, Al-, Ap-Horizonte
PAK	Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (engl. PAH); Bezeichnung für eine Stoffklasse, die aus mindestens drei kondensierten Benzolringen besteht und im Molekül nur C und H enthält. Den PAK wird i. d. R. auch das nur bityklische Naphthalin zugerechnet
PCB	Polychlorierte Biphenyle; Gruppe von 209 Verbindungen (Isomeren, Summenformel C ₁₂ H _{10-n} Cl _n , wobei n < 10); PCB ₆ ist der Summenwert für die folgenden sechs Einzelsubstanzen: - PCB 28 (2,4,4'-Trichlorbiphenyl) - PCB 52 (2,2',5,5'-Tetrachlorbiphenyl) - PCB 101 (2,2',4,5,5'-Pentachlorbiphenyl) - PCB 138 (2,2',3,4,4',5'-Hexachlorbiphenyl) - PCB 153 (2,2',4,4',5,5'-Hexachlorbiphenyl)

	- PCB 180 (2,2',3,4,4',5,6-Heptachlorbiphenyl) Verwendung als Transformatorenöl und in Kondensatoren, in der BRD seit 1983 nicht mehr hergestellt, Verwendung nur noch in einer Übergangsfrist
PCP	Pentachlorphenol (C6C5OH); Verwendung als Fungizid, Bakterizid und Herbizid
PCDD/F	Polychlorierte Dibenzodioxine/-furane
Rechts- und Hochwert	Lage z. B. von Beprobungspunkten usw. im Gauß-Krüger-Koordinatennetz
Trockenrohddichte	Kennwert zur Beschreibung des spezifischen Gewichts eines Bodengesamtvolumens nach Trocknung des Materials bei 105 °C
Unterböden	Mineralische Bodenhorizonte wie Bv, Bt, Go, P, T, Sd, Sw

ANLAGEN

Anlage 1: Verzeichnis der Boden-Dauerbeobachtungsflächen, Grundmeßnetz (BDF I).

1. RHEINTAL

EDV	TK-Nr.	Standort	Nutzung	Naturraum	Bodenform ¹
156	8411	Weil a. Rh. Nonnenholz	W	200	
157	8411	Grenzach	W	200	
132	8211	Auggen	W	201	Lößl/jo-Pb/(Tf?)
133	8211	Domaene Erlenboden	A	201	Löß-PgPb
155	8013	Freiburg Stadtgarten	G	202	
134	8012	Freiburg St. Georgen	W	202	TerrLöß-Be
135	7913	Domaene Steckenhof 1	A	202	Flußb+hwfaz-GIVe
136	7913	Domaene Steckenhof 2	G	202	Flußb+hwfaz-GIVe
94	7513	Binzbürg priv.	A	210	glazifuv-Ve(Pb)
137	7412	Waldbuckhof priv.	A	210	Auenl-GIPgVe
138	7314	Aspichhof priv.	A	212	Deckl-erodlessPg
139	7314	Rittersbach priv.	A	212	Lößl-erodPb
141	6616	Insultheimer-Hof	A	222	Flußb+hwfaz-kalkhVe
142	6717	St. Leon	G	223	Flugdecks-Pb
143	6717	St. Leon	A	223	Flugdecks-Pb
158	6717	St. Leon	W	223	Flugsdecks-poPb
144	6617	NSG 2.24 Sanhausen	N/G	223	Düsand-ParaRe
146	6817	Domaene Kislau	A	223	Flußb+hwfaz-GIPoBe

160	6916	Karlsruhe hardtwald	W	223	
147	6617	Schwetzingen	W	224	Flußl-Pb
148	6416	Mannheim Sandtorf	A	225	Flugdecks-PbBe
149	6417	Mannheim Karlstern	W	225	Flugsdecks-poBe/Pb

2. GRANIT-SCHWARZWALD

EDV	TK-Nr.	Standort	Nutzung	Naturraum	Bodenform ¹
115	7415	Ottenhefen	W	152	Gr-Po
116	7215	Baden-Baden 1	W	152	Gr-Be
117	7614	Wolfach (Hausach)	W	153	Gn-Po
118	7715	Wolfach 1	W	153	Gn-Be
119	7914	Dom. Buehlhof 1	A	153	HangschGn-Be
121	8114	St. Blasien 1	W	155	ParaGn-Be
122	8214	St. Blasien 2	W	155	Mor/Gr-BePo
123	8214	St. Blasien 3	W	155	Gr-poBe
124	8214	St. Blasien 5	W	155	Gr-Be
125	8113	NSG 3.42 Belchen	N/G	155	HangschGr-Be
126	8013	Schauinsland 1	W	155	DecklGn-poBe
127	8013	Schauinsland 2	G	155	HangfazGn-Be
128	8013	Schauinsland 3	G	155	HangfazGn-Be
129	8214	Domaene Glashof	G	155	Gr-Koll

3. BUNTSANDSTEIN-SCHWARZWALD

EDV	TK-Nr.	Standort	Nutzung	Naturraum	Bodenform ¹
106	7417	Pfalzgrafenweiler	W	150	Deckl/so-Be
107	7218	Calw 2	W	150	so-BePg
108	7218	Calw 1	W	150	Deckl/so-Be
109	7117	Engelsbrand 1	A	150	Deckl/so-Be
110	7117	Engelsbrand 2	G	150	Deckl/so-Be
112	7217	Bad Herrenalb	W	151	so/sm-Be
113	7217	Bad Liebenzell	W	151	so/sm-Be
120	7816	Vill.-Schwenn. St. Georg.	W	154	so/sm-pogIBe

4. BUNTSANDSTEIN-ODENWALD

EDV	TK-Nr.	Standort	Nutzung	Naturraum	Bodenform ¹
101	6421	Buchen 1	W	144	Deckl/soTon-Be
102	6518	Schoenau 1	W	144	so-Sg
104	6620	NSG Heppenstein 2.5	N/G	144	muMergelt-ParaReBe
105	6521	Hofgut Rineck	A	144	soTon-pgPe

5. KRAICHGAU UND NECKARBECKEN

EDV	TK-Nr.	Standort	Nutzung	Naturraum	Bodenform ¹
87	6819	Eppingen	W	125	Löß-Pb
88	6918	Bretten	W	125	Löß-Pb
89	6818	Dom. Stifterhof Oestring.	A	125	Löß-ParaRe

6. GÄUFLÄCHEN

EDV	TK-Nr.	Standort	Nutzung	Naturraum	Bodenform ¹
79	7319	NSG 1.135 Venusberg 1	W	122	Deckl/moKst-BeRe
80	7319	NSG 1.135 Venusberg 2	G	122	Deckl/moKst-BeRe
81	7319	NSG 1.135 Venusberg 3	A	122	Deckl/moKst-BeRe
82	7319	NSG 1.135 Venusberg 4	G	122	Deckl/moKst-BeRe
83	7519	Domaene Rottenburg	A	122	Löß-rigol/Pb
84	7021	Grossbottwar	W	123	Löß-Pb
85	6921	Domaene Hohrainhof	A	123	Deckl/kml-Pb
152	7122	Paulinenhof priv.	A	123	Löß-PbPg
86	7120	Pflugfelden priv.	A	123	Löß-erodPb

7. HOHENLOHER EBENE / TAUBERLAND-BAULAND

EDV	TK-Nr.	Standort	Nutzung	Naturraum	Bodenform ¹
90	6722	Neuenstadt 1	W	126	Löß/kuTon-Pb
92	6723	Kuenzelsau	W	126	Deckl-Be/ Tf
93	6623	Dom. Neuhof	A	126	Lößl/kuTon-Pg
96	6626	Schrozberg	W	127	Lößl-PbPg
97	6826	NSG 1.112 Crailsheim	G	127	km1MeTon-PgPe
98	6721	Domaene Heuchlingen	A	127	Löß-ParaRe
99	6524	NSG 1.128 Neuhaus	N/G	129	Löß/moKst-ReTf
100	6524	Domaene Neuhaus	A	129	Löß/moKst-ReTf

8. KEUPERBERGLAND

EDV	TK-Nr.	Standort	Nutzung	Naturraum	Bodenform ¹
56	7420	Bebenhausen/LfU 1	W	104	Deckl/km4MeTon-pgPb/Pe
57	7420	Einsiedel 1	A	104	Lößl/juTon-PbPg
58	7420	Einsiedel-Wald 2	W	104	Lößl/juTon-Pb
59	7421	NSG 4.91 Sulzeiche	N/G	104	Lößl/ju-erodPb
60	7321	Plattenhardt	W	104	ju-Be

61	7221	Kleinhohenheim 1	W	106	Lößl-Pb
62	7221	Kleinhohenheim 2	A	106	Lößl-PbPg
63	7221	Kleinhohenheim 3	G	106	Lößl-pgPb
64	7221	NSG 1.15 Eichenhain	N/G	106	Lößl-jua-Be
65	7321	Bernhausen	A	106	Löß-TschBe
66	7024	Welzheimer Wald	W	107	km2Sst-poBe
67	7224	Birkhof	A	107	ju-Be
68	6926	Rechenberg	W	108	km4/?dolmTon-BePe
69	7023	Murhardter Wald 1	W	108	km4Sst-Be
71	6823	NSG 1.10 Viehweide	N/G	108	km4SstTst-Sg
51	7026	Domaene Ellwangen 1	A	102	jua3Sst-pgBe
72	7026	Domaene Ellwangen 2	A	108	km5MeTon-Pe
73	7026	Domaene Ellwangen 3	G	108	km5MeTon-Pe
74	7026	Rabenhof	A	108	km4Sst-Be
91	6824	Comburg	W	126	Deckl/kuTon-PePg
95	6925	Doerrenzimmern	W	127	Deckl/km1MeTon-PgPe
52	7027	Rattstadt	G	102	jua3Sst-pgBe
53	7026	Neuler Rahlenhof 1	A	102	judTon-brPePg
54	7026	Neuler 2	G	102	judTon-brPePg

9. ALBVORLAND

EDV	TK-Nr.	Standort	Nutzung	Naturraum	Bodenform 1
45	7718	Domaene Bronnhaupten 1	A	100	Deckl/jueMeTon-PePg
46	7718	Domaene Bronnhaupten 2	G	100	jub/dMeTon-PePg
47	7718	Domaene Bronnhaupten 3	A	100	jub/dMeTon-PgPe
48	7322	Tachenhausen	A	101	Lößl-Pb
49	7323	Uhlandhof	A	101	Deckl/jueMeton-PeBe
50	7127	Bopfingen	W	102	jmSst-Be

10. KUPPEN- und FLÄCHENALB

EDV	TK-Nr.	Standort	Nutzung	Naturraum	Bodenform ¹
23	7819	NSG 3.82 Irndorfer	N/G	093	Lößl/joeKst-TfBe
24	7719	NSG 4.117 Hoerle	N/G	093	jobKst-Re
25	7818	Steighof	A	093	joa/bKst-Re
153	7521	Bad Urach 1	A	094	
154	7521	Bad Urach 2	G	094	
26	7521	Urach St. Johann	W	094	jo-BeRe
27	7521	Domaene St. Johann 2	G	094	jo-BeRe
28	7521	Domaene St. Johann 4	G	094	koll

159	7521	Domaene St. Johann 5	A	094	Koll
29	7521	Domaene St. Johann 6	A	094	BeTf
30	7521	Domaene St. Johann 7	G	094	BeRe
31	7521	Domaene Lindenhof 8	G	094	TfBe
32	7521	Domaene Lindenhof 9	G	094	
33	7521	Domaene Lindenhof 12	A	094	Be
34	7822	Domaene Ensmad 1	A	095	Be
35	7722	Domaene Ohnhuelben	A	095	PePb
36	7226	Ebnat 1	W	096	Fstl-Be
37	7226	Ebnat 3	W	096	Fstl-Be
38	7425	LSG Lonsee	G	096	Re
39	7227	Ebnat 4	W	096	Del-BeTf
40	7127	Ebnat 5	W	096	Del-BeTf
41	7226	NSG 1.59 Weiherwiese	G	096	Be
42	7226	Zang 1	A	096	Pb
43	7226	Zang 2	G	096	Pb
44	7426	Langenau	W	097	Del-Pb

11.

OBERSCHWABEN

a) ALTMORÄNENGEBIET

EDV	TK-Nr.	Standort	Nutzung	Naturraum	Bodenform ¹
12	7822	Riedlingen 1	W	040	Lol-PbPg
13	7822	Riedlingen 2	W	040	Lol-PbPg
14	7822	Riedlingen 3	W	040	Lol-pgPb
15	7822	Domaene Dollhof	A	040	PbPg
16	7921	Rulfingen 1	A	040	
17	7921	Rulfingen 2	G	040	
18	7925	Ochesenhausen 2	W	041	QRgm-PbPg

b) JUNGMORÄNENGEBIET

EDV	TK-Nr.	Standort	Nutzung	Naturraum	Bodenform ¹
1	8219	Singen 1	W	030	qW-Pb
2	8218	NSG 3.74 Hohentwiel	N	030	Be
3	8220	Dom. Rohnhausen	A	031	PgPb
4	8223	Domaene Rahlenhof 1	G	031	ParaRe
5	8223	Domaene Rahlenhof 2	A	031	ParaRe
6	8323	Giessenbruecke 1	A	031	VeBe
7	8323	Giessenbruecke 2	A	031	VeBe
8	8124	Bad Waldsee	W	032	qWgM-PgPb
9	8023	Domaene Aulendorf 1	G	032	Pb

10	8023	Domaene Aulendorf 2	A	032	Pb
11	8226	ISNY 1	W	034	qRqMi-Be
20	7724	Ehingen	W	042	tUSM-Be
21	7925	Ochsenhausen 1	W	043	Lol-PgPb
22	7926	Ochsenhausen 4	W	043	qR-BE
75	8216	Stuehlingen	W	120	mo-Tf
76	7917	Tuningen	W	121	Del/jm-PePg
77	7916	NSG 3.121 Tannhoernle	N/G	121	PgBePe
78	7716	Dunningen	W	122	Del/mu-pgPe
130	8412	Dom. Hagenbacher Hof 2	G	161	BePe
131	8412	Dom. Hagenbacher Hof 1	A	161	PgBe

¹ nach dem Datenschlüssel Bodenkunde des GLA B.-W., 2. Fassung, März 1988)

Anlage 2:**Schwermetall- und Arsengehalte in Böden des Bodenmeßnetzes aller Nutzungsformen.**

n = Anzahl der Datensätze (Meßwerte von Parallelproben aus den einzelnen Bodenhorizonten wurden gemittelt und in der weiteren Berechnung als jeweils ein Wert berücksichtigt). Die Daten für Auflagehumus, A-, B- und C-Horizonte wurden zu den Bodenschichten Auflage, Ober-, Unterboden und Lockergestein zusammengefaßt. Es werden die arithmetischen Mittel, - 50. Percentil- (Median-) und 90. Percentilswerte² in mg/kg (ppm) angegeben.

Tab. 1: Cadmium (Cd)

Schicht	N	arith. Mittel	50. Perc.	90. Perc.
Auflage	147	0,52	0,40	0,85
Oberboden	313	0,23	0,11	0,62
Unterboden	388	0,18	0,10	0,35
Lockergestein	127	0,16	0,10	0,34

Tab. 2: Chrom (Cr)

Schicht	N	arith. Mittel	50. Perc.	90. Perc.
Auflage	143	8	5	18
Oberboden	307	34	33	57
Unterboden	386	42	41	70
Lockergestein	127	39	32	59

Tab. 3: Kupfer (Cu)

Schicht	N	arith. Mittel	50. Perc.	90. Perc.
Auflage	143	15	12	23
Oberboden	307	17	15	29
Unterboden	386	20	18	41
Lockergestein	127	19	16	35

Tab. 4: Quecksilber (Hg)

Schicht	N	arith. Mittel	50. Perc.	90. Perc.
Auflage	143	0,30	0,22	0,58

Oberboden	308	0,10	0,06	0,13
Unterboden	386	0,05	0,03	0,10
Lockergestein	127	0,04	0,02	0,09

² 50 bzw. 90 Prozent aller Meßwerte liegen unter den jeweils angegebenen Werten

Tab. 5: Nickel (Ni)

Schicht	N	arith. Mittel	50. Perc.	90. Perc.
Auflage	143	9	8	15
Oberboden	307	26	22	49
Unterboden	386	35	31	61
Lockergestein	127	37	28	77

Tab. 6: Blei (Pb)

Schicht	N	arith. Mittel	50. Perc.	90. Perc.
Auflage	143	79	66	138
Oberboden	307	36	31	59
Unterboden	386	24	20	39
Lockergestein	127	20	14	38

Tab. 7: Zink (Zn)

Schicht	N	arith. Mittel	50. Perc.	90. Perc.
Auflage	143	25	60	90
Oberboden	307	63	56	106
Unterboden	386	64	56	104
Lockergestein	127	55	46	122

Tab. 8: Arsen (As)

Schicht	N	arith. Mittel	50. Perc.	90. Perc.
Auflage	130	5	3	10
Oberboden	202	11	9	16
Unterboden	236	14	10	19
Lockergestein	67	17	8	17

Tab. 9: Thallium (Tl)

Schicht	N	arith. Mittel	50. Perc.	90. Perc.
Auflage	142	0,23	0,20	0,38
Oberboden	308	0,29	0,22	0,53
Unterboden	378	0,31	0,24	0,52
Lockergestein	127	0,23	0,16	0,49

Anlage 3b: Hintergrundbelastung der Böden von Ackerstandorten mit PCDD/F

Proben-Nr.:	Standortname	Tiefe von cm	Tiefe bis cm	Analyse-Datum	TE nach BGA in ng/kg	I-TE in ng/kg
021/0007/010	Rottenburg	0	16	16.11.86	3,3	3,3
021/0008/010	MA-Sandorf	0	8	15.10.86	2,0	1,7
021/0009/010	Neuhaus	0	20	15.10.86	1,7	1,4
021/0012/010	Paulinenhof	0	30	16.11.86	1,2	1,1
021/0014/010	Waldbuchhof	0	30	15.12.86	0,4	0,3
021/0017/010	Stöterhof	0	37	15.09.86	0,5	0,6
021/0019/010	Dom, Rohnhausen	0	25	15.12.86	0,1	0,1
028/3015/010		0	26	04.07.90	1,0	0,7
028/4004/010		0	16	30.05.90	0,8	0,3
028/4014/010	Plügendorf	0	20	24.07.90	0,6	0,6
028/4050/010	Ehingen	0	25	08.11.90	0,2	0
029/0001/010	Durlach	0	30	01.12.87	1,2	1,1
029/0002/010	Stimmensfeld	0	30	01.12.87	1	1
029/0003/010	Bühl	0	30	01.12.87	5,5	5
029/0004/010	Immenzingen	0	30	01.12.87	1	1,1
029/0005/010	Villingen	0	30	01.12.87	0,1	0,1
029/0006/010	Adersbach	0	30	01.12.87	1,2	1,2
029/0007/010	Wiesloch	0	30	01.12.87	2,2	2,2
029/0008/010	Buchen/Odenwald	0	30	01.12.87	0,6	0,6
029/0009/010	Friedrichsfeld	0	30	01.12.87	1,7	1,5
029/0010/010	Heidelberg	0	30	01.12.87	2,5	2,7
029/0011/010	Hochburg	0	30	01.12.87	1,0	1,0
029/0012/010	Grünfel	0	30	01.12.87	0,3	0,3
029/0013/010	Hilzingen	0	30	01.12.87	0,1	0,1
029/0014/010	Adelshelm-Demb.	0	30	01.12.87	3,1	3,6
029/0015/010	Kritzingen	0	30	01.12.87	0,4	0,3
029/0016/010	Ottenhöfen	0	30	01.12.87	0,6	0,6
029/0017/010	Bad Säckingen	0	30	01.12.87	2,6	2,6
029/0018/010	Mahzingen	0	30	01.12.87	0,3	0,3
029/0019/010	Neustadt	0	30	01.12.87	0,3	0,3
029/0020/010	Rottweil	0	30	01.12.87	0,2	0,2
029/0021/010	Rheinfelden	0	30	01.12.87	0,2	0,2
029/0033/010	Oberböhringen	0	25	01.11.88	4,0	2,7
029/0036/010	Neuhausen	0	25	01.11.88	4,0	2,4
029/0038/010	Schwiebendingen	0	25	01.11.88	0,3	0,1
029/0046/010	Dettenheim-Russb.	0	20	01.11.88	0,5	0,4
029/0049/010	Weingarten	0	25	01.11.88	1,3	1,3
029/0055/010	Rheinfelden-Heffen	0	30	01.10.88	2,3	2,0
029/0087/010	Oberböhringen	0	10	16.08.89	1,1	1,0
029/0092/010	Göppingen-Holz.	0	10	16.08.90	2,5	1,8

Anlage 3 a: Hintergrundbelastung der Böden von Grünlandstandorten mit PCDD/F

Proben-Nr.:	Standortname	Tiefe von cm	Tiefe bis cm	Analyse-Datum	TE nach BGA in ng/kg	HTE in ng/kg
021/0010/010	Aulendorf	0	10	15.11.96	1,3	1,4
021/0011/010	Zang 1	0	2	15.12.96	1,2	1,0
021/0011/020	Zang 1	2	6	15.12.96	0,7	0,6
021/0013/010	Stoekenhof	0	2	15.10.96	1,1	1,1
021/0013/020	Stoekenhof	2	6	15.10.96	0,8	0,7
021/0015/010	Pfalzgrafenweiler	0	2	15.12.96	0,7	0,6
021/0015/020	Pfalzgrafenweiler	2	6	15.12.96	0,6	0,6
021/0016/010	Lonsee	2	7	15.10.96	0,6	0,5
021/0018/010	Irndorfer Hardt	0	2	15.08.96	0,2	0,2
021/0018/020	Irndorfer Hardt	2	6	15.08.96	0,4	0,4
028/102/0/10)	0	10	06.06.90	0,1	0,1
028/104/0/10		0	10	08.08.90	3,0	2,6
028/105/0/10		0	10	08.08.90	1,5	1,4
028/106/0/10		0	10	21.08.90	0,8	0,9
028/202/0/10		0	10	19.07.90	2,9	3,3
028/205/0/10		0	10	19.09.90	0,5	0,1
028/301/0/10		0	10	13.07.90	0,2	0,2
028/302/0/10		0	10	17.07.90	2,2	1,9
028/302/0/10		0	10	17.08.90	0,8	0,8
028/302/0/10		0	10	07.11.90	0,4	0,1
028/303/0/10		0	10	07.11.90	0,8	0,4
028/401/0/10		0	10	26.07.90	0,6	0,3
028/402/0/10		0	10	25.07.90	0,7	0,3
028/402/0/10		0	10	07.08.90	1,2	0,9
028/402/0/10		0	10	15.08.90	0,1	0,1
028/403/0/10		0	10	16.08.90	0,7	0,2
028/403/0/10		0	10	16.08.90	0,2	0,1
028/404/0/10		0	10	16.08.90	0,3	0,1
029/0065/010	Unterheinriet, Farmerberg	0	10	29.06.89	1,9	1,6
029/0066/010	Cleversulzbach/Miefertal	0	10	07.07.98	0,8	0,3
029/0067/010	Abtgemünd/Hohenstadt	0	10	12.07.89	1,1	0,7
029/0068/010	Wiesenbach/Röppeleib.	0	10	11.07.89	0,4	0,2
029/0069/010	Sulzb./Zwerenb./Schel.	0	10	30.06.89	1,0	0,6
029/0070/010	Gäuleiden-Nebriggen	0	10	10.07.89	0,5	0,3
029/0071/010	Mulfg.-Laubg.	0	10	11.07.89	0,5	0,4
029/0072/010	Beures/Steckwiesen	0	10	11.07.89	0,8	0,3
029/0073/010	Mogglingen/Judenreute	0	10	12.07.89	0,7	0,3
029/0091/010	Göppingen-Holzheim	0	10	06.08.90	2,9	3,1
029/0093/010	Göppingen-Holzheim	0	10	16.08.90	4,2	3,5

Anlage 3c: Hintergrundbelastung der Böden von Waldstandorten mit PCDD/F

Proben-Nr.	Standortname	Tiefe von	Tiefe bis	Analyse-Datum	Probenart	TE nach B34 in µg/kg	HTEs in ng/kg
020/0001/010	Rappeneck	1,8	0	15.03.89	Auflage	8,0	7,5
020/0001/020	Rappeneck	0	4,0	15.03.89	Oberboden	4,0	4,0
020/0002/010	Bad Säckingen	1,5	0	15.03.89	Auflage	13,0	11,9
020/0002/020	Bad Säckingen	0	4,0	15.03.89	Oberboden	5,0	3,9
020/0003/010	Bad Säckingen	1,8	0	15.03.89	Auflage	16,0	15,4
020/0003/020	Bad Säckingen	0	4,0	15.03.89	Oberboden	5,0	3,7
020/0004/010	Todtmoos	2,5	0	15.03.89	Auflage	15,0	13,8
020/0004/020	Todtmoos	0	4,0	15.03.89	Oberboden	6,0	5,5
020/0005/010	Todtmoos	3	0	15.03.89	Auflage	17	16,4
020/0005/020	Todtmoos	0	4	15.03.89	Oberboden	8	18,4
020/0006/010	Freudenstadt	6,0	0	15.03.89	Auflage	26,0	27,3
020/0006/020	Freudenstadt	0	4,0	15.03.89	Oberboden	4,0	3,7
020/0007/010	Sulz a. N.	2,5	0	15.03.89	Auflage	12,0	8,0
020/0007/020	Sulz a. N.	0	4	15.03.89	Oberboden	7,0	6,5
020/0008/010	Rotenfels	4,5	0	15.03.89	Auflage	52,0	47,2
020/0008/020	Rotenfels	0	4,0	15.03.89	Oberboden	6,0	6,4
020/0009/010	Heidelberg	6	0	15.03.89	Auflage	58,0	62,3
020/0009/020	Heidelberg	0	4,0	15.03.89	Oberboden	4,0	3,8
020/0010/010	Heidelberg	4,0	0	15.03.89	Auflage	53,0	52,4
020/0010/020	Heidelberg	0	4	15.03.89	Oberboden	4,0	3,6
020/0012/010	Horngrinde	0	10	15.12.87	Oberboden	86	86,5
020/0013/010	Horngrinde	0	10	15.05.88	Oberboden	56,5	49,9
020/0015/010	Horngrinde	0	10	15.05.88	Oberboden	29,8	27,3
021/0021/010	Kleinboherhelm	2	0	15.12.87	Auflage	28,0	25,4
021/0022/010	Bad Herrenalb	7	0	15.12.87	Auflage	20	22,7
021/0023/010	Rechenberg	4,0	0	15.12.87	Auflage	16,0	15,7
021/0024/010	Buchen	4	0	15.12.87	Auflage	12	12,1
021/0025/010	Riedlingen G	5	0	15.12.87	Auflage	8,0	7,2
021/0025/010	St. Blasien	10	0	15.12.87	Auflage	4,8	4,8
028/4051/010	*)	3,5	0	15.06.90	Auflage	17,7	16,2
028/4021/020		9	7	15.08.90	Oberboden	1,2	1,0
028/4038/010		3,0	0	16.06.90	Auflage	52,7	45,2
028/4038/020		0	7	16.06.90	Oberboden	0,4	3,7

Indexverzeichnis

Arsen		Grundmeßnetz	
Bodendauerbeobachtung.....	4	Bodendauerbeobachtung.....	2
Bodenmeßnetz.....	9	Intensivmeßnetz	
Mobilität.....	10	Bodendauerbeobachtung.....	3
Blei		Lindan	
in Böden Baden - Württembergs	9	in Böden Baden-Württembergs	24
Bodenbeschaffenheit		Monitoring	
Erfassung und Überwachung	2	bodenbiologische Untersuchungen...	29
bodenbiologische Untersuchungen		Nickel	
Bodenmeßnetz.....	29	in Böden Baden - Württembergs	11
Bodendauerbeobachtung		Organochlorpestizide	
bodenbiologische Untersuchungen ..	29	in Böden Baden-Württembergs	24
in Baden - Württemberg.....	4	Organochlorverbindungen	
Weiterführung.....	2	Bodendauerbeobachtung.....	4
Bodenmeßnetz	2	in Böden Baden - Württembergs	20
Arsen im Boden.....	9	PCB	
bodenbiologische Untersuchungen7,		in Böden Baden-Württembergs	21
29		PCDD/F	
bodenchemische Untersuchungen.....	6	in Böden Baden-Württembergs	27
bodenphysikalische Untersuchungen.	6	Pestizide	
Ergebnisse Frühjahr 1993.....	34	in Böden Baden-Württembergs	24
Schwermetalle im Boden	9	Pilze	
Standortdaten.....	5	Schwermetallgehalte	16
Standorte in Baden - Württemberg.....	4	polychlorierte Biphenyle	
Cadmium		in Böden Baden-Württembergs	21
in Böden Baden - Württembergs	10	Regenwürmer	
Chrom		Populationsuntersuchungen.....	29
in Böden Baden - Württembergs	11	Rückstandsuntersuchungen	29
DDT		Schwermetalle	
in Böden Baden-Württembergs	24	Bodendauerbeobachtung.....	4
Dioxin		Bodenmeßnetz	9
in Böden Baden-Württembergs	27	in Pilzen Baden-Württembergs	16
Furane		Mobilität	10
in Böden Baden-Württembergs	27	Streuzersetzung.....	31

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Standorte des Bodenmeßnetzes Baden - Württemberg.....	4
Abb. 2: Geogener und anthropogener Anteil am Gesamtblei in einem Waldbodenprofil (Tuningen Wald) anhand von Isotopenanalysen. Die Erhöhung des Bleigehalts in den obersten Profilmillimetern durch den anthropogenen Anteil ist deutlich erkennbar	10
Abb. 3a: Verteilung von Blei innerhalb der Horizonte von zwei Waldbodenprofilen (Riedlingen Wald). Die Horizontmächtigkeiten sind nicht maßstäblich dargestellt .	12
Abb. 3b: Schematische Konzentrationsverteilung von Blei, Kupfer und Quecksilber in Waldböden am Beispiel eines ausgewählten Standorts (Murrhardt Wald). Die Horizontmächtigkeiten sind nicht maßstäblich dargestellt	13
Abb. 4a: Schematisches Tiefenprofil und vertikale Verteilung von Chrom und Blei in Böden des Bodenmeßnetzes.....	14
Abb. 4b: Schematisches Tiefenprofil und vertikale Verteilung von Nickel und Cadmium in Böden des Bodenmeßnetzes	15
Abb. 7: Häufigkeitsverteilung von PCB ₆ -Gehalten) > Nachweisgrenze in Mineraloberböden	23
Abb. 8: Häufigkeitsverteilung von DDT-Gehalten > Nachweisgrenze in Mineraloberböden	26
Abb. 9: Häufigkeitsverteilung von Lindan - Gehalten > Nachweisgrenze in Mineraloberböden	26
Abb. 11: Jahresmittelwerte der potentiellen mikrobiellen Biomasse in den Oberbodenschichten (0 - 10 cm) der untersuchten Standorte (nach ANDERSON & DOMSCH 1978). W = Wald, G = Grünland, A = Acker; TS = Trockensubstanz:.....	31
Abb. 12: C/N-Verhältnis in Buchenstreu in Abhängigkeit von der Expositionszeit in Monaten am Beispiel des Standorts St. Leon, Wald:.....	32

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Korrigierte Mittelwerte für Standard-Trockenrohdichten (g/cbm), ermittelt aus Böden des Bodenmeßnetzes	6
Tab. 2: Schwermetall- und Arsengehalte in einigen Pilzproben und in einer Waldbodenprobe sowie Vergleichsdaten zu Gehalten in Pilzen aus der Literatur..	18
Tab. 3: Bioakkumulation von Schwermetallen in Pilzen (angegeben sind die Quotienten aus den Konzentrationen in Pilzen und Auflagehorizont)	19
Tab. 4: Ubiquitäre PCB-, DDT- und Lindangehalte ($\mu\text{g}/\text{kg}$) in Böden Baden-Württembergs (NG = Nachweisgrenze)	20
Tab. 5: Mittlere PCB ₆ -Gehalte ($\mu\text{g}/\text{kg}$) in organischen Auflagen von Waldböden sowie in Mineralober- und -unterböden bei unterschiedlicher Bodennutzung:	24
Tab. 6: Hintergrundbelastung der Böden des ländlichen Raums durch Dioxine und Furane (ng I-TEq/kg)	27
Tab. 1: Cadmium (Cd)	45
Tab. 2: Chrom (Cr)	45
Tab. 3: Kupfer (Cu)	45
Tab. 4: Quecksilber (Hg)	45
Tab. 5: Nickel (Ni)	46
Tab. 6: Blei (Pb)	46
Tab. 7: Zink (Zn)	46
Tab. 8: Arsen (As)	46
Tab. 9: Thallium (Tl)	47