

# **Bodendauerbeobachtung in Baden-Württemberg**

Untersuchungen ausgewählter organischer  
Schadstoffe und mikrobiologische  
Charakterisierung der Standorte





# **Bodendauerbeobachtung in Baden-Württemberg**

Untersuchungen ausgewählter organischer  
Schadstoffe und mikrobiologische  
Charakterisierung der Standorte



Herausgegeben von der  
Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg  
1. Auflage

Karlsruhe 1999

## **IMPRESSUM**

<b>Herausgeber</b>	Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg 76157 Karlsruhe • Postfach 21 07 52 <a href="http://www.uvm.baden-wuerttemberg.de/lfu">http://www.uvm.baden-wuerttemberg.de/lfu</a>
<b>ISSN</b>	0949-0256 (Bd. 1, 1999)
<b>Verfasser</b>	Teil A Organische Schadstoffe Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, K. Rahtkens  Teil B Bodenmikrobiologie Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, K. Rahtkens Dr. J. Rupp
<b>Redaktion</b>	Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg Abteilung 2 - Ökologie, Boden- und Naturschutz Referat 22
<b>Fotos</b>	K. Rahtkens
<b>Umschlaggestaltung</b>	Stefan May • Grafik-Design, 76227 Karlsruhe
<b>Titelbild</b>	Jutta Ruloff • Diplom-Designerin, 76275 Ettlingen
<b>Umwelthinweis</b>	gedruckt auf Recycling Papier aus 100 % Altpapier
<b>Bezug über</b>	Verlagsauslieferung der LfU bei der JVA Mannheim - Druckerei Herzogenriedstr. 111, 68169 Mannheim Telefax: 0621/398-370
<b>Preis</b>	15,00 DM (7,67 Euro)

Nachdruck - auch auszugsweise - nur mit Zustimmung des Herausgebers unter Quellenangabe und Überlassung von Belegexemplaren gestattet.

# Inhaltsverzeichnis

<b>EINLEITUNG</b> .....	<b>2</b>
<b>TEIL A</b> .....	<b>3</b>
ZUSAMMENFASSUNG.....	3
1. FRAGESTELLUNGEN UND ZIELE.....	4
2. MATERIAL UND METHODEN.....	4
2.1 Standortauswahl und -beschreibung.....	4
2.2 Horizontauswahl.....	5
2.3 Probennahme und Probenaufbereitung.....	5
2.4 Meßprogramm und Meßmethoden.....	8
2.5 Charakteristische Stoffdaten der untersuchten Schadstoffe.....	9
2.6 Statistische Methoden und Kenngrößen.....	12
3. ERGEBNISSE UND DISKUSSION.....	13
3.1 Vorkommen persistenter organischer Schadstoffe (statistische Auswertung).....	13
3.2 Regionale Schadstoffverteilung in den Böden.....	22
3.3 Nutzungsspezifische und bewirtschaftungsbedingte Unterschiede der Schadstoffgehalte.....	26
3.4 Profil- und Tiefenverteilung der Schadstoffe.....	30
3.5 Schadstoffgehalte der Böden und regionale Besiedlungsdichte.....	34
3.6 Organische Schadstoffgehalte der Böden und verkehrsbedingte Einträge.....	37
4. GLOSSAR.....	38
<b>TEIL B</b> .....	<b>40</b>
ZUSAMMENFASSUNG.....	40
1. MIKROBIOLOGISCHE CHARAKTERISIERUNG VON BÖDEN.....	41
2. MATERIAL UND METHODEN.....	42
2.1 Probennahme und Probenaufbereitung.....	42
2.2 Analytik.....	43
2.3 Standort- und Bodenkennndaten.....	44
3. ERGEBNISSE UND DISKUSSION.....	45
4. AUSWERTUNG NACH EINFLUSSFAKTOREN.....	56
4.1 Nutzung.....	56
4.2 Bodenart.....	60
4.3 Bodentypen / Bodenformen.....	68
4.4 Nährstoffe und pH-Wert.....	70
4.5 Klima und jahreszeitlicher Aspekt.....	70
4.6 Schadstoffwirkung.....	71
5. LITERATUR.....	72
6. ANHANG.....	75
<b>INDEXVERZEICHNIS</b> .....	<b>89</b>
<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b> .....	<b>91</b>
<b>TABELLENVERZEICHNIS</b> .....	<b>92</b>

## Einleitung

Im Jahr 1986 wurde in Baden-Württemberg ein landesweites Bodenmeßnetz (BMN) mit derzeit 155 Standorten eingerichtet. Die Dauerbeobachtungsflächen des Bodenmeßnetzes dienen der Erfassung und Dokumentation flächenbedeutsamer Böden Baden-Württembergs mit den Zielen:

- Erfassung der Beschaffenheit gebietstypischer Böden, ihres aktuellen Zustands und ihrer Veränderungen
- Darstellung des Ist-Zustands der Schadstoffgehalte der Böden an landschaftstypischen Standorten und Abbildung der landesspezifischen Situation
- Aufzeigen von Veränderungen der Bodenfunktionen anhand von Wiederholungsuntersuchungen als Instrument zur langfristigen Risikobeurteilung und -vorhersage

Die Konzeption des Bodenmeßnetzes aus dem Jahr 1986 wurde 1992 in Anlehnung an die Vorgaben der Sonderarbeitsgruppe Informationsgrundlagen Bodenschutz (Arbeitshefte zum Bodenschutz 1 der Unterarbeitsgruppe 'Boden-Dauerbeobachtungsflächen', 1991) modifiziert in ein Grundmeßnetz (BDF I) und ein Intensivmeßnetz (BDF II). Das Grundmeßnetz entspricht mit seinen 155 Standorten dem ursprünglichen Bodenmeßnetz (im folgenden kurz „BMN“). Das z.Zt. neu eingerichtete Intensivmeßnetz enthält Standorte, die einem erhöhten lokalen oder regionalen exogenen Veränderungsdruck ausgesetzt sind und deren Böden gegenüber diesen Einwirkungen als sensibel bzw. gefährdet einzustufen sind (KOHL et al. 1993).

Über die Ergebnisse der Erstuntersuchungen von 1986 ist im Zwischenbericht der Arbeitsgruppe Bodenschutz zum Bodenmeßnetz (LfU 1988) und in den Materialienbänden zum Bodenschutz Nr. 2 und 3 der Landesanstalt für Umweltschutz (LfU 1993, 1994) berichtet worden.

Aufgrund der Ergebnisse der Erstuntersuchung der Böden auf organische Schadstoffe wurde eine Nachuntersuchung eingeleitet, in der das Schadstoffspektrum neben den Organochlorverbindungen um die Gruppe der polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) erweitert wurde. Die Ergebnisse dieser Untersuchung werden in diesem Bericht in Teil A dargestellt.

In Teil B werden alle an den Boden-Dauerbeobachtungsflächen erhobenen bodenbiologischen Daten dargestellt und ausgewertet. Dabei finden die Zusammenhänge zwischen den erhobenen Parametern und weiteren Bodenkenndaten wie Nutzung, Bodenart, Bodentyp, Nährstoffe und pH-Wert, Klima und jahreszeitlicher Aspekt und Schadstoffgehalte, besondere Beachtung.

## Teil A

### Zusammenfassung

In den Jahren 1992/94 wurden an 151 Bodendauerbeobachtungsflächen in Baden-Württemberg (Grundmeßnetz) organische Schadstoffe in den Böden erhoben. Die Untersuchungsergebnisse für ausgewählte, persistente organische Schadstoffe (PAK<sub>16</sub>, PCB<sub>6</sub>, HCB, HCH, DDT, PCP) werden dargestellt und beurteilt.

Alle untersuchten Schadstoffe konnten in den Böden nachgewiesen werden. Der Anteil der Standorte mit bestimmbareren Schadstoffgehalten variiert je nach Schadstoff zwischen 43 % und 99 %. Einige Schadstoffe bzw. Schadstoffgruppen (PAK<sub>16</sub>, PCB<sub>6</sub>) konnten in allen Regionen des Landes nachgewiesen werden.

Die Gehalte der untersuchten Schadstoffe liegen im allgemeinen auf niedrigem Niveau. Die Mediane weisen Werte unter oder wenige µg über der jeweiligen Bestimmungsgrenze (meist 1 µg/kg) auf. Ausgenommen sind die PAK<sub>16</sub>-, PCB<sub>6</sub>- und HCH-Gehalte in den organischen Auflagen von Waldböden und PAK<sub>16</sub> in mineralischen Oberböden. Die Maximawerte für die verschiedenen Schadstoffe in den Oberböden wurden an unterschiedlichen BMN-Standorten (Ausnahme: PAK<sub>16</sub> und PCB<sub>6</sub> am gleichen Standort) gefunden. Sie liegen je nach Schadstoff um das 28fache bis ca. 300fache über den Medianwerten. Ein Prüfwert für Pflanzen nach dem Orientierungswerte-Erlaß (UM & SM 1993) wurde nur an einem Standort bei HCH überschritten.

Im mineralischen Bodenbereich werden die Schadstoffe nur in geringem Maß zur Tiefe verlagert. Berechnete Schadstoffmengen (PAK<sub>16</sub>, PCB<sub>6</sub>) unter einer Fläche zeigen, daß der überwiegende Anteil (i.d.R. mehr als 90 %) in den oberen 20 cm des Mineralbodens (bei Wald inkl. Auflage) akkumuliert ist. In Waldböden zeigt sich auch, daß trotz i.d.R. höherer Schadstoffgehalten in den Humus-Auflagen, der größere Teil der Schadstoffmengen im mineralischen Oberboden vorliegt. An einzelnen Standorten ist eine Verlagerung von PAK<sub>16</sub>, PCB<sub>6</sub>, HCB, HCH, PCP bis in den Untergrund, von DDT in den Unterboden anzunehmen.

Nutzungsspezifisch höhere Gehalte in Waldböden wurden für PAK<sub>16</sub> und PCB<sub>6</sub> ermittelt. Die Ergebnisse der Untersuchung weisen auch auf bewirtschaftungsbedingt höhere Gehalte von HCB in Acker, HCH in Wald und von DDT in Wald- und Ackerböden hin.

Um einen möglichen Einfluß unterschiedlicher Besiedlungsdichten auf die Gehalte organischer Schadstoffe in den Böden festzustellen wurden Regionen mit unterschiedlichen Besiedlungsdichteklassen gebildet. Eine eindeutige Korrelation zwischen errechneten Schadstoffmengen (aufgrund gemessener Konzentrationen) der ubiquitären Stoffe PAK<sub>16</sub> und PCB<sub>6</sub> und der Besiedlungsdichte der Regionen, in denen die Standorte liegen, ist nicht abzuleiten. Bei PAK<sub>16</sub> scheint sich eine geringe Anreicherung in den am dünnsten besiedelten Gebieten und eine deutliche Anreicherung in den Ballungsräumen anzudeuten. Auch eine Beziehung zwischen straßenverkehrsspezifischen PAK und den PAK<sub>16</sub>-gehalten an den i. a. straßenfern gelegenen BMN-Standorten ist nicht erkennbar.

Die untersuchten Stoffe sind überwiegend (PAK) bis ausschließlich (alle chlorierten Kohlenwasserstoffe) anthropogen und kommen mit Ausnahme von PAK nicht natürlich vor. Zwar sind keine negativen Auswirkungen der heute ubiquitär in unbelasteten Böden vorhandenen Schadstoffkonzentrationen auf andere Schutzgüter bekannt, im Zuge der Vorsorge ist es jedoch anzustreben, künftige Einträge weiter zu verringern.

## 1. Fragestellungen und Ziele

Ziel der Untersuchung war die landesweite Erhebung der aktuellen flächenrepräsentativen Gehalte ausgewählter, persistenter organischer Schadstoffe (PAK, PCB, HCB, HCH, PCP, DDT) in Böden Baden-Württembergs, die aufgrund ihrer Lage, Nutzung, Nutzungsintensität und Vorgeschichte als unbelastet anzusehen sind.

Im einzelnen soll die Untersuchung Auskunft geben über:

- das Vorkommen und die Gehalte persistenter organischer Schadstoffe in den Böden Baden-Württembergs (Kap. 3.1) einschließlich statistischer Auswertung zur Ableitung von Hintergrundgehalten
- die regionale Verteilung der persistenten organischen Schadstoffe (Kap. 3.2)
- nutzungsspezifische und bewirtschaftungsbedingte Unterschiede organischer Schadstoffgehalte (Kap. 3.3)
- die profil- und tiefenbezogene Verteilung der Schadstoffgehalte (Kap. 3.4)
- mögliche Unterschiede der Schadstoffgehalte und -mengen bei unterschiedlicher Besiedlungsdichte (Kap. 3.5)
- mögliche, verkehrsbedingte Einträge von Schadstoffen (Kap. 3.6).

## 2. Material und Methoden

### 2.1 Standortauswahl und -beschreibung

Die Auswahl der BMN-Standorte mit gebietstypischen und in seiner Gesamtheit die Landschaften Baden-Württembergs repräsentierenden Böden erfolgte in Zusammenarbeit mit dem Landesamt für Geologie, Bergbau und Rohstoffe, Freiburg.

Folgende Kriterien wurden bei der Auswahl zugrundegelegt:

### Allgemeine Kriterien

- Repräsentanz der Naturräume und Landschaften Baden-Württembergs mit den für diese Naturräume typischen Bodenformen
- möglichst gleichmäßige geographische Verteilung der Standorte
- weitgehender Ausschluß ballungsgebiets- bzw. emittentennaher Standorte, um die ubiquitären "Hintergrund"-Gehalte der Böden charakterisieren zu können
- Repräsentanz der Hauptbodennutzungen (Wald, Acker, Grünland) zu je etwa einem Drittel.

### Standörtliche Kriterien

- ebene Lage (Ausschluß von lateralen Stoffflüssen)
- ungestörte und einheitliche Bodenverhältnisse innerhalb der Meßfläche (Minimierung der stand-örtlichen Variabilität von Bodenkenngößen und Stoffgehalten)
- gleichbleibende Nutzung der Meßfläche in der Vergangenheit und der Zukunft
- langfristige Verfügbarkeit der Meßfläche (Flächen nach Möglichkeit in öffentlicher Hand)

Von den 155 Standorten des Bodenmeßnetzes (Abb. 1) standen für die Untersuchung organischer Schadstoffe Proben von 151 Standorten zur Verfügung.

## 2.2 Horizontauswahl

Von den ca. 6 Bodenhorizonten jedes Standorts (insgesamt 875 Horizonte) wurden jeweils 3 bis 4 Horizonte (insgesamt 592) für die Untersuchungen ausgewählt.

Organische Auflagehorizonte (Of, Oh) an Wald- und Grünlandstandorten wurden als eine Probe entnommen. Im Bereich 0 - 20 cm wurde jeder Horizont, darüber hinaus wurden alle A-Horizonte beprobt (Oberboden). Von den darunter liegenden Horizonten wurden die den Bodentyp definierenden Horizonte mit den Bezeichnungen B, S, P und T sowie besonders mächtige Horizonte ausgewählt (Unterboden). Von Cv-Horizonten des Ausgangssediments, bzw. -gesteins (Untergrund) wurden ausgewählte Horizonte untersucht. Festgesteinshorizonte (Cm) wurden nicht untersucht.

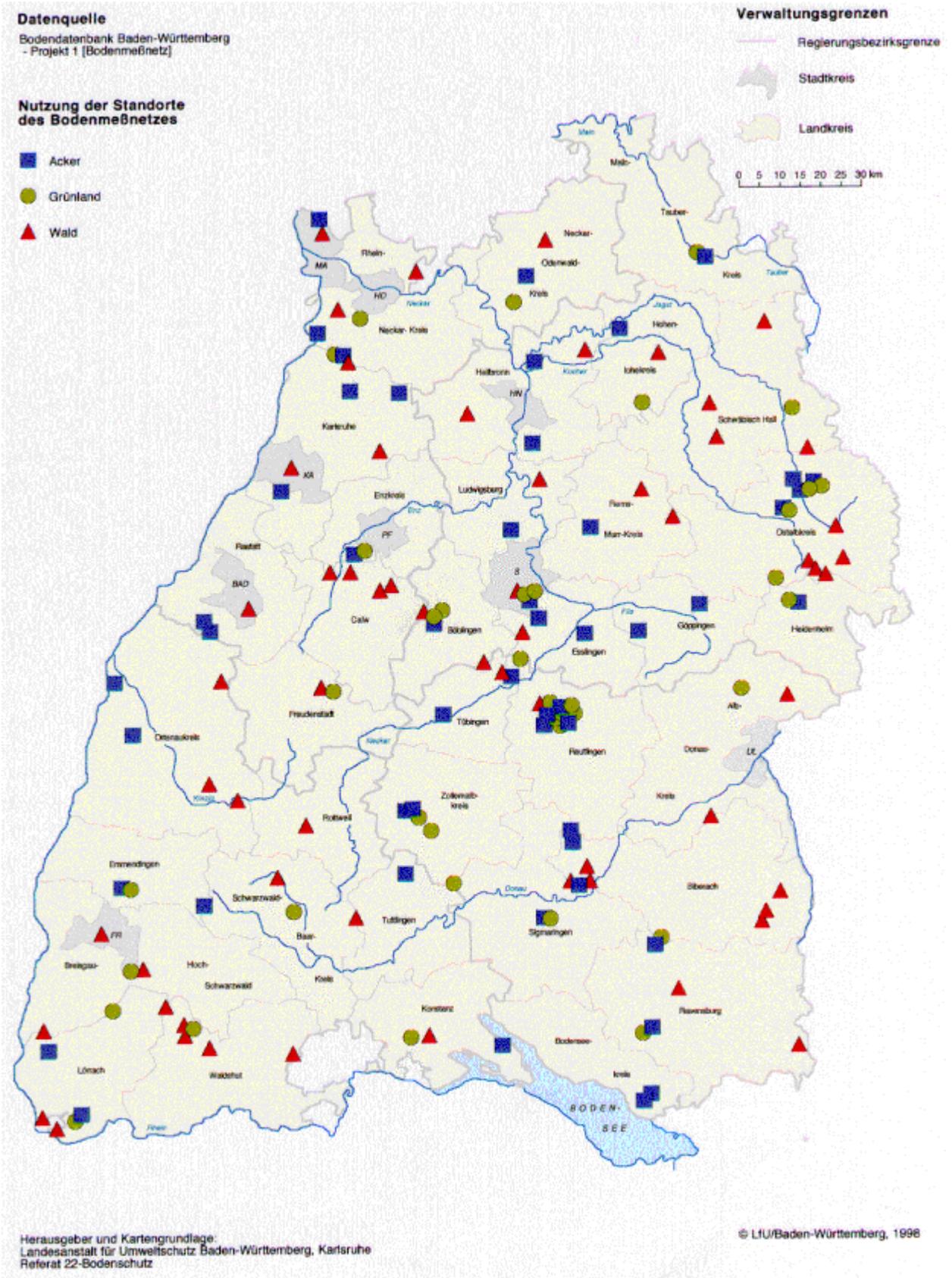
## 2.3 Probennahme und Probenaufbereitung

Die Probennahme (Bohrkernsondierung) wurde 1991 und 1992 durchgeführt. Dabei wurden jeweils 10 Parallelproben zu einer Mischprobe vereinigt. An Standorten, an denen die Sondierung aufgrund des Steingehalts nicht möglich war, wurden drei schmale Schürfgruben angelegt, an deren Stirnseiten die Mineralbodenproben entnommen wurden. Die Auflagen wurden getrennt von der Beprobung der Mineralbodenhorizonte an drei für die am Standort vorherrschende Humusform typischen Flächen als Mischprobe (Of und Oh) entnommen.

Die Proben wurden nach den aus der Ersterhebung bekannten Horizontmerkmalen gezogen. Abweichungen von der Ersterhebung bzw. bei Parallelen der drei Schürftgruben um mehrere Zentimeter wurden vermerkt.

Die Bodenproben wurden vorort zusammengeführt und in braunen Weithalsglasflaschen gekühlt ins Labor transportiert bzw. dort bis zur Aufbereitung und Analyse bei -18°C tiefgefroren gelagert. An den feldfrischen Proben wurde die Fraktion < 2 mm mit einem Edelstahlsieb abgeseibt und homogenisiert. Analysiert wurde das aufbereitete, feldfrische Material. Der Trockensubstanzgehalt wurde anhand des Gewichtsverlusts nach Trocknung bei 105°C an einer Teilprobe bestimmt.

Abb. 1: Lage und Nutzung der Standorte des Bodenmeßnetzes Baden-Württemberg:



## 2.4 Meßprogramm und Meßmethoden

Das Meßprogramm umfaßte die Analyse der Bodenproben auf folgende Schadstoffe:

- **polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe** (PAK<sub>16</sub>; 16 Einzelstoffe nach US-EPA-Liste, zusätzlich Coronen):
  - Naphthalin; CAS-Nr. 91-20-3
  - Acenaphthylen; CAS-Nr. 208-96-8
  - Acenaphthen; CAS-Nr. 83-32-9
  - Fluoren; CAS-Nr. 86-73-7
  - Phenanthren; CAS-Nr. 85-01-8
  - Anthracen; CAS-Nr. 120-12-7
  - Fluoranthen; CAS-Nr. 206-44-0
  - Pyren; CAS-Nr. 129-00-0
  - Benz(a)anthracen; CAS-Nr. 56-55-3
  - Chrysen; CAS-Nr. 218-01-9
  - Benzo(b)fluoranthen; CAS-Nr. 205-99-2
  - Benzo(k)fluoranthen; CAS-Nr. 207-08-9
  - Benzo(a)pyren; CAS-Nr. 50-32-8
  - Dibenz(a,h)anthracen; CAS-Nr. 53-70-3
  - Indeno(1,2,3-cd)pyren; CAS-Nr. 193-39-5
  - Benzo(g,h,i)perylen; CAS-Nr. 191-24-2
  - Coronen; CAS-Nr. 191-07-1
- **polychlorierte Biphenyle** (PCB<sub>6</sub>; IUPAC Nr. 28, 52, 101, 138, 153, 180)
  - 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',5,5'-Heptachlorbiphenyl
- **Hexachlorbenzol** (HCB; CAS-Nr. 118-74-1)
- **Hexachlorcyclohexane** (HCH) mit den 5 Stoffisomeren:
  - $\alpha$  - HCH; CAS-Nr. 319-84-6
  - $\beta$  - HCH; CAS-Nr. 319-85-7
  - $\gamma$  - HCH (Lindan); CAS-Nr. 58-89-9
  - $\delta$  - HCH; CAS-Nr. 319-86-8
  - $\epsilon$  - HCH; CAS-Nr. 6108-10-7
- **Pentachlorphenol** (PCP; CAS-Nr. 87-86-5)
- **Dichlordiphenyltrichlorethan** (DDT) mit den 2 Stoffisomeren (gleiche CAS Nr.):
  - o,p-DDT; CAS-Nr. 50-29-3
  - p,p'-DDT; CAS-Nr. 50-29-3

**Analysemethoden** (alle Angaben sind bezogen auf die Trockensubstanz (TS) des Feinbodens):

**PAK<sub>16</sub> + Coronen :**

Extraktion:	Ausschütteln zunächst mit Aceton, dann mit Petroläther
Reinigung:	aktiviertes Aluminiumoxyd
Messung:	HPLC (UV Detektion: bei 254 nm und Fluoreszenz-Detektion: Anregung bei 254 nm und Emission bei 340 nm)
Bestimmungsgrenze:	10 µg/kg TS je Einzelstoff (Abweichungen bei Matrixeffekten konnten nicht ausgeschlossen werden)

**PCB<sub>6</sub>, HCB, HCH, DDT:**

Extraktion:	Ausschütteln zunächst mit Aceton, dann mit Petroläther
Reinigung:	aktiviertes Aluminiumoxyd
Messung:	Gaschromatographisch mit ECD an Doppelsäule
Bestimmungsgrenze:	1 µg/kg TS je Einzelstoff bzw. Kongener

**PCP:**

Extraktion:	nach Ansäuern mit Hexan ausschütteln
Reinigung:	aktiviertes Aluminiumoxyd
Messung:	Gaschromatographisch mit ECD an Doppelsäule
Bestimmungsgrenze:	2 µg/kg TS

## 2.5 Charakteristische Stoffdaten der untersuchten Schadstoffe

Die nachfolgenden Daten zur Chemie und Toxikologie der untersuchten Stoffe sind im wesentlichen aus KOCH (1989), RIPPEN (1990) und LfU (1994) zusammengestellt.

### Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK):

Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe sind Verbindungen mit mindestens zwei (i.d.R. < 8) kondensierten Benzolringen. Einzelne Wasserstoffatome können durch unterschiedliche funktionelle Gruppen (Radikale) substituiert sein. Auch Stickstoff- und Schwefel-Heterocyclen werden zu den PAK gezählt.

Es sind mehrere hundert PAK bekannt. Aus der Vielzahl möglicher PAK werden i.d.R. nur die 16 PAK der Prioritätsliste der U.S. Amerikanischen Umweltbehörde (EPA) analysiert (PAK<sub>16</sub>). Die Summe der hier bestimmten PAK entspricht der Addition der 16 Einzelstoffe und wird im weiteren als PAK<sub>16</sub> bezeichnet. Das hier zusätzlich untersuchte Coronen wurde in der Summenbildung nicht berücksichtigt.

PAK entstehen bei unvollständiger Verbrennung organischer Verbindungen (Kohlenwasserstoffe, Kohle und andere Brennstoffe) bevorzugt - aber nicht notwendigerweise - unter Sauerstoffmangel. Es werden nur sehr wenige PAK gezielt technisch hergestellt (z. B. werden einzelne PAK aus Teeren gewonnen), i.d.R. sind sie Abfallprodukte. Es gibt aber auch natürliche PAK-Quellen wie Vulkanausbrüche, Wald- und Steppenbrände und in geringerem Maße biotische Produktion durch Pflanzen und Bakterien (z. B. bei der Schlammfäulung). Die weit überwiegenden PAK-Quellen sind anthropogener Art wie Verbrennungs- und Pyrolyseprozesse (insbesondere Teerölverarbeitung, Kokserzeugung, Bitumenproduktion, elektrolytische Aluminiumschmelze, Gaswerke, Hausbrand und Kfz-Abgase), aber auch die Verbrennung von Tabak.

Weltweit werden jährlich etwa 4 Mio. t polycyclische aromatische Verbindungen in die Atmosphäre abgegeben. Der Anteil allein von Benzo(a)pyren (BaP) beträgt etwa 45.000 t (KOCH 1989).

Die Stoffeigenschaften der einzelnen PAK unterscheiden sich zum Teil erheblich. Bei allen Stoffen handelt es sich um feste Substanzen mit Schmelzpunkt von 101 bis 438°C. Die Wasserlöslichkeit nimmt i.d.R. mit zunehmender Zahl der Ringe ab und liegt zwischen  $3 \cdot 10^{-4}$  - 32 mg/l. Analog der Wasserlöslichkeit verhält sich die Bio- und Geoakkumulation. Es wurden Biokonzentrationsfaktoren (BCF) von 420 (Naphthalin) bis 140.000 (Benzo(a)pyren) bestimmt (RIPPEN 1990). Der Transfer aus dem Boden in Pflanzen ist abhängig von der Löslichkeit der Einzelstoffe, der Anwesenheit von Lösungsvermittlern und der Sorptionsfähigkeit der Böden. Allgemein gilt der Transfer als gering. Ein deutlicher Transfer wird erst ab  $> 1000 \mu\text{g BaP/kg}$  Boden angenommen (FRITZ 1983). Ein Abbau ist prinzipiell durch Oxydation (Epoxidbildung) und Hydroxilierung möglich, die Abbaubarkeit nimmt jedoch mit zunehmender Zahl der kondensierten Ringe stark ab. Mikrobieller Abbau von PAK mit mehr als 3 kondensierten Ringen wurde bislang nicht nachgewiesen. PAK werden zu einem Teil in die organische Substanz der Böden eingebaut und sind nicht mehr mit den hier verwendeten Extraktionsmitteln vollständig extrahierbar.

### **Polychlorierte Biphenyle (PCB):**

Polychlorierte Biphenyle sind Verbindungen von zwei unmittelbar miteinander verbundenen Phenylringen (Biphenylgrundkörper), an denen ein bis zehn Wasserstoffatome durch Chlor substituiert sind. Durch die unterschiedliche Zahl von Chloratomen (Chlorierungsgrad) und die Stellung der Chloratome am Biphenylgrundkörper sind 209 Stoffisomere (oftmals als Kongenere bezeichnet) möglich. Diese werden geordnet nach zunehmender Zahl der Chlorsubstituenten und der Stellung am Biphenylgrundkörper nach BALLSCHMITER & ZELL (1980) numeriert (IUPAC-Nr.). Von den 209 PCB-Kongenere werden im allgemeinen 6 Kongenere (=PCB<sub>6</sub>) analysiert, die mengenmäßig im technischen PCB-Gemisch die größten Mengenanteile ausmachen.

PCB wurden seit etwa 1930 großtechnisch hergestellt. Die seitdem produzierte Menge wird von KOCH (1989) global mit mehr als 1 Mio. t angegeben. Verwendung fanden PCB als flammhemmende Zusatzstoffe in Transformatoren, als Dielektrikum in Kondensatoren, als Weichmacher in Kunststoffen, als Hydraulikflüssigkeit im Bergbau und einer Reihe weiterer Anwendungen. Eine natürliche Entstehung ist nicht bekannt. In die Böden gelangten PCB

vor allem über Immissionen auf die Bodenoberfläche. Nach § 1 der Chemikalien-Verbotsverordnung (ChemVerbotsV) in der Fassung vom 06.07.1994 (BGBl. I, S. 1493f) ist das Inverkehrbringen von PCB-haltigen Zubereitungen mit mehr als 50 mg PCB/kg verboten. Nach § 15 der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) in der Fassung vom 19.09.1994 (BGBl. I, S. 2557f) besteht für PCB ein Herstellungs- und Anwendungsverbot.

Die physikalisch-chemischen Eigenschaften werden maßgeblich vom Chlorierungsgrad bestimmt. Die Wasserlöslichkeit der 6 ausgewählten PCB nimmt mit zunehmendem Chlorierungsgrad ab ( $4 \cdot 10^{-1}$  -  $3 \cdot 10^{-5}$  mg/l). Biokonzentrationsfaktoren (BCF) für Mikroorganismen sind zwar nicht bekannt, aber eine starke Anreicherung in der Nahrungskette ist für andere Organismen dokumentiert. So gibt KOCH (1989) für die 4 PCB-Kongenere Nr. 28, 52, 101 und 153 einen durchschnittlichen BCF von 45.000 bis 80.000 an. Auch die Geoakkumulation wird als hoch eingeschätzt.

### **Hexachlorbenzol (HCB):**

Hexachlorbenzol bildet einen Benzolring, bei dem alle 6 Wasserstoffatome durch Chlor substituiert sind. HCB wurde in Deutschland bis 1993 technisch hergestellt, fällt seitdem nur noch als Nebenprodukt verschiedener anderer Produktionsprozesse an. Die weltweite Produktion seit 1946 wird mit etwa 100 t jährlich (BUA 1994) angenommen. Zur Anwendung kam HCB hauptsächlich als Flammhemmstoff und fungizider Zusatzstoff in Holzschutzmitteln. Als weitere Quelle wird die Verbrennung chlorhaltiger Produkte (z. B. Müll) angegeben (RIPPEN 1990). Neben diesen luftgetragenen diffusen Einträgen kam es auf ackerbaulich genutzten Böden auch zu direktem Eintrag von HCB über Saatgutbeizmittel und als Nebenbestandteil verschiedener chlorierter Pflanzenbehandlungsmittel (z. B. Atrazin; BUA 1994). Seit 1981 ist HCB in Deutschland als Pflanzenschutzmittel nicht mehr zugelassen. Derzeit ist das Anwendungsverbot geregelt nach § 1 der Pflanzenschutz-Anwendungsverordnung (PflSchAnwV) i.d.F. vom 25.07.1994 (BGBl. 1994).

Die Wasserlöslichkeit ist mit  $8 \cdot 10^{-3}$  mg/l gering, die Geoakkumulation dagegen hoch. Das Bioakkumulationspotential ist ebenfalls hoch. Für Mikroorganismen wird bei RIPPEN (1990) ein BCF-Wert von 290.000 angegeben. Die biologische Abbaubarkeit wird im allgemeinen als gering eingestuft.

### **Hexachlorcyclohexane (HCH):**

Unter HCH wird ein technisches Gemisch aus 5 Stoffisomeren, bestehend aus einer 6-gliedrigen, ringartigen Kohlenstoffkette mit je einem Chloratom pro Kohlenstoff, verstanden. HCH wurde hauptsächlich als Insektizid produziert. Insektizide Wirkung hat von den 5 Stoffisomeren nur  $\gamma$ -HCH (Lindan). Die Anwendung von technischem HCH ist in der Land- und Forstwirtschaft nach § 1 der PflSchAnwV i.d.F. vom 25.07.1994 (BGBl. 1994) verboten; nach § 3 dieser Verordnung ist die Anwendung von Lindan für bestimmte Zwecke erlaubt.

Die Wasserlöslichkeit von  $\alpha$ -,  $\beta$ - und  $\gamma$ -HCH variiert von 0,2 bis 8 mg/l. Die Stoffe sind somit als wasserlöslich einzustufen. Das Bioakkumulationspotential wird als hoch eingeschätzt. Die Biokonzentrationsfaktoren betragen bei terrestrischen Lebewesen Werte bis 33, für aquatische Lebewesen bis über 1000 (RIPPEN 1990). Alle Isomere sind biologisch schwer abbaubar (KOCH 1989).

### **Pentachlorphenol (PCP):**

Bei Pentachlorphenol handelt es sich um einen chlorierten Kohlenwasserstoff bestehend aus einem Benzolring, bei dem 5 Wasserstoffatome durch Chlor und ein Wasserstoffatom durch eine Hydroxylgruppe substituiert sind. PCP hat sowohl fungizide als auch bakterizide Wirkung und fand deshalb in der Vergangenheit breites Anwendungsspektrum als Desinfektions- und Konservierungsmittel, insbesondere als Holzschutzmittel zur Bläuebekämpfung bei der Holzlagerung, als Fungizid und in geringerem Maße als Herbizid in der Landwirtschaft sowie in einer Reihe weiterer Einsatzgebiete (BUA 1986). In Deutschland ist PCP mit der PCP-Verbotsverordnung vom 12.12.1989 verboten. Inzwischen ist nach § 1 der ChemVerbotsV vom 06.07.1994 (BGBl. I, S. 1493f) das Inverkehrbringen von PCP-haltigen Zubereitungen mit mehr als 0,01 % PCP verboten. Nach § 15 der GefStoffV i.d.F. vom 19.09.1994 (BGBl. 1, 1994, S. 2557) gilt für pentachlorphenolhaltige Erzeugnisse mit mehr als 0,01 % PCP ein generelles Herstellungs- und Anwendungsverbot.

PCP ist mit 19 mg/l als wasserlöslich einzustufen. Es besteht Verdacht auf ein Bioakkumulationspotential, weil die biologische Abbaubarkeit als gering eingestuft wird. RIPPEN (1990) gibt einen BCF-Wert für Mikroorganismen von 29.000 an.

### **Dichlordiphenyltrichlorethan (DDT):**

Bei Dichlordiphenyltrichlorethan handelt es sich im weiteren Sinn um ein technisches Produkt verschiedener chlorierter Kohlenwasserstoffe. Im engeren Sinn sind zwei Stoffisomere bestehend aus einer Verbindung von zwei Kohlenstoffen gemeint. Die drei Positionen an einem Kohlenstoffatom sind durch Chlor besetzt, am anderen Kohlenstoffatom befinden sich zwei einfach chlorierte Phenyle. Je nach Stellung der Chloratome werden die Stoffisomere p,p'-DDT und o,p-DDT unterschieden.

DDT war eines der wichtigsten und am meisten eingesetzten Insektizide. Aufgrund seiner geringen Abbaubarkeit bzw. seiner Metaboliten (z. B. verschiedene DDE und DDD) wurde es in der BRD durch das DDT-Gesetz vom 07.08.1972 (BGBl. 1, S.1385, zuletzt geändert am 15.09.1986, BGBl. 1, S. 1505) verboten. Derzeit ist das Inverkehrbringen durch § 1 in Verbindung mit dem Anhang der ChemVerbotsV vom 06.07.1994 (BGBl. I, S. 1493f) verboten.

Mit einer Wasserlöslichkeit von ca.  $5 \cdot 10^{-3}$  mg/l (p,p'-DDT) ist DDT nur gering wasserlöslich. Die Löslichkeit kann aber durch Anwesenheit von Fulvosäuren bis auf mehrere mg/l erhöht werden. Die Bio- und Geoakkumulation wird als hoch angegeben. DDT ist biologisch schwer abbaubar. Eine Metabolisierung erfolgt meist zu DDE oder DDD.

## **2.6 Statistische Methoden und Kenngrößen**

Die Ergebnisse der 151 Bodenprofile mit 592 ausgewählten Bodenhorizonten spiegeln die Immissionssituation der ländlichen Regionen Baden-Württembergs mit unterschiedlicher Nutzung und die Verlagerung der organischen Schadstoffe in unterschiedliche Tiefenbereiche von Böden wider. Alle Stichproben (Nutzungen, Bodenbereiche, etc.) weisen keine Normalverteilung, sondern eine mehr oder weniger starke linksschiefe Verteilung der Schadstoffgehalte auf, d. h. das Maximum der Häufigkeitsverteilungskurve liegt meist deutlich unter

dem arithmetischen Mittelwert. So liegt z.B. der arithmetische Mittelwert für PAK<sub>16</sub> in den Oberböden der Waldstandorte bei 723 µg/kg, der Median dagegen lediglich bei 254 µg/kg.

Bei einem Teil der Proben konnte bei den Stoffgruppen der polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK<sub>16</sub>), der polychlorierten Biphenyle (PCB<sub>6</sub>), DDT und HCH für einen oder mehrere Einzelstoffe kein Wert bestimmt werden. In diesen Fällen wurde "kleiner Bestimmungsgrenze" (<BG) angegeben. Für die Summenbildung wurden diese Daten aus Gründen der Praktikabilität gleich Null gesetzt, weil die vorgegebene, niedrige Bestimmungsgrenze aufgrund von Matrixeffekten nicht immer eingehalten werden konnte. Die Summenwerte stellen somit den chemisch-analytisch bestimmten Minimalgehalt in den Bodenproben dar; in einzelnen Fällen kann dadurch der Summenwert geringfügig unterbewertet sein.

Bei der statistischen Auswertung wurden ausgewählte Perzentile der Verteilungskurve (Minimum, 10., 25., 50., 75., 90. Perzentil und Maximum) für die Stoffe bzw. Stoffgruppen, Bodenbereiche und Nutzungen errechnet. Für den Bodenbereich Auflage bei Grünland standen nur drei Standorte zur Verfügung, so daß hier keine Perzentile errechnet werden konnten. Diese Gehalte werden deshalb als Minimum-, Median- und Maximalwert in den Tabellen 1 bis 6 angegeben. Bei Vergleichen wurden insbesondere der Median (50. Perzentil) und z.T. der Maximalwert herangezogen.

Auf die Bestimmung von arithmetischem Mittelwert, Standardabweichung und Varianz als Maßzahlen für die Häufigkeitsverteilungen wurde verzichtet, weil sie sich nur für normalverteilte Stichproben eignen (SCHÖNWIESE 1985).

## **3. Ergebnisse und Diskussion**

### **3.1 Vorkommen persistenter organischer Schadstoffe (statistische Auswertung)**

Persistente organische Schadstoffe zeichnen sich durch besonders geringe biologische und physikalische Abbaubarkeit aus. Damit werden sie selbst bei geringem, über längere Zeit andauerndem Eintrag in die Böden quantifizierbar angereichert.

Abb. 2 zeigt, daß an nahezu allen untersuchten Standorten des BMN polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe vorkommen. An knapp 75 % dieser Standorte wurden polychlorierte Biphenyle und Hexachlorbenzol bestimmt. Der Anteil der Standorte mit Organochlorverbindungen (HCH, PCP, DDT) liegt bei ca. 50 %. Insgesamt zeigt sich eine ubiquitäre Verteilung dieser Schadstoffe. Die Differenzierung regionaler Unterschiede nach Bodennutzung und -bewirtschaftung erfolgt in Kap. 3.2 und 3.3.

Ergebnisse von Bodenuntersuchungen auf organische Schadstoffe werden nach der 4. Verwaltungsvorschrift (VwV) zum Bodenschutzgesetz (BodSchG; Umweltministerium Baden-Württemberg 1995) bewertet. Danach werden Schadstoffgehalte als Bodenbelastungen

eingestuft, wenn Veränderungen der physikalischen, chemischen oder biologischen Beschaffenheit des Bodens festgestellt werden, bei denen die Besorgnis besteht, daß eine Bodenfunktion aufgehoben oder erheblich oder nachhaltig beeinträchtigt wird. Hierzu wurden Prüf- und Belastungserte festgelegt, bei deren Überschreiten eine einzelfallbezogene Prüfung hinsichtlich bestimmter Bodenfunktionen vorzunehmen ist.

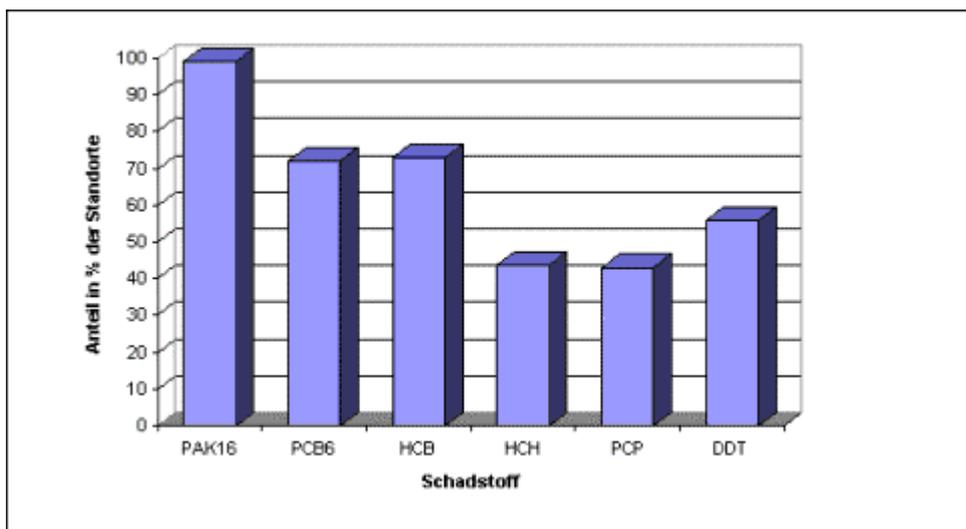
Prüfwertüberschreitungen hinsichtlich der Schutzgüter Bodenorganismen, Pflanzen und Wasser nach 4. VwV wurden an drei BDF ermittelt.

In den Tabellen 1 bis 6 sind die Ergebnisse der Schadstoffuntersuchungen der Böden getrennt nach Auflage, Ober-, Unterboden und Untergrund sowie nach Nutzung zusammengefaßt. Die Tabellen enthalten die jeweiligen statistischen Kenngrößen (Perzentile) der Verteilungskurven für die Schadstoffgehalte, die für alle Unterscheidungen eine starke Linksschiefe aufweisen.

Die Kenngrößen für **PAK<sub>16</sub>**-Gehalte sind in Tab. 1 aufgeführt. Die Minimalwerte liegen für alle Mineralbodenbereiche "kleiner Bestimmungsgrenze" (< BG), für die Auflagen aller Wald- und Grünlandböden regelmäßig über der Bestimmungsgrenze. Die Maximalwerte nehmen für alle Nutzungen mit der Tiefe ab (Ausnahme: Grünland Oberboden > Grünland Auflage). Auch die Mediane nehmen mit der Tiefe für alle Nutzungen ab.

Der höchste PAK<sub>16</sub>-Gehalt in der Auflage wurde an einem Waldstandort des mittleren Schwarzwaldes (Ottenhöfen) mit 13817 µg/kg TS bestimmt. Die höchsten PAK<sub>16</sub>-Gehalte im Oberboden von Wald, Grünland bzw. Acker wurden an den Standorten Karlsruhe-Hardtwald (9005 µg/kg), Venusberg (1193 µg/kg) bzw. Ellwangen (735 µg/kg) ermittelt.

**Abb. 2: Anteile der Standorte mit nachgewiesenen Schadstoffen bzw. Schadstoffgruppen in %:**



Die Kenngrößen für die **PCB<sub>6</sub>**-Gehalte sind in Tab. 2 aufgeführt. Die Minima liegen für die Auflagen und alle Mineralbodenbereiche <BG. Auch die Mediane liegen für alle Nutzungen unter der Bestimmungsgrenze (Ausnahmen: Auflagen und Wald-Oberböden). Die Maximalwerte nehmen für alle Nutzungen mit der Tiefe ab.

Der höchste PCB<sub>6</sub>-Gehalt in der Auflage wurde an einem Waldstandort der Ostalb (Bopfingen) mit 1025 µg/kg TS bestimmt. Die höchsten PCB<sub>6</sub>-Gehalte im Oberboden von Wald, Grünland bzw. Acker wurden an den Standorten Karlsruhe-Hardtwald (137 µg/kg), Rulfingen (51 µg/kg) bzw. Tachenhausen (16 µg/kg) ermittelt.

Die Kenngrößen für die **HCB**-Gehalte sind in Tab. 3 aufgeführt. Die Minima liegen für die Auflagen und alle Mineralbodenbereiche <BG. Auch die Mediane aller Nutzungen und Bodenbereiche liegen <BG (Ausnahmen: Auflagen und Acker-Oberboden). Die Maximalwerte nehmen bei Wald und Grünland mit der Tiefe ab, bei Acker dagegen leicht zu.

Der höchste HCB-Gehalt in der Auflage wurde an einem Standort im Welzheimer Wald mit 10 µg/kg bestimmt. Die höchsten HCB-Gehalte im Oberboden von Wald, Grünland bzw. Acker wurden an den Standorten Riedlingen (3 µg/kg), Engelsbrand (20 µg/kg) bzw. Bronnhaupten (30 µg/kg) ermittelt.

Die Kenngrößen für die **HCH**-Gehalte sind in Tab. 4 aufgeführt. Die Minima liegen für die Auflagen im Wald und alle Mineralbodenbereiche <BG. In allen drei Auflagen von Grünlandstandorten waren HCH bestimmbar. Auch die Mediane sind in den Mineralböden aller Nutzungen nicht bestimmbar. Die Mediane der Auflagen von Wald- und Grünlandstandorten liegen dagegen deutlich über der Bestimmungsgrenze. Die Maxima liegen bei den verschiedenen Nutzungen in unterschiedlichen Bodenbereichen; bei Wald im Oberboden, bei Grünland in der Auflage und bei Acker im Unterboden.

Der höchste HCH-Gehalt in der Auflage wurde mit 91 µg/kg am Standort Ebnat (Wald), die höchsten HCH-Gehalte im Oberboden von Wald, Grünland bzw. Acker an den Standorten Ochsenhausen (295 µg/kg), Weiherwiesen (5 µg/kg) bzw. Pflugfelden (10 µg/kg) ermittelt.

Die Kenngrößen für die **PCP**-Gehalte sind in Tab. 5 aufgeführt. Die Minima liegen für die Auflagen in Wald und Grünland sowie für alle Mineralbodenbereiche <BG. Auch hier sind die Mediane in den Mineralböden aller Nutzungen <BG. Der Median der Auflage von Waldstandorten liegt knapp über der Bestimmungsgrenze. Die Maxima liegen bei allen Nutzungen in allen Bodenbereichen über der Bestimmungsgrenze (Ausnahme: Grünland - Untergrund).

Der höchste PCP-Gehalt in der Auflage wurde an einem Waldstandort in Grenzach / Whylen (100 µg/kg), die höchsten PCP-Gehalte im Oberboden von Wald, Grünland bzw. Acker wurden an den Standorten Auggen (48 µg/kg), NSG Neuhaus (8 µg/kg) bzw. Domäne Dollhof (17 µg/kg) gefunden.

Die Kenngrößen für die **DDT**-Gehalte sind in Tab. 6 aufgeführt. Die Minima liegen für die Auflagen in Wald und Grünland sowie für alle Mineralbodenbereiche <BG, ebenso wie die Mediane in den Mineralböden aller Nutzungen. Der Median der Auflage von Waldstandorten liegt knapp über, die Maximalwerte liegen bei jeder Nutzung in Auflage, Ober- und Unterböden über der Bestimmungsgrenze.

Der höchste DDT-Gehalt in der Auflage wurde am Standort Ottenhöfen (Wald) mit 60 µg/kg bestimmt. Die höchsten DDT-Gehalte im Oberboden von Wald, Grünland bzw. Acker erga-

ben sich an den Standorten Neuenstadt (28 µg/kg), Domäne Lindenhof (105 µg/kg) bzw. Einsiedel (80 µg/kg).

**Tab. 1: PAK<sub>16</sub>-Gehalte (µg/kg) in den Böden des BMN - Statistische Kenngrößen der Verteilungskurve nach Bodenbereichen und Nutzung**

<b>Bereich: Auflage</b>	<b>Wald (n=61)</b>	<b>Grünland (n=3)</b>	<b>Acker (n=0)</b>
Minimum	226	50	
10.Perzentil	386		
25.Perzentil	716		
Median	1147	425	
75.Perzentil	1862		
90.Perzentil	2977		
Maximum	13817	908	
<b>Bereich: Oberböden</b>	<b>Wald (n=116)</b>	<b>Grünland (n=65)</b>	<b>Acker (n=58)</b>
Minimum	< BG	< BG	< BG
10.Perzentil	< BG	< BG	63
25.Perzentil	10	109	128
Median	254	255	193
75.Perzentil	921	354	360
90.Perzentil	1993	525	543
Maximum	9005	1193	735
<b>Bereich: Unterböden</b>	<b>Wald (n=66)</b>	<b>Grünland (n=47)</b>	<b>Acker (n=68)</b>
Minimum	< BG	< BG	< BG
10.Perzentil	< BG	< BG	< BG
25.Perzentil	< BG	< BG	< BG
Median	< BG	< BG	< BG
75.Perzentil	24	25	20
90.Perzentil	40	50	94
Maximum	203	200	710
<b>Bereich: Untergrund</b>	<b>Wald (n=38)</b>	<b>Grünland (n=25)</b>	<b>Acker (n=44)</b>
Minimum	< BG	< BG	< BG
10.Perzentil	< BG	< BG	< BG
25.Perzentil	< BG	< BG	< BG
Median	< BG	< BG	< BG
75.Perzentil	20	< BG	< BG
90.Perzentil	26	< BG	< BG
Maximum	35	< BG	40

Tab. 2: PCB<sub>6</sub>-Gehalte (µg/kg) in den Böden des BMN - Statistische Kenngrößen der Verteilungskurve nach Bodenbereichen und Nutzung

<b>Bereich: Auflage</b>	<b>Wald (n=61)</b>	<b>Grünland (n=3)</b>	<b>Acker (n=0)</b>
Minimum	< BG	< BG	
10.Perzentil	2		
25.Perzentil	11		
Median	38	23	
75.Perzentil	76		
90.Perzentil	107		
Maximum	1025	35	
<b>Bereich: Oberböden</b>	<b>Wald (n=116)</b>	<b>Grünland (n=65)</b>	<b>Acker (n=58)</b>
Minimum	< BG	< BG	< BG
10.Perzentil	< BG	< BG	< BG
25.Perzentil	< BG	< BG	< BG
Median	2	< BG	< BG
75.Perzentil	12	< BG	3
90.Perzentil	24	4	7
Maximum	137	51	16
<b>Bereich: Unterböden</b>	<b>Wald (n=66)</b>	<b>Grünland (n=47)</b>	<b>Acker (n=68)</b>
Minimum	< BG	< BG	< BG
10.Perzentil	< BG	< BG	< BG
25.Perzentil	< BG	< BG	< BG
Median	< BG	< BG	< BG
75.Perzentil	< BG	< BG	< BG
90.Perzentil	1	1	< BG
Maximum	35	6	6
<b>Bereich: Untergrund</b>	<b>Wald (n=38)</b>	<b>Grünland (n=25)</b>	<b>Acker (n=44)</b>
Minimum	< BG	< BG	< BG
10.Perzentil	< BG	< BG	< BG
25.Perzentil	< BG	< BG	< BG
Median	< BG	< BG	< BG
75.Perzentil	< BG	< BG	< BG
90.Perzentil	< BG	1	< BG
Maximum	7	2	2

**Tab. 3: HCB-Gehalte ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) in den Böden des BMN - Statistische Kenngrößen der Verteilungskurve nach Bodenbereichen und Nutzung**

<b>Bereich: Auflage</b>	<b>Wald (n=61)</b>	<b>Grünland (n=3)</b>	<b>Acker (n=0)</b>
Minimum	< BG	< BG	
10.Perzentil	1		
25.Perzentil	2		
Median	3	1	
75.Perzentil	5		
90.Perzentil	7		
Maximum	10	1	
<b>Bereich: Oberböden</b>			
<b>Bereich: Oberböden</b>	<b>Wald (n=116)</b>	<b>Grünland (n=65)</b>	<b>Acker (n=58)</b>
Minimum	< BG	< BG	< BG
10.Perzentil	< BG	< BG	< BG
25.Perzentil	< BG	< BG	< BG
Median	< BG	< BG	2
75.Perzentil	< BG	< BG	5
90.Perzentil	2	4	10
Maximum	3	20	30
<b>Bereich: Unterböden</b>			
<b>Bereich: Unterböden</b>	<b>Wald (n=66)</b>	<b>Grünland (n=47)</b>	<b>Acker (n=68)</b>
Minimum	< BG	< BG	< BG
10.Perzentil	< BG	< BG	< BG
25.Perzentil	< BG	< BG	< BG
Median	< BG	< BG	< BG
75.Perzentil	< BG	< BG	< BG
90.Perzentil	< BG	< BG	2
Maximum	< BG	5	30
<b>Bereich: Untergrund</b>			
<b>Bereich: Untergrund</b>	<b>Wald (n=38)</b>	<b>Grünland (n=25)</b>	<b>Acker (n=44)</b>
Minimum	< BG	< BG	< BG
10.Perzentil	< BG	< BG	< BG
25.Perzentil	< BG	< BG	< BG
Median	< BG	< BG	< BG
75.Perzentil	< BG	< BG	< BG
90.Perzentil	< BG	< BG	< BG
Maximum	< BG	< BG	40

Tab. 4: HCH-Gehalte ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) in den Böden des BMN - Statistische Kenngrößen der Verteilungskurve nach Bodenbereichen und Nutzung

<b>Bereich: Auflage</b>	<b>Wald (n=61)</b>	<b>Grünland (n=3)</b>	<b>Acker (n=0)</b>
Minimum	< BG	2	
10.Perzentil	4		
25.Perzentil	13		
Median	29	15	
75.Perzentil	44		
90.Perzentil	54		
Maximum	91	18	
<b>Bereich: Oberböden</b>			
<b>Bereich: Oberböden</b>	<b>Wald (n=116)</b>	<b>Grünland (n=65)</b>	<b>Acker (n=58)</b>
Minimum	< BG	< BG	< BG
10.Perzentil	< BG	< BG	< BG
25.Perzentil	< BG	< BG	< BG
Median	< BG	< BG	< BG
75.Perzentil	< BG	< BG	< BG
90.Perzentil	3	< BG	< BG
Maximum	295	5	10
<b>Bereich: Unterböden</b>			
<b>Bereich: Unterböden</b>	<b>Wald (n=66)</b>	<b>Grünland (n=47)</b>	<b>Acker (n=68)</b>
Minimum	< BG	< BG	< BG
10.Perzentil	< BG	< BG	< BG
25.Perzentil	< BG	< BG	< BG
Median	< BG	< BG	< BG
75.Perzentil	< BG	< BG	< BG
90.Perzentil	< BG	< BG	< BG
Maximum	1	< BG	36
<b>Bereich: Untergrund</b>			
<b>Bereich: Untergrund</b>	<b>Wald (n=38)</b>	<b>Grünland (n=25)</b>	<b>Acker (n=44)</b>
Minimum	< BG	< BG	< BG
10.Perzentil	< BG	< BG	< BG
25.Perzentil	< BG	< BG	< BG
Median	< BG	< BG	< BG
75.Perzentil	< BG	< BG	< BG
90.Perzentil	< BG	< BG	< BG
Maximum	< BG	1	< BG

**Tab. 5: PCP-Gehalte ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) in den Böden des BMN - Statistische Kenngrößen der Verteilungskurve nach Bodenbereichen und Nutzung**

<b>Bereich: Auflage</b>	<b>Wald (n=61)</b>	<b>Grünland (n=3)</b>	<b>Acker (n=0)</b>
Minimum	< BG	< BG	
10.Perzentil	< BG		
25.Perzentil	< BG		
Median	3	< BG	
75.Perzentil	12		
90.Perzentil	26		
Maximum	100	13	
<b>Bereich: Oberböden</b>			
<b>Bereich: Oberböden</b>	<b>Wald (n=116)</b>	<b>Grünland (n=65)</b>	<b>Acker (n=58)</b>
Minimum	< BG	< BG	< BG
10.Perzentil	< BG	< BG	< BG
25.Perzentil	< BG	< BG	< BG
Median	< BG	< BG	< BG
75.Perzentil	< BG	< BG	< BG
90.Perzentil	4	3	2
Maximum	48	8	17
<b>Bereich: Unterböden</b>			
<b>Bereich: Unterböden</b>	<b>Wald (n=66)</b>	<b>Grünland (n=47)</b>	<b>Acker (n=68)</b>
Minimum	< BG	< BG	< BG
10.Perzentil	< BG	< BG	< BG
25.Perzentil	< BG	< BG	< BG
Median	< BG	< BG	< BG
75.Perzentil	< BG	< BG	< BG
90.Perzentil	3	2	< BG
Maximum	39	8	17
<b>Bereich: Untergrund</b>			
<b>Bereich: Untergrund</b>	<b>Wald (n=38)</b>	<b>Grünland (n=25)</b>	<b>Acker (n=44)</b>
Minimum	< BG	< BG	< BG
10.Perzentil	< BG	< BG	< BG
25.Perzentil	< BG	< BG	< BG
Median	< BG	< BG	< BG
75.Perzentil	< BG	< BG	< BG
90.Perzentil	< BG	< BG	< BG
Maximum	8	< BG	5

**Tab. 6: DDT-Gehalte ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) in den Böden des BMN - Statistische Kenngrößen der Verteilungskurve nach Bodenbereichen und Nutzung**

<b>Bereich: Auflage</b>	<b>Wald (n=61)</b>	<b>Grünland (n=3)</b>	<b>Acker (n=0)</b>
Minimum	< BG	< BG	
10.Perzentil	< BG		
25.Perzentil	< BG		
Median	4	3	
75.Perzentil	14		
90.Perzentil	25		
Maximum	60	6	
<b>Bereich: Oberböden</b>	<b>Wald (n=116)</b>	<b>Grünland (n=65)</b>	<b>Acker (n=58)</b>
Minimum	< BG	< BG	< BG
10.Perzentil	< BG	< BG	< BG
25.Perzentil	< BG	< BG	< BG
Median	< BG	< BG	< BG
75.Perzentil	< BG	< BG	4
90.Perzentil	7	3	12
Maximum	28	105	80
<b>Bereich: Unterböden</b>	<b>Wald (n=66)</b>	<b>Grünland (n=47)</b>	<b>Acker (n=68)</b>
Minimum	< BG	< BG	< BG
10.Perzentil	< BG	< BG	< BG
25.Perzentil	< BG	< BG	< BG
Median	< BG	< BG	< BG
75.Perzentil	< BG	< BG	< BG
90.Perzentil	< BG	< BG	< BG
Maximum	< BG	225	10
<b>Bereich: Untergrund</b>	<b>Wald (n=38)</b>	<b>Grünland (n=25)</b>	<b>Acker (n=44)</b>
Minimum	< BG	< BG	< BG
10.Perzentil	< BG	< BG	< BG
25.Perzentil	< BG	< BG	< BG
Median	< BG	< BG	< BG
75.Perzentil	< BG	< BG	< BG
90.Perzentil	< BG	< BG	< BG
Maximum	< BG	< BG	< BG

### 3.2 Regionale Schadstoffverteilung in den Böden

Die Abbildungen 3 bis 8 zeigen die Standorte, an denen organische Schadstoffe in mindestens einem Horizont bestimmt werden konnten (qualitativer Vergleich). In den Abbildungen 3 und 4 sind zusätzlich die Mengen der an den Standorten des BMN akkumulierten Schadstoffe (quantitativer Vergleich) dargestellt, die nur für PAK<sub>16</sub> und PCB<sub>6</sub> berechnet werden konnten.

Ein Vergleich der Standorte auf der Basis berechneter Mengen pro Fläche ist problematisch, wenn ein großer Teil der gefundenen Schadstoffkonzentrationen nahe der Bestimmungsgrenze liegt, und der methodisch/analytische Fehler in diesem Bereich zu groß ist, um vermeintliche Konzentrationsunterschiede hinreichend absichern zu können. Dies gilt für die Schadstoffe bzw. Schadstoffgruppen HCB, HCH, PCP und DDT, auf deren Darstellung als vorhandene Stoffmengen je Standort deshalb verzichtet wurde.

Ein Vergleich der regionalen Verteilung der Schadstoffgehalte in Böden auf der Basis von Konzentrationsgehalten einzelner Horizonte bzw. Tiefenbereiche trägt nicht dem unterschiedlichen Profilaufbau der Böden mit variierender Anzahl und Mächtigkeit der Horizonte Rechnung (Kap. 3.4). Für die jeweiligen Stoffe bzw. Stoffgruppen ergibt sich folgende regionale Differenzierung (vgl. auch jeweils Abb. 1):

In nahezu allen untersuchten Böden des Bodenmeßnetzes (150 von 151 Standorten) konnten **PAK<sub>16</sub>** nachgewiesen werden (Abb. 3). PAK<sub>16</sub> sind von allen hier untersuchten Stoffen die am häufigsten nachweisbaren und bestimmbaren Schadstoffe.

Der Vergleich von PAK<sub>16</sub>-Mengen in den oberen 20 cm des Mineralbodens (bei Wald einschließlich Auflage) zeigt keine Region mit eindeutig erhöhten PAK<sub>16</sub>-Mengen im Boden (Abb. 3). Höhere Gesamtmengen an PAK<sub>16</sub> finden sich zwar etwas gehäuft im Oberrheintal und lokal im Mittleren Neckarraum, jedoch liegen in diesen Räumen höher kontaminierte und Standorte mit geringen Gehalten z. T. unweit voneinander entfernt. So befindet sich in räumlicher Nähe zu den Standorten mit den höchsten PAK<sub>16</sub>-Mengen (Mannheim-Karlstern mit 723 mg/m<sup>2</sup> und Karlsruhe-Hardtwald mit 664 mg/m<sup>2</sup>) - im selben Stadtgebiet - jeweils ein Acker mit deutlich geringeren PAK<sub>16</sub>-Mengen (Mannheim-Sandtorf ca. 4 km Richtung NNW mit 120 mg PAK<sub>16</sub>/m<sup>2</sup>, bzw. Domäne Scheibenhardt ca. 5,8 km Richtung SW mit 60 mg PAK<sub>16</sub>/m<sup>2</sup>).

An 72 % der untersuchten BMN-Standorte konnten **PCB<sub>6</sub>** nachgewiesen werden. Aus Abb. 4 geht hervor, daß in allen Regionen Baden-Württembergs PCB<sub>6</sub> vorkommen. Dies unterstreicht ihren ubiquitären Status. Andererseits befinden sich in fast allen Regionen - darunter auch in den Ballungsräumen Mannheim und Karlsruhe - BMN-Standorte, an denen keine PCB<sub>6</sub> nachgewiesen wurden.

Ein Vergleich von PCB<sub>6</sub>-Mengen in den obersten 20 cm des Mineralbodens (bei Wald inkl. Auflage) zeigt keine Region mit eindeutig erhöhten PCB<sub>6</sub>-Mengen im Boden. In Gebieten mit höher kontaminierten Standorten befinden sich stets auch Standorte mit niedrigen oder nicht nachweisbaren Gehalten.

An 73 % aller untersuchten Standorte wurde **HCB** nachgewiesen; die räumliche Verteilung dieser Standorte weist auf ubiquitäres Vorkommen von HCB in allen Regionen Baden-Württembergs hin. Andererseits befinden sich in fast allen Regionen - darunter auch im Ballungsraum Stuttgart - Standorte, an denen kein HCB bestimmt wurde.

An 44 % der untersuchten Standorte, wiederum verteilt über alle Regionen Baden-Württembergs, konnten **HCH** nachgewiesen werden. Auch in den Ballungsräumen Mannheim, Karlsruhe und Stuttgart liegen Standorte sowohl mit nachweisbaren als auch mit nicht nachweisbaren Gehalten in direkter Nachbarschaft. HCH wurden fast nur in Waldböden gefunden. Deshalb kann nicht unbedingt - da wahrscheinlich nutzungsspezifisch - von einem ubiquitären Vorkommen ausgegangen werden.

An 43 % der untersuchten Standorte wurde **PCP** nachgewiesen, jedoch nicht in allen Regionen des Landes. Von einer weiträumigen, wenn auch nicht ubiquitären Verbreitung von PCP muß ausgegangen werden. In bestimmten Regionen - darunter auch im Ballungsraum Mannheim - befinden sich keine Standorte, an denen PCP bestimmt wurden.

An 56 % der untersuchten Standorte war **DDT** nachweisbar. Auch hier kann von einer weiträumigen, wenngleich nicht ubiquitären Verbreitung ausgegangen werden. In bestimmten Regionen – darunter in den Ballungsräumen Karlsruhe und Mannheim - befinden sich Standorte, an denen DDT nicht nachweisbar waren.

Abb. 3: PAK<sub>16</sub>-Mengen je m<sup>2</sup> in Oberböden (0 - 20 cm, bei Wald inkl. Auflage):

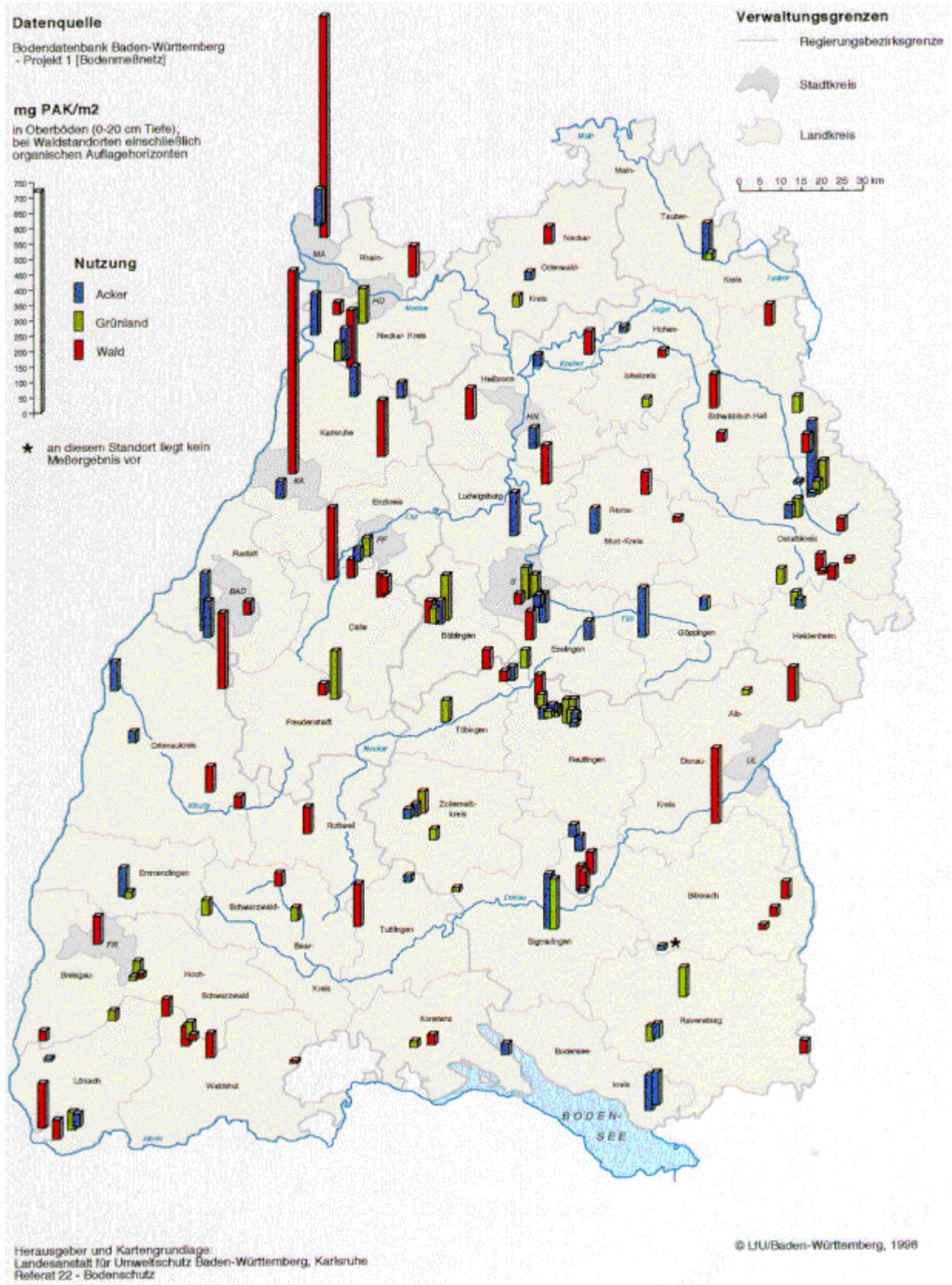
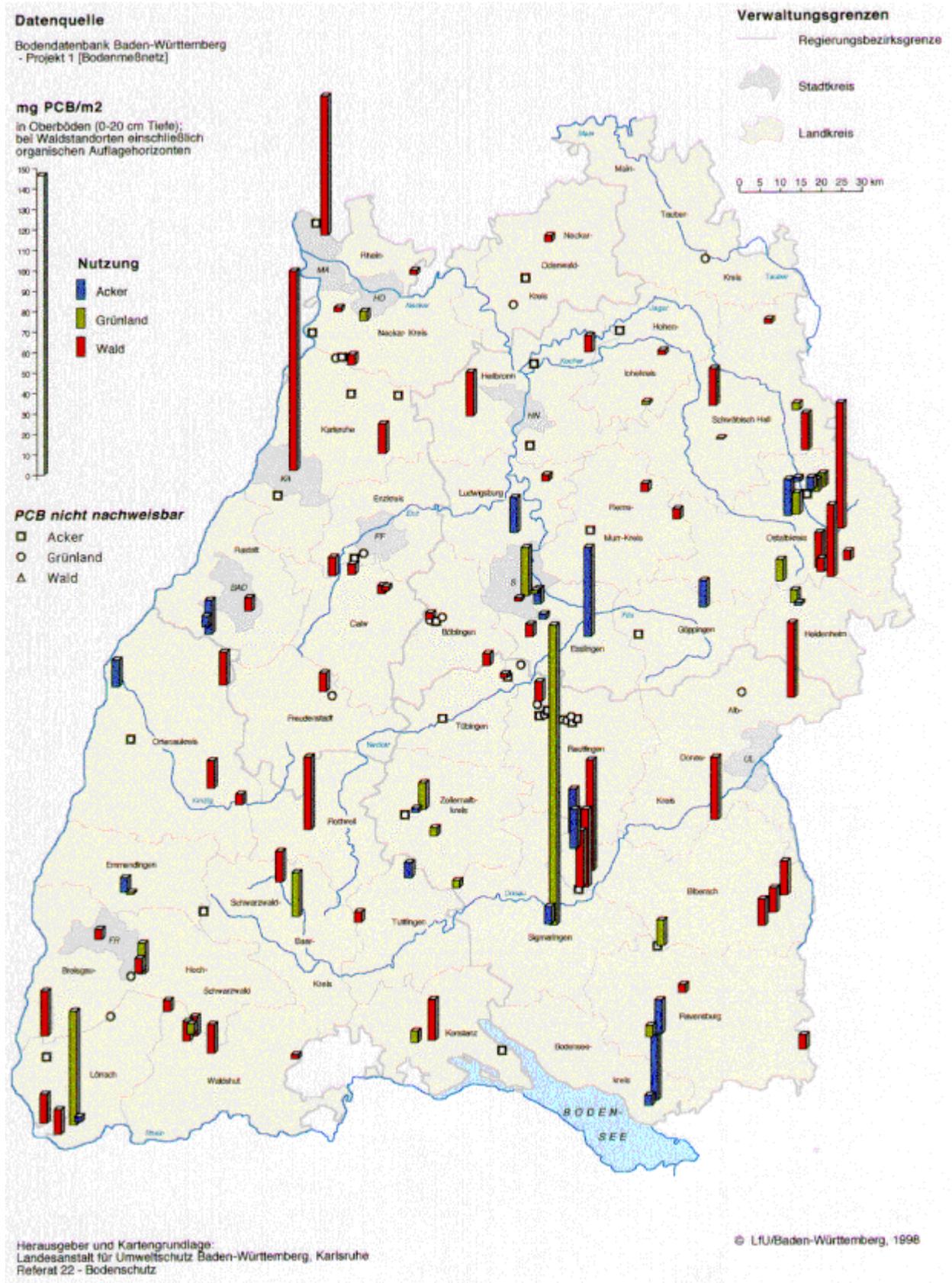


Abb. 4: PCB<sub>6</sub>-Mengen je m<sup>2</sup> in Oberböden (0 - 20 cm, bei Wald inkl. Auflage)

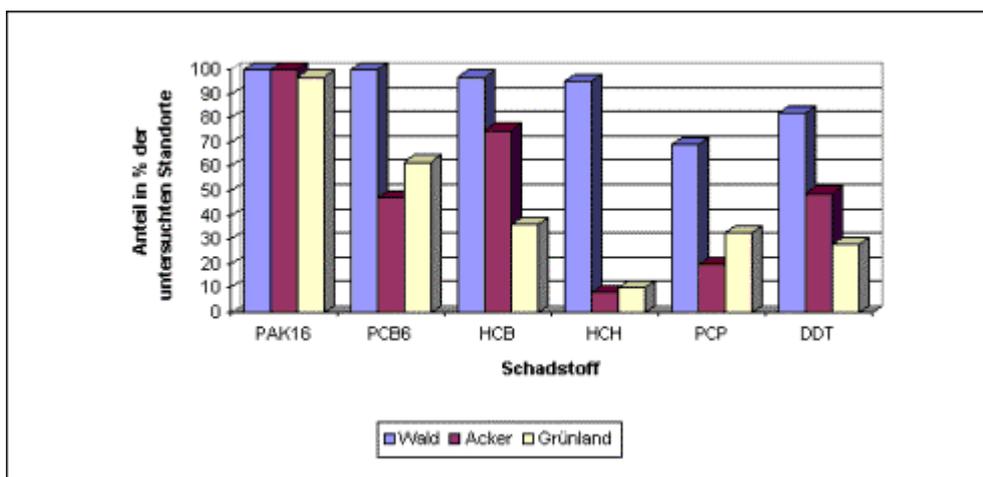


### 3.3 Nutzungsspezifische und bewirtschaftungsbedingte Unterschiede der Schadstoffgehalte

Die Böden unter Waldnutzung weisen für alle untersuchten organischen Schadstoffe den größten Anteil an Standorten mit bestimmbar Schadstoffgehalten auf (Abb. 5). Bei allen Schadstoffen bzw. Schadstoffgruppen außer PAK<sub>16</sub> bestehen mehr oder weniger ausgeprägte Unterschiede zwischen den einzelnen Nutzungen. Eventuell frühere, direkte oder indirekte Anwendungen organischer Schadstoffe (insbesondere der im Zusammenhang mit land- und forstwirtschaftlicher Nutzung eingebrachten Stoffen HCB, HCH oder DDT) an den Standorten des Bodenmeßnetzes sind jedoch nicht bekannt.

Bei einer Mengenermittlung<sup>1</sup> ist zu berücksichtigen, daß positive Befunde der untersuchten Schadstoffe an einer Reihe von Standorten nur im obersten Horizont vorliegen. Sie unterscheiden sich aber charakteristisch unter verschiedener Nutzung in ihrer Mächtigkeit und Beschaffenheit. Die Auflagen von Waldböden enthalten aufgrund ihrer in der Regel geringen Mächtigkeit (Durchschnitt BMN-Wald: 5 cm) und der geringen Lagerungsdichte (Durchschnitt BMN-Wald: 0,18 g/cm<sup>3</sup>) geringere Schadstoffmengen als die Ah-Horizonte von Böden unter Grünland mit durchschnittlich 12,2 cm Mächtigkeit und einer durchschnittlichen Lagerungsdichte von 1,1 g/cm<sup>3</sup>. Die Pflughorizonte der BMN-Ackerböden weisen mit durchschnittlich 26 cm Mächtigkeit und einer Lagerungsdichte von 1,33 g/cm<sup>3</sup> die höchsten Mengen auf. Daraus folgt, daß unter der Annahme geringer Verlagerung und vergleichbarer Abbauraten gegenüber Waldböden in Grünlandböden ca. 20 mal und in Ackerböden ca. 50 mal mehr Schadstoffe eingetragen werden müßten, um die Bestimmungsgrenze zu erreichen.

**Abb. 5: Nutzungsbezogener Anteil an Standorten mit bestimmbar Gehalten persistenter organischer Schadstoffe:**



<sup>1</sup> Eine Quantifizierung der verlagerten Mengen kann durch Addition der gewichteten Mittel jedes Horizonts eines Profils bis zu einer bestimmten Tiefe berechnet werden. Hierzu wird für jeden Horizont aus der Schadstoffkonzentration ( $\mu\text{g}/\text{kg TS}$ ) und der Horizontmächtigkeit (cm), Fläche ( $1\text{m}^2$ ) sowie Dichte ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) die Horizontmenge errechnet und diese bis zu einer bestimmten Tiefe addiert (Annahme gleichbleibender Schadstoffkonzentrationen über die einzelnen Horizonte). Für die Mächtigkeiten der verschiedenen Bereiche (Auflage, Ober- und Unterboden und Gestein) wurde zugrunde gelegt: Auflage: Alle organischen Horizonte (Streu-, Zersetzungs- und Feinhumushorizont) über dem Mineralboden bei Wald- und z.T. Grünlandböden. Oberboden: für alle Böden 0 - 20 cm oder alle A-Horizonte, Unterböden: ab Untergrenze Oberboden alle B-, S-, und T-Horizonte, Untergrund: alle C-Horizonte

Die **PAK<sub>16</sub>-Mengen (mg/m<sup>2</sup>) im Oberboden** liegen zwischen "nicht bestimmbar" und 723 mg/m<sup>2</sup> (Abb. 3). In der Summenhäufigkeitsverteilung besteht zwischen den verschiedenen Nutzungen kein grundsätzlicher Unterschied; es handelt sich um linksschiefe Verteilungskurven. Im Median und besonders im Maximum zeigen sich jedoch nutzungsspezifische Unterschiede (Tab. 7). Die durchschnittlichen PAK<sub>16</sub>-Mengen (bezogen auf den Median) sind in Waldböden ca. 35 % höher als in Ackerböden und ca. 27 % höher als in Grünlandböden. Der Maximalwert in einem Waldboden (Mannheim-Karlstern) ist 200 % höher als derjenige für Ackerböden und ca. 300 % höher als der Maximalwert für Grünlandböden.

Bei dieser Darstellung zeigt sich der starke Einfluß einzelner Extremwerte. Bereinigt um die beiden höchsten Gehalte bei Waldböden, die jeweils in der Nähe von Großstadtzentren liegen, ist der Median in den Waldböden des BMN zwar noch um 32 % bzw. 25 % höher gegenüber Acker und Grünland, der Maximalwert nur noch um 5 % bzw. 44 %.

**Tab. 7: PAK<sub>16</sub>-Mengen (mg/m<sup>2</sup>) in Oberböden des BMN (0 - 20 cm; bei Wald inkl. Auflage)**

Nutzung	N	Minimalwert	Median	Maximalwert
Wald	61	14	66	723
Acker	51	13	49	238
Grünland	39	n.b.	52	174

Die **PAK<sub>16</sub>-Mengen in der Auflage** der Waldböden variieren zwischen 0,3 und 222 mg/m<sup>2</sup>. Der prozentuale Anteil der PAK<sub>16</sub>-Mengen in der Auflage an den Mengen im Oberboden reicht von < 1 % und 100 % (Tab. 8). Im allgemeinen befindet sich nur ein geringer Anteil der PAK<sub>16</sub>-Gesamtmenge in der Auflage. Bezogen auf den Median variiert er zwischen < 5 % bei Laub- und Mischwald und ca. 17 % bei Nadelwald. Die maximalen Anteile betragen bei Mischwald (4 Standorte) 10 %, bei Laubwald 25,5 % und bei Nadelwald bis zu 100 %.

**Tab. 8: Prozentualer Anteil der PAK<sub>16</sub>-Mengen in Auflagen an der PAK<sub>16</sub>-Gesamtmenge im Oberboden unterschiedlicher Waldformen**

Waldform	N	Mittlere Horizont-Mächtigkeit (in cm)	Minimalwert	Median	Maximalwert
Nadelwald	46	5,3	2,4	16,9	100
Laubwald	11	3,6	0,7	3,6	25,5
Mischwald	4 (!)	4,0	0,9	4,2	10,5

Die geringeren prozentualen Anteile der PAK<sub>16</sub>-Mengen in Auflagen bei Laub- und Mischwald gegenüber Nadelwaldstandorten weisen auf eine schnellere Einarbeitung imitierteter PAK<sub>16</sub> in die Mineralböden hin. Dies zeigt sich in den meist geringermächtigen Auflagen von Laub- und Mischwäldern (Durchschnitt ca. 3,7 cm) gegenüber Nadelwaldstandorten (Durchschnitt ca. 5,3 cm). Auch innerhalb der Nadelwaldstandorte läßt sich eine Beziehung zwischen Mächtigkeit der Auflage und PAK<sub>16</sub>-Anteil in der Auflage feststellen. An den Standor-

ten mit unterdurchschnittlichem Anteil der PAK<sub>16</sub>-Menge in der Auflage an der PAK<sub>16</sub>-Gesamtmenge ist die Auflagemächtigkeit mit durchschnittlich 4,0 cm geringer als an den Standorten mit überdurchschnittlichem Anteil an der PAK<sub>16</sub>-Gesamtmenge (6,6 cm). Noch deutlicher wird die Beziehung an den Standorten mit PAK<sub>16</sub>-Anteilen in der Auflage > 50 % (durchschnittliche Horizontmächtigkeit: 8,9 cm). Insgesamt korreliert diese Beziehung aber nicht zwingend ( $r^2=0,53$ ).

Gleichzeitig bedeutet der allgemein eher geringe Anteil an PAK<sub>16</sub> in der Auflage, daß sich der Großteil der PAK<sub>16</sub> im mineralischen Oberboden (0 - 20 cm) - befindet. Die Mengen an PAK<sub>16</sub>/m<sup>2</sup> im Oberboden variieren zwischen "nicht bestimmbar" und 679 mg PAK<sub>16</sub>/m<sup>2</sup> (Tab. 9). Im Median unterscheiden sich die drei Hauptnutzungsformen nur unwesentlich.

**Tab. 9: PAK<sub>16</sub>-Mengen (mg PAK<sub>16</sub>/m<sup>2</sup>) in Oberböden des BMN (0 - 20 cm; bei Wald und Grünland ohne Auflage)**

Nutzung	N	Minimum	Median	Maximalwert
Wald	61	n.b.	53	679
Acker	51	13	49	238
Grünland	39	n.b.	50	166

An 109 von 151 Standorten des BMN konnten **PCB<sub>6</sub>** bestimmt werden. Der Anteil (Abb. 5) beträgt bei Wald 100 % (n = 61), bei Acker 47 % (n = 24) und bei Grünland 62 % (n = 24).

In etwa 35 % aller untersuchten Horizonte der Bodenmeßnetzstandorte konnten PCB<sub>6</sub> nachgewiesen werden. ECKSTEIN (1993) gibt für landwirtschaftlich genutzte Böden Baden-Württembergs den Hintergrundgehalt (Median) mit 4 µg PCB<sub>6</sub>/kg Boden und das 90. Perzentil mit 13 µg PCB<sub>6</sub>/kg Boden an. Verglichen damit liegen die PCB<sub>6</sub>-Gehalte der Oberböden von Acker- und Grünlandstandorten des BMN (Mediane < BG) niedriger (vgl. Tab. 2). Die maximalen PCB<sub>6</sub>-Gehalte in Oberböden von Acker- und Grünland liegen mit 16 bzw. 51 µg/kg deutlich unter dem Maximalwert für Wald (137 µg PCB<sub>6</sub>/kg). Bei den organischen Auflagen ist die Differenz noch ausgeprägter. Bei den Auflagen unter Wald wurde ein maximaler PCB<sub>6</sub>-Gehalt von 1025 µg/kg bestimmt, in organischen Auflagen von Grünland (3 Standorte) 35 µg/kg.

Die Mengen an PCB<sub>6</sub>/m<sup>2</sup> im Oberboden (bei Wald inkl. Auflage) variieren zwischen "nicht bestimmbar" und 147 mg PCB<sub>6</sub>/m<sup>2</sup> (Abb. 4). Die Maximalgehalte der gemessenen PCB<sub>6</sub>-Gehalte zeigen im Vergleich zu den aus den Bodenkenngrößen berechneten PCB<sub>6</sub>-Mengen in den oberen 20 cm (bei Wald inkl. Auflage), daß der Maximalwert nicht in einem Wald-, sondern in einem Grünlandboden ermittelt wurde. Für den Median und das 90. Perzentil gilt jedoch Wald > Grünland > Acker. Da bewirtschaftungsbedingte Einträge nicht bekannt sind, muß für die höhere Anreicherung von PCB<sub>6</sub> in Waldböden der Auskämmeffekt der Vegetation angenommen werden.

An 111 von 151 Standorten des BMN konnte **HCB** bestimmt werden. Der Anteil (Abb. 5) beträgt bei Wald 97 % (n=59), bei Acker 75 % (n=38) und bei Grünland 36 % (n=14).

In knapp 40 % aller Horizonte konnte HCB bestimmt werden. Das Niveau der Schadstoffgehalte in den Böden ist sehr niedrig. ECKSTEIN (1993) gibt für landwirtschaftlich genutzte Böden Baden-Württembergs den Hintergrundgehalt (Median) mit 3 µg HCB/kg Boden und das 90. Perzentil mit 10 µg HCB/kg Boden an. Verglichen damit liegen die HCB-Gehalte der Oberböden der Grünlandstandorte des Bodenmeßnetzes unter, die der Oberböden der Ackerstandorte auf gleichem Niveau wie der o.g. Hintergrundwert (vgl. Tab. 3).

Lediglich an 12 Proben (3,5 %) wurden > 10 µg HCB/kg bestimmt (8 Acker- = 67 %, 3 Grünland- = 25 % und ein Waldboden; Maximalgehalt 30 µg/kg). Der gegenüber Grünlandböden hohe Anteil an Ackerstandorten mit nachweisbaren HCB (75 %) und der hohe Anteil an Ackerstandorten (67 %) an den höchsten Gehalten weisen auf bewirtschaftungsbedingte Einträge hin. Die statistischen Kenngrößen sind um so auffälliger, da die im Oberboden von Äckern - aufgrund der größeren Horizontmächtigkeit - vorhandene HCB-Menge größer sein muß als in Oberbodenhorizonten von Grünland und Waldböden. Dies weist darauf hin, daß die Ursache weniger in erhöhten Immissionen, als in bewirtschaftungsbedingten Einträgen HCB-haltiger Beizmittel liegen dürfte.

An 66 von 151 Standorten des BMN waren **HCH** bestimmbar. Auffällig ist die unterschiedliche Verteilung nach Nutzungen: die Waldstandorte weisen mit 95 % einen hohen Anteil auf, bei Acker und Grünland ist er mit 8 bzw. 10 % eher gering (Abb. 5). Selbst bei Nichtberücksichtigung der Schadstoffgehalte in den Waldauflagen liegt der Anteil an Waldstandorten, in denen HCH bestimmt wurde, mit 41 % um ein Mehrfaches höher als in den anders genutzten Böden, was als Folge des Einsatzes von Insektiziden (Lindan) gedeutet wird.

Auch bei **PCP** weist der Wald den höchsten Anteil an Standorten auf, an denen PCP bestimmt wurde (vgl. Tab. 5). Allerdings ist dieser mit 69 % der niedrigste von allen untersuchten persistenten organischen Schadstoffen. Der Anteil an Standorten mit bestimmbareren Gehalten in Grünlandböden liegt mit 33 % um rund die Hälfte niedriger als in Waldböden, aber um über die Hälfte höher als in Ackerböden (20 %).

Da PCP weder in der Wald-, noch in der Acker-, noch in der Grünlandbewirtschaftung eingesetzt wurde, sind bewirtschaftungsbedingte Einträge und Unterschiede auszuschließen. Der höhere Anteil bestimmbarer PCP-Gehalte in Waldböden ist vermutlich auf eine geringe Verlagerung von PCP und damit Anreicherung im obersten Horizont und den leichteren Nachweis in der Auflage aufgrund der geringeren Horizontmächtigkeit gegenüber den obersten (Mineralboden-)Horizonten von Acker- und Grünlandböden zurückzuführen. Die Unterschiede zwischen Grünland- und Ackerböden sind wahrscheinlich ebenfalls dadurch bedingt.

**DDT** war an 85 % der untersuchten Standorte bestimmbar. Aufgeschlüsselt nach Nutzungen läßt sich eine steigende Tendenz von Grünland (28 %) über Acker (49 %) zu Wald (82 %) feststellen. Bewirtschaftungsbedingte Einträge im Forst aus der Vergangenheit sind bekannt und zeigen sich trotz des Anwendungsverbots seit 1972 in dem auch heute noch hohen Anteil von Waldstandorten mit positivem DDT-Befund bis in die heutige Zeit. Ursache dürfte die geringe biologische Abbaubarkeit sein. Auf bewirtschaftungsbedingte Einträge von DDT auch in Ackerböden weisen zum einen der höhere Anteil positiver Befunde und zum anderen die deutlich höheren Schadstoffgehalte des 75. und 90. Perzentils in Oberböden unter Acker gegenüber Grünland hin (vgl. Tab. 6). Unterstützt wird diese Annahme durch den schwierige-

ren Nachweis geringer Mengen DDT in Oberböden von Äckern gegenüber Grünland und Wald aufgrund der durchschnittlich größeren Mächtigkeit des obersten Horizonts.

### 3.4 Profil- und Tiefenverteilung der Schadstoffe

Die untersuchten Schadstoffe dürften an den Standorten des Bodenmeßnetzes überwiegend über die Luft eingetragen worden sein. Einträge belasteter Sedimente aus periodischen Überschwemmungen können ausgeschlossen werden. Bewirtschaftungsbedingte Einträge von HCH (Lindan; Kap. 4.3) sind wahrscheinlich. Hinweise auf direkte Schadstoffeinträge sind zwar an den Standorten nicht bekannt, allerdings können bewirtschaftungsbedingte Einträge von HCB, DDT (als Pestizide), PCB (über Kettenöle bei Waldarbeiten) und PAK (Köhlerei, Waldbrände) nicht völlig ausgeschlossen werden.

Die vorhandenen organischen Schadstoffe weisen im allgemeinen eine geringe Wasserlöslichkeit und eine hohe Akkumulationstendenz auf (vgl. Kap. 3.5). Eine geringe Löslichkeit in Verbindung mit starker Adsorption an Humus und/oder Mineralpartikel lassen eine Tiefenverlagerung kaum erwarten.

Die Schadstoffgehalte in unterschiedlichen Tiefenbereichen und bei verschiedenen Nutzungen wurden in Kapitel 4.1 beschrieben und ausgewertet; die Ergebnisse sind in den Tabellen 1 - 6 dargestellt. Die Verteilungskurven der Mediane zeigen für alle Schadstoffe und alle Nutzungen abnehmende Schadstoffgehalte in der Reihenfolge:

#### **Auflage >> Oberboden > (=) Unterboden = Untergrund.**

Die Mediane für Unterböden und Untergrund, z. T. auch die der Oberböden, liegen unter den Bestimmungsgrenzen. Für einzelne Standorte konnten allerdings Verlagerungstendenzen bei PAK<sub>16</sub>, PCB<sub>6</sub>, HCB, HCH, DDT und PCP bis in den Unterboden und von PAK<sub>16</sub>, PCB<sub>6</sub>, HCB, HCH und PCP bis in den Untergrund nachgewiesen werden.

Setzt man die Medianwerte der **Schadstoffgehalte** der Auflagen von Waldböden gleich 100 % und die Medianwerte der anderen Tiefenbereiche - ohne Berücksichtigung der Nutzung (vgl. Kap. 4.3) - in Relation dazu, sind lediglich in den Oberböden Relativgehalte und nur für die Schadstoffgruppen PAK<sub>16</sub> (22 %) und PCB<sub>6</sub> (5 %) berechenbar. Demnach sind zwischen ca. 80 und 100 % der Schadstoffe in der Auflage akkumuliert.

Berechnungen<sup>2</sup> der **Schadstoffmengen** bei den PAK<sub>16</sub> (mg/m<sup>2</sup>) pro Bodentiefenbereich ergeben ein anderes Bild (Abb. 10). Danach beträgt der Medianwert der Schadstoffmengen in den Auflagen nur knapp ein Fünftel der für die Oberböden der Waldstandorte berechnete Menge.

Je nach Humusform kann der prozentuale Anteil der PAK-Menge in der Auflage variieren. Er nimmt mit steigender Mächtigkeit der Auflage i.d.R. zu, übersteigt aber mit wenigen Aus-

<sup>2</sup> Auf die Schwierigkeit bei der Berechnung volumenbezogener Schadstoffmengen wurde hingewiesen (Kap. 4.1). Dies gilt insbesondere für Berechnungen in Bodentiefenbereichen, in denen Schadstoffe überwiegend nicht bestimmbar sind. Volumenbezogene Schadstoffmengen werden anhand der Schadstoffkonzentration, der Mächtigkeit und der Trockenraumdichte des Bodenbereichs bzw. der einzelnen Bodenhorizonte errechnet. Die Genauigkeit der berechneten Werte hängt von der Genauigkeit der angenommenen durchschnittlichen Horizontmächtigkeiten sowie der Messung der Trockenraumdichte und der Schadstoffgehalte ab.

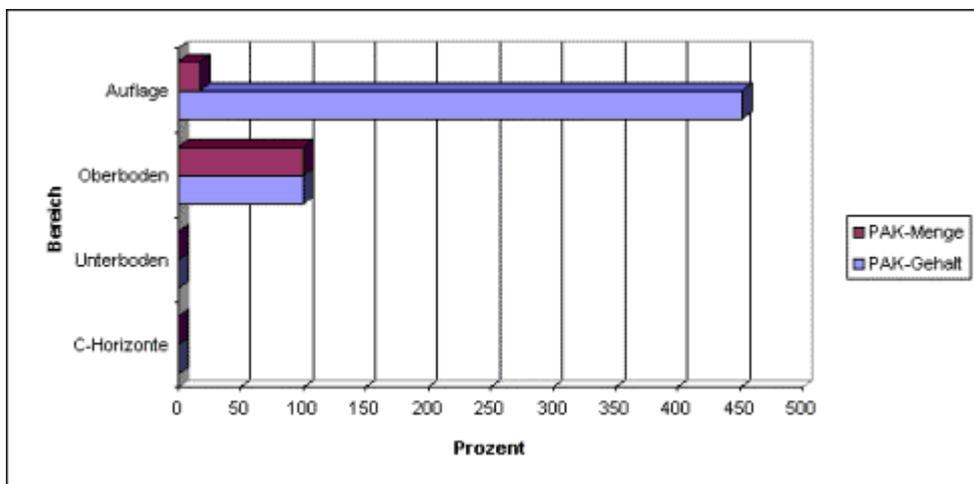
nahmen den Wert von 20 % nicht (vgl. Tab. 10 und Abb.6, sowie Abb.9 bis 12). Der prozentuale Anteil der Schadstoffmenge im Unterboden nimmt dagegen unabhängig von der Waldform und vom Anteil in der Humusauflage nur einen geringen Anteil von maximal wenigen Prozent ein.

Die Abbildungen 7 bis 12 zeigen beispielhaft die unterschiedliche Tiefenverteilung von PAK<sub>16</sub>-Mengen nach Bodenbereichen und nach Tiefenstufen von je 10 cm an drei Waldstandorten unterschiedlicher Boden- und unterschiedlicher Waldformen.

Die Tiefenverteilung in den Bodenbereichen zeigt, daß an allen drei Standorten nahezu 100 % der PAK<sub>16</sub>-Menge in der Auflage und im Oberboden verblieben sind. Der Anteil in der Auflage liegt am Standort unter Nadelwald höher als unter Laubwald.

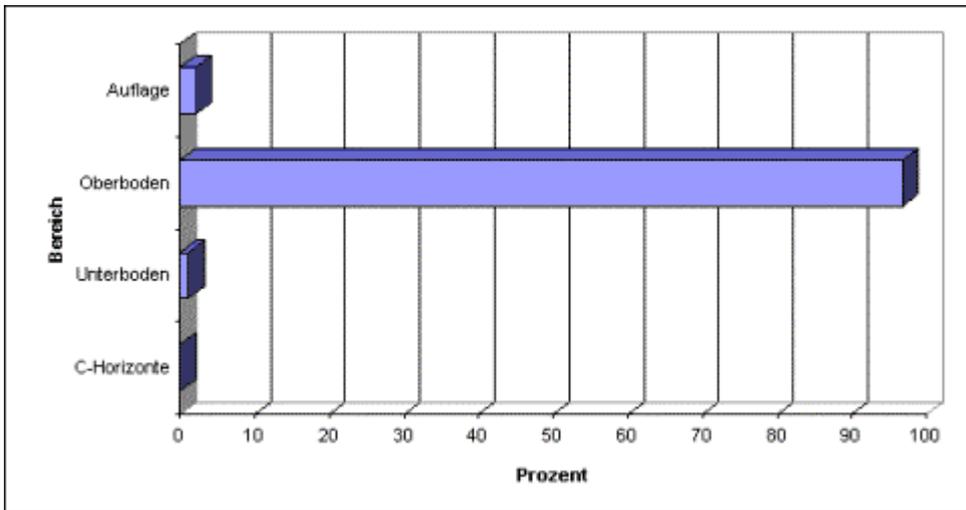
Die Verteilung nach Tiefenstufen ergibt, daß an zwei der drei Standorte über 90 % der PAK<sub>16</sub>-Menge, am dritten Standort dagegen nur knapp 66 % der PAK<sub>16</sub>-Menge in den oberen 10 cm des Mineralbodens inkl. Auflage vorliegen. Der Anteil der PAK<sub>16</sub> in den obersten 20 cm (inkl. Auflage) an der PAK-Menge im gesamten Bodenprofil liegt bei allen drei Standorten über 98 %.

**Abb. 6: Tiefenverteilung der PAK<sub>16</sub>-Gehalte und PAK<sub>16</sub>-Mengen in verschiedenen Bodentiefenbereichen an den Waldstandorten des BMN in bezug auf den Oberboden<sup>3</sup>:**

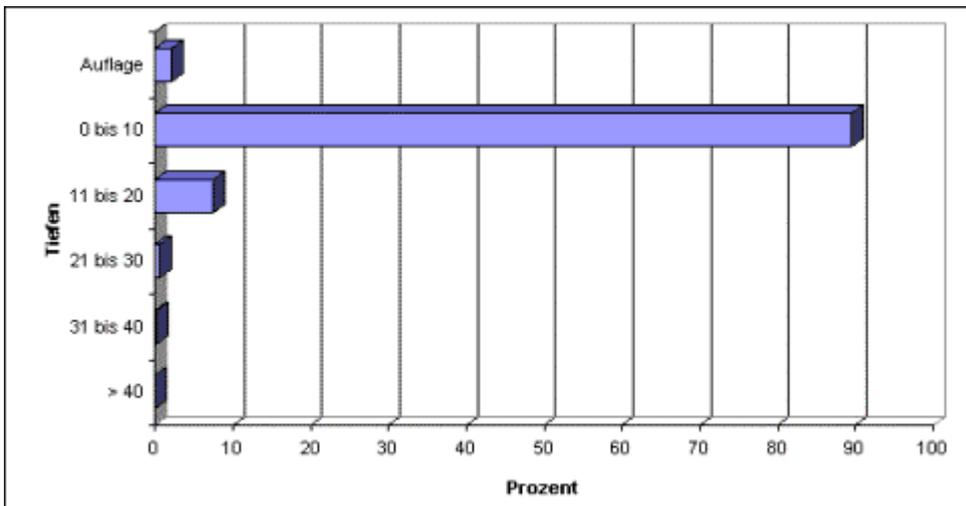


<sup>3</sup> Aus technischen Gründen steht in Abb. 6 der Wert 0 für verschiedene Argumente: bei der PAK<sub>16</sub>-Menge für einen nicht berechenbaren Wert, beim PAK<sub>16</sub>-Gehalt für einen Wert unter der Bestimmungsgrenze

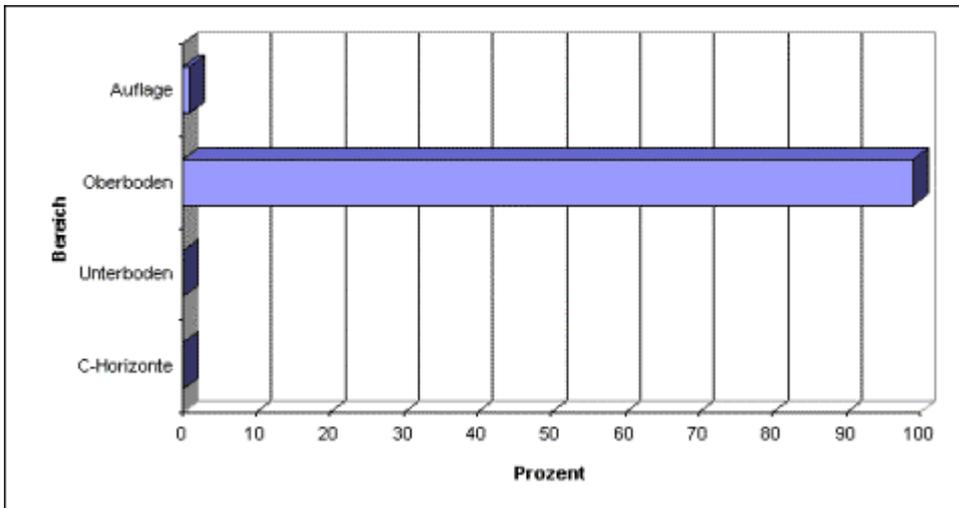
**Abb. 7: Prozentuale Anteile der PAK<sub>16</sub>-Mengen in verschiedenen Bodenbereichen am Standort Karlsruhe-Hardtwald (sandige Braunerde unter Laubwald):**



**Abb. 8: Prozentuale Anteile der PAK<sub>16</sub>-Mengen in verschiedenen Tiefenstufen am Standort Karlsruhe-Hardtwald (sandige Braunerde unter Laubwald):**



**Abb. 9: Prozentuale Anteile der PAK<sub>16</sub>-Mengen in verschiedenen Bodenbereichen am Standort Nonnenwald (sandige Braunerde unter Laubwald):**



**Abb. 10: Prozentuale Anteile der PAK<sub>16</sub>-Mengen in verschiedenen Tiefenstufen am Standort Nonnenwald (sandige Braunerde unter Laubwald):**

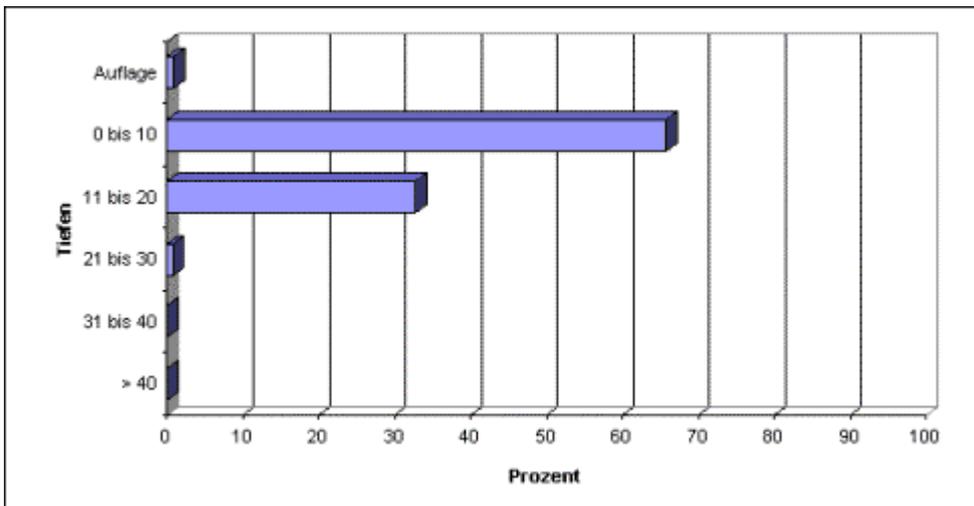


Abb. 11: Prozentuale Anteile der PAK<sub>16</sub>-Mengen in verschiedenen Bodenbereichen am Standort Bretten (Parabraunerde aus Löß unter Nadelwald):

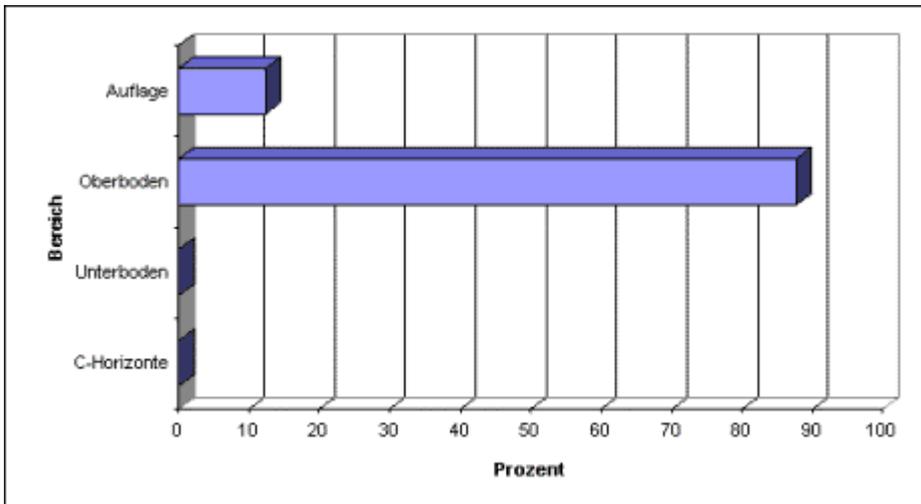
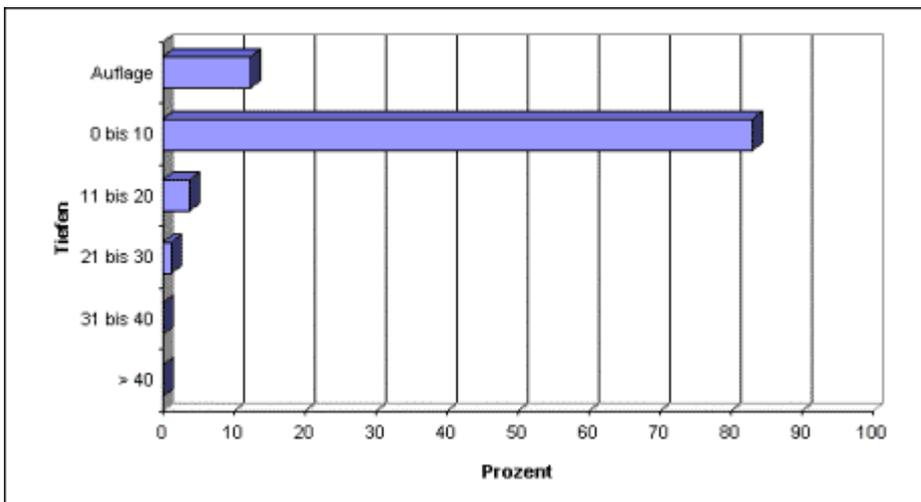


Abb. 12: Prozentuale Anteile der PAK<sub>16</sub>-Mengen in verschiedenen Tiefenstufen am Standort Bretten (Parabraunerde aus Löß unter Nadelwald):



### 3.5 Schadstoffgehalte der Böden und regionale Besiedlungsdichte

Ein ursächlicher Zusammenhang zwischen Einwohnerdichte (Einwohner / km<sup>2</sup> = E / km<sup>2</sup>) und den Gehalten organischer Schadstoffe in Böden kann sich infolge erhöhter diffuser Einträge über die Luft in Siedlungsbereichen mit hohem Anteil an Industrie und Gewerbe ergeben. Eine mögliche Beziehung zwischen Schadstoffmengen bzw. -gehalten im Boden und der Besiedlungsdichte muß an einigen Standorten angenommen werden, wenn lokale bewirtschaftungsbedingte Einträge (vgl. Kap. 3.5 und 4.3) weitgehend auszuschließen sind und die Werte bei einem Großteil der Proben ausreichend weit über der Bestimmungsgrenze liegen. Deshalb werden hier nur die Schadstoffgruppen PAK<sub>16</sub> und PCB<sub>6</sub> betrachtet.

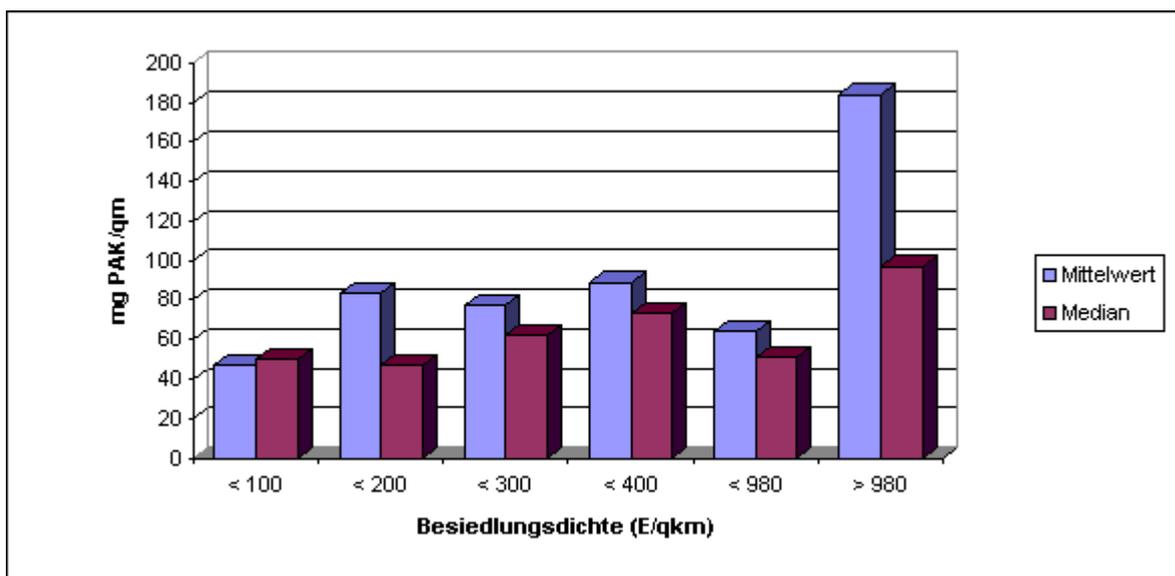
Eine Korrelationsrechnung ergibt, daß zwischen den Stoffmengen in den oberen Bodenhorizonten  $PAK_{16}$  und  $PCB_6$  und den Einwohnerdichten der Regionen, in denen die jeweiligen BMN-Standorte liegen keine ausgeprägte Beziehung ( $r^2 < 0,1$ ) besteht. Deshalb wurden die Besiedlungsdichten und bis  $400 \text{ E / km}^2$  in Klassen von je 100 unterteilt, Standorte in Regionen mit über  $400 \text{ E / km}^2$  zu einer Klasse zusammengefaßt (UM 1992). Ausgeschlossen wurden Ballungsräume mit einer Besiedlungsdichte von  $> 980 \text{ E / km}^2$ . Die Einwohnerdichte der Regionen, in denen sich Standorte des Bodenmeßnetzes befinden, liegt bei  $283 \text{ E / km}^2$  (Median), der Landesdurchschnitt 1991 bei  $280 \text{ E / km}^2$  (UM 1992).

Bei  $PAK_{16}$  wurde die Stoffmenge in den obersten 20 cm des Mineralbodens (bei Wald inkl. Auflage) in Beziehung zur Besiedlungsdichte gesetzt. Die Ergebnisse sind in Abb. 13 und Tab.10 dargestellt.

Die Medianwerte der  $PAK_{16}$ -Mengen von allen Klassen bis  $980 \text{ E / km}^2$  streuen mit Werten zwischen 47 und  $73 \text{ mg PAK}_{16}/\text{m}^2$  relativ gering. Der Medianwert für Ballungsräume ( $> 980 \text{ E / km}^2$ ) ist mit 97 dagegen auffällig erhöht.

Deutlicher als die Medianwerte weisen die arithmetischen Mittelwerte auf Unterschiede hin. So liegt der arithmetische Mittelwert der  $PAK_{16}$ -Profilmengen in der Besiedlungsdichteklasse  $< 100 \text{ E / km}^2$  mit  $47 \text{ mg PAK}_{16}/\text{m}^2$  (gegenüber 64 bis  $89 \text{ mg PAK}_{16}/\text{m}^2$  der Besiedlungsdichten von 100 bis  $980 \text{ E / km}^2$ ) von allen Klassen am niedrigsten, hingegen der Mittelwert in Ballungsräumen ( $> 980 \text{ E / km}^2$ ) mit  $184 \text{ mg PAK}_{16}/\text{m}^2$  um mehr als doppelt so hoch als der aller anderen Klassen.

Abb. 13:  $PAK_{16}$ -Mengen ( $\text{mg PAK}_{16}/\text{m}^2$ ) in Böden (Mittelwert und Median) in Regionen unterschiedlicher Besiedlungsdichte - alle Standorte:



**Tab. 10: PAK<sub>16</sub>-Mengen im Bodenprofil bis 20 cm Tiefe (mg PAK<sub>16</sub>/m<sup>2</sup>) an den Standorten des BMN unterteilt in verschiedene Besiedlungsdichteklassen (E / km<sup>2</sup>) - alle Standorte**

Besiedlungsdichteklassen	Anzahl BMN-Standorte	Median	Mittelwert	Wertebereich
< 100	34	50	47	14 - 86
100 bis 199	29	47	83	n.b. - 250
200 bis 299	15	62	77	34 - 236
300 bis 399	18	73	89	32 - 190
400 bis 980	42	51	64	18 - 191
> 980	13	97	184	36 - 723

Vergleichbar mit den arithmetischen Mittelwerten verhalten sich auch die Maximalwerte. In den Besiedlungsdichteklassen zwischen 100 und 980 E / km<sup>2</sup> variieren die Maximalwerte (mit 190 bis 250 mg PAK<sub>16</sub>/m<sup>2</sup>) relativ wenig. Davon heben sich die Maximalwerte der Standorte in den am dünnsten und am dichtesten besiedelten Regionen ab. So wurde in der Besiedlungsdichteklasse unter 100 E / km<sup>2</sup> ein Maximalwert von 86 mg PAK<sub>16</sub>/m<sup>2</sup> ermittelt, dagegen liegt in der Klasse über 980 E / km<sup>2</sup> der Maximalwert mit 723 mg PAK<sub>16</sub>/m<sup>2</sup> ca. drei- bis viermal höher, als in den Besiedlungsdichteklassen zwischen 100 und 980 E / km<sup>2</sup>.

Statistisch nicht abzusichern (vgl. Kap. 3.6) sind die signifikant niedrigeren Median- und Maximalwerte der PAK<sub>16</sub>-Mengen in den Bodenprofilen der Regionen mit einer Besiedlungsdichte unter 100 E / km<sup>2</sup> als die Maximalwerte in dichter besiedelten Gebieten. Ein Zusammenhang ist jedoch durch den überrepräsentativen Anteil an Waldflächen in dieser Klasse (59 %) gegenüber dem BMN-Durchschnitt (40 %) und die vegetationsbedingt eher höheren PAK<sub>16</sub>-Mengen in Waldböden (vgl. Abb. 9) um so wahrscheinlicher. Auch in der Besiedlungsdichteklasse > 980 E / km<sup>2</sup> (Ballungsgebiete) ist der Waldanteil mit 46 % - wenn auch nur geringfügig - überrepräsentiert. Ohne die beiden am stärksten kontaminierten (Wald-) Standorte ergibt sich bei einem Waldanteil von 36 % ein Maximalwert von lediglich 151 mg PAK<sub>16</sub>/m<sup>2</sup>. Der Median in dieser Besiedlungsdichteklasse liegt mit 96 mg PAK<sub>16</sub>/m<sup>2</sup> noch immer um 32 % bis über 100 % über den Medianwerten aller anderen Besiedlungsdichteklassen.

Für PCB<sub>6</sub> wurde die Schadstoffmenge in den obersten 20 cm des Mineralbodens (bei Wald inkl. Auflage) in Beziehung zur Besiedlungsdichte gesetzt (Tab. 11).

Die Mediane und Mittelwerte für alle Besiedlungsdichteklassen weisen mit Werten von 1,5 bis 10,0 mg PCB<sub>6</sub>/m<sup>2</sup> bzw. 4,1 bis 19,2 mg PCB<sub>6</sub>/m<sup>2</sup> eine stärkere Streuung als die PAK<sub>16</sub> auf. Das Minimum liegt in der Klasse mit mittlerer Besiedlungsdichte (300 bis 399 E / km<sup>2</sup>). Sowohl in Richtung höherer, als auch niedrigerer Besiedlungsdichten nehmen die Mediane ebenso wie die Mittelwerte zu. Der höchste Medianwert ergab sich für die geringste Besiedlungsdichteklasse, der höchste Mittelwert für die höchste Besiedlungsdichteklasse. Offensichtlich zeichnet sich hier der Einfluß standörtlicher Besonderheiten ab.

**Tab. 11: PCB<sub>6</sub>-Mengen im Bodenprofil bis 20 cm Tiefe (mg PCB<sub>6</sub>/m<sup>2</sup>) unterteilt in verschiedene Besiedlungsdichteklassen (E / km<sup>2</sup>; Standorte an denen aufgrund nicht bestimmbarer PCB<sub>6</sub>-Gehalte keine Stoffmengen errechnet werden konnten gehen mit 0 mg PCB<sub>6</sub>/m<sup>2</sup> in die Berechnung ein).**

Besiedlungsdichteklassen	Anzahl BMN-Standorte	Median	Mittelwert	Wertebereich
< 100	34	10,0	13,3	n.b. - 62
100 bis 199	29	6,0	13,4	n.b. - 147
200 bis 299	15	4,0	6,5	n.b. - 22
300 bis 399	18	1,5	4,1	n.b. - 19
400 bis 980	42	3,0	8,2	n.b. - 56
> 980	13	6,0	19,2	n.b. - 98

### 3.6 Organische Schadstoffgehalte der Böden und verkehrsbedingte Einträge

Seit einigen Jahren wird in der Literatur (LAHMANN et al. 1984, FLEISCHMANN & WILKE 1991, HALLENBACH et al. 1993) der Nachweis Kfz-bedingter PAK-Gehalte in Böden diskutiert. Hierzu wurden charakteristische Quotienten ausgewählter PAK zur Abgrenzung von anderen Schadstoffquellen herangezogen.

Nicht alle Quotienten konnten in dieser Untersuchung, ebenso wie in der Studie "Verkehrsbedingte Immissionen in straßennahe Böden" (UM B.-W. 1991) als geeignet bestätigt werden. Der nach FLEISCHMANN & WILKE (1991) verkehrsbedingte PAK-Einzelstoff Coronen wurde zwar an 36 Standorten mit Gehalten zwischen 10 µg Coronen/kg (Bestimmungsgrenze) und 85 µg Coronen/kg Boden nachgewiesen. Alle diese Standorte liegen jedoch weiter als 100 m von einer Straße entfernt. Die Standorte mit den höchsten Coronen-Gehalten liegen in straßenfernen Wäldern des Hochschwarzwaldes und der Ostalb. An dem BMN-Standort in der Nähe einer vielbefahrenen Straße (BAB A8 in unmittelbarer Nähe des Stuttgarter Flughafens) wurde dagegen kein Coronen nachgewiesen.

Die berechneten Quotienten Benz(a)pyren / Coronen (BaP/Cor) streuen zwischen 0 und knapp 15. Diese Streubreite kann analytisch durch die hohe Probenzahl oder durch eine eingeschränkte Eignung dieses Quotienten im Bereich geringer Kontaminationen bedingt sein. Eine Identifizierung verkehrsbedingter PAK-Einträge über den BaP/Cor-Quotienten (vgl HALLENBACH et al. 1993; allerdings lediglich anhand eines untersuchten Standorts) erscheint daher unsicher.

## 4. Glossar

- Auflage:** Alle organischen Horizonte (Streu-, Zersetzungs- und Feinhumushorizont) über dem Mineralboden bei Böden unter Wald- und z.T. extensiver Grünlandnutzung
- Bestimmungsgrenze (BG):** Gehalt, bei dem unter Zugrundelegung einer festgelegten Irrtumswahrscheinlichkeit die relative Ergebnisunsicherheit einen vorgegebenen Wert annimmt. "< BG" bedeutet demzufolge nicht, daß der Stoff nicht vorhanden oder nachweisbar ist, sondern dessen Gehalt mit großer Wahrscheinlichkeit unter der Bestimmungsgrenze, die im Einzelfall variieren kann, liegt und somit nicht quantifizierbar ist
- Biokonzentrationsfaktor (BCF):** Maß für die Bioakkumulation; der BCF gibt das Verhältnis der Konzentration eines Stoffes im tierischen bzw. pflanzlichen Organismus (hier: Mikroorganismen) zur Konzentration im umgebenden Medium (hier: in Ermangelung terrestrischer Untersuchungen meist Sediment) im Gleichgewichtszustand
- Bodenbereich (in Tabellen: Bereich):** Zusammenfassung mehrerer sich überlagernder Bodenhorizonte; im vorliegenden Bericht wird zwischen den Bodenschichten "Auflage", "Oberboden", "Unterboden" und "Untergrund" unterschieden
- Bodenhorizont:** Durch Bodenentwicklung entstandener vertikaler (Teil) Abschnitt des Bodens, der hinsichtlich seines makroskopischen Erscheinungsbildes, seiner stofflichen Zusammensetzung, seines Chemismus und seiner physikalischen Eigenschaften hinreichend homogen ist
- CAS-Nr.:** Registriernummer der Chemical Abstract Service zur eindeutigen Identifizierung von chemischen Stoffen
- Coronen:** Substanz der PAK mit sechs ringförmig kondensierten Benzolringen (C<sub>24</sub>H<sub>12</sub>)
- Feinboden:** Teil des Bodens, den man durch Siebung mit einer Maschenweite von 2 mm erhält; wenn nicht anders angegeben werden alle chemischen Daten an dieser Fraktion bestimmt

<b>Isomere:</b>	zwei oder mehr chemische Verbindungen mit gleicher Summenformel und gleicher Molekülmasse aber verschiedenen physikalischen und chemischen Eigenschaften
<b>IUPAC:</b>	Abk. für International <b>U</b> nion for <b>P</b> ure and <b>A</b> ppplied <b>C</b> hemistry
<b>Median:</b>	statistischer Wert; der Median ist derjenige Wert in dem nach Größe geordneten Datenkollektiv, der von 50 % der Einzelwerte unter- bzw. überschritten wird
<b>Metabolit(en):</b>	Abbauprodukt(e)
<b>Oberboden:</b>	Mineralische Bodenhorizonte mit Akkumulation organischer Substanz, Horizont-bezeichnungen z. B. Ah, Al, Ap
<b>Perzentil:</b>	statistischer Wert; Perzentile teilen die gesamte Häufigkeit der statistischen Verteilung in n (=100) gleiche Teile; das 90. Perzentil gibt den Wert an, bei dem 90 % des nach Größe geordneten Datenkollektiv kleiner und 10 % größer sind
<b>Unterboden:</b>	Mineralische Bodenhorizonte des Gesteinsverwitterungsbe-reiches; Horizontbe-zeichnungen z. B. Bv, Bt, T, P, Sw, Sd
<b>Untergrund:</b>	in diesem Bericht wird als Untergrund der mineralische Bo-denhorizont bezeichnet, der weitgehend dem Ausgangsse-diment entspricht; Horizont-bezeichnung: z. B. Cv, Cm, IC

## Teil B

### Zusammenfassung

Die Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg hat von Herbst 1991 bis Herbst 1992 an 153 Dauerbeobachtungsflächen des Bodenmeßnetzes Baden-Württemberg umfangreiche boden-mikrobiologische Untersuchungen durchgeführt, um den aktuellen Zustand landestypischer Böden Baden-Württembergs in biologischer Hinsicht zu dokumentieren. Die folgenden boden-biologischen Parameter wurden ausgewählt:

- potentielle mikrobielle Biomasse nach ANDERSON & DOMSCH
- mikrobielle Basalrespiration
- metabolischer Quotient
- Anteil von mikrobiell gebundenem Kohlenstoff am organisch gebundenen Kohlenstoff

Insgesamt erfolgten 417 Einzelmessungen der potentiellen mikrobiellen Biomasse sowie 282 Einzelmessungen der Basalrespiration, des metabolischen Quotienten und des Anteils von mikrobiell gebundenem Kohlenstoff am Gesamtkohlenstoffgehalt.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß zwischen den Nutzungen Acker, Grünland und Nadelwald in bezug auf nahezu alle untersuchten bodenmikrobiologischen Parameter vielfache, statistisch signifikante Unterschiede bestehen.

Die Ergebnisse der potentiellen mikrobiellen Biomasse - dem wichtigsten bodenmikrobiologischen Parameter - wurden in vier Klassen eingeteilt. 44,2 % der Meßwerte lagen im Bereich von >30 - 90 mg C/100 g TS Boden (Einstufung: mittel). Der Minimalwert betrug 8,2 mg C/100 g TS Boden, der Maximalwert 287,4 mg C/100 g TS Boden.

Es konnte ein deutlicher Einfluß der Nutzung auf die bodenmikrobiologischen Parameter nachgewiesen werden. So liegen beispielsweise in schluffigen Lehmböden unter Ackernutzung die meisten Meßwerte für die potentielle mikrobielle Biomasse im Bereich von 50 - 100 mg C/100 g TS Boden; in vergleichbaren Grünlandböden liegen die meisten Meßwerte dagegen zwischen 100 - 150 mg C/100 g TS Boden. Die Festlegung typischer Wertebereiche der mikrobiellen Biomasse für die drei Hauptnutzungen auf der Basis von Mittelwert und Standardabweichung (Soll-Wert bzw. Soll-Wertbereiche) war nicht möglich, da die Streuung innerhalb der einzelnen Nutzungen zu groß sind. Es bedarf einer weiteren Differenzierung mindestens in Bodenarten(gruppen).

Auch für eine umfassende, statistische Auswertung in bezug auf die Bodenart war das vorhandene Datenmaterial nicht ausreichend. Es lassen sich jedoch einige Trends erkennen. Sandböden weisen bei gleicher Nutzung von allen untersuchten Bodenartengruppen die geringsten Werte für die potentielle mikrobielle Biomasse und die Basalrespiration auf. Während zwischen Böden der Gruppen SI/Ls und Lu/UI kaum Unterschiede in den mikrobiellen Aktivitäten bestehen, ist in Böden mit höherem Tongehalt (Lt und TI) - nutzungsbezogen - zumindest eine mehr oder weniger deutlich höhere mikrobielle Biomasse feststellbar.

Die (Atmungs-)Leistung bezogen auf die Höhe der vorhandenen mikrobiellen Biomasse (= Metabolischer Quotient) ist bei Sandböden relativ höher als in Böden mit höherem Tonanteil. Zwischen Acker- und Grünlandböden gibt es nur geringe Unterschiede in der durchschnittlichen Höhe des metabolischen Quotienten. Die höchsten Werten treten in Nadelwaldböden auf.

Zwischen den untersuchten bodenmikrobiologischen Parametern einerseits und dem pH-Wert und dem Gehalt an Gesamtkohlenstoff andererseits konnten keine Korrelationen festgestellt werden. Auch zwischen den bodenbiologischen Parametern und den Gesamtgehalten und mobilen Gehalten der im Rahmen des Bodenmeßnetzes untersuchten Schwermetalle ergaben sich bei dieser Untersuchung keine statistischen Zusammenhänge. Dies dürfte darauf beruhen, daß die Dauerbeobachtungsflächen so ausgewählt wurden, daß sie die ubiquitären Hintergrundgehalte der Böden Baden-Württembergs für die Hauptnutzungen Acker, Grünland und Wald repräsentieren und somit als unbelastet zu betrachten sind.

Der Bodentyp erwies sich als ein zu komplexer Faktor, um einen direkt feststellbaren Einfluß auf bodenmikrobiologische Parameter ausüben zu können. Einzelne Bodentypen (wie z. B. die Braunerden) weisen mit ihren Subtypen ein weites Spektrum an pH-Werten, Bodenarten, Humusgehalten u.a. auf, was mit einem breiten Spektrum an mikrobiellen Aktivitäten korrespondiert. Dennoch läßt sich einigen Bodentypen eine niedrige (z. B. podsolige Braunerden) bzw. hohe (z. B. Rendzinen) mikrobielle Biomasse zuordnen. Diese Unterschiede ergeben sich jedoch eher durch die mit diesen Bodentypen in enger Beziehung stehenden Bodenarten.

Die Ergebnisse zeigen, daß eine Betrachtung einzelner Einflußfaktoren möglich ist, aber es für die Ermittlung von typischen Wertebereichen mikrobiologischer Parameter in bezug auf bestimmte Bodenkenngößen und Standortfaktoren eines größeren Datenkollektivs bedarf als des hier verwendeten. Insbesondere Standorte mit Sandböden und lehmig-tonige und tonige Böden sind im vorliegenden Datenmaterial unterrepräsentiert. Bei Auswertung einer größeren Anzahl vergleichbarer Standorte dieser Bodenkenngößen- und Standortkombinationen ist zu erwarten, daß die Standardabweichungen kleiner werden und damit auch für diese Gruppen typische Wertebereiche für die Beurteilung mikrobieller Leistungs- und Funktionsparameter ermittelt werden können.

## **1. Mikrobiologische Charakterisierung von Böden**

Für die bodenbiologischen Untersuchungen im Rahmen der Boden-Dauerbeobachtung wurden wegen ihrer vergleichsweise leichten Durchführbarkeit und der großen Bedeutung der Mikroorganismen für das Ökosystem Boden ausschließlich mikrobiologische Methoden ausgewählt. Die Mikroorganismen des Bodens gewährleisten einen funktionierenden Nährstoffkreislauf, tragen zum Abbau von organischen Schadstoffen bei und dienen höheren Bodenorganismen auch als Nahrung und Nahrungsaufbereiter.

Die Mikroorganismen können ihre vielfältigen Leistungen nur dann erbringen, wenn ein Boden ihren unterschiedlichen ökologischen Ansprüchen genügt. Eine Reduzierung der Mikroorganismenaktivität kann auch die Qualität des Lebensraumes für höhere Bodentiere und Kulturpflanzen beeinträchtigen. Daher liegt es nahe, über eine Erfassung der mikrobiellen Leistung auch eine Grundlage für die Beurteilung von Standorten in bezug auf den Erfüllungsgrad der Bodenfunktionen „Lebensraum für Bodenorganismen“ und „Standort für natürliche Vegetation und Kulturpflanzen“ zu schaffen.

Die Bestimmung bodenmikrobiologischer Parameter wird immer häufiger als Ergänzung zu den bisher üblicherweise erhobenen Bodenkenngößen durchgeführt, z. B. zur Charakterisierung von Standorten mit unterschiedlicher Bewirtschaftung oder zur Erfassung der Auswirkungen von Immissionen und Umweltchemikalien. Insbesondere die Bestimmung der potentiellen mikrobiellen Biomasse ist inzwischen als bundesweit einheitlicher, obligatorischer Parameter der biotischen Untersuchungen von BDF anerkannt (siehe Sonderarbeitsgruppe Informationsgrundlagen Bodenschutz (SAG), Arbeitsheft Nr. 1, 1991, Bodendauerbeobachtungsflächen).

Um den bodenbiologischen Zustand von Standorten beurteilen zu können, ist es notwendig, daß Daten von Referenzflächen zur Verfügung stehen, die sich bestimmten Standorttypen zuordnen lassen. RÖMBKE et al. (1996) schlagen für die Anwendung von bodenbiologischen Klassifikationssystemen ein ähnliches Vorgehen wie bei den Chemikalienzulassungsverfahren von EU und OECD vor:

1. Erfassung bzw. Sammlung aller bereits vorhandenen Daten zum Standort
2. Prognose zur bodenbiologischen Aktivität (=Soll-Wert)
3. Meßergebnis der bodenbiologischen Untersuchung(=Ist-Wert)
4. Vergleich Soll-/Ist-Wert
5. Beurteilung des Vergleichs
6. Bewertung der Situation.

## **2. Material und Methoden**

### **2.1 Probennahme und Probenaufbereitung**

An allen Standorten wurden mit einem Bodenstecher (Durchmesser ca. 3 - 6 cm) je 20 Einzelproben aus einer Tiefe von 0 - 10 cm (Zone mit dem höchsten Mikroorganismenbesatz) gezogen. Mit 20 Einstichen kann so eine Fläche von 100 m<sup>2</sup> repräsentativ beprobt werden (BECK 1984). In Waldböden wurde die Auflage vor der Probennahme entfernt. Aus den Einzelproben wurden Mischproben hergestellt, die bis zur Messung bei +4 °C transportiert und aufbewahrt wurden. Proben, die bis zur Untersuchung länger als 2 Wochen lagerten, wurden bei -18 °C eingefroren.

Die naturfeuchten Böden wurden zur Homogenisierung gesiebt (Siebdurchmesser 2 - 3 mm), anschließend erfolgte an einer Teilprobe die Bestimmung der Trockensubstanz (vgl. 3.3 Bo-

denkenndaten). Zu trockene Böden wurden auf einen Wassergehalt von etwa 40 % der max. Wasserkapazität (der sich für Messungen mikrobiologischer Parameter als sinnvoll erwiesen hat) eingestellt.

## 2.2 Analytik

Auf der Grundlage umfangreicher Voruntersuchungen (siehe Band 2 der Materialien zum Bodenschutz) wurden für die eigentliche Erhebung folgende analytische Methoden ausgewählt:

### 2.2.1 Substrat Induzierte Respiration (SIR-Methode)

Die Bestimmung der potentiellen mikrobiellen Biomasse wurde nach der von BECK (1984) modifizierten SIR-Methode von ANDERSON & DOMSCH (1978) durchgeführt. Mit der SIR-Methode wird unter definierten optimierten Laborbedingungen (Bodenfeuchte von 40 - 60 % der maximalen Wasserkapazität, Meßtemperatur von 22 °C, Glucose bis zur Sättigung) der Sauerstoffverbrauch der Mikroorganismen gemessen. Bei +4 °C gelagerte Proben können sofort verarbeitet werden, eingefrorene Proben sind vor der Messung bei +4 °C aufzutauen.

Die Messung des Sauerstoffverbrauchs erfolgte mit einem Sapromat der Firma Voith, Heidenheim bei einer Meßtemperatur von 22 °C und einer Meßdauer von 4 h. Über den gemessenen Sauerstoffverbrauch läßt sich mittels einer von ANDERSON & DOMSCH (1978) aufgestellten Formel die potentielle mikrobielle Biomasse (auch als mikrobiell fixierter Kohlenstoff definiert) in mg C/100 g Trockensubstanz Boden wie folgt berechnen:

$$\text{mg O}_2/\text{h} \cdot 28 \cdot 100 / \text{TS Boden} = \text{mg C}/100 \text{ g TS Boden}$$

28	Biomassenkonstante nach ANDERSON & DOMSCH
TS	Trockensubstanz der Bodenprobe in %

### 2.2.2 Basalrespiration

Die Basalrespiration der Bodenproben wurde als stündlicher Sauerstoffverbrauch ohne Zugabe von Glucose bezogen auf 100 g trockenen Bodens über einen Zeitraum von 4 h und 20 h ermittelt. Sie entspricht der aktuellen (Atmungs-)Leistung der Mikroorganismen. Die Messung des Sauerstoffverbrauchs erfolgte, wie bei der SIR-Methode, mit einem Sapromat der Firma Voith, Heidenheim.

### 2.2.3 Metabolischer Quotient

Der metabolische Quotient ( $q\text{-CO}_2$ ) nach ANDERSON & DOMSCH (1985) und BECK (1988) wird aus Basalatmungsrate und potentieller mikrobieller Biomasse ermittelt und gibt an, welche Menge  $\text{CO}_2$  pro Stunde und pro mg des mikrobiell fixierten C freigesetzt wird. Er sagt also etwas über die mikrobielle Stoffwechselaktivität bezogen auf die potentielle mikrobielle Biomasse aus. Die mit Hilfe eines Sapromats der Fa. Voith, Heidenheim ermittelte Sauerstoffmenge wurde mittels eines Umrechnungsfaktors in die entsprechende Menge Kohlendioxid umgerechnet.

### 2.2.4 $C_{mic}/C_{org}$ -Verhältnis

Das  $C_{mic}/C_{org}$ -Verhältnis gibt den prozentualen Anteil des mikrobiell fixierten Kohlenstoffs ( $C_{mic}$ ) am organisch gebundenen Kohlenstoff ( $C_{org}$ ) eines Bodens (BECK 1991) an.

Die oben genannten Methoden liefern in relativ kurzer Zeit Ergebnisse und lassen sich im Vergleich zu vielen anderen bodenbiologischen Methoden auch kurzfristig und kostengünstig an einer größeren Anzahl von Standorten durchführen. Ein direkter Vergleich der vorliegenden Ergebnisse mit anderen bodenmikrobiologischen Arbeiten wird jedoch oft durch die individuell modifizierte Methodik der einzelnen Autoren erschwert. Probennahme, Transport, Lagerung und Messung im Labor wurden daher ausführlich beschrieben.

## 2.3 Standort- und Bodenkenndaten

Für die Auswertung und Interpretation der mikrobiologischen Daten ist die Bestimmung folgender zusätzlicher abiotischer Bodenparameter notwendig:

- maximale Wasserkapazität (nach SCHLICHTING & BLUME 1966, modifiziert nach VDLUFA 1984)
- Trockensubstanz (Trocknung bei 105 °C bis zur Gewichtskonstanz)
- pH-Wert (Bestimmung mit  $CaCl_2$ )
- $C_{org}$
- $N_{gesamt}$
- C/N-Verhältnis

Für die Auswertung standen für alle Standorte darüber hinaus die folgenden Standort- und Bodenkenndaten aus dem Boden-Dauerbeobachtungsprogramm zur Verfügung:

- Rechts- und Hochwerte
- Höhe über NN
- Nutzung
- Ausgangsmaterial der Bodenbildung
- Horizontfolge und Bodentyp
- Durchwurzelung
- Bodenart
- Bodengefüge
- Lagerungsdichte
- Gesamtgehalte der Elemente Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber, Thallium, Zink (Gehalte im Königswasseraufschluß)
- $NH_4NO_3$  - mobile Gehalte der Elemente Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Zink

### 3. Ergebnisse und Diskussion

Die Grundlage für die Auswertung der bodenmikrobiologischen Daten bilden die Ergebnisse jeweils dreier Beprobungen (Herbst 1991, Frühjahr und Herbst 1992) der 153 Standorte. Die Boden-Dauerbeobachtungsflächen repräsentieren die ubiquitäre Hintergrundbelastung der Böden Baden-Württembergs an Schwermetallen und persistenten organischen Schadstoffen für die Hauptnutzungen Acker, Grünland und Wald (LfU 1988, LfU 1993). Es kann deshalb davon ausgegangen werden, daß diese Flächen keine weiteren Zusatzbelastungen aufweisen und sich daher für die Beschreibung des "mikrobiologischen Normalzustands" landestypischer Böden eignen (=Erhebung des Soll-Wertes).

Von Herbst 1991 bis Herbst 1992 erfolgten insgesamt 417 Einzelmessungen der SIR-Methode zur Bestimmung der potentiellen mikrobielle Biomasse und der Basalrespiration (4 h) sowie 282 Einzelmessungen der Basalrespiration (20 h). Daraus wurden jeweils der metabolische Quotient und der Anteil von mikrobiell gebundenem Kohlenstoff am Gesamtkohlenstoffgehalt berechnet. Die Einzelmeßwerte aller Proben sind im Anhang aufgeführt.

Durch ungünstige Witterungsbedingungen, Sturmschäden und Nutzungsänderungen während des Zeitraums Herbst 1991 bis Herbst 1992 konnten nicht alle 153 Standorte zu allen drei Probennahmeterminen berücksichtigt werden. In Tab. 1 sind daher nur die Minimal-, Maximal- und Mittelwerte für die 129 BMN-Standorte aufgeführt, die zu allen 3 Terminen beprobt wurden.

Tab. 1: Bodenmikrobiologische Parameter: Statistischer Überblick:

Parameter	Minimalwert	Maximalwert	Mittelwert (arithmetisch)	Median
Potentielle mikrobielle Biomasse [mg C/100 g TS]	8,2	287,4	88,3	71,7
Basalatmung 4h [mg CO <sub>2</sub> /100 g TS]	0,03	1,26	0,39	0,33
Metabolischer Quotient 4h [* 0,001]	0,96	18,4	5,1	4,5
Basalatmung 20h [mg CO <sub>2</sub> /100 g TS]	0,05	1,2	0,38	0,33
Metabolischer Quotient 20 h [* 0,001]	1,1	16,8	5,1	4,6
Anteil von mikrobiell gebundenem an organisch gebundenem Kohlenstoff (C <sub>mic</sub> /C <sub>org</sub> ) [%]	0,2	5,3	1,9	1,7
Trockensubstanz Boden [%]	46,3	93,5	77,0	78,5

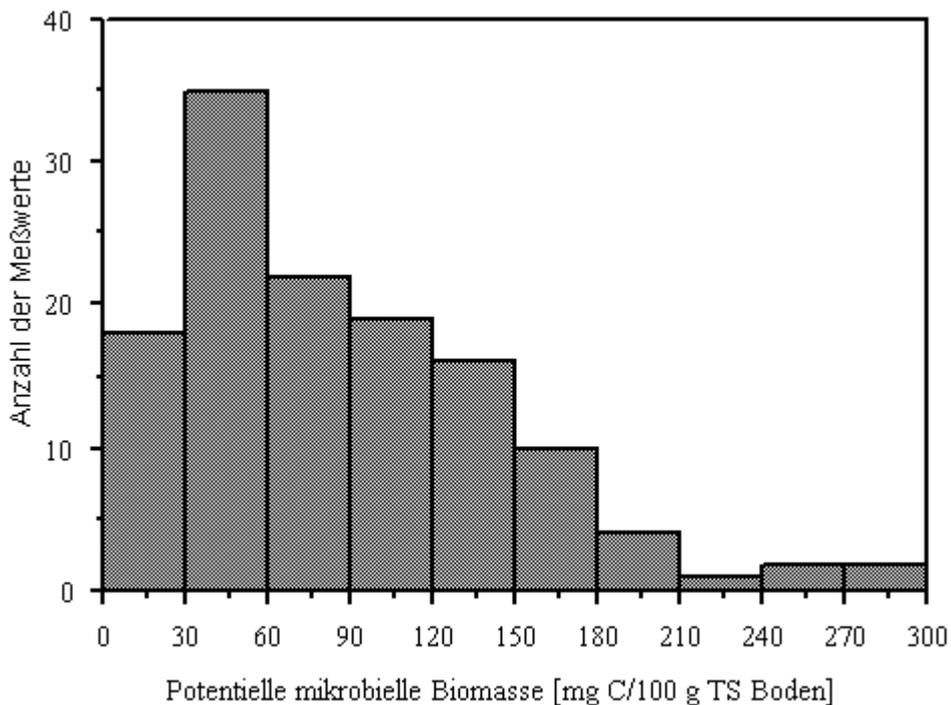
Die Streubreite (Differenz zwischen dem Standort mit dem niedrigsten bzw. höchsten Wert) ist bei allen bodenmikrobiologischen Parametern sehr groß. Die Unterschiede ergeben sich aus den für Mikroorganismen wichtigen und sehr stark differierenden Standorteigenschaften wie Wasser- und Lufthaushalt sowie Nährstoffverhältnisse.

Abb. 1 zeigt für die potentielle mikrobielle Biomasse (dem wichtigsten bodenbiologischen Parameter) die Häufigkeitsverteilung der Meßergebnisse (n = 129).

Die Klasse mit dem höchsten Anteil an Meßwerten (44,2 %) umfaßt den Bereich von 30 - 90 mg C/100 g TS Boden. Werte über 200 mg C/100 g TS Boden treten nur vereinzelt auf.

Die einzelnen Standorte repräsentieren typische Böden Baden-Württembergs. Dies bedeutet, daß der Wert der potentiellen mikrobiellen Biomasse die spezifische mikrobielle Leistung eines einzelnen Standortes angibt. Eine Extrapolation des an einem Standort gemessenen Wertes in die Fläche (und damit eine flächenhafte Darstellung) kann daraus aber nicht abgeleitet werden.

Abb. 1: Häufigkeitsverteilung für die potentielle mikrobielle Biomasse:



Tab. 2: Einteilung der potentiellen mikrobiellen Biomasse in Klassen

Potentielle mikrobielle Biomasse (mgC/100 g TS)	Einstufung	Werteklassen der potentiellen mikrobiellen Biomasse	Anteil der Standorte in (%)
< 30	niedrig	1	14,0
> 30 – 90	mittel	2	44,2
> 90 – 150	hoch	3	27,1
> 150	sehr hoch	4	14,8

Über eine Einordnung in Werteklassen (vgl. Tab. 2) lassen sich die einzelnen Standorte bestimmten Standorttypen zuordnen.

#### Klasse 1: Potentielle mikrobielle Biomasse < 30 mg C/100 g TS Boden

Anzahl:	17 Standorte
Nutzung:	überwiegend Wald (52 %)
Bodenform:	überwiegend (podsolige) Braunerden aus Flug-, Dünen- und Terrassensand (41 %)
Bodenart:	überwiegend Sand (63 %)

**Klasse 2: Potentielle mikrobielle Biomasse > 30 - 90 mg C/100 g TS Boden**

Anzahl:	56 Standorte
Nutzung:	überwiegend Wald (50 %), davon 60 % Nadelwald
Bodenform:	verschiedene; die höchsten Anteile weisen Parabraunerde und Pseudogley - Parabraunerde auf Löß auf
Bodenart:	überwiegend schluffige Lehme oder lehmige Schluffe (86 %)

**Klasse 3: Potentielle mikrobielle Biomasse > 90 - 150 mg C/100 g TS Boden**

Anzahl:	35 Standorte
Nutzung:	überwiegend Grünland (51 %)
Bodenform:	verschiedene Bodenformen
Bodenart:	überwiegend schluffige Lehme oder lehmige Schluffe (57 %)

**Klasse 4: Potentielle mikrobielle Biomasse > 150 mg C/100 g TS Boden**

Anzahl:	19 Standorte
Nutzung:	überwiegend Grünland (74 %)
Bodenform:	überwiegend Rendzina aus Kalkstein (42 %)
Bodenart:	überwiegend schluffige Lehme oder lehmige Schluffe (58 %)

Auf den Seiten 54 - 57 werden diejenigen Standorte dargestellt, welche für die ausgewählten Untersuchungsparameter jeweils die Minimal- bzw. Maximalwerte aufweisen. Da die Basalrespirationsraten für die 4 h- und die 20 h-Messungen die gleiche Tendenz zeigen, werden stellvertretend für die Basalrespirationsleistung nur der Minimal- und Maximal-Standort für die 20 h-Messung und dementsprechend auch nur jeweils der metabolische Quotient für die 20 h-Messung berücksichtigt.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß niedrige Werte für die potentielle mikrobielle Biomasse vor allem in den Böden aus Flug-, Dünen- und Terrassensand der breiten Flußtäler und Ebenen zu finden sind, hohe Werte dagegen überwiegend in Rendzina und Braunerde-Rendzina aus Kalk- und Dolomitgestein und in Braunerden aus sauren magmatischen Gesteinen unter Grünlandnutzung (Bodenkarte Baden-Württemberg 1:1 000 000, 1986).

Tab. 3: Minimum/Maximum-Standorte: Potentielle mikrobielle Biomasse

Minimum		Maximum
NSG Sandhausen	<b>Bodenmeßnetzstandort</b>	NSG Hörnle/ Hülenbuchwiesen
6617.03	<b>Standort-Nummer</b>	7719.01
Grünland	<b>Nutzung</b>	Grünland
108	<b>Höhe über NN [ m]</b>	945
Pararendzina aus Dünensanden	<b>Bodenform</b>	Rendzina aus Kalkstein
S	<b>Bodenart</b>	Lt
93,5	<b>TS Boden [%]</b>	67,7
7,2	<b>pH-Wert</b>	6,0
0,5	<b>C<sub>org</sub> [%]</b>	10,5
50	<b>N<sub>ges</sub> [mg/100g]</b>	1010
<b>8,2</b>	<b>Potentielle mikrobielle Biomasse [mg C/100g TS]</b>	<b>287,4</b>

**Abb. 2: Pararendzina (NSG Sandhausen):**



**Abb. 3: Rendzina (NSG Hörnle):**



Tab. 4: Minimum/Maximum-Standorte: Basalrespiration 20 h

Minimum		Maximum
St. Leon Rot	<b>Bodenmeßnetzstandort</b>	NSG Schwannewald
6717.03	<b>Standort-Nummer</b>	6520.01
Mischwald	<b>Nutzung</b>	Grünland (extensiv)
108	<b>Höhe über NN [ m]</b>	545
Parabraunerde aus Dünen-sanden	<b>Bodenform</b>	Stagnogley aus Sandstein
FS	<b>Bodenart</b>	SI
87,4	<b>TS Boden [%]</b>	54,4
3,4	<b>pH-Wert</b>	3,4
3,0	<b>C<sub>org</sub> [%]</b>	n.b.
180	<b>N<sub>ges</sub> [mg/100g]</b>	n.b.
<b>0,05</b>	<b>Basalrespiration 20h</b>	<b>1,2</b>

Abb. 4: Parabraunerde (St. Leon Rot):

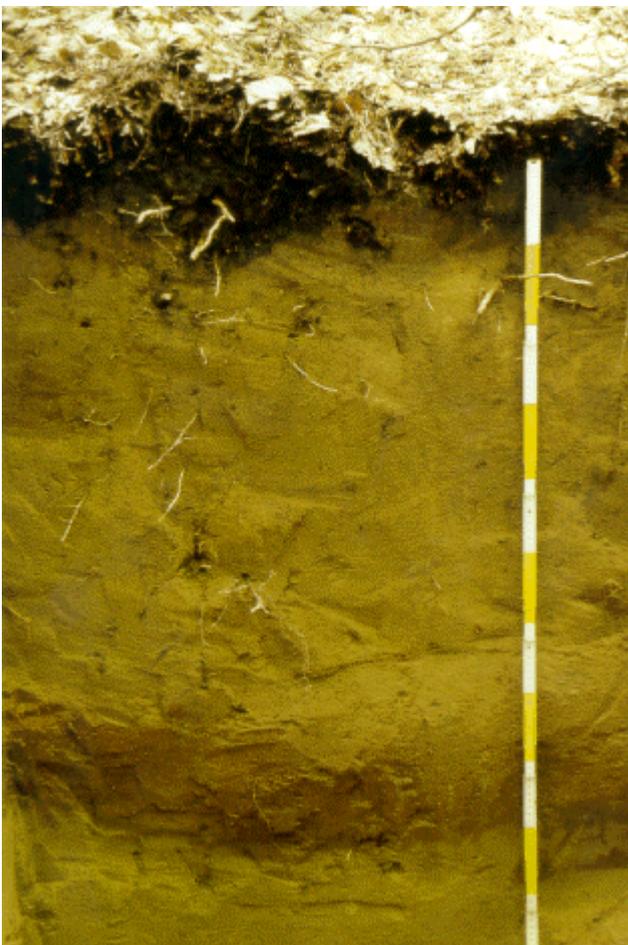


Abb. 5: Stagnogley (NSG Schwannewald):



Tab. 5: Minimum/Maximum-Standorte: Metabolischer Quotient 20 h

Minimum		Maximum
Domäne Rahlenhof	<b>Bodenmeßnetzstandort</b>	Domäne Erlenboden
8223.01	<b>Standort-Nummer</b>	8211.02
Grünland	<b>Nutzung</b>	Acker
448	<b>Höhe über NN [m]</b>	396
Parabraunerde aus sandig-kiesiger Jungmoräne	<b>Bodenform</b>	Parabraunerde aus Löß
Lus	<b>Bodenart</b>	Ul
77,2	<b>TS Boden [%]</b>	82,9
7,0	<b>pH-Wert</b>	5,4
4,5	<b>C<sub>org</sub> [%]</b>	1,3
510	<b>N<sub>ges</sub> [mg/100g]</b>	150
<b>1,1</b>	<b>Metabolischer Quotient</b>	<b>16,8</b>

**Abb. 6: Parabraunerde (Rahlenhof):**

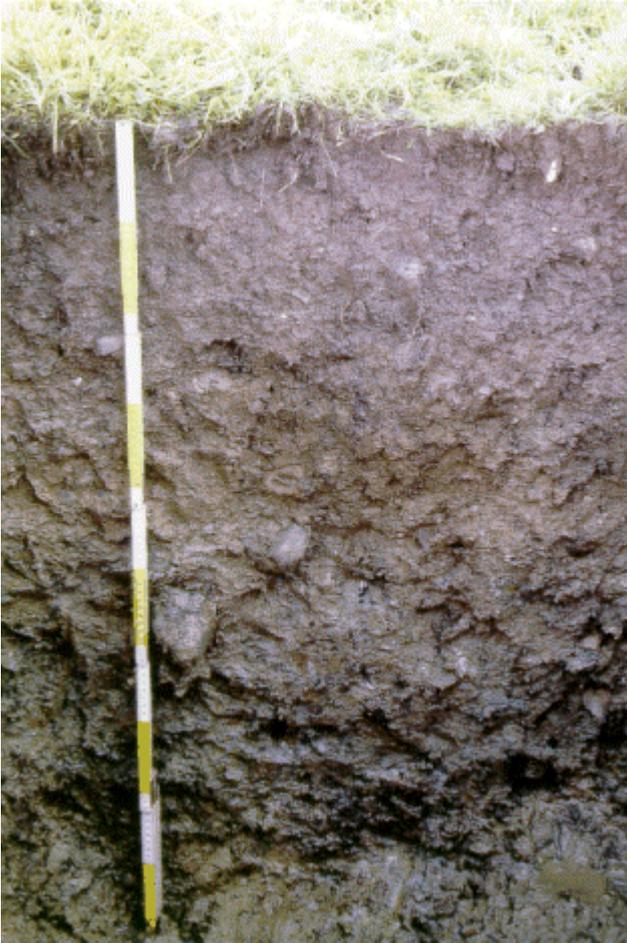


Abb. 7: Parabraunerde (Erlenboden):

Tab. 6: Minimum/Maximum-Standorte:  $C_{mic}/C_{org}$ 

Minimum		Maximum
Ebnat 3	<b>Bodenmeßnetzstandort</b>	Domäne St. Johann
7226.02	<b>Standort-Nummer</b>	7521.04
Laubwald	<b>Nutzung</b>	Grünland
635	<b>Höhe über NN [m]</b>	763
Braunerde aus Feuerstein-schutt	<b>Bodenform</b>	Rendzina aus Kalkstein
Lut	<b>Bodenart</b>	Lu
76,4	<b>TS Boden [%]</b>	74,2
3,9	<b>pH-Wert</b>	5,4
28,7	<b><math>C_{org}</math> [%]</b>	4,8
1030	<b><math>N_{ges}</math> [mg/100g]</b>	500
<b>0,2</b>	<b><math>C_{mic}/C_{org}</math> [%]</b>	<b>5,3</b>

**Abb. 8: Braunerde (Ebnat 3)**



**Abb. 9: Rendzina (St. Johann)**

## 4. Auswertung nach Einflussfaktoren

Die Höhe der mikrobiellen Biomasse und der mikrobiellen Aktivität hängt vor allem vom Nährstoff-, Wasser-, Temperatur- und Sauerstoffangebot eines Standortes ab. Direkte und indirekte Einflußfaktoren auf die ausgewählten bodenmikrobiologischen Parameter werden im folgenden in Kap. 4.1 bis 4.6 diskutiert.

### 4.1 Nutzung

Der Einfluß der Nutzung auf bodenmikrobiologische Eigenschaften wird durch einen Vergleich der Ergebnisse von Lehmböden (schluffige Lehme) der Nutzungen Acker, Grünland und Nadelwald dargestellt. Berücksichtigt werden jeweils die Mittelwerte der drei Beprobungen vom Herbst 1991, Frühjahr und Herbst 1992. Da die Bodenart über den Wasser- und Lufthaushalt einen entscheidenden Einfluß auf die mikrobielle Aktivität im Boden ausübt, werden für den Nutzungsvergleich nur Böden vergleichbarer Korngrößenzusammensetzung ausgewählt. Die Gruppe der schluffigen Lehme bietet sich an, da für alle drei Nutzungen eine ausreichende und annähernd gleiche Anzahl an Daten verfügbar ist. Einen nach Nutzungen

gegliederten statistischen Überblick für die untersuchten bodenmikrobiologischen Parameter gibt Tab. 7.

- **Nutzung und potentielle mikrobielle Biomasse**

Die statistische Prüfung zeigt für die potentielle mikrobielle Biomasse hoch signifikante Unterschiede zwischen Acker- und Grünlandnutzung. Auch zwischen Grünland und Nadelwald ergeben sich noch statistisch abgesicherte Unterschiede, während sich für Acker- und Nadelwaldnutzung keine statistisch signifikanten Unterschiede nachweisen lassen.

- **Nutzung und Basalrespiration**

Die Werte für die Kurz(4h)- und Langzeit(20h)messung zeigen für die drei Nutzungen den gleichen Trend und können daher auch gemeinsam betrachtet werden. Die Basalrespiration liegt jeweils in Böden unter Nadelwald am höchsten. Unter Ackernutzung wurden die geringsten Basalrespirationsraten festgestellt. Die Statistik bestätigt hoch signifikante Unterschiede zwischen Acker und Grünland ebenso zwischen Acker und Nadelwald. Zwischen Grünland- und Nadelwaldnutzung bestehen dagegen keine signifikanten Unterschiede.

- **Nutzung und Metabolischer Quotient 4 h und 20 h**

Für Acker und Grünland ist der metabolische Quotient für Kurz- und Langzeitrespiration nahezu gleich. Beim Grünland nimmt er mit längerer Meßzeit ab. Wie auch bei der Basalrespiration finden sich die höchsten Werte für den metabolischen Quotienten bei Nadelwaldnutzung. Die Werte von Acker- und Grünlandnutzung unterscheiden sich insbesondere bei der Langzeitmessung kaum. Dementsprechend bestehen auch statistisch signifikante Unterschiede zwischen Acker und Nadelwald und Grünland und Nadelwald. Für Acker und Grünland wurden keine statistisch signifikanten Unterschiede ermittelt.

- **Nutzung und  $C_{mic}/C_{org}$ -Verhältnis**

Der höchste Anteil von mikrobiell gebundenem Kohlenstoff am organisch gebundenen Kohlenstoff wurde für Grünlandnutzung ermittelt. Für Ackernutzung ergaben sich ähnliche, etwas niedrigere Werte. Zwischen Acker- und Grünlandnutzung bestehen keine statistisch signifikanten Unterschiede. Bei Nadelwaldnutzung ist der Anteil an mikrobiell gebundenem Kohlenstoff dagegen deutlich niedriger als bei Acker- und Grünlandnutzung.

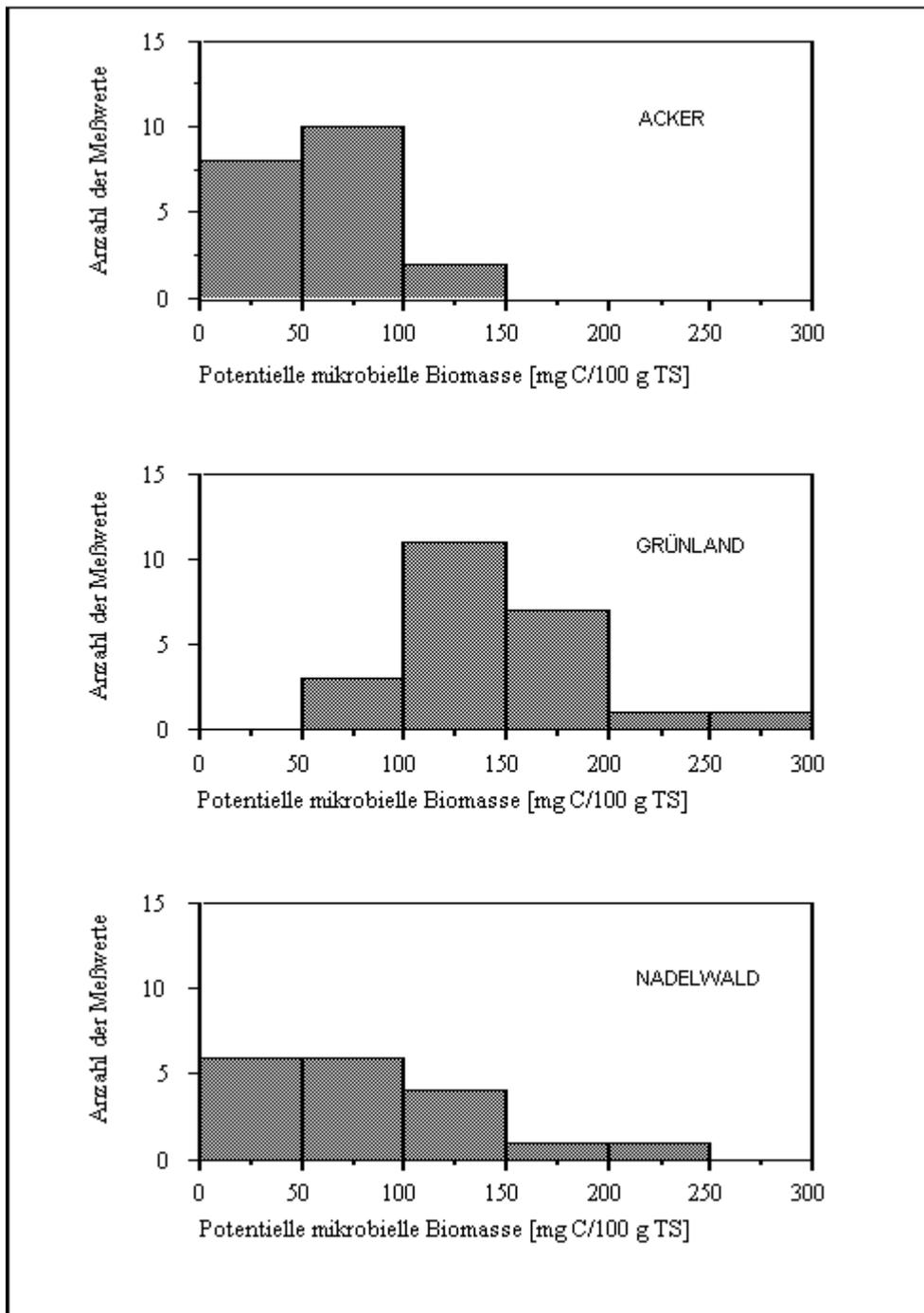
**Tab. 7: Vergleich der bodenmikrobiologischen Ergebnisse für die Nutzungen Acker, Grünland und Nadelwald - Bodenartengruppe: schluffige Lehme:**

Parameter	Nutzung	Minimum	Maximum	Mittelwert +/- Standardab- weichung	50 % Perzentil (Median)	90 % Perzentil
Potentielle mikrobielle Biomasse [mg C/100g TS]	Acker	28,1	132,7	64,0 +/- 26,5	60,2	104,7
	Grünland	69,4	256,7	142,6 +/- 42,0	134,9	204,1
	Nadelwald	28,0	212,6	90,4 +/- 55,7	89,9	194,8
Basalatmung 4 h [mg CO <sub>2</sub> /100g TS]	Acker	0,03	0,44	0,20 +/- 0,09	0,20	0,29
	Grünland	0,23	0,94	0,49 +/- 0,17	0,46	0,77
	Nadelwald	0,11	1,1	0,55 +/- 0,30	0,60	1,0
Metabolischer Quotient 4 h [*0,001]	Acker	1,0	10,3	3,5 +/- 2,0	1,3	6,7
	Grünland	1,7	13,6	4,0 +/- 2,5	2,0	6,9
	Nadelwald	4,4	10,5	6,5 +/- 1,7	4,4	9,7
Basalatmung 20 h [mg CO <sub>2</sub> /100g TS]	Acker	0,09	0,39	0,22 +/- 0,10	0,18	0,39
	Grünland	0,21	0,73	0,48 +/- 0,16	0,51	0,71
	Nadelwald	0,11	1,1	0,52 +/- 0,30	0,53	0,93
Metabolischer Quotient 20 h [*0,001]	Acker	2,0	7,2	3,6 +/- 1,2	3,4	4,9
	Grünland	1,1	5,8	3,4 +/- 1,2	3,4	4,8
	Nadelwald	3,9	10,6	6,5 +/- 1,9	6,3	9,4
C <sub>mic</sub> /C <sub>org</sub> [%] *	Acker	0,7	4,2	2,5 +/- 0,9	2,7	3,9
	Grünland	1,4	5,3	3,0 +/- 1,0	2,9	4,7
	Nadelwald	0,5	3,7	1,1 +/- 0,9	0,9	2,9

\* Anteil von mikrobiell gebundenem Kohlenstoff an organisch gebundenem Kohlenstoff

Die oben angeführten Ergebnisse stimmen im Trend mit vergleichbaren bodenmikrobiologischen Untersuchungen überein. So hat in landwirtschaftlich genutzten Böden die Bewirtschaftungsintensität einen erheblichen Einfluß auf die mikrobielle Biomasse und die organische Bodensubstanz. In der Regel liegen Humusgehalt und mikrobielle Biomasse bei Grünland 3 - 4 mal höher als bei Acker (HEILMANN & BEESE 1991, SCHLEUSS & BLUME 1991). Die Gründe liegen in der geringeren Düngung bei Grünlandnutzung (dadurch höheres C/N-Verhältnis) und geringeren anthropogenen Störungen, wie fehlender Belüftung durch Bodenbearbeitung bei der Ackernutzung.

Abb. 10: Potentielle mikrobielle Biomasse: Häufigkeitsverteilung für Acker-, Grünland- und Nadelwaldnutzung - Bodenart: Lu/Ul:



Die mikrobiologischen Untersuchungen an den Boden-Dauerbeobachtungsstandorten lassen deutliche nutzungsbedingte Unterschiede erkennen (Abb. 10). Die meisten schluffigen Lehm Böden unter Ackernutzung weisen eine potentielle mikrobielle Biomasse im Bereich von 50 - 100 mg C/100 g TS Boden auf. Meßergebnisse über 150 mg C/100 g TS Boden kommen nicht vor. Für vergleichbare Grünlandböden liegt die höchste Anzahl der Meßwerte zwischen 100 - 150 mg C/100 g TS Boden. Zudem treten auch noch Meßwerte über 150 mg

C/100 g TS Boden auf. Für Böden unter Nadelwaldnutzung ergibt sich im Bereich von 0 - 150 mg C/100 g TS Boden eine relativ gleichmäßige Verteilung.

Nach BECK (1991) liegt der Anteil des mikrobiell fixierten Kohlenstoffs ( $C_{mic}$ ) am organisch gebundenen Kohlenstoff ( $C_{org}$ ) für Ackerböden bei 1 - 5 % und für Wiese und Grünland bei 2 - 8 %. Diese Angaben werden durch die vorliegenden Ergebnisse bestätigt (Tab. 7).

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß zwischen den Nutzungen Acker, Grünland und Nadelwald in Bezug auf nahezu alle untersuchten bodenmikrobiologischen Parameter vielfache statistisch signifikante Unterschiede bestehen (vgl. auch Tab. 8 im Anhang). Dabei sollten jedoch die hohen Standardabweichungen, die sich insbesondere für die Ergebnisse bei Nadelwaldnutzung ergeben, nicht außer Acht gelassen werden. Die geplante Ermittlung von typischen Wertebereichen auf der Basis von Mittelwert und Standardabweichung läßt sich zum jetzigen Stand der Untersuchungen wegen nicht ausreichend großer Kollektive für einen Großteil der Bodenartenklassen nicht durchführen. Es ist jedoch zu erwarten, daß die Standardabweichungen bei einer größeren Anzahl vergleichbarer Standorte kleiner werden.

## 4.2 Bodenart

Durch die Korngrößenverteilung werden u. a. die Durchwurzelbarkeit, das Wasser-, Wärme-, Sauerstoff- und das Nährstoffangebot eines Bodens bestimmt. Daher bieten die verschiedenen Bodenarten auch ganz unterschiedliche Lebensbedingungen für die Mikroorganismen.

Reine Sandböden zeichnen sich beispielsweise durch einen hohen Anteil an Grobporen aus, die auch bei hoher Feuchtigkeit des Bodens noch für eine ausreichende Durchlüftung, bzw. Sauerstoffversorgung sorgen. Das Wasserhaltevermögen, die Nährstoffreserven und das Nährstoffbindevermögen sind in Sandböden dagegen gering. Die Bodenfeuchte stellt oft den Minimumfaktor in Sandböden dar. Schon Böden der Gruppe Sl, Su oder St bieten weitaus günstigere Bedingungen für die Mikroorganismen als reine Sandböden (fS, mS).

Lehm- und Schluffböden mittleren Tongehalts besitzen bei nicht zu dichter Lagerung sowohl eine ausreichende Durchlüftung als auch ein hohes Wasserspeichervermögen. Die Nährstoffreserven sind mittel bis hoch.

Tonböden haben zwar das höchste Porenvolumen im Vergleich zu allen anderen Bodenarten, der Anteil an Grobporen ist jedoch gering. Daher können bei höherer Feuchtigkeit schnell mikroaerobe oder anaerobe Verhältnisse entstehen, die eine reduzierte mikrobielle Aktivität zur Folge haben. Nährstoffreserven- und das Nährstoffbindevermögen sind in Tonböden dagegen hoch.

Aufgrund dieser unterschiedlichen Lebensbedingungen, die Mikroorganismen in Böden verschiedener Korngrößenverteilung vorfinden, ist zu erwarten, daß sich die bodenmikrobiologischen Werte verschiedener Bodenarten auch voneinander unterscheiden.

Da - wie unter 4.1 bereits dargestellt - die Nutzung einen erheblichen Einfluß auf die bodenbiologischen Vorgänge hat, läßt sich ein statistischer Vergleich von Bodenarten nur zwischen Standorten gleicher Nutzung durchführen. Bei vergleichbarer Nutzung ist jedoch nur für die

Gruppe Lu/UI, die bereits in Kap. 4.1 diskutiert wurde, ausreichend Datenmaterial für eine statistische Auswertung vorhanden.

Um dennoch einen Überblick über den Einfluß der Bodenart auf die untersuchten bodenbiologischen Parameter zu bekommen, sind in den Abbildungen 12 - 23 alle Einzelwerte in Form von box plots (Perzentile 10 - 90) dargestellt. Bei Betrachtung der Abbildungen ist zu berücksichtigen, daß der jahreszeitliche Aspekt vernachlässigt wird, da keine Trennung in Frühjahrs- und Herbstbeprobung erfolgte. Da nicht alle Standorte zu allen 3 Probennahmeterminen beprobt werden konnten, gehen bei der statistischen Auswertung manche Standorte dreimal, andere nur zwei- oder einmalig ein. Es läßt sich jedoch einerseits ein deutlicher Einfluß der Bodenart erkennen, andererseits wird der noch vorhandene Untersuchungsbedarf deutlich.

Bei gleicher Nutzung weisen Sandböden die geringsten Werte für die potentielle mikrobielle Biomasse und die Basalrespiration auf. Zwischen Böden der Gruppen SI/Ls und Lu/UI bestehen kaum Unterschiede. Der höhere Tongehalt in den Böden Lt und TI spiegelt sich auch in einer höheren mikrobiellen Aktivität wider. Beim metabolischen Quotienten weisen jeweils Sandböden die höheren Werte auf, d.h. in Sandböden erbringt die vorhandene potentielle mikrobielle Biomasse relativ betrachtet eine höhere Atmungsleistung als die Biomasse von Böden mit höherem Tonanteil.

Um den Einfluß der Bodenart ausreichend dokumentieren zu können und eventuelle Wertebereiche für bestimmte Nutzungen und Bodenarten festlegen zu können, ist das bereits vorhandene Datenmaterial vor allem durch Daten von Standorten mit Böden aus Sand, tonigem Lehm und Ton zu ergänzen.

**Abb. 11: box plot Schema für die folgenden Abbildungen 29 – 40:**

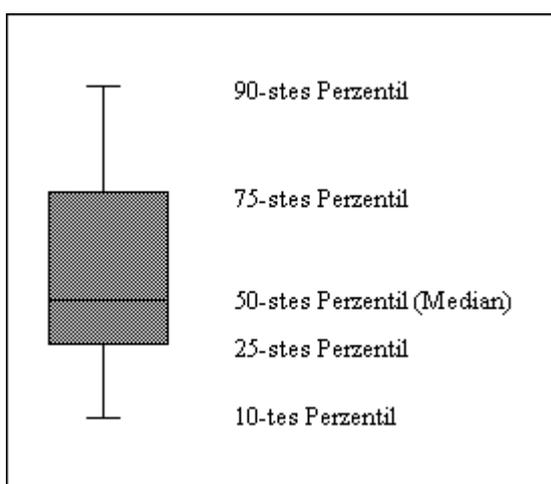


Abb. 12: Potentielle mikrobielle Biomasse - Verteilung der Meßwerte nach Bodenart bei Acker-  
nutzung:

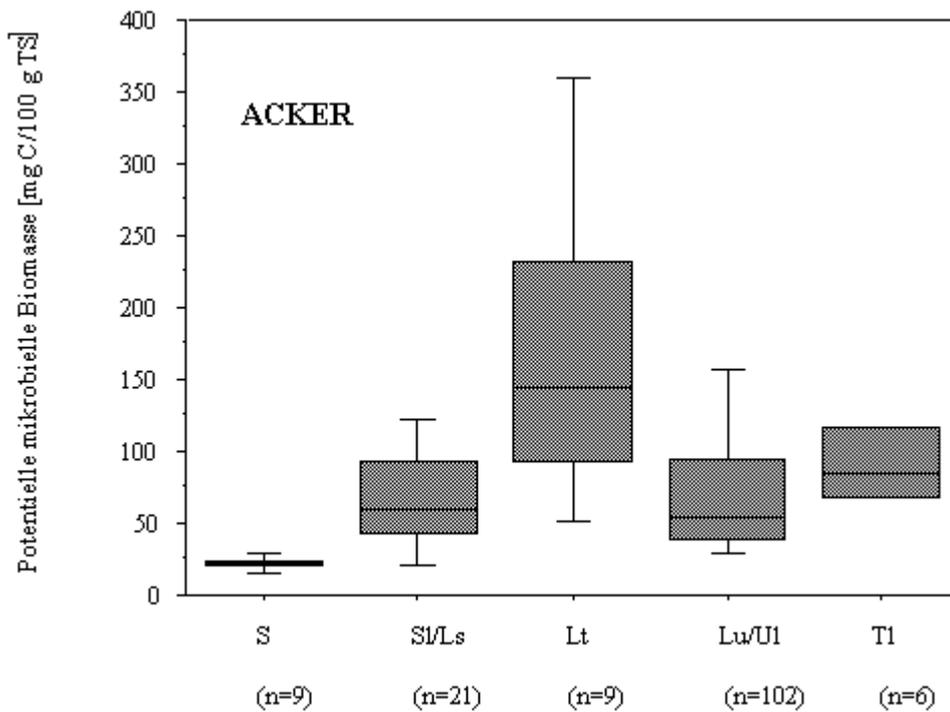


Abb. 13: Potentielle mikrobielle Biomasse - Verteilung der Meßwerte nach Bodenart bei Grün-  
landnutzung:

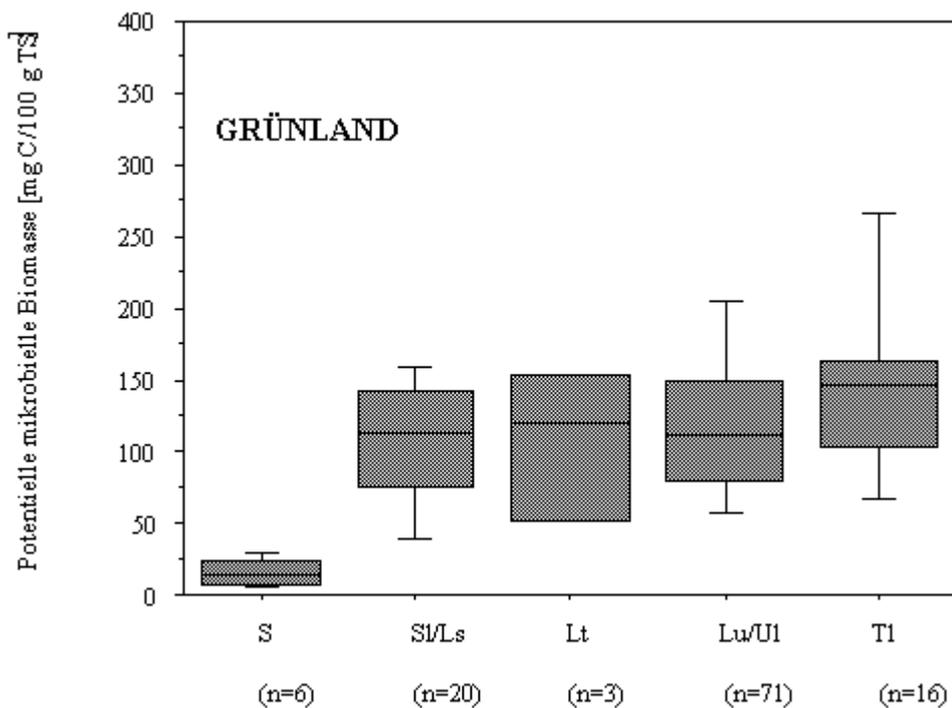


Abb. 14: Potentielle mikrobielle Biomasse - Verteilung der Meßwerte nach Bodenart bei Waldnutzung (TI nicht repräsentiert):

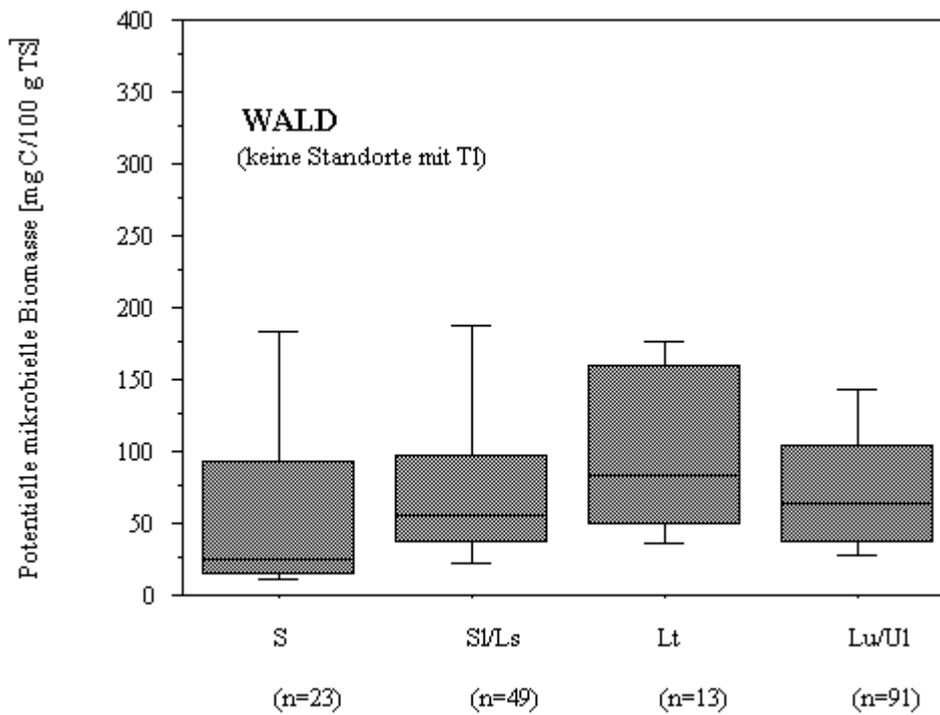
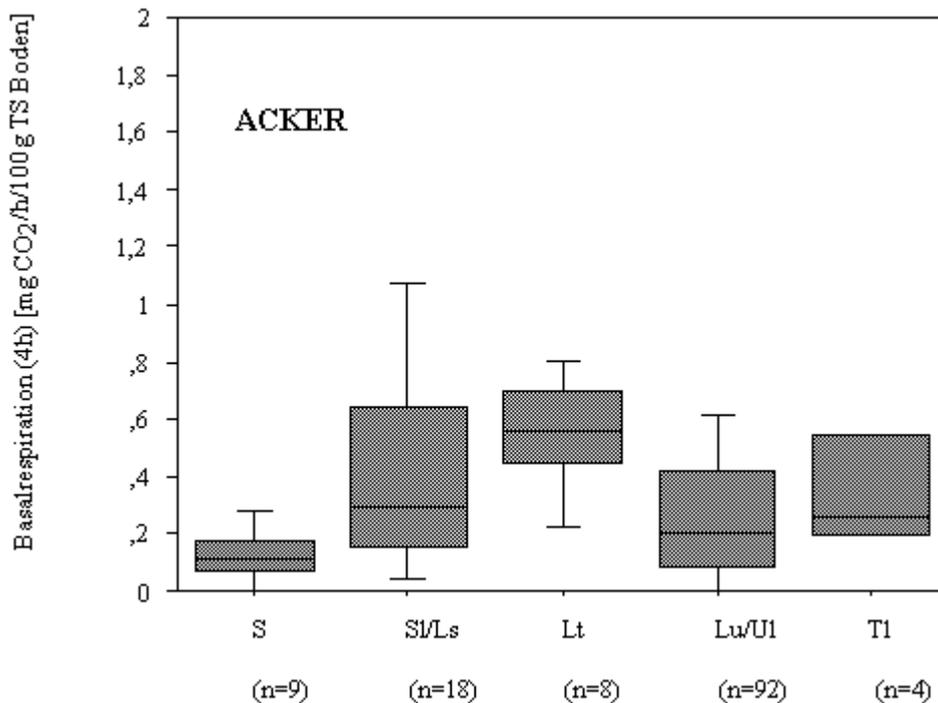


Abb. 15: Basalrespiration (4h) - Verteilung der Meßwerte nach Bodenart bei Ackernutzung:



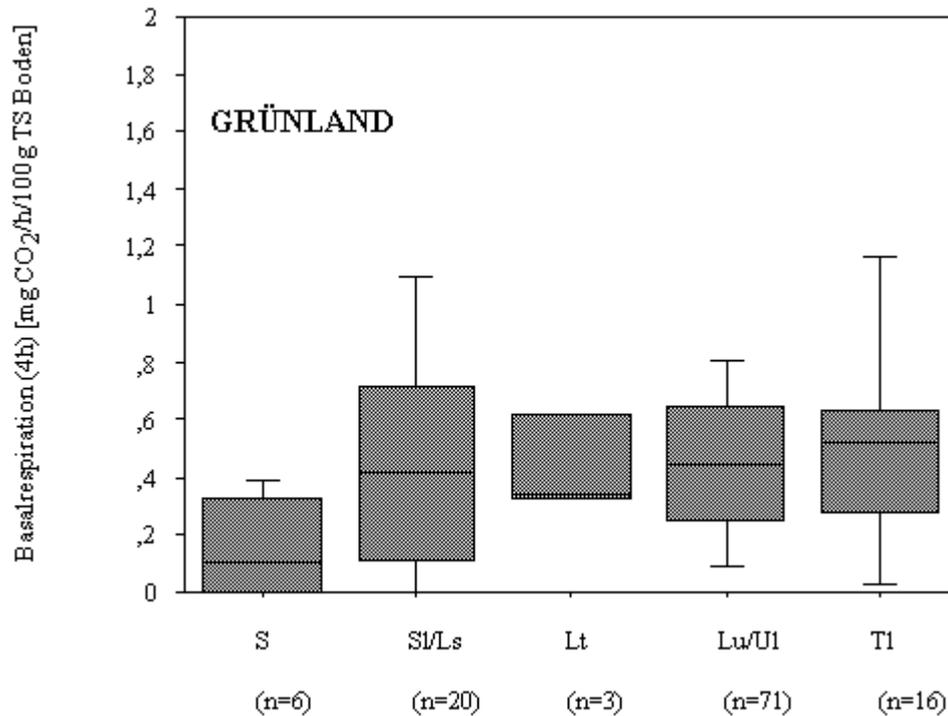
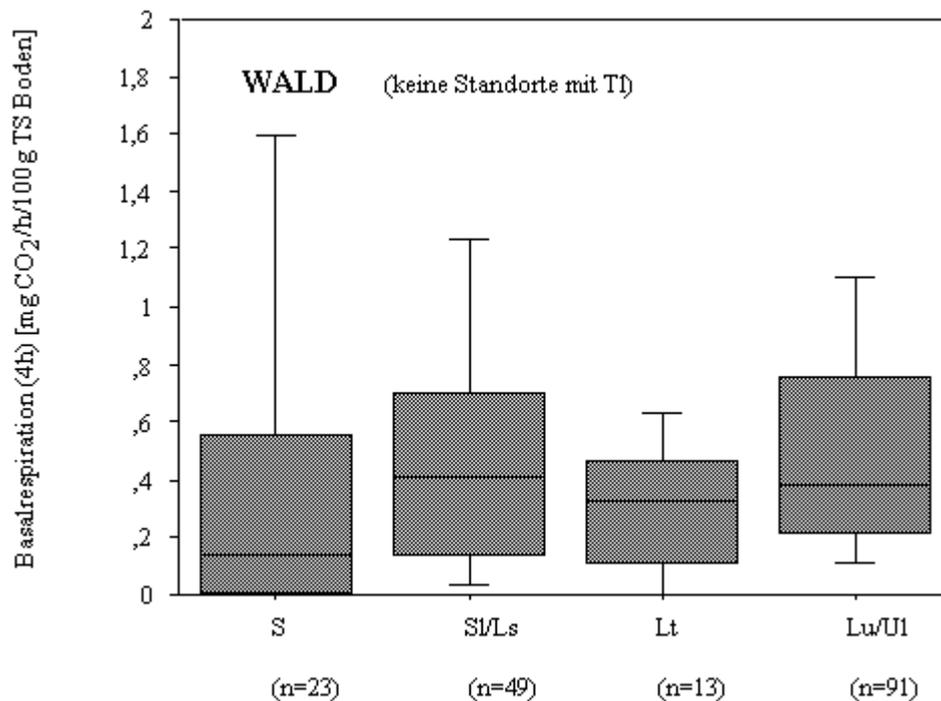
**Abb. 16: Basalrespiration (4h) - Verteilung der Meßwerte nach Bodenart bei Grünlandnutzung:****Abb. 17: Basalrespiration (4h) - Verteilung der Meßwerte nach Bodenart bei Waldnutzung (Tl nicht repräsentiert):**

Abb. 18: Metabolischer Quotient(4h) - Verteilung der Meßwerte nach Bodenart bei Ackernutzung:

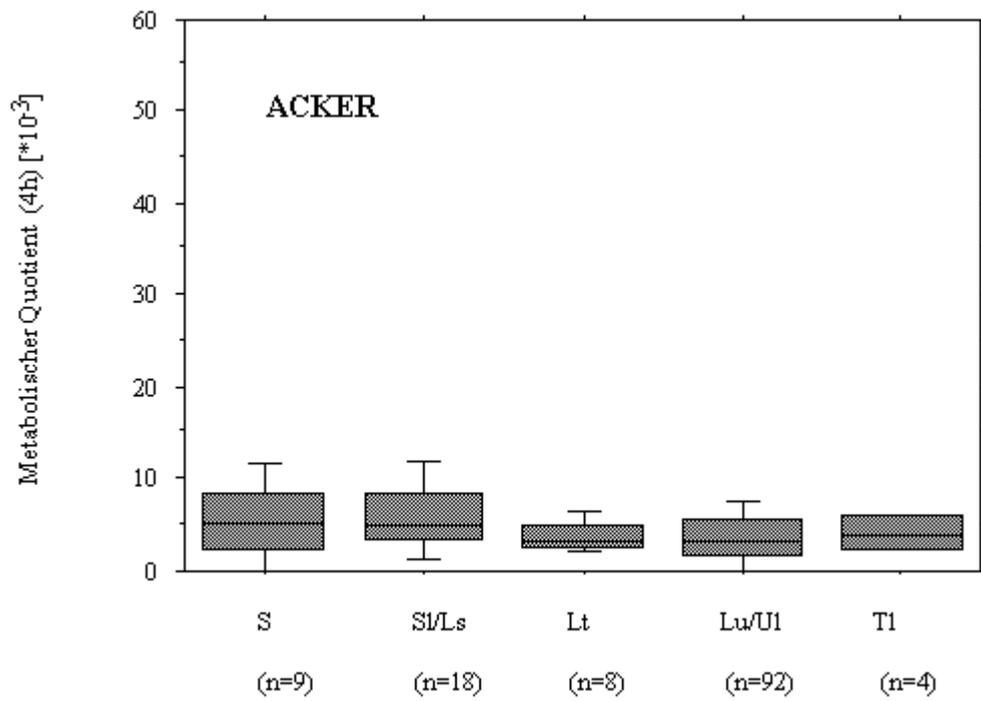


Abb. 19: Metabolischer Quotient(4h) - Verteilung der Meßwerte nach Bodenart bei Grünlandnutzung:

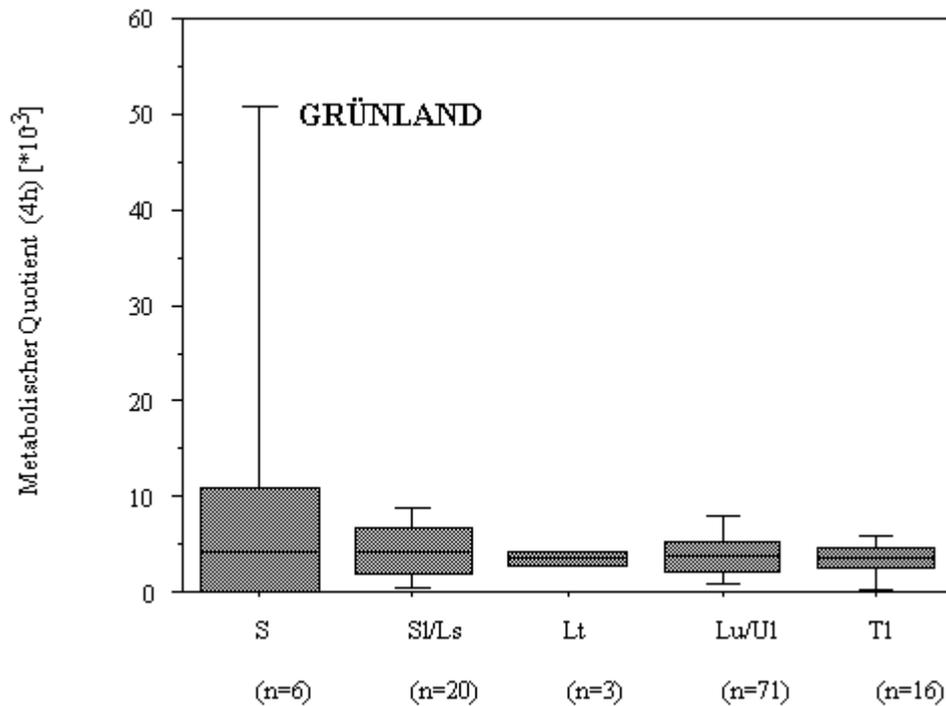


Abb. 20: Metabolischer Quotient(4h) - Verteilung der Meßwerte nach Bodenart bei Waldnutzung:

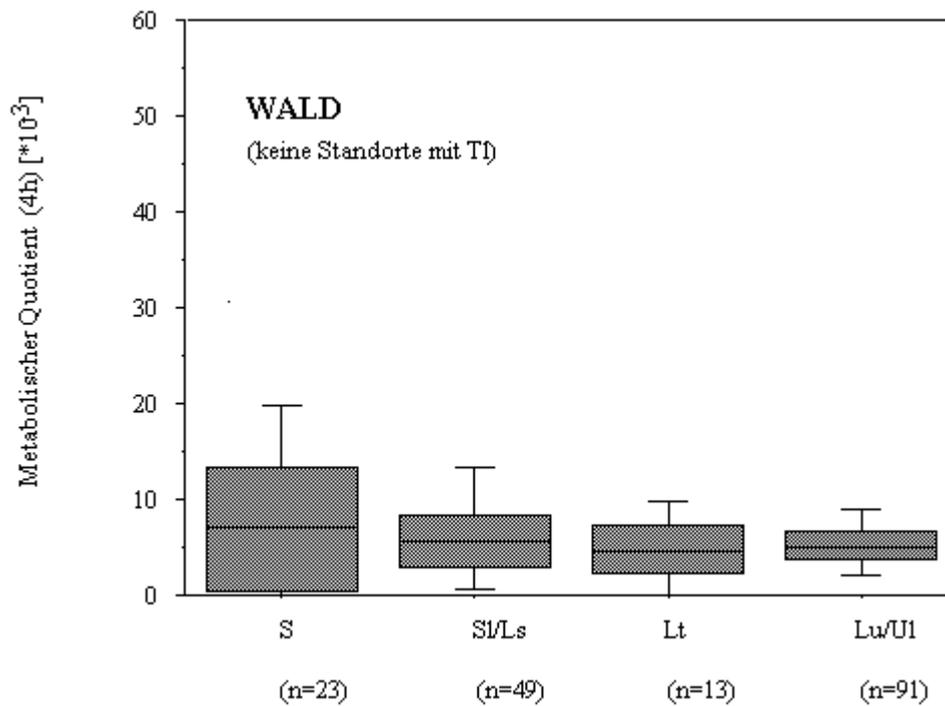


Abb. 21:  $C_{mic}/C_{org}$ - Verteilung der Meßwerte nach Bodenart bei Ackernutzung:

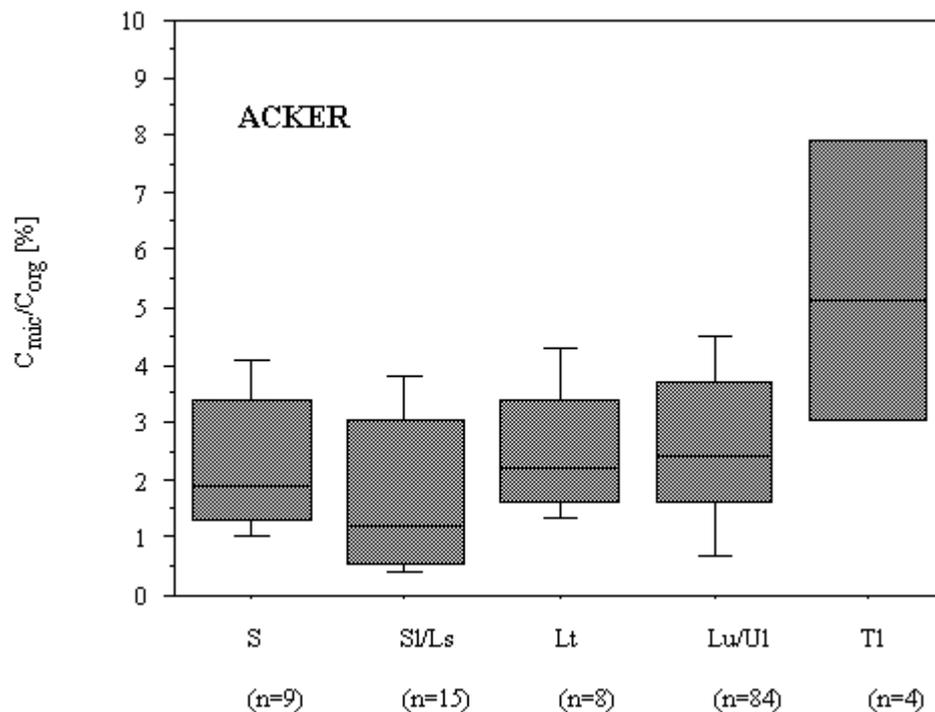
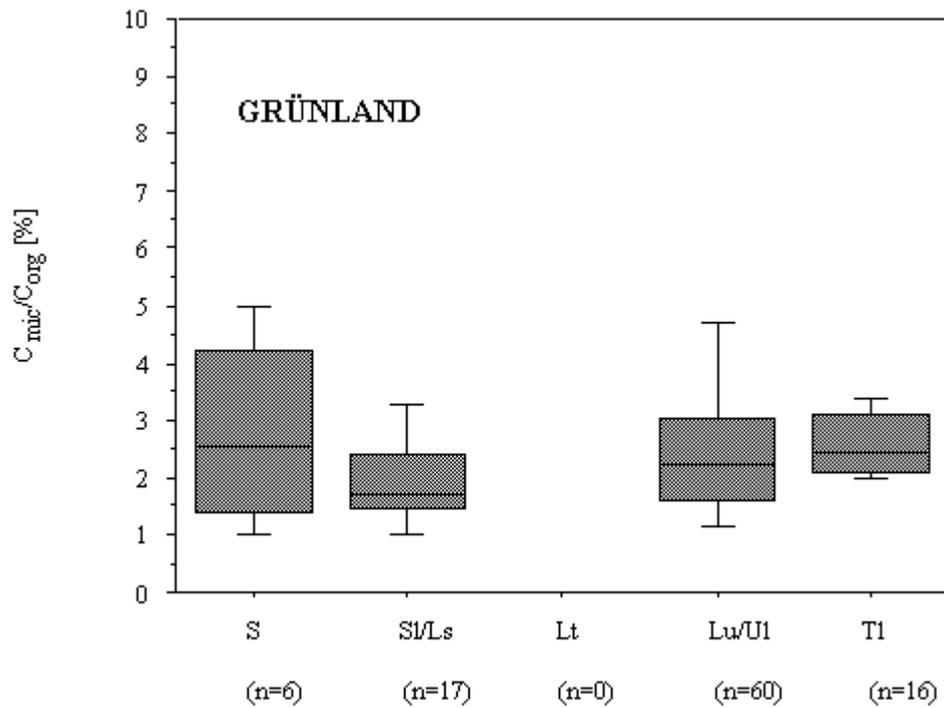
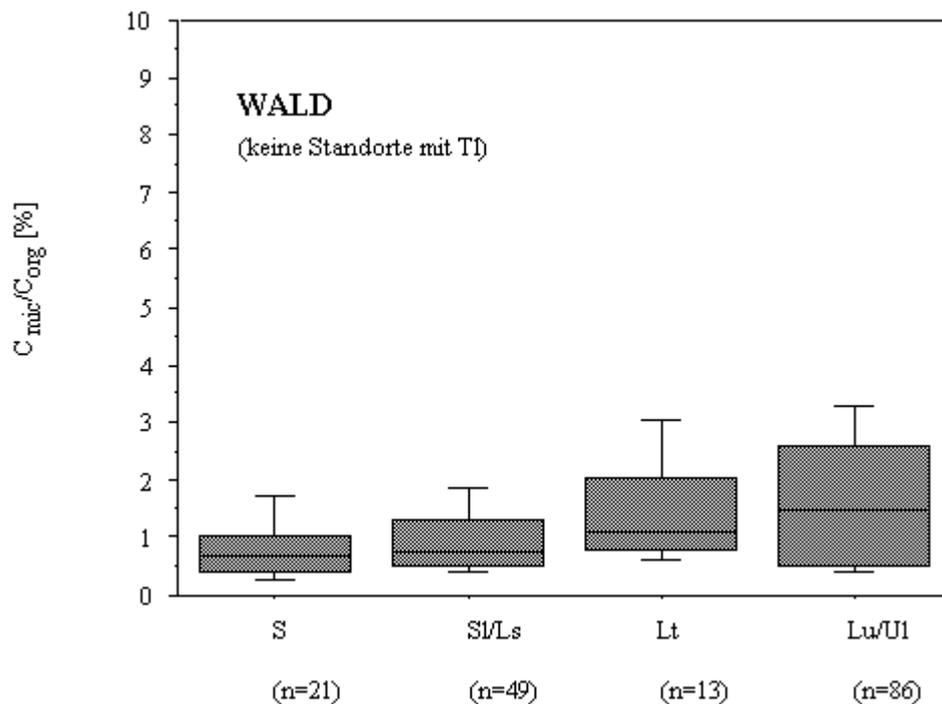


Abb. 22:  $C_{mic}/C_{org}$ - Verteilung der Meßwerte nach Bodenart bei Grünlandnutzung:Abb. 23:  $C_{mic}/C_{org}$ - Verteilung der Meßwerte nach Bodenart bei Waldnutzung (T1 nicht repräsentiert):

### 4.3 Bodentypen / Bodenformen

"Genetische Bodentypen und Bodenbiozönosen lassen sich nicht in einfacher Weise zur Deckung bringen, wenn auch zwischen den Bodenbiozönosen und Bodentypen eines bestimmten Landschaftsbereiches gesetzmäßige Zusammenhänge bestehen" (FRANZ 1975). Dieser Satz ist auch nach 20 Jahren intensiver Forschung noch gültig, wenn sich seither auch das Wissen über die Zusammenhänge erheblich vergrößert hat. Für die Bodenmikroorganismen sind nicht die Bedingungen für die Bodengenese von Bedeutung, sondern die daraus resultierenden ökologischen Bedingungen wie Temperatur, Wasserversorgung, Durchlüftung und Substratversorgung.

In einer Untersuchung von FRIEDEL (1993) konnten bei gleicher Bewirtschaftung auf zwei unterschiedlichen Bodentypen geringere Unterschiede in der mikrobiellen Aktivität festgestellt werden, als auf einer Fläche mit unterschiedlichem Austrocknungsgrad bzw. Substratverfügbarkeit.

Die mikrobiologisch untersuchten Standorte der Boden-Dauerbeobachtung lassen sich 18 verschiedenen Bodenformen zuordnen. Die häufigsten sind in Prozent (gerundet auf ganze Zahlen):

Rendzina und Braunerde-Rendzina aus Kalk und Dolomitgestein	20 %
Braunerde aus magmatischen Gesteinen	11 %
Pelosol-Braunerde bis Pelosol aus Ton und Tonmergelgestein	9 %
Parabraunerde aus Löß	8 %
Parabraunerde und Pseudogley-Parabraunerde aus Löß	8 %
Podsolige Braunerde aus Flug-, Dünen- und Terrassensand	6 %
Parabraunerde geringer Entkalkungstiefe aus sandig-kiesiger Jungmoräne	6 %

#### Rendzina und Braunerde-Rendzina aus Kalk- und Dolomitgestein

Die Rendzina zeichnet sich durch einen allgemein hohen pH-Wert und eine gute Calciumversorgung aus. Der natürliche Nährstoffvorrat wird als mittel eingestuft, die Luftkapazität als hoch. Bei guter Durchlüftung findet man hier eine rege Tätigkeit von Bodenorganismen und Mikroorganismen. Dies spiegelt sich auch in den vorliegenden Ergebnissen wider. Für die meisten Rendzina-Standorte wurde eine hohe potentielle mikrobielle Biomasse mit Werten im Bereich >90 - 150 mg C/100 g TS Boden (40 %), bzw. eine sehr hohe potentielle mikrobielle Biomasse mit Werten >150 mg C/100 g TS Boden (32 %) ermittelt. Für keinen der Standorte wurde eine mikrobielle Biomasse <30 mg C/100 g TS Boden gemessen.

#### Braunerde

Bei der Braunerde sind je nach Ausgangsgestein verschiedene Subtypen zu unterscheiden. Bei den berücksichtigten Standorten handelt es sich um Braunerden mit mittlerem bis hohem natürlichen Nährstoffvorrat. Bis auf einen einzigen Standort weisen alle Standorte dieses Bodentyps potentielle mikrobielle Biomassen >90 mg C/100 g TS auf, wobei 50 % der

Standorte im Bereich von >90 - 150 mg C/100 g TS Boden und 43 % im Bereich >150 mg C/100 g TS liegen. Für keinen der Standorte wurde eine mikrobielle Biomasse <30 mg C/100 g TS Boden gemessen.

### **Parabraunerde**

Die Parabraunerde bietet vor allem ein gutes Wasserspeichervermögen. Das Nährstoffangebot variiert je nach Ausgangsgestein zwischen mittel und hoch. Die Wasserdurchlässigkeit im gesättigten Boden und die Luftkapazität sind hoch. Bei den Parabraunerden auf Löß weisen 20 % der Standorte eine potentielle mikrobielle Biomasse <30 mg C/100 g TS Boden auf. Die Mehrheit der Standorte (80 %) liegt im Bereich >30 - 90 mg C/100 g TS Boden. Bei keinem Standort konnte eine potentielle mikrobielle Biomasse >90 mg C/100 g TS Boden gemessen werden. Parabraunerden auf sandig-kiesiger Jungmoräne weisen dagegen im Schnitt deutlich höhere potentielle mikrobielle Biomassen auf. Bei keinem Standort wurden Werte <30 mg C/100 g TS Boden gemessen, 50 % liegen im Bereich >30 - 90 mg C/100 g TS Boden, weitere 37,5 % im Bereich >90 - 150 mg C/100 g TS Boden.

### **Pseudogley-Parabraunerde**

Bei der Pseudogley-Parabraunerde wechseln sauerstoffreiche und sauerstoffarme Phasen miteinander ab, insbesondere Pseudogleye weisen temporär sauerstoffarme Bodenbereiche auf, die in Verbindung mit mikrobieller Aktivität zu reduzierenden Bedingungen führen. Eine Frühjahrsvernässung ist möglich. Natürlicher Nährstoffvorrat, Wasserdurchlässigkeit in gesättigtem Boden sind mittel und die Luftkapazität i.d.R. mittel. Bei diesem Bodentyp sind keine Standorte in den Bereichen <30 mg C/100 g TS Boden und >150 mg C/100 g Boden vertreten. Die Mehrheit der Standorte (80 %) weist potentielle mikrobielle Biomassen im Bereich >30 - 90 mg C/100 g TS.

### **Podsolige Braunerde aus Flug-, Dünen- und Terrassensand**

Bei den podsoligen Braunerden ist der natürliche Nährstoffvorrat eher gering bis mittel. Die Wasserdurchlässigkeit in gesättigtem Boden und die Luftkapazität sind mittel bis hoch. Von insgesamt 8 Standorten dieser Bodenform weisen 7 eine potentielle mikrobielle Biomasse von <30 mg C/100 g TS Boden auf. Für einen Standort (Mischwald) wurde eine potentielle mikrobielle Biomasse von 51,7 mg C/100 g TS Boden gemessen.

### **Parabraunerde geringer Entkalkungstiefe aus sandig-kiesiger Jungmoräne**

Bei Parabraunerden aus Jungmoränen sind der natürliche Nährstoffvorrat und die Wasserdurchlässigkeit im gesättigten Boden mittel bis hoch einzuschätzen. Die Luftkapazität ist hoch. Auch für diese Bodenform liegen Daten von insgesamt 8 Standorten vor. Davon weisen 4 Standorte eine potentielle mikrobielle Biomasse von <30 mg C/100 g TS Boden und 3 Standorte eine potentielle mikrobielle Biomasse von >100 - 150 mg C/100 g TS Boden auf. Für einen weiteren Standort wurde eine potentielle mikrobielle Biomasse >150 mg C/100 g TS Boden ermittelt.

## 4.4 Nährstoffe und pH-Wert

### **C<sub>org</sub>-Gehalt**

Es konnten keine Korrelationen zwischen den ausgewählten mikrobiologischen Parametern und dem C<sub>org</sub>-Gehalt festgestellt werden. Dieses Ergebnis wird durch die Aussagen von HEILMANN & BEESE (1991) bestätigt. Nach umfangreichen Untersuchungen an Acker- und Grünlandböden betrachten die Autoren eine Vorhersage der Biomasse aus dem C<sub>org</sub>-Gehalt als sehr unsicher. Für Ackerflächen ließ sich die Biomasse beispielsweise nur zu 13 % aus dem C<sub>org</sub>-Gehalt erklären.

Nach RÖMBKE et al. (1996) gilt der lineare Zusammenhang zwischen organisch gebundenem Kohlenstoff und mikrobieller Biomasse nicht mehr bei C<sub>org</sub>-Gehalten >4 %. Die BMN-Standorte weisen Gehalte an organisch gebundenem Kohlenstoff zwischen 0,5 % und 28,7 % auf. Der arithmetische Mittelwert beträgt 5,7 %, der Median 4,4 %. Die relativ hohen Gehalte an organischer Substanz könnten erklären, warum sich für die BMN-Standorte keine Korrelationen zwischen C<sub>org</sub>-Gehalt und bodenbiologischen Parametern nachweisen ließen.

Von anderen Autoren beschriebene deutliche Korrelationen zwischen mikrobieller Biomasse und C<sub>org</sub>-Gehalt erklären sich aus der Verwendung großer Bodenkollektive unterschiedlicher Herkunft mit meist nicht normalverteilten Grundgesamtheiten und wahrscheinlich wesentlich geringeren C<sub>org</sub>-Gehalten.

### **N<sub>ges</sub>-Gehalt**

Auch für den N<sub>ges</sub>- Gehalt konnten keine Korrelationen zu den bodenbiologischen Parametern festgestellt werden. Die an den BMN-Standorten gemessenen Werte liegen im Bereich von 0,05 % bis 11,4 %. Der Mittelwert beträgt 0,4 %, der Median 0,33 %.

### **pH-Wert**

In bezug auf den pH-Wert haben die meisten Bodenmikroorganismen ihr Optimum im neutralen Bereich, wobei Pilze wesentlich säuretolanter sind als Bakterien. Die Meßwerte für die BMN-Standorte liegen im Bereich von pH 2,8 - 7,5. Der Mittelwert und der Median betragen jeweils pH 4,8. Die Zusammensetzung der Mikroorganismengesellschaft eines Standortes kann sich je nach pH-Wert ändern, ohne daß sich dies in der Stoffwechselaktivität bzw. in der Höhe der mikrobiellen Biomasse ablesen läßt. Bei einer pH-Wert-Erhöhung treten beispielsweise die Pilze in den Hintergrund, während sich die Bakterien jetzt ungestört vermehren und die Aktivität der Pilze übernehmen können.

## 4.5 Klima und jahreszeitlicher Aspekt

Die mikrobielle Aktivität eines Standortes kann im Jahresverlauf in Abhängigkeit von den Standortfaktoren Temperatur, Bodenwassergehalt und C-Verfügbarkeit mehr oder weniger stark variieren. Der Zeitpunkt der Probennahme spielt daher bei der Beurteilung eines Standortes eine wichtige Rolle. Um eine unterschiedliche Beeinflussung der mikrobiellen Biomasse durch jahreszeitlich bedingte Witterungsbedingungen und Vegetationsänderungen zu vermeiden, sollte die Probennahme stets zu vergleichbaren Terminen stattfinden.

Zwar können grundsätzlich das ganze Jahr über Proben gezogen werden, um die potentielle mikrobielle Biomasse oder Basalatmung zu bestimmen (MÜLLER 1992), es gibt jedoch Zeiten, die für eine Probennahme weniger geeignet sind; im Zeitraum zwischen Dezember und Februar sind Böden zeitweise oder gebietsweise gefroren oder extrem naß und in der Zeit zwischen Juli und September sind die Böden meist sehr trocken.

Auf landwirtschaftlich genutzten Flächen erweist sich zudem eine Probennahme im Spätsommer aufgrund erntebedingter Eingriffe, die kurzfristig stark in das ökologische Gleichgewicht der Mikroorganismenpopulationen eingreifen, als ungünstig. Im Frühjahr herrscht zwar für die Mikroorganismen meist ein gutes Gleichgewichtsverhältnis zwischen Temperatur und Wassergehalt des Bodens, dafür kann es aber durch das Pflanzenwachstum und die damit verbundenen schwankenden Standortbedingungen, gerade in bezug auf Wasser-, Temperatur- und auch die Luftverhältnisse des Bodens oft zu stark variierenden Ergebnissen kommen. Nach KAISER (1993) empfiehlt sich als günstigste Probennahmezeit der Herbst von Ende September bis Mitte November. Auf einen anderen Vorschlag der Sonderarbeitsgruppe Bodenschutz, die das zeitige Frühjahr (Februar / März) zur Probennahme empfiehlt, soll auch noch hingewiesen werden.

Die ausgewählten BDF des BMN Baden-Württemberg wurden insgesamt dreimal beprobt (Herbst 1991, Frühjahr und Herbst 1992). Die jahreszeitlichen Schwankungen in bezug auf die potentielle mikrobielle Biomasse an den 129 Dauerbeobachtungsflächen zeigen mit Unterschieden von 1,2 % bis 106,6 % sehr geringe bis große Differenzen. Bei lediglich 14,7 % der Standorte liegen die Schwankungen zwischen den drei Probennahmen unter 10 %. Die meisten Standorte (27,9 %) liegen in einem Schwankungsbereich von 20 - 30 %. Schwankungen über 50 % weisen lediglich 12,4 % der Standorte auf. Es konnte keine Beziehung zwischen dem Ausmaß der jahreszeitlichen Schwankung und den Parametern Nutzung, Bodenart, Bodenform, Höhe über NN oder Gehalt an organischem Kohlenstoff festgestellt werden.

## **4.6 Schadstoffwirkung**

Aus der Literatur sind durch eine verminderte Effizienz des mikrobiellen Stoffwechsels erhöhte Basalatmungsraten und hohe metabolische Quotienten bei Schwermetallbelastung bekannt (MATEJKO et al. 1995).

Zwischen den bodenbiologischen Parametern und den Gesamtgehalten, sowie den mobilen Gehalten der im Rahmen der Boden-Dauerbeobachtung untersuchten Schwermetalle konnte kein Zusammenhang festgestellt werden. Dies war auch nicht zu erwarten, da die Standorte so ausgewählt waren, daß sie die ubiquitäre Hintergrundgehalte der Böden Baden-Württembergs für die Hauptnutzungen Acker, Grünland und Wald repräsentieren. Es konnte somit davon ausgegangen werden, daß diese Flächen keine Schwermetallbelastungen aufweisen und daher auch keine Beeinträchtigung bodenbiologischer Parameter zu erwarten ist.

## 5. Literatur

### zu Teil A:

- /1/ ARBEITSGRUPPE BODENKUNDE (1982): Bodenkundliche Kartieranleitung. 3. verbesserte und erweiterte Auflage, 331 S.; Hannover.
- /2/ BALLSCHMITER, K. & M. ZELL (1980): Analysis of polychlorinated biphenyls (PCB) by Glas Capillary Gas Chromatography. Fresenius Z. Anal. Chem. 302, S. 20-31.
- /3/ BUNDESGESETZBLATT (BGBl.1 1986): DDT-Gesetz vom 7.8.1972. S.1385, zuletzt geändert am 15.09.1986, (BGBl.1, S. 1505).
- /4/ BUNDESGESETZBLATT (BGBl.1 1994a): Chemikalien-Verbotsverordnung i.d.F. vom 06.07.1994, S. 1493f.
- /5/ BUNDESGESETZBLATT (BGBl.1 1994b): Pflanzenschutz-Anwendungsverordnung i.d.F. vom 25.7.1994.
- /6/ BUNDESGESETZBLATT (BGBl.1 1994c): Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) i.d.F. vom 19.9.1994, S. 2557f.
- /7/ BUA (Beratergremium für umweltrelevante Altstoffe) (1986): Pentachlorphenol - BUA-Stoffbericht 3. VCH Verlagsgesellschaft; Weinheim.
- /8/ BUA (Beratergremium für umweltrelevante Altstoffe) (1994): Hexachlorbenzol - BUA-Stoffbericht 119. VCH Verlagsgesellschaft; Weinheim.
- /9/ ECKSTEIN, B. (1993): Organische Schadstoffe in Böden Baden-Württembergs - Bestandsaufnahme als Grundlage einer zukünftigen Bewertung. VDLUFA Schriftenreihe 37, S. 551-554.
- /10/ FLEISCHMANN, S. & B.-M. WILKE (1991): PAKs in Straßenrandböden. Mitteilgn Dtsch. Bodenkdl. Gesellsch., 63 S. 99-102.
- /11/ FRITZ, W. (1983): Modellversuche zum Übergang von Benzo(a)pyren aus dem Boden in Erntegüter. Z. ges. Hyg. 29, S. 370-373.
- /12/ HALLENBACH, U., EVERT, M., STRUBEL, V. & M. BAUMGÄRTNER (1993): Fingerprintanalyse von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen; Ecoinforma 2, S. 315-322.
- /13/ KOCH, R. (1989): Umweltchemikalien.-VCH Verlagsgesellschaft; Weinheim.
- /14/ KOHL, R., NÖLTNER, T. & M. SCHÖTTLE (1993): Erfassung und Überwachung des Zustands der Böden in Baden-Württemberg durch Boden-Dauerbeobachtungsflächen. Mitteilgn Dtsch. Bodenkdl. Gesellsch. 72, S. 977-980.
- /15/ LAHMANN, E., STEINBACH, J., ZHAO, L.Zh., SIGGELKOW, W. & B. SEIFERT (1984): Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe in der Stadtluft von Berlin (West) - WaBoLu-Hefte 1/1984); Berlin.
- /16/ LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ (1988): Bodenmeßnetz Baden-Württemberg - Zwischenbericht 1988; Karlsruhe.
- /17/ LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ (1993): Bodendauerbeobachtung in Baden-Württemberg. Schwermetalle, Arsen, Organochlorverbindungen - Materialien zum Bodenschutz Band 2; Karlsruhe.
- /18/ LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ (1994): Kompendium Stoffdatenblätter - Zusammenstellung spezifischer Kenndaten zu altlastentypischen Substanzen. Texte und Berichte zur Altlastenbearbeitung Band 14/94; Karlsruhe.

- 
- /19/ RIPPEN, G. (1990): Handbuch Umwelt-Chemikalien: Stoffdaten, Prüfverfahren, Vorschriften.- Landsberg / Lech: ecomed.- Loseblattsammlung, Stand 1994.
- /20/ SAG Sonderarbeitsgruppe "Informationsgrundlagen Bodenschutz" (1991): Konzeption zur Einrichtung von Boden-Dauerbeobachtungsflächen. Arbeitshefte zum Bodenschutz 1, 56 S.; München.
- /21/ SCHÖNWIESE, C. D. (1985): Praktische Statistik für Meteorologen und Geowissenschaftler. Borntraeger; Berlin Stuttgart.
- /22/ UMWELTMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG (1991): Verkehrsbedingte Immissionen in strassennahe Böden; Heft 19, Luft-Boden-Abfall; Stuttgart.
- /23/ UMWELTMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG [Hrsg.] (1992): Umweltdaten 91/92; Stuttgart.
- /24/ UM & SM BADEN-WÜRTTEMBERG (1993): Gemeinsame Verwaltungsvorschrift des Umweltministeriums und des Ministeriums für Arbeit, Gesundheit und Sozialordnung Baden-Württemberg über Orientierungswerte für die Bearbeitung von Altlasten und Schadensfällen. Gemeinsames Amtsblatt des Landes Baden-Württemberg vom 30.11.1993 Nr.33, S. 1115-1123; Stuttgart.

### Zu Teil B:

- /1/ ANDERSON, J. P. E. & K. H. DOMSCH (1978): A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soil. Soil Biol. Biochem. 10. Oxford. S. 215-221
- /2/ ANDERSON, T. H. & K. H. DOMSCH (1985): Determination of ecophysiological maintenance carbon requirements of soil microorganisms in a dormant state. Biol. Fert. Soils 1. Oxford S. 81-89
- /3/ BECK, Th. (1984): Mikrobiologische und chemische Charakterisierung landwirtschaftlich genutzter Böden. Zeitschr. Pflanzenernährung Bodenkunde 147. S. 456-466
- /4/ BECK, Th. (1988): Einfluß langjährig unterschiedlicher Bewirtschaftungsweisen auf bodenmikrobiologische Eigenschaften VDLUFA-Schriftenreihe 27. S. 147 ff
- /5/ BECK, Th. (1991): Einsatzmöglichkeiten der substratinduzierten Atmungsmessung bei bodenmikrobiologischen Untersuchungen. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 66. S. 459-462
- /6/ FRANZ, H. (1975): Geschichte der Bodenzologie und ihre Einbeziehung in die bodenkundliche Forschung - in: VANEK, J. (ed.): Progress in soil zoology. Proc. 5. Int. Coll. Soil Zool., Academia, Prag. S. 13-23
- /7/ FRIEDEL, J. K. (1993): Einfluß von Bewirtschaftungsmaßnahmen auf mikrobielle Eigenschaften im C- und N-Kreislauf von Ackerböden. Hohenheimer Bodenkundliche Hefte, Band 11
- /8/ GRIMM, J. & S. WIRTH (1995): Bodendauerbeobachtung in Brandenburg - Untersuchungen zur mikrobiellen Biomasse. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 76. S. 605-608
- /9/ HEILMANN, B. & F. BEESE (1991): Variabilität der mikrobiellen Aktivität und Biomasse eines großen Bodenkollektivs in Abhängigkeit von verschiedenen Standortparametern. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 66. S. 495-498
- /10/ KAISER, E. - A., MUELLER, T., HEINEMEYER, O., & R. G. JOERGENSEN (1993): Aspekte der mikrobiellen Biomasse im Zeitgang des Jahres Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 71. S. 343-346

- /11/ LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ (1988): Bodenmeßnetz Baden-Württemberg - Zwischenbericht 1988; Karlsruhe
- /12/ LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ (1993): Bodendauerbeobachtung in Baden-Württemberg. Schwermetalle, Arsen, Organochlorverbindungen. Materialien zum Bodenschutz Bd 2, Karlsruhe
- /13/ MATEJKO, C., BACHMANN U. & E. - M. KLIMANEK (1995): Vergleich der Bioindikationsfunktion von Biotests mit mikrobiologischen Aktivitätsparametern bei unterschiedlich kontaminierten Böden. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 75. S. 87-90
- /14/ MUELLER, T. (1992): Zeitgang der mikrobiellen Biomasse in der Ackerkrume einer mitteleuropäischen Löß-Parabraunerde - Eine Ursache für die Mineralisation und Immobilisation des Bodenstickstoffs ?, Dissertation, Göttingen
- /15/ RÖMBKE, J., BECK, L., FÖRSTER, B., FRUEND, H.-C., HORAK, F., RUF, A., ROSCICZWESKI, C., SCHEURIG, M., & S. WOAS (1996): Bodenfauna und Umwelt. Literaturstudie im Auftrag der Landesanstalt für Umweltschutz - herausgegeben in der Reihe Texte und Berichte zum Bodenschutz der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, 1997
- /16/ SCHLICHTING, E. & H. P. BLUME (1966): Bodenkundliches Praktikum. Hamburg
- /17/ SCHLEUSS, U. & H. P. BLUME (1991): Die mikrobielle Biomasse von Oberböden einer Norddeutschen Moränenlandschaft - in: Abhängigkeit von ökologischen Bodenkennwerten und Nutzung Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 66. S. 573-576
- /18/ SAG (Sonderarbeitsgruppe Informationsgrundlagen Bodenschutz) Arbeitsheft Nr. 1, 1991: Boden-Dauerbeobachtungsflächen. München. 56 S.

## 6. Anhang

**Tab. 8: Bodenmikrobiologische Parameter und Nutzung Statistische Überprüfung der Unterschiede:**

<b>Parameter</b>	<b>Nutzungsvergleich</b>	<b>Signifikanzniveau</b>
Potentielle mikrobielle Biomasse	Acker/Nadelwald	0,0700
	<b>Acker/Grünland</b>	<b>&lt;0,001</b>
	Grünland/Nadelwald	0,0020
Basalrespiration 4 h	<b>Acker/Nadelwald</b>	<b>&lt;0,001</b>
	<b>Acker/Grünland</b>	<b>&lt;0,001</b>
	Grünland/Nadelwald	0,3700
Metabolischer Quotient 4 h [* 0,001]	<b>Acker/Nadelwald</b>	<b>&lt;0,001</b>
	Acker/Grünland	0,1410
	Grünland/Nadelwald	0,0009
Basalrespiration 20 h	<b>Acker/Nadelwald</b>	<b>0,0010</b>
	<b>Acker/Grünland</b>	<b>&lt;0,001</b>
	Grünland/Nadelwald	0,6079
Metabolischer Quotient 20 h [* 0,001]	<b>Acker/Nadelwald</b>	<b>&lt;0,001</b>
	Acker/Grünland	0,4936
	<b>Grünland/Nadelwald</b>	<b>&lt;0,001</b>
Anteil von mikrobiell gebundenem Kohlenstoff am Gesamtkohlenstoff (Cmic/Corg)	<b>Acker/Nadelwald</b>	<b>&lt;0,001</b>
	Acker/Grünland	0,1406
	<b>Grünland/Nadelwald</b>	<b>&lt;0,001</b>

**Tab. 9a: Bodenmikrobiologische Parameter-Einzelmessungen  
Herbst 91:**

Standort	Nutzung	TS [%]	Potentielle mikro- bielle Biomasse [mg C/100 g TS]	Basalrespiration 4h [mg CO <sub>2</sub> /h/ 100 g TS]	Metabolischer Quotient (4h) [* 0,001]	Basalrespiration 20h [mg CO <sub>2</sub> /h/ 100 g TS]	Metabolischer Quotient 20h [* 0,001]	Cmic/ Corg[%]
641601	10	92,3	25,6	0,35	13,5	**	**	3,6
641701	50	87,3	31,1	0,34	10,9	**	**	0,7
642101	50	79,9	37,2	0,12	3,1	**	**	0,8
651801	50	76,5	30,9	0,60	19,3	**	**	0,6
652001	20	60,3	115,4	0,00	*	**	**	*
652101	10	*	*	*	*	**	**	*
652401	20	71,3	115,4	0,00	0,0	**	**	1,9
652402	10	*	*	*	*	**	**	*
661601	10	85	42,2	0,29	7,0	**	**	4,4
661701	50	86,1	23,4	0,34	14,7	**	**	1,5
661703	20	95,9	7,3	0,40	55,3	**	**	1,4
662001	20	71,3	29,3	0,32	*	**	**	*
662301	10	*	*	*	*	**	**	*
662601	50	*	*	*	*	**	**	*
671701	20	92,5	29,3	0,32	10,9	**	**	5,1
671702	10	91,6	11,5	0,32	28,2	**	**	*
671703	50	87,8	19,9	0,42	20,8	**	**	0,7
672101	10	*	*	*	*	**	**	*
672201	50	77,6	28,2	0,23	8,3	**	**	0,7
672301	50	75,6	59,0	0,24	4,1	**	**	1,9
681701	10	89,8	12,7	0,00	0,0	**	**	0,8
681801	10	82,5	55,2	0,30	5,5	**	**	5,4
681901	50	83,8	31,3	0,43	13,9	**	**	1,3
682301	20	73,8	85,4	0,87	10,1	**	**	2,2
682401	50	80,1	75,4	0,46	6,0	**	**	1,8
682601	20	93,4	145,2	0,66	4,5	**	**	2,0
691601	50	86,6	24,2	0,00	0,0	**	**	0,4
691801	50	76,4	33,2	0,00	0,0	**	**	0,5
692101	10	82,5	73,2	0,28	3,8	**	**	4,6
692501	50	73,1	95,8	1,24	13,0	**	**	1,8
692601	50	82,1	40,5	0,06	1,4	**	**	1,3
701601	10	87,3	22,1	0,00	0,0	**	**	1,9
702101	50	75	53,7	0,61	11,3	**	**	*
702301	50	81,8	31,0	0,03	0,9	**	**	2,0
702401	50	61,3	97,1	1,19	12,3	**	**	1,7
702601	10	*	*	*	*	**	**	*
702602	10	*	*	*	*	**	**	*
702603	20	74,4	103,5	0,24	2,4	**	**	3,3
702604	10	*	*	*	*	**	**	*
702605	10	74,5	63,4	0,00	0,0	**	**	1,8
702606	20	76,3	105,5	0,00	0,0	**	**	2,2
702701	20	*	*	*	*	**	**	*
711701	10	86,5	45,5	0,03	0,6	**	**	2,0

\* keine Messung wegen ungünstiger Bodenverhältnisse  
\*\* keine Untersuchung durchgeführt

**Tab. 9b: Bodenmikrobiologische Parameter-Einzelmessungen  
Herbst 91-Fortsetzung:**

Standort	Nutzung	TS [%]	Potentielle mikro- bielle Biomasse [mg C/100 g TS]	Basalrespiration 4h [mg CO <sub>2</sub> /h/ 100 g TS]	Metabolischer Quotient (4h) [* 0,001]	Basalrespiration 20h [mg CO <sub>2</sub> /h/ 100 g TS]	Metabolischer Quotient 20h [* 0,001]	Cmic/ Corg[%]
711702	20	84,2	71,7	0,27	3,8	**	**	2,4
712001	10	80,8	79,1	0,45	5,7	**	**	*
712201	10	81,8	47,1	0,31	6,5	**	**	*
712701	50	75,6	46,3	0,42	9,1	**	**	0,8
712702	50	75,1	64,6	0,87	13,5	**	**	1,0
721501	50	72	86,3	0,70	8,1	**	**	1,0
721701	50	76,2	54,0	0,09	1,7	**	**	0,9
721702	50	80,2	37,1	0,17	4,6	**	**	0,6
721801	50	83,5	46,1	0,41	8,9	**	**	0,6
721802	50	88	38,8	0,49	12,7	**	**	0,8
722101	50	80,9	63,8	0,00	0,0	**	**	1,7
722102	10	*	*	*	*	**	**	*
722103	20	*	*	*	*	**	**	*
722104	20	77,5	76,8	0,38	5,0	**	**	2,5
722401	10	85,5	57,3	0,05	0,9	**	**	*
722601	50	58,5	89,7	0,43	4,8	**	**	2,6
722602	50	79	59,8	0,52	8,7	**	**	0,2
722603	20	67,8	90,3	0,13	1,5	**	**	1,5
722604	10	76,2	58,6	0,03	0,5	**	**	*
722605	20	70,5	120,4	0,10	0,8	**	**	*
722701	50	83	34,8	0,00	0,0	**	**	0,5
731401	10	*	*	*	*	**	**	*
731402	10	79,1	33,2	0,00	0,0	**	**	2,4
731501	50	37	255,4	2,09	8,2	**	**	*
731901	20	72,2	167,2	1,51	9,1	**	**	1,6
731902	10	70,9	156,7	0,84	5,3	**	**	4,3
731903	20	75,2	116,4	0,48	4,2	**	**	1,8
731904	50	73	171,4	1,06	6,2	**	**	3,0
732101	10	72,8	134,6	0,44	3,3	**	**	2,4
732102	10	*	*	*	*	**	**	*
732201	10	*	*	*	*	**	**	*
732301	10	*	*	*	*	**	**	*
741201	50	79,7	103,2	0,00	0,0	**	**	6,3
741501	50	57,6	103,3	0,00	0,0	**	**	0,4
741701	20	75,1	67,6	0,21	3,1	**	**	0,5
741702	50	80,2	94,9	0,06	0,6	**	**	2,4
742001	10	*	*	*	*	**	**	*
742002	50	*	*	*	*	**	**	*
742003	20	73,7	40,4	0,15	3,8	**	**	0,6
742101	20	76,9	91,0	0,27	2,9	**	**	2,9
742501	50	70,2	154,6	0,29	1,9	**	**	2,7
742601	10	82	41,6	0,00	0,0	**	**	0,6
751301	10	84	32,3	0,00	0,0	**	**	3,9

\* keine Messung wegen ungünstiger Bodenverhältnisse

\*\* keine Untersuchung durchgeführt

**Tab. 9c: Bodenmikrobiologische Parameter-Einzelmessungen  
Herbst 91-Fortsetzung:**

Standort	Nutzung	TS [%]	Potentielle mikro- bielle Biomasse [mg C/100 g TS]	Basalrespiration 4h [mg CO <sub>2</sub> /h/ 100 g TS]	Metabolischer Quotient (4h) [* 0,001]	Basalrespiration 20h [mg CO <sub>2</sub> /h/ 100 g TS]	Metabolischer Quotient 20h [* 0,001]	Cmic/ Corg[%]
751901	10	91,9	54,3	0,40	7,3	**	**	3,3
752101	20	80	64,5	0,00	0,0	**	**	1,3
752102	50	75,8	93,5	0,00	0,0	**	**	2,5
752103	20	68,6	79,1	0,73	9,2	**	**	2,5
752104	20	73,5	222,6	0,19	0,8	**	**	4,6
752105	10	78,5	95,9	0,09	0,9	**	**	1,0
752106	10	82	60,8	0,00	0,0	**	**	2,8
752107	20	71,8	113,3	0,26	2,2	**	**	1,6
752108	20	71,2	148,7	0,06	0,4	**	**	3,4
752109	20	77,8	95,6	0,32	3,4	**	**	3,1
752110	10	76,2	93,0	0,15	1,6	**	**	2,3
752111	50	81,2	44,2	0,00	0,0	**	**	0,6
761401	50	40,6	237,1	1,35	5,7	**	**	0,9
771501	50	75,6	50,9	0,42	8,3	**	**	0,6
771601	10	82,5	108,2	0,64	5,9	**	**	1,6
771801	20	79,5	81,4	0,29	3,5	**	**	2,2
771802	10	76,8	135,6	0,71	5,3	**	**	2,0
771803	20	86,5	64,7	0,24	3,7	**	**	2,5
771901	10	66	270,5	0,59	2,2	**	**	2,6
772201	50	78,8	82,2	0,00	0,0	**	**	2,6
772401	50	74,5	37,6	0,06	1,6	**	**	0,3
781601	10	57,6	91,1	1,15	12,6	**	**	0,9
781801	20	77,2	78,2	0,00	0,0	**	**	1,4
781901	50	80	111,6	0,37	3,3	**	**	2,6
782201	50	78,8	23,2	0,00	0,0	**	**	0,2
782202	50	81,8	40,6	0,11	2,7	**	**	0,5
782203	10	78,5	50,2	0,26	5,2	**	**	0,7
782204	10	88,5	69,2	0,00	0,0	**	**	4,5
782205	10	83,5	85,9	0,00	0,0	**	**	2,3
791301	20	77,8	38,2	0,00	0,0	**	**	1,5
791302	20	71,3	114,1	0,00	0,0	**	**	2,5
791401	20	71,8	110,9	0,73	6,6	**	**	1,7
791601	50	72,8	122,6	0,31	2,6	**	**	2,0
791701	10	78,2	137,6	0,44	3,2	**	**	1,5
792101	20	88,8	105,4	0,00	0,0	**	**	6,8
792102	50	85,8	82,6	0,11	1,3	**	**	2,3
792501	50	67,5	55,7	0,17	3,0	**	**	0,4
792502	50	60	97,7	0,38	3,9	**	**	0,6
792601	50	51,8	82,8	0,66	8,0	**	**	0,6
801201	50	65,4	76,3	0,42	5,5	**	**	0,7
801301	20	63	133,3	0,25	1,9	**	**	1,3
801302	20	67	237,7	0,78	3,3	**	**	2,2
801303	20	61,5	183,5	0,96	5,2	**	**	1,8

\* keine Messung wegen ungünstiger Bodenverhältnisse

\*\* keine Untersuchung durchgeführt

**Tab. 9d: Bodenmikrobiologische Parameter-Einzelmessungen  
Herbst 91-Fortsetzung:**

Standort	Nutzung	TS [%]	Potentielle mikro- bielle Biomasse (mg C/100 g TS)	Basalrespiration 4h [mg CO <sub>2</sub> /h/ 100 g TS]	Metabolischer Quotient (4h) [* 0,001]	Basalrespiration 20h [mg CO <sub>2</sub> /h/ 100 g TS]	Metabolischer Quotient 20h [* 0,001]	Cmic/ Corg[%]
801304	20	78	55,0	0,00	0,0	**	**	*
802301	10	77,3	105,3	0,59	5,6	**	**	4,4
802302	20	79,5	58,3	0,00	0,0	**	**	2,5
811301	50	67,6	90,6	0,40	4,5	**	**	1,3
811401	50	54	218,8	1,35	6,2	**	**	2,0
812401	50	49	112,5	0,70	6,2	**	**	0,5
821101	10	77,5	54,2	0,32	6,0	**	**	2,0
821102	50	79,7	37,3	0,00	0,0	**	**	3,0
821401	50	56,4	173,8	1,05	6,0	**	**	1,0
821402	50	70,4	70,8	0,19	2,7	**	**	0,8
821403	20	70	100,0	0,42	4,2	**	**	0,7
821404	50	73,4	159,7	0,25	1,6	**	**	1,9
821601	20	74,1	230,3	1,35	5,9	**	**	2,1
821801	50	74	141,9	0,18	1,3	**	**	3,0
821901	10	76,8	35,3	0,12	3,4	**	**	0,7
822001	20	*	*	*	*	**	**	*
822301	10	74,5	12,9	0,46	35,5	**	**	0,3
822302	50	82,2	99,0	0,03	0,3	**	**	4,6
822601	10	59	72,7	0,39	5,3	**	**	0,4
832301	10	87,2	28,1	0,00	0,0	**	**	1,6
832302	50	83,8	63,7	0,00	0,0	**	**	2,9
841101	50	81,3	38,7	0,00	0,0	**	**	1,3
841102	20	65	161,5	0,00	0,0	**	**	2,1
841201	10	68,2	160,4	0,03	0,2	**	**	2,2

\* keine Messung wegen ungünstiger Bodenverhältnisse  
 \*\* keine Untersuchung durchgeführt

**Tab. 10a: Bodenmikrobiologische Parameter-Einzelmessungen  
Frühjahr 92:**

Standort	Nutzung	TS [%]	Potentielle mikro- bielle Biomasse [mg C/100 g TS]	Basalrespiration 4h [mg CO <sub>2</sub> /h/ 100 g TS]	Metabolischer Quotient (4h) [* 0,001]	Basalrespiration 20h [mg CO <sub>2</sub> /h/ 100 g TS]	Metabolischer Quotient 20h [* 0,001]	Cmic/ Corg[%]
641601	10	85,6	23,5	0,11	4,5	0,14	5,9	3,3
641701	50	80,0	10,9	0,00	0,0	0,06	5,7	0,3
642101	50	78,8	26,6	0,17	6,5	0,16	6,1	0,6
651801	50	78,8	17,8	0,14	8,1	0,14	7,8	0,3
652001	20	61,9	149,8	0,70	4,7	0,65	4,3	*
652101	10	85,9	44,8	0,13	3,0	0,13	3,0	3,0
652401	20	73,8	148,2	0,52	3,5	0,47	3,2	2,4
652402	10	84,3	70,6	0,22	3,1	0,21	2,9	2,1
661601	10	85,0	26,8	0,09	0,0	0,10	3,6	2,8
661701	50	86,0	15,3	0,09	0,0	0,06	3,8	1,0
661703	20	87,7	12,0	0,00	0,0	0,07	6,1	2,2
662001	20	70,4	165,3	0,71	4,3	0,60	3,6	*
662301	10	83,7	41,8	0,08	2,0	0,11	2,6	3,6
662601	50	82,9	29,6	0,19	6,5	0,20	6,9	*
671701	20	87,0	17,1	0,03	1,5	0,10	6,1	2,9
671702	10	88,0	23,9	0,10	4,3	0,11	4,8	*
671703	50	80,7	10,8	0,00	0,0	0,06	5,7	0,4
672101	10	84,9	49,5	0,24	4,9	0,33	6,7	4,1
672201	50	78,0	16,8	0,06	3,5	0,11	6,6	0,4
672301	50	74,8	45,6	0,30	6,7	0,21	4,7	1,5
681701	10	87,2	20,1	0,10	5,2	0,08	3,9	1,3
681801	10	86,7	38,4	0,05	1,4	0,12	3,0	3,8
681901	50	78,6	13,4	0,03	2,2	0,09	6,9	0,6
682301	20	75,2	71,0	0,36	5,1	0,30	4,2	1,8
682401	50	72,2	63,0	0,35	5,5	0,30	4,7	1,5
682601	20	70,2	159,5	0,39	2,4	0,44	2,8	2,2
691601	50	83,7	14,6	0,05	3,7	0,10	7,1	0,2
691801	50	75,1	19,8	0,12	6,1	0,14	7,0	0,3
692101	10	85,5	58,3	0,08	1,4	0,16	2,7	3,7
692501	50	75,3	82,5	0,51	6,2	0,45	5,4	1,5
692601	50	81,1	11,9	0,06	4,7	0,08	6,6	0,4
701601	10	85,9	19,4	0,13	6,9	0,19	9,6	1,7
702101	50	80,7	19,4	0,06	2,9	0,14	7,3	*
702301	50	83,8	17,3	0,09	0,0	0,11	6,3	1,1
702401	50	80,1	21,8	0,06	2,6	0,18	8,3	0,4
702601	10	84,2	50,9	0,19	3,7	0,17	3,4	3,6
702602	10	81,1	101,4	0,79	7,8	0,57	5,6	9,5
702603	20	75,7	112,1	0,54	4,8	0,45	4,0	3,5
702604	10	86,1	18,3	0,08	4,3	0,08	4,3	0,5
702605	10	79,0	47,6	0,12	2,4	0,14	3,0	1,4
702606	20	77,4	149,2	0,47	3,2	0,45	3,0	3,0
702701	20	79,4	105,8	0,29	2,7	0,28	2,7	*
711701	10	85,2	38,0	0,19	4,9	0,18	4,8	1,7

\* keine Messung wegen ungünstiger Bodenverhältnisse

\*\* keine Untersuchung durchgeführt

**Tab. 10b: Bodenmikrobiologische Parameter-Einzelmessungen  
Frühjahr 92-Fortsetzung:**

Standort	Nutzung	TS [%]	Potentielle mikro- bielle Biomasse [mg C/100 g TS]	Basalrespiration 4h [mg CO <sub>2</sub> /h/ 100 g TS]	Metabolischer Quotient (4h) [* 0,001]	Basalrespiration 20h [mg CO <sub>2</sub> /h/ 100 g TS]	Metabolischer Quotient 20h [* 0,001]	Cmic/ Corg[%]
711702	20	83,1	86,3	0,41	4,8	0,33	3,8	2,9
712001	10	82,6	56,1	0,19	3,4	0,18	3,1	*
712201	10	84,5	25,9	0,00	0,0	0,09	3,5	*
712701	50	75,9	33,4	0,21	6,3	0,24	7,2	0,6
712702	50	81,5	15,0	0,17	11,2	0,17	11,2	0,2
721501	50	66,2	79,3	0,45	5,6	0,41	5,1	0,9
721701	50	75,9	45,0	0,36	8,0	0,31	6,9	0,7
721702	50	79,5	24,2	0,11	4,7	0,18	7,6	0,4
721901	50	79,1	28,8	0,17	6,0	0,18	6,4	0,4
721802	50	80,5	33,7	0,20	5,9	0,20	5,9	0,7
722101	50	83,0	30,6	0,22	7,2	0,18	5,7	0,8
722102	10	85,3	27,7	0,00	0,0	0,04	1,5	0,8
722103	20	82,1	110,8	0,50	4,5	0,42	3,8	7,6
722104	20	81,0	115,6	0,68	5,8	0,52	4,5	3,8
722401	10	82,6	50,8	0,22	4,3	0,23	4,6	*
722601	50	60,7	155,7	0,60	3,9	0,56	3,6	4,4
722602	50	70,4	74,6	0,45	6,1	0,47	6,2	0,3
722603	20	71,6	101,4	0,48	4,7	0,50	4,9	1,7
722604	10	84,4	50,8	0,24	4,8	0,18	3,6	*
722605	20	76,7	196,3	0,59	3,0	0,53	2,7	*
722701	50	81,2	37,7	0,36	9,7	0,35	9,2	0,5
731401	10	83,0	45,3	0,22	4,8	0,14	3,1	2,3
731402	10	83,5	33,5	0,16	4,9	0,12	3,6	2,4
731501	50	*	*	*	*	*	*	*
731901	20	77,2	124,7	0,53	4,3	0,46	3,7	1,2
731902	10	77,0	163,6	1,04	6,3	0,78	4,7	4,5
731903	20	80,8	131,0	0,56	4,3	0,42	3,2	2,1
731904	50	79,2	211,0	1,32	6,3	0,94	4,5	3,7
732101	10	79,6	17,6	0,23	13,0	0,16	9,1	0,3
732102	10	83,5	37,7	0,27	7,2	0,17	4,6	2,3
732201	10	84,5	41,4	0,32	7,8	0,20	4,9	3,2
732301	10	81,1	63,7	0,14	2,2	0,15	2,4	2,2
741201	50	85,2	30,8	0,00	0,0	0,09	2,8	1,9
741501	50	56,2	121,4	0,49	4,0	0,47	3,9	0,5
741701	20	75,0	205,3	0,79	3,8	0,67	3,3	1,4
741702	50	81,0	159,9	0,23	1,4	0,29	1,8	4,1
742001	10	82,0	47,0	0,33	7,1	0,33	7,1	0,9
742002	50	82,1	33,0	0,00	0,0	0,09	2,7	2,5
742003	20	77,4	26,0	0,26	10,2	0,29	11,3	0,4
742101	20	88,9	84,6	0,28	3,3	0,30	3,5	2,7
742501	50	78,9	171,9	1,07	6,2	0,89	5,2	3,0
742601	10	79,6	51,7	0,37	7,2	0,42	8,1	0,8
751301	10	88,9	20,7	0,15	7,4	0,10	4,7	2,5

\* keine Messung wegen ungünstiger Bodenverhältnisse

\*\* keine Untersuchung durchgeführt

**Tab. 10c: Bodenmikrobiologische Parameter-Einzelmessungen  
Frühjahr 92-Fortsetzung:**

Standort	Nutzung	TS (%)	Potentielle mikrobielle Biomasse [mg C/100 g TS]	Basalrespiration 4h [mg CO <sub>2</sub> /h/100 g TS]	Metabolischer Quotient (4h) [* 0,001]	Basalrespiration 20h [mg CO <sub>2</sub> /h/100 g TS]	Metabolischer Quotient 20h [* 0,001]	Cmic/Corg[%]
751901	10	84,3	39,4	0,05	1,4	0,06	1,6	2,4
752101	20	77,8	45,0	0,06	1,3	0,56	12,5	0,9
752102	50	81,1	132,6	0,59	4,4	0,48	3,6	3,6
752103	20	78,4	60,2	0,52	8,7	0,66	10,9	1,9
752104	20	78,7	206,8	0,81	3,9	0,47	2,3	4,3
752105	10	82,2	127,7	0,44	3,5	0,40	3,2	1,3
752106	10	81,9	87,6	0,50	5,7	0,41	4,6	4,0
752107	20	80,4	118,6	0,45	3,8	0,65	5,5	1,7
752108	20	79,6	130,8	0,77	5,9	0,15	1,1	3,0
752109	20	85,3	155,9	0,13	0,9	0,37	2,4	5,1
752110	10	81,4	120,4	0,45	3,7	0,38	3,2	3,0
752111	50	84,7	21,7	0,05	2,5	0,08	3,7	0,3
761401	50	46,9	182,8	0,53	2,9	0,68	3,7	0,7
771501	50	71,6	56,2	0,19	3,4	0,31	5,4	0,7
771601	10	77,8	63,0	0,29	4,6	0,36	5,8	0,9
771801	20	79,3	38,6	0,23	6,0	0,22	5,7	1,1
771802	10	80,8	201,4	0,45	2,2	0,40	2,0	3,0
771803	20	82,6	50,8	0,52	10,3	0,26	5,2	2,0
771901	10	75,2	194,3	0,61	3,1	0,51	2,6	1,8
772201	50	84,5	76,7	0,57	7,4	0,51	6,6	2,4
772401	50	78,9	56,5	0,46	8,2	0,42	7,5	0,4
781601	10	67,7	93,1	0,91	9,8	0,87	9,3	0,9
781801	20	80,1	86,3	0,54	6,3	0,45	5,2	1,5
781901	50	81,2	104,5	0,62	5,9	0,60	5,7	2,4
782201	50	78,7	42,2	0,41	9,6	0,40	9,5	0,4
782202	50	80,1	36,0	0,11	3,2	0,27	7,6	0,4
782203	10	79,1	28,8	0,29	10,0	0,34	11,8	0,4
782204	10	84,4	37,3	0,13	3,6	0,25	6,7	2,4
782205	10	81,0	87,5	0,31	3,5	0,32	3,7	2,3
791301	20	76,4	38,9	0,06	1,5	0,07	1,8	1,6
791302	20	75,0	130,7	0,30	2,3	0,32	2,4	2,8
791401	20	76,5	122,4	0,30	2,4	0,35	2,9	1,8
791601	50	77,9	122,4	0,53	4,3	0,47	3,8	2,0
791701	10	72,9	150,0	0,78	5,2	0,81	5,4	1,7
792101	20	87,8	43,8	0,67	15,4	0,57	13,0	2,8
792102	50	83,1	136,9	0,05	0,4	0,06	0,4	3,8
792501	50	75,3	56,9	0,82	14,3	0,80	14,0	0,4
792502	50	73,4	69,1	0,50	7,2	0,40	5,8	0,4
792601	50	66,2	74,0	0,48	6,5	0,76	10,2	0,5
801201	50	69,1	65,8	0,49	7,5	0,45	6,8	0,6
801301	20	63,5	146,1	0,57	3,9	0,52	3,6	1,4
801302	20	64,4	220,1	0,78	3,5	0,68	3,1	2,0
801303	20	64,1	170,6	0,39	2,3	0,51	3,0	1,6

\* keine Messung wegen ungünstiger Bodenverhältnisse

\*\* keine Untersuchung durchgeführt

**Tab. 10d: Bodenmikrobiologische Parameter-Einzelmessungen  
Frühjahr 92-Fortsetzung:**

Standort	Nutzung	TS [%]	Potentielle mikrobielle Biomasse [mg C/100 g TS]	Basalrespiration 4h [mg CO <sub>2</sub> /h/100 g TS]	Metabolischer Quotient (4h) [* 0.001]	Basalrespiration 200h [mg CO <sub>2</sub> /h/100 g TS]	Metabolischer Quotient 200h [* 0.001]	Cmic/Corg[%]
801304	20	82,0	70,4	0,11	1,6	0,23	3,2	*
802301	10	85,3	83,1	1,15	13,8	0,23	2,8	3,4
802302	20	85,3	72,8	0,24	3,3	0,24	3,3	3,1
811301	50	73,7	89,0	0,25	2,8	0,59	6,6	1,3
811401	50	54,7	168,0	0,79	4,7	0,55	3,3	1,5
812401	50	66,9	109,9	0,48	4,3	0,20	1,8	0,5
821101	10	78,5	41,2	0,06	1,4	0,21	5,2	1,5
821102	50	85,3	25,6	0,08	3,1	0,74	29,0	2,1
821401	50	58,4	152,8	1,05	6,9	0,59	3,8	0,9
821402	50	72,6	121,7	0,47	3,9	0,93	7,6	1,5
821403	20	71,9	137,5	0,92	6,7	0,44	3,2	1,0
821404	50	73,3	132,5	0,44	3,3	0,78	5,9	1,6
821601	20	70,9	271,5	0,93	3,4	0,73	2,7	2,5
821801	50	82,9	123,5	0,77	6,2	0,07	0,5	2,6
821901	10	76,8	47,9	0,06	1,2	0,04	0,7	1,0
822001	20	93,4	57,1	0,10	1,7	0,34	5,9	3,9
822301	10	81,1	239,5	0,73	3,0	0,12	0,5	5,3
822302	50	84,5	55,9	0,05	1,0	0,36	6,5	2,6
822601	10	63,8	128,9	0,43	3,3	0,12	0,9	0,6
832301	10	87,2	27,1	0,03	1,0	0,19	7,1	1,6
832302	50	82,6	69,9	0,11	1,6	0,13	1,9	3,2
841101	50	86,9	33,2	0,05	1,6	0,15	4,6	1,1
841102	20	65,5	163,0	0,52	3,2	0,43	2,6	2,1
841201	10	73,6	243,7	0,53	2,2	0,56	2,3	3,3
841202	10	82,5	29,7	0,06	1,9	0,07	2,4	1,8

\* keine Messung wegen ungünstiger Bodenverhältnisse

\*\* keine Untersuchung durchgeführt

**Tab. 11a: Bodenmikrobiologische Parameter-Einzelmessungen  
Herbst 92:**

Standort	Nutzung	TS [%]	Potentielle mikrobielle Biomasse [mg C/100 g TS]	Basalrespiration 4h [mg CO <sub>2</sub> /h/100 g TS]	Metabolischer Quotient (4h) [* 0,001]	Basalrespiration 20h [mg CO <sub>2</sub> /h/100 g TS]	Metabolischer Quotient 20h [* 0,001]	Cmic/Corg[%]
641601	10	92,1	31,4	0,10	3,2	0,07	2,4	4,4
641701	50	86,6	113,2	0,11	0,9	0,08	0,7	2,7
642101	50	88,2	50,6	0,23	4,6	0,21	4,2	1,1
651801	50	82,7	8,5	0,17	19,4	0,12	13,6	0,2
652001	20	41,1	221,6	2,66	12,0	1,66	7,5	*
652101	10	85,4	67,2	0,45	6,8	0,26	3,9	4,5
652401	20	75,2	164,1	0,45	2,8	0,35	2,1	2,7
652402	10	79,9	132,6	0,17	1,3	0,22	1,7	4,0
661601	10	89,1	37,3	0,05	1,4	0,07	1,8	3,8
661701	50	92,6	11,3	0,00	0,0	0,06	5,7	0,7
661703	20	97	5,4	0,00	0,0	0,05	8,7	1,0
662001	20	73,6	120	0,34	2,8	0,48	4,0	*
662301	10	85,1	43,2	0,00	0,0	0,09	2,0	3,7
662601	50	79,4	40,8	0,26	6,3	0,27	6,6	*
671701	20	80,3	24,6	0,17	6,9	0,09	3,7	4,2
671702	10	92,5	11,4	0,00	0,0	0,06	5,6	*
671703	50	93,6	16,8	0,02	1,5	0,04	2,3	0,6
672101	10	85,9	28,5	0,05	1,9	0,07	2,6	2,3
672201	50	89,7	39	0,05	1,3	0,1	2,6	1,0
672301	50	85,5	70,6	0,16	2,3	0,2	2,9	2,3
681701	10	80,3	20,1	0,17	8,5	0,16	7,9	1,3
681801	10	85,3	46,2	0,11	2,3	0,17	3,7	4,5
681901	50	82	32	0,50	15,6	0,33	10,4	1,4
682301	20	80,3	51,7	0,28	5,5	0,28	5,5	1,3
682401	50	83,7	37,6	0,41	10,9	0,23	6,1	0,9
682601	20	*	*	*	*	*	*	*
691601	50	88,9	25,6	0,31	12,0	0,21	8,2	0,4
691801	50	82	19,2	0,36	18,8	0,17	8,7	0,3
692101	10	83,8	68,9	0,41	5,9	0,2	2,8	4,3
692501	50	83,8	75,2	0,54	7,2	0,38	5,1	1,4
692601	50	80,3	31,8	0,23	7,1	0,21	6,6	1,0
701601	10	86,3	21,3	0,18	8,7	0,11	5,2	1,9
702101	50	78,9	93,1	0,61	6,5	0,32	3,4	*
702301	50	80,3	6,2	0,14	22,9	0,11	18,3	0,4
702401	50	80,5	51,1	0,14	2,8	0,15	3,0	0,9
702601	10	84,6	47,6	0,16	3,4	0,12	2,5	3,3
702602	10	83,3	67,3	0,30	4,5	0,16	2,4	6,3
702603	20	75,7	105,2	0,60	5,7	0,4	3,8	3,3
702604	10	89,2	18,6	0,31	16,5	0,14	7,4	0,5
702605	10	76,3	58,5	0,42	7,2	0,23	3,9	1,7
702606	20	86	91,6	0,69	7,5	0,45	4,9	1,9
702701	20	81,8	86,6	0,45	5,2	0,29	3,3	*
711701	10	*	*	*	*	*	*	*

\* keine Messung wegen ungünstiger Bodenverhältnisse

\*\* keine Untersuchung durchgeführt

**Tab. 11b: Bodenmikrobiologische Parameter-Einzelmessungen  
Herbst 92-Fortsetzung:**

Standort	Nutzung	TS [%]	Potentielle mikro- bielle Biomasse [mg C/100 g TS]	Basalrespiration 4h [mg CO <sub>2</sub> /lV 100 g TS]	Metabolischer Quotient (4h) [* 0,001]	Basalrespiration 20h [mg CO <sub>2</sub> /lV 100 g TS]	Metabolischer Quotient 20h [* 0,001]	Cmic/ Corg[%]
711702	20	*	*	*	*	*	*	*
712001	10	*	*	*	*	*	*	*
712201	10	84,5	29	0,19	6,5	0,12	4,3	*
712701	50	85,2	12,3	0,05	4,4	0,06	5,2	0,2
712702	50	92,4	7,6	0,00	0,0	0,04	5,2	0,1
721501	50	66,4	110,7	1,06	9,6	0,91	8,2	1,3
721701	50	*	*	*	*	*	*	*
721702	50	78,1	34,7	0,47	13,5	0,36	10,3	0,6
721801	50	79,1	43,1	0,58	13,4	0,41	9,5	0,6
721802	50	71,1	54,2	0,70	13,0	0,53	9,7	1,1
722101	50	88,7	33,5	0,00	0,0	0,11	3,2	0,9
722102	10	*	*	*	*	*	*	*
722103	20	80,2	86,2	0,17	2,0	0,17	2,0	5,9
722104	20	78,6	65,7	0,09	1,3	0,17	2,6	2,2
722401	10	*	*	*	*	*	*	*
722601	50	68,2	148,8	1,20	8,1	0,61	4,1	4,2
722602	50	79,8	78,6	0,77	9,8	0,5	6,4	0,3
722603	20	77,9	97,8	0,94	9,6	0,66	6,7	1,6
722604	10	80,5	62	0,34	5,5	0,26	4,2	*
722605	20	71,1	136,7	0,61	4,5	0,58	4,3	*
722701	50	78,5	52,4	0,32	6,1	0,38	7,2	0,7
731401	10	83	61,2	0,19	3,1	0,27	4,4	3,1
731402	10	80,3	57,5	0,17	3,0	0,19	3,3	4,1
731501	50	33,4	219,9	3,00	13,7	2,05	9,3	*
731901	20	67,2	283,9	1,73	6,1	1,34	4,7	2,7
731902	10	72,3	155	0,66	4,3	0,62	4,0	4,2
731903	20	76	150,8	0,27	1,8	0,31	2,1	2,4
731904	50	80,3	156,9	0,43	2,7	0,4	2,6	2,7
732101	10	79,4	40,8	0,17	4,2	0,16	3,9	0,7
732102	10	81,6	53,6	0,11	2,1	0,12	2,2	3,2
732201	10	*	*	*	*	*	*	*
732301	10	79,5	96,9	0,17	1,8	0,13	1,4	3,3
741201	50	81,8	47,1	0,45	9,5	0,19	4,0	2,9
741501	50	59	115,7	1,62	14,0	1,03	8,9	0,5
741701	20	68,5	139,2	1,06	7,7	1,16	8,4	0,9
741702	50	73,8	128,1	0,40	3,1	0,51	4,0	3,3
742001	10	72	57,1	0,44	7,8	0,53	9,2	1,1
742002	50	83,6	37,7	0,27	7,2	0,09	2,5	2,8
742003	20	76,4	32,1	0,48	14,9	0,32	9,9	0,5
742101	20	77,6	116,1	0,59	5,1	0,42	3,6	3,6
742501	50	75,2	177,9	0,91	5,1	0,78	4,4	3,2
742601	10	83,6	148,8	0,49	3,3	0,25	1,7	2,2
751301	10	85,5	31,7	0,43	13,5	0,14	4,4	3,8

\* keine Messung wegen ungünstiger Bodenverhältnisse  
\*\* keine Untersuchung durchgeführt

**Tab. 11c: Bodenmikrobiologische Parameter-Einzelmessungen  
Herbst 92-Fortsetzung:**

Standort	Nutzung	TS [%]	Potentielle mikro- bielle Biomasse [mg C/100 g TS]	Basalrespiration 4h [mg CO <sub>2</sub> /h 100 g TS]	Metabolischer Quotient (4h) [* 0,001]	Basalrespiration 20h [mg CO <sub>2</sub> /h 100 g TS]	Metabolischer Quotient 20h [* 0,001]	Cmic/ Corg[%]
751901	10	84,8	44,3	0,08	1,8	0,11	2,4	2,7
752101	20	82,5	72,2	0,14	1,9	0,09	1,3	1,5
752102	50	79,7	151,4	0,43	2,8	0,51	3,4	4,1
752103	20	80,3	123,6	0,68	5,5	0,77	6,2	3,9
752104	20	70,4	340,6	0,58	1,7	0,47	1,4	7,1
752105	10	74,4	181,2	0,55	3,0	0,62	3,5	1,9
752106	10	79,1	109,5	0,32	2,9	0,37	3,4	5,0
752107	20	75,7	157,1	0,57	3,6	0,61	3,9	2,2
752108	20	73,1	195	1,00	5,1	1,08	5,5	4,5
752109	20	77	186,3	0,44	2,4	0,33	1,8	6,1
752110	10	79,6	106,7	0,26	2,4	0,33	3,1	2,7
752111	50	83	75,9	0,16	2,2	0,13	1,7	1,1
761401	50	51,4	218	1,42	6,5	1,44	6,6	0,9
771501	50	72,9	38,4	0,25	6,5	0,36	9,4	0,5
771601	10	79,6	105,5	0,54	5,2	0,48	4,6	1,5
771801	20	76,3	80,3	0,36	4,5	0,14	1,7	2,2
771802	10	77,7	260,3	0,82	3,2	0,61	2,3	3,9
771803	20	82,1	87,4	0,31	3,5	0,14	1,7	3,4
771901	10	61,8	397,5	0,81	2,0	0,87	2,2	3,8
772201	50	79,5	93,5	0,23	2,5	0,26	2,8	2,9
772401	50	75	49	1,28	26,0	0,57	11,7	0,4
781601	10	64,4	160,3	1,34	8,4	1,2	7,5	1,6
781801	20	73,5	94,1	0,12	1,3	0,2	2,1	1,6
781901	50	74,4	143,6	0,40	2,8	0,5	3,5	3,3
782201	50	71,1	54,1	0,45	8,3	0,56	10,3	0,5
782202	50	68,3	51,2	0,47	9,1	0,42	8,2	0,6
782203	10	78	47,1	0,15	3,1	0,2	4,3	0,7
782204	10	83,4	24,1	0,66	27,2	0,19	7,7	1,6
782205	10	78,9	102,1	0,17	1,7	0,21	2,0	2,7
791301	20	82,8	61,3	0,41	6,7	0,19	3,1	2,4
791302	20	79,6	156	0,52	3,3	0,35	2,2	3,4
791401	20	74,6	146,6	0,55	3,8	0,52	3,5	2,2
791601	50	71,1	126,8	0,61	4,8	0,59	4,7	2,1
791701	10	77	118,2	0,53	4,5	0,44	3,8	1,3
792101	20	*	*	*	*	*	*	*
792102	50	77	93,2	0,41	4,4	0,32	3,4	2,6
792501	50	63,6	60,5	0,39	6,5	0,39	6,5	0,5
792502	50	64,6	176	0,71	4,0	0,92	5,2	1,0
792601	50	61,4	88,4	0,78	8,8	0,73	8,2	0,6
801201	50	72,5	50,7	0,38	7,4	0,55	10,9	0,4
801301	20	69,5	139,7	0,66	4,7	0,68	4,8	1,4
801302	20	67,7	274	0,81	3,0	0,7	2,6	2,5
801303	20	72,8	171,9	0,56	3,3	0,49	2,8	1,7

\* keine Messung wegen ungünstiger Bodenverhältnisse

\*\* keine Untersuchung durchgeführt

**Tab. 11d: Bodenmikrobiologische Parameter-Einzelmessungen  
Herbst 92-Fortsetzung:**

Standort	Nutzung	TS [%]	Potentielle mikro- bielle Biomasse [mg C/100 g TS]	Basalrespiration 4h [mg CO <sub>2</sub> /h/ 100 g TS]	Metabolischer Quotient (4h) [* 0,001]	Basalrespiration 20h [mg CO <sub>2</sub> /h/ 100 g TS]	Metabolischer Quotient 20h [* 0,001]	Cmic/ Corg[%]
801304	20	81,7	83,5	0,28	3,3	0,3	3,5	*
802301	10	78,2	120,9	0,17	1,5	0,19	1,6	5,0
802302	20	80,3	83,9	0,43	5,1	0,29	3,5	3,5
811301	50	79,6	91,2	0,34	3,8	0,38	4,2	1,3
811401	50	53,4	191,7	0,98	5,1	0,94	4,9	1,7
812401	50	52,4	115,2	1,13	9,8	1,1	9,5	0,5
821101	10	82,8	40,1	0,30	7,6	0,27	6,7	1,5
821102	50	83,6	35,6	0,16	4,6	0,16	4,6	2,8
821401	50	55,9	134,6	1,47	10,9	1,42	10,5	0,8
821402	50	68,1	93,9	0,64	6,8	0,5	5,3	1,1
821403	20	69,8	162,9	1,24	7,6	1,12	6,9	1,2
821404	50	70,3	212,8	0,62	2,9	0,67	3,2	2,5
821601	20	72,7	323,9	1,19	3,7	1,1	3,4	2,9
821801	50	79,7	173,5	0,31	1,8	0,37	2,1	3,7
821901	10	78,9	31	0,12	3,7	0,17	5,6	0,6
822001	20	85,4	31,8	0,21	6,7	0,1	3,0	2,2
822301	10	76,1	200,1	0,42	2,1	0,34	1,7	4,5
822302	50	80,3	89,3	0,23	2,5	0,26	2,9	4,2
822601	10	49,6	82,9	0,87	10,5	0,83	10,0	0,4
832301	10	81,3	29,1	0,06	1,9	0,08	2,7	1,7
832302	50	83,2	44,2	0,33	7,4	0,14	3,2	2,0
841101	50	88,5	38,6	0,21	5,3	0,29	7,6	1,3
841102	20	*	*	*	*	*	*	*
841201	10	74,7	218	0,98	4,5	0,88	4,1	3,0
841202	10	83,9	42,8	0,38	8,9	0,13	3,1	2,5

\* keine Messung wegen ungünstiger Bodenverhältnisse

\*\* keine Untersuchung durchgeführt

**Tab. 12: Verteilung von Nutzung und Bodenart auf die BMN-Standorte:**

<b>Bodenart</b>	<b>Nutzung</b>	<b>Anzahl der Standorte</b>
S	Acker	4
S	Grünland	2
S	Nadelwald	3
S	Laubwald	1
S	Mischwald	3
S/Ls	Acker	6
S/Ls	Grünland	5
S/Ls	Nadelwald	15
Lu/U1	Acker	20
Lu/U1	Grünland	25
Lu/U1	Nadelwald	22
Lu/U1	Laubwald	6
Lu/U1	Mischwald	3
Lt	Acker	2
Lt	Grünland	4
Lt	Nadelwald	4
T1	Acker	1
T1	Grünland	2
T1	Laubwald	1

## Indexverzeichnis

<b>A</b>	
abiotische Bodenparameter.....	44
<b>B</b>	
Basalrespiration .....	43
Minimum/Maximum-Standorte der Bodendauerbeobachtung.....	51
Bodenart.....	60
bodenbiologische Untersuchungen	
abiotische Bodenparameter.....	44
Analytik.....	43
Basalrespiration .....	43
bodenmikrobiologische Parameter .....	46
Braunerde.....	68
Cmic/Corg-Verhältnis .....	44
Corg-Gehalt .....	70
Einfluß der Bodenart .....	60
Einfluß der Nutzung .....	56
jahreszeitlicher Aspekt .....	70
Metabolischer Quotient.....	43
Minimum/Maximum-Standorte	
Basalrespiration.....	51
Cmic/Corg.....	54
Metabolischer Quotient.....	52
Potentielle mikrobielle Biomasse.....	49
Nges-Gehalt.....	70
Parabraunerde .....	69
Parabraunerde aus Jungmoränen.....	69
pH-Wert .....	70
podsolige Braunerde.....	69
potentielle mikrobielle Biomasse.....	43
Probennahme .....	42
Pseudogley-Parabraunerde .....	69
Rendzina .....	68
Schadstoffwirkung.....	71
SIR-Methode.....	43
bodenbiologischer Zustand	
Bodendauerbeobachtung .....	42
bodenbiologisches Klassifikationssystem.....	42
Bodenbiozönose.....	68
Bodendauerbeobachtung .....	1
bodenbiologische Parameter.....	40
bodenbiologische Untersuchungen.....	41
bodenbiologischer Zustand .....	42
Bodenformen.....	68
bodenmikrobiologische Parameter.....	46
DDT-Gehalte.....	21
HCB-Gehalte.....	18
HCH-Gehalte.....	19
Horizontauswahl.....	5
Meßprogramm.....	8
PAK-Gehalte .....	16
PCB-Gehalte .....	17
PCP-Gehalte .....	20
Persistente organische Schadstoffe .....	13
Probennahme.....	5
regionale Schadstoffverteilung .....	22
Schadstoffgehalt und Besiedlungsdichte .....	34
Standortauswahl.....	4
Stoffdaten der untersuchten Schadstoffe .....	9
Tiefenverteilung der Schadstoffe .....	30
verkehrsbedingte Schadstoffeinträge.....	37
Verteilung von Nutzung und Bodenart .....	88
Ziel.....	4
Bodendauerbeobachtungsfläche.....	2, 3
Bodenformen.....	68
Bodenmeßnetz	
allgemeines .....	2
DDT-Gehalte.....	21
HCB-Gehalte.....	18
HCH-Gehalte.....	19
Horizontauswahl.....	5
PAK-Gehalte .....	16
PCB-Gehalte .....	17
PCP-Gehalte .....	20
Persistente organische Schadstoffe .....	13
Probennahme.....	5
regionale Schadstoffverteilung .....	22
Schadstoffgehalt und Besiedlungsdichte .....	34
Standortauswahl.....	4
Standorte (Übersicht).....	7
Tiefenverteilung der Schadstoffe .....	30
verkehrsbedingte Schadstoffeinträge.....	37
Verteilung von Nutzung und Bodenart .....	88
Ziel.....	4
bodenmikrobiologische Parameter	
Einflußfaktoren .....	56
Einzelmessungen Frühjahr 92 .....	80
Einzelmessungen Herbst 91.....	76
Einzelmessungen Herbst 92.....	84
statistische Überprüfung der Unterschiede.....	75
Bodentyp .....	68
Braunerde	
bodenbiologische Untersuchungen.....	68
<b>C</b>	
Cmic/Corg-Verhältnis .....	44
Minimum/Maximum-Standorte der Bodendauerbeobachtung.....	54
Corg	
bodenbiologische Untersuchungen.....	70
<b>D</b>	
Dauerbeobachtungsfläche.....	2, 3
boden-mikrobiologische Untersuchungen.....	40
DDT	
in den Böden des Bodenmeßnetzes.....	21
Stoffdaten .....	12
Dichlordiphenyltrichlorethan	
in den Böden des Bodenmeßnetzes.....	21
Stoffdaten .....	12

<b>H</b>		Stoffdaten .....	10
HCB		PCP	
in den Böden des Bodenmeßnetzes .....	18	in den Böden des Bodenmeßnetzes .....	20
Stoffdaten .....	11	Stoffdaten .....	12
HCH		Pentachlorphenol	
in den Böden des Bodenmeßnetzes .....	19	in den Böden des Bodenmeßnetzes .....	20
Stoffdaten .....	11	Stoffdaten .....	12
Hexachlorbenzol		Persistente organische Schadstoffe	
in den Böden des Bodenmeßnetzes .....	18	in den Böden des Bodenmeßnetzes .....	13
Stoffdaten .....	11	pH-Wert	
Hexachlorcyclohexan		bodenbiologische Untersuchungen .....	70
in den Böden des Bodenmeßnetzes .....	19	podsolige Braunerde	
Stoffdaten .....	11	bodenbiologische Untersuchungen .....	69
<b>K</b>		Polychlorierte Biphenyle	
Klassifikationssystem		in den Böden des Bodenmeßnetzes .....	17
bodenbiologisches .....	42	Stoffdaten .....	10
Klima		Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe	
Einfluß auf bodenbiologische Untersuchungen	70	in den Böden des Bodenmeßnetzes .....	16
<b>M</b>		Stoffdaten .....	9
Meßnetz		Potentielle mikrobielle Biomasse	
Bodendauerbeobachtung .....	7	Bestimmung .....	43
Metabolischer Quotient .....	43	Einteilung in Klassen .....	47
Minimum/Maximum-Standorte der		Häufigkeitsverteilung .....	47
Bodendauerbeobachtung .....	52	Minimum/Maximum-Standorte der	
<b>N</b>		Bodendauerbeobachtung .....	49
Nges		Probennahme	
bodenbiologische Untersuchungen .....	70	bodenbiologische Untersuchungen .....	42
<b>P</b>		Pseudogley-Parabraunerde	
PAK		bodenbiologische Untersuchungen .....	69
in den Böden des Bodenmeßnetzes .....	16	<b>R</b>	
Stoffdaten .....	9	Rendzina	
Parabraunerde		bodenbiologische Untersuchungen .....	68
bodenbiologische Untersuchungen .....	69	<b>S</b>	
Parabraunerde aus Jungmoränen		Schadstoffe in Böden	
bodenbiologische Untersuchungen .....	69	Profil- und Tiefenverteilung .....	30
PCB		regionale Verteilung .....	22
in den Böden des Bodenmeßnetzes .....	17	verkehrsbedingte Einträge .....	37
		Zusammenhang mit Besiedlungsdichte .....	34
		SIR-Methode .....	43
		Substrat Induzierte Respiration .....	43

# Abbildungsverzeichnis

## TEIL A

ABB. 1:	LAGE UND NUTZUNG DER STANDORTE DES BODENMEßNETZES BADEN-WÜRTTEMBERG:.....	7
ABB. 2:	ANTEILE DER STANDORTE MIT NACHGEWIESENEN SCHADSTOFFEN BZW. SCHADSTOFFGRUPPEN IN %:..	14
ABB. 3:	PAK <sub>16</sub> -MENGEN JE M <sup>2</sup> IN OBERBÖDEN (0 - 20 CM, BEI WALD INKL. AUFLAGE):.....	24
ABB. 4:	PCB <sub>6</sub> -MENGEN JE M <sup>2</sup> IN OBERBÖDEN (0 - 20 CM, BEI WALD INKL. AUFLAGE).....	25
ABB. 5:	NUTZUNGSBEZOGENER ANTEIL AN STANDORTEN MIT BESTIMMBAREN GEHALTEN PERSISTENTER ORGANISCHER SCHADSTOFFE:.....	26
ABB. 6:	TIEFENVERTEILUNG DER PAK <sub>16</sub> -GEHALTE UND PAK <sub>16</sub> -MENGEN IN VERSCHIEDENEN BODENTIEFENBEREICHEN AN DEN WALDSTANDORTEN DES BMN IN BEZUG AUF DEN OBERBODEN:.....	31
ABB. 7:	PROZENTUALE ANTEILE DER PAK <sub>16</sub> -MENGEN IN VERSCHIEDENEN BODENBEREICHEN AM STANDORT KARLSRUHE-HARDTWALD (SANDIGE BRAUNERDE UNTER LAUBWALD):.....	32
ABB. 8:	PROZENTUALE ANTEILE DER PAK <sub>16</sub> -MENGEN IN VERSCHIEDENEN TIEFENSTUFEN AM STANDORT KARLSRUHE-HARDTWALD (SANDIGE BRAUNERDE UNTER LAUBWALD):.....	32
ABB. 9:	PROZENTUALE ANTEILE DER PAK <sub>16</sub> -MENGEN IN VERSCHIEDENEN BODENBEREICHEN AM STANDORT NONNENWALD (SANDIGE BRAUNERDE UNTER LAUBWALD): .....	33
ABB. 10:	PROZENTUALE ANTEILE DER PAK <sub>16</sub> -MENGEN IN VERSCHIEDENEN TIEFENSTUFEN AM STANDORT NONNENWALD (SANDIGE BRAUNERDE UNTER LAUBWALD): .....	33
ABB. 11:	PROZENTUALE ANTEILE DER PAK <sub>16</sub> -MENGEN IN VERSCHIEDENEN BODENBEREICHEN AM STANDORT BRETTE (PARABRAUNERDE AUS LÖB UNTER NADELWALD):.....	34
ABB. 12:	PROZENTUALE ANTEILE DER PAK <sub>16</sub> -MENGEN IN VERSCHIEDENEN TIEFENSTUFEN AM STANDORT BRETTE (PARABRAUNERDE AUS LÖB UNTER NADELWALD):.....	34
ABB. 13:	PAK <sub>16</sub> -MENGEN (MG PAK <sub>16</sub> /M <sup>2</sup> ) IN BÖDEN (MITTELWERT UND MEDIAN) IN REGIONEN UNTERSCHIEDLICHER BESIEDLUNGSDICHTE - ALLE STANDORTE: .....	35

## TEIL B

ABB. 1:	HÄUFIGKEITSVERTEILUNG FÜR DIE POTENTIELLE MIKROBIELLE BIOMASSE:.....	47
ABB. 2:	PARARENDZINA (NSG SANDHAUSEN): .....	50
ABB. 3:	RENDZINA (NSG HÖRNLE): .....	50
ABB. 4:	PARABRAUNERDE (ST. LEON ROT):.....	51
ABB. 5:	STAGNOGLEY (NSG SCHWANNEWALD):.....	52
ABB. 6:	PARABRAUNERDE (RAHLENHOF):.....	53
ABB. 7:	PARABRAUNERDE (ERLENBODEN):.....	54
ABB. 8:	BRAUNERDE (EBNAT 3) .....	55
ABB. 9:	RENDZINA (ST. JOHANN).....	56
ABB. 10:	POTENTIELLE MIKROBIELLE BIOMASSE: HÄUFIGKEITSVERTEILUNG FÜR ACKER-, GRÜNLAND- UND NADELWALDNUTZUNG - BODENART : LU/UL: .....	59
ABB. 11:	BOX PLOT SCHEMA FÜR DIE FOLGENDEN ABBILDUNGEN 29 – 40: .....	61
ABB. 12:	POTENTIELLE MIKROBIELLE BIOMASSE - VERTEILUNG DER MEßWERTE NACH BODENART BEI ACKERNUTZUNG:.....	62
ABB. 13:	POTENTIELLE MIKROBIELLE BIOMASSE - VERTEILUNG DER MEßWERTE NACH BODENART BEI GRÜNLANDNUTZUNG:.....	62
ABB. 14:	POTENTIELLE MIKROBIELLE BIOMASSE - VERTEILUNG DER MEßWERTE NACH BODENART BEI WALDNUTZUNG (TL NICHT REPRÄSENTIERT) : .....	63
ABB. 15:	BASALRESPIRATION (4H) - VERTEILUNG DER MEßWERTE NACH BODENART BEI ACKERNUTZUNG:.....	63
ABB. 16:	BASALRESPIRATION (4H) - VERTEILUNG DER MEßWERTE NACH BODENART BEI GRÜNLANDNUTZUNG:.....	64
ABB. 17:	BASALRESPIRATION (4H) - VERTEILUNG DER MEßWERTE NACH BODENART BEI WALDNUTZUNG (TL NICHT REPRÄSENTIERT) : .....	64
ABB. 18:	METABOLISCHER QUOTIENT (4H) - VERTEILUNG DER MEßWERTE NACH BODENART BEI ACKERNUTZUNG:.....	65
ABB. 19:	METABOLISCHER QUOTIENT (4H) - VERTEILUNG DER MEßWERTE NACH BODENART BEI GRÜNLANDNUTZUNG:.....	65
ABB. 20:	METABOLISCHER QUOTIENT (4H) - VERTEILUNG DER MEßWERTE NACH BODENART BEI WALDNUTZUNG: .....	66
ABB. 21:	C <sub>MIC</sub> /C <sub>ORG</sub> - VERTEILUNG DER MEßWERTE NACH BODENART BEI ACKERNUTZUNG: .....	66
ABB. 22:	C <sub>MIC</sub> /C <sub>ORG</sub> - VERTEILUNG DER MEßWERTE NACH BODENART BEI GRÜNLANDNUTZUNG:.....	67
ABB. 23:	C <sub>MIC</sub> /C <sub>ORG</sub> - VERTEILUNG DER MEßWERTE NACH BODENART BEI WALDNUTZUNG .....	67

## Tabellenverzeichnis

### TEIL A

TAB. 1:	PAK <sub>16</sub> -GEHALTE (µG/KG) IN DEN BÖDEN DES BMN - STATISTISCHE KENNGRÖßEN DER VERTEILUNGSKURVE NACH BODENBEREICHEN UND NUTZUNG.....	16
TAB. 2:	PCB <sub>6</sub> -GEHALTE (µG/KG) IN DEN BÖDEN DES BMN - STATISTISCHE KENNGRÖßEN DER VERTEILUNGSKURVE NACH BODENBEREICHEN UND NUTZUNG.....	17
TAB. 3:	HCB-GEHALTE (µG/KG) IN DEN BÖDEN DES BMN - STATISTISCHE KENNGRÖßEN DER VERTEILUNGSKURVE NACH BODENBEREICHEN UND NUTZUNG.....	18
TAB. 4:	HCH-GEHALTE (µG/KG) IN DEN BÖDEN DES BMN - STATISTISCHE KENNGRÖßEN DER VERTEILUNGSKURVE NACH BODENBEREICHEN UND NUTZUNG.....	19
TAB. 5:	PCP-GEHALTE (µG/KG) IN DEN BÖDEN DES BMN - STATISTISCHE KENNGRÖßEN DER VERTEILUNGSKURVE NACH BODENBEREICHEN UND NUTZUNG.....	20
TAB. 6:	DDT-GEHALTE (µG/KG) IN DEN BÖDEN DES BMN - STATISTISCHE KENNGRÖßEN DER VERTEILUNGSKURVE NACH BODENBEREICHEN UND NUTZUNG.....	21
TAB. 7:	PAK <sub>16</sub> -MENGEN (MG/M <sup>2</sup> ) IN OBERBÖDEN DES BMN (0 - 20 CM; BEI WALD INKL. AUFLAGE).....	27
TAB. 8:	PROZENTUALER ANTEIL DER PAK <sub>16</sub> -MENGEN IN AUFLAGEN AN DER PAK <sub>16</sub> -GESAMTMENGE IM OBERBODEN UNTERSCHIEDLICHER WALDFORMEN.....	27
TAB. 9:	PAK <sub>16</sub> -MENGEN (MG PAK <sub>16</sub> /M <sup>2</sup> ) IN OBERBÖDEN DES BMN (0 - 20 CM; BEI WALD UND GRÜNLAND OHNE AUFLAGE).....	28
TAB. 10:	PAK <sub>16</sub> -MENGEN IM BODENPROFIL BIS 20 CM TIEFE (MG PAK <sub>16</sub> /M <sup>2</sup> ) AN DEN STANDORTEN DES BMN UNTERTEILT IN VERSCHIEDENE BESIEDLUNGSDICHTEKLASSEN (E / KM <sup>2</sup> ) - ALLE STANDORTE.....	36
TAB. 11:	PCB <sub>6</sub> -MENGEN IM BODENPROFIL BIS 20 CM TIEFE (MG PCB <sub>6</sub> /M <sup>2</sup> ) UNTERTEILT IN VERSCHIEDENE BESIEDLUNGSDICHTEKLASSEN (E / KM <sup>2</sup> ; STANDORTE AN DENEN AUFGRUND NICHT BESTIMMBARER PCB <sub>6</sub> -GEHALTE KEINE STOFFMENGEN ERRECHNET WERDEN KONNTEN GEHEN MIT 0 MG PCB <sub>6</sub> /M <sup>2</sup> IN DIE BERECHNUNG EIN).....	37

### TEIL B

TAB. 1:	BODENMIKROBIOLOGISCHE PARAMETER: STATISTISCHER ÜBERBLICK:.....	46
TAB. 2:	EINTEILUNG DER POTENTIELLEN MIKROBIELLEN BIOMASSE IN KLASSEN.....	47
TAB. 3:	MINIMUM/MAXIMUM-STANDORTE: POTENTIELLE MIKROBIELLE BIOMASSE.....	49
TAB. 4:	MINIMUM/MAXIMUM-STANDORTE: BASALRESPIRATION 20 H.....	51
TAB. 5:	MINIMUM/MAXIMUM-STANDORTE: METABOLISCHER QUOTIENT 20 H.....	52
TAB. 6:	MINIMUM/MAXIMUM-STANDORTE: C <sub>MIC</sub> /C <sub>ORG</sub> .....	54
TAB. 7:	VERGLEICH DER BODENMIKROBIOLOGISCHEN ERGEBNISSE FÜR DIE NUTZUNGEN ACKER, GRÜNLAND UND NADELWALD - BODENARTENGRUPPE: SCHLUFFIGE LEHME:.....	58