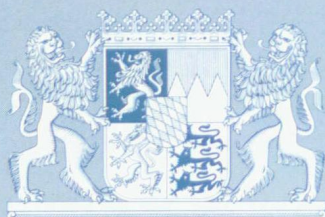


GLA FACHBERICHTE

16

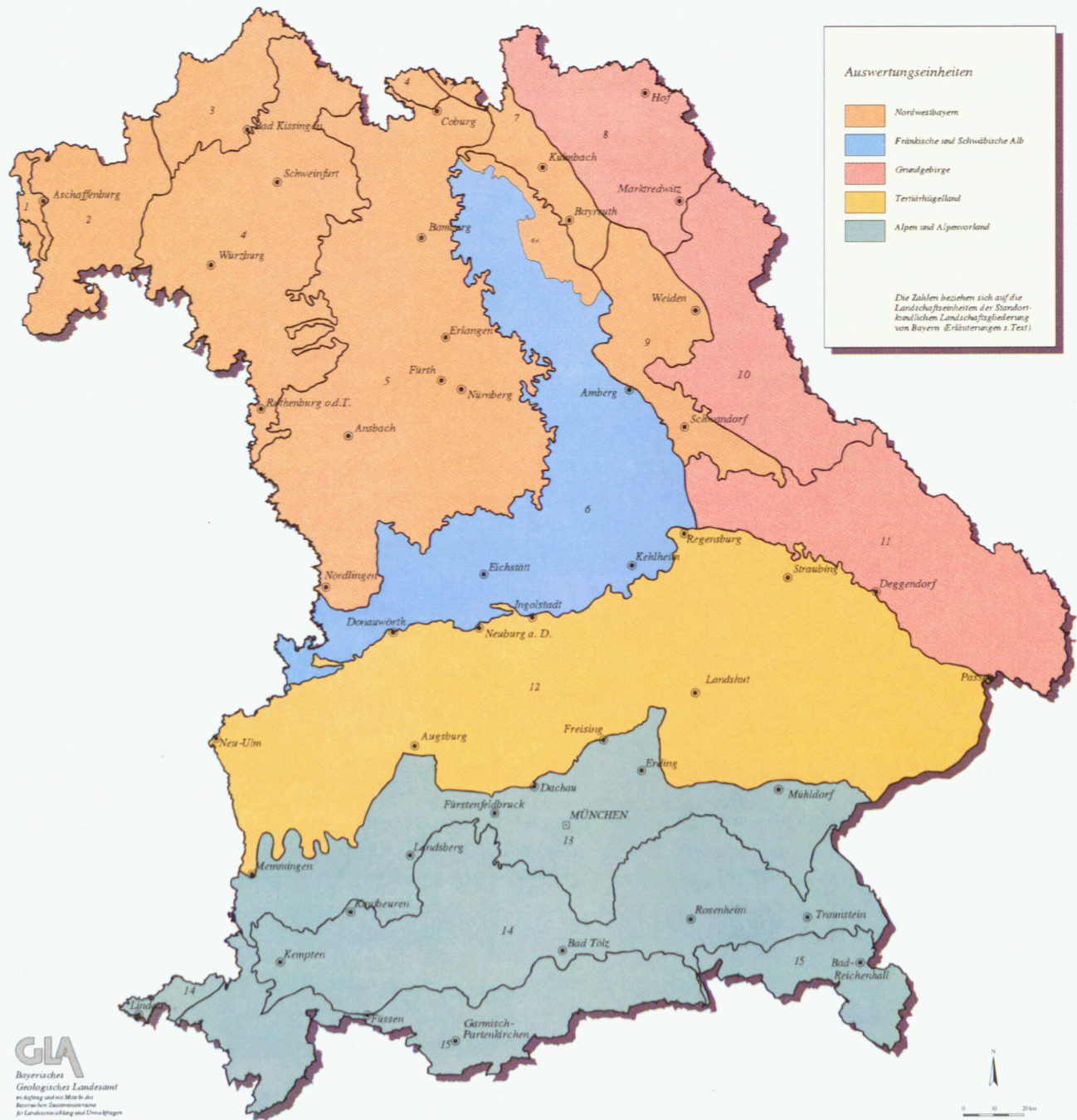
**Hintergrundwerte
anorganischer
Problemstoffe
in Böden Bayerns**



Bayerisches Geologisches Landesamt

Hintergrundwerte anorganischer Problemstoffe in Böden Bayerns

Auswertungseinheiten auf der Grundlage der Landschaftseinheiten von Bayern (n.O. Wittmann 1991)



Hintergrundwerte anorganischer Problemstoffe in Böden Bayerns

von

Th. Suttner, M. Außendorf, W. Martin

Herausgeber und Verlag:

Bayerisches Geologisches Landesamt, Heßstraße 128, D-80797 München

M ü n c h e n 1 9 9 8

GLA Fachberichte 16	70+88 S.	20 Abb.	17+145 Tab.	1 Karte	München 1998
---------------------	----------	---------	-------------	---------	--------------

ISSN 0932 - 9269

Anschrift der Autoren:

Dr. Th. Suttner
Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen
Rosenkavalierplatz 2
D-81925 München
Thomas.Suttner@stmlu.bayern.de

M. Außendorf
Bayerisches Geologisches Landesamt
Heßstraße 128
D-80797 München
Michael.Aussendorf@gla.bayern.de

Dr. W. Martin
Bayerisches Geologisches Landesamt
Heßstraße 128
D-80797 München
Walter.Martin@gla.bayern.de

Herausgeber: Bayerisches Geologisches Landesamt
Heßstraße 128, D-80797 München

Redaktion: Dr. B. Schilling

Druck: Copyprint GmbH, München

Gedruckt auf 100% Recycling weiß

Inhalt

Kurzfassung / Abstract	5
1 Einleitung	7
2 Material und Methoden	9
2.1 Analysenmethoden	9
2.2 Datenaufbereitung	11
2.3 Statistische Methoden	11
2.4 Differenzierung von Hintergrundwerten	12
2.4.1 Substratdifferenzierung	13
2.4.2 Regionale Differenzierung	13
2.4.3 Horizontdifferenzierung	14
2.4.4 Nutzungsdifferenzierung	14
3 Verteilung der Analysendaten	16
4 Literaturübersicht	17
4.1 Übersichtsdarstellung von Literaturdaten	17
4.2 Vergleich der Problemstoffgehalte wichtiger Substratgruppen	19
4.2.1 Sande, Sandsteine und Grauwacken	19
4.2.2 Löß, Lößlehm und Sandlöß	20
4.2.3 Geschiebemergel und Geschiebelehm	20
4.2.4 Tone und Tonsteine	20
4.2.5 Mergel-, Kalk- und Karbonatgesteine	21
4.2.6 Saure Magmatite und Metamorphite	21
4.2.7 Gneise und Glimmerschiefer	21
4.2.8 Basische Magmatite und Metamorphite	22
4.2.9 Ultrabasische Magmatite und Metamorphite	22
4.2.10 Lagerstättengesteine	22
4.2.11 Torfe	22
4.3 Eintrag anorganischer Problemstoffe in Böden	23
5 Darstellung der Untersuchungsergebnisse	23
5.1 Substratdifferenzierte Auswertung	23
5.1.1 Löß und Lößlehm	24
5.1.2 Kalkstein und Kalksteinverwitterungsmaterial	25
5.1.3 Dolomitstein	28
5.1.4 Mergel und Mergelstein	28
5.1.5 Sandige Substrate	29
5.1.6 Tone und Tonsteine	30
5.1.7 Tertiäre Lehme und Schluffe	31
5.1.8 Magmatische und metamorphe Gesteine	32
5.1.8.1 Basische und ultrabasische magmatische und metamorphe Gesteine	32
5.1.8.2 Saure und intermediäre magmatische und metamorphe Gesteine	33
5.1.9 Moränenmaterial	34
5.1.10 Moorböden	35

5.2 Diskussion der Nutzungsunterschiede	35
5.3 Vergleich der Problemstoffgehalte in C-Horizonten verschiedener Ausgangssubstrate ...	37
5.3.1 Nordwestbayern	38
5.3.2 Fränkische und Schwäbische Alb	38
5.3.3 Ostbayerisches Grundgebirge	38
5.3.4 Tertiärhügelland	39
5.3.5 Alpen/Alpenvorland	40
5.4 Auswertung der Humusauflagen	40
5.4.1 Vergleich von Problemstoffkonzentrationen in den Humusauflagen und Mineral- böden ungeschichteter Profile	46
5.4.2 Problemstoffgehalte in Humusauflagen	49
5.5 Darstellung typischer elementbezogener Tiefenprofile	50
5.6 Vergleich von Vorsorgewerten nach dem E-BodSchV mit Stoffgehalten unterschied- licher Substrate	59
6 Zusammenfassung	64
7 Ausblick	65
8 Danksagung	66
9 Literatur	67

Kurzfassung

Mit dem Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG), das am 1.3.1999 in Kraft treten wird, werden nach Wasser und Luft auch die Böden in Deutschland umfassend geschützt. Dabei ist der vorsorgende Bodenschutz zur Erhaltung der natürlichen, archivarischen und sozioökonomischen Bodenfunktionen wesentlicher Bestandteil des Gesetzes. In dem Entwurf der Bodenschutzverordnung (E-BodSchV) sind daher Vorsorgewerte für anorganische Problemstoffe definiert, bei deren Überschreitung eine schädliche Bodenveränderung zu besorgen ist, soweit nicht naturbedingt oder großflächig siedlungsbedingt Werte über den Vorsorgewerten zu erwarten sind. Die Vorsorgewerte sind nach Bodenart und pH-Wert der Böden abgestuft, um die geringere Bindungskapazität tonarmer und saurer Böden für die meisten anorganischen Problemstoffe zu berücksichtigen.

Für die Anwendung der Vorsorgewerte ist eine fundierte Kenntnis der Gehalte anorganischer Problemstoffe in den Böden erforderlich. Der natürliche, durch den Mineralbestand der Gesteine bedingte, Gehalt der Böden und die ubiquitäre Zusatzbelastung werden als Hintergrundgehalte zusammengefaßt. Aus den Hintergrundgehalten werden Hintergrundwerte unter Berücksichtigung regionaler Gegebenheiten, der Gesteine und Substrate, der Nutzung und der Horizonte ermittelt. In Böden, für die Hintergrundwerte oberhalb der Vorsorgewerte ausgewiesen wurden, sind keine schädliche Bodenveränderung bei Überschreiten der Vorsorgewerte zu besorgen, soweit nicht eine Freisetzung der Schadstoffe nachteilige Auswirkungen auf die Bodenfunktionen erwarten läßt.

Wegen der großen Bedeutung der Hintergrundwerte wurden im Auftrag und mit Mitteln des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen am Bayerischen Geologischen Landesamt an 4500 Standorten in Bayern die Hintergrundgehalte für die Elemente As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se, Tl, V und Zn in den Horizonten gemessen und zu Hintergrundwerten zusammengefaßt.

Die höchsten Gehalte an Cd, Hg, Pb und Se wurden in den Humusaufträgen gefunden und nehmen mit der Tiefe ab. Die Gehalte der Elemente Co, Cr, Ni, Tl und V steigen von den Humusaufträgen und Oberböden zu den Ausgangsgesteinen an. Dies deutet auf einen Immissionseinfluß für die Elemente Cd, Hg, Pb und Se und auf die Bodenbürtigkeit der anderen Elemente hin.

Die Vorsorgewerte nach dem E-BodSchV wurden in Böden nahezu aller Substrate in Bayern in einzelnen Fällen überschritten. In Böden aus Lößlehm, Kalkstein, Dolomitstein, Tonschiefer, basischen und ultrabasischen Gesteinen übertreffen vielfach die Hintergrundwerte die Vorsorgewerte. Insbesondere Böden aus basischen und ultrabasischen Gesteinen haben in den C-Horizonten sehr hohe Cr- und Ni-Gehalte, welche die Vorsorgewerte um ein Vielfaches überschreiten. In diesen Horizonten wurden auch hohe Co-, Cu- und V-Konzentrationen gefunden. Aufgrund meist spurenelementärerer periglazialer Decken nehmen diese hohen Metallgehalte zum Oberboden hin ab.

Die geochemische Zusammensetzung des Ausgangsmaterials ist der weitaus bedeutendste Pedofaktor für die Gehalte anorganischer Problemstoffe in den Böden. In Gebieten mit einer hohen geochemischen Variabilität der Ausgangsgesteine reicht eine Differenzierung der Vorsorgewerte durch die Bodenart nicht aus.

In landwirtschaftlich genutzten Böden wurden, mit Ausnahme von Pb und teilweise auch Cd und Hg, oft höhere Gehalte an anorganischen Problemstoffen als unter Wald gefunden. Dieser nutzungsabhängige Effekt ist im ostbayerischen Grundgebirge und in den Bayerischen Alpen weniger deutlich.

Abstract

In Germany the soils will become entirely protected by the German-Soil-Protection-Act, which comes into force at 1.3.1999. The preventive soil protection is one essential part of this act, to save the natural, archivaric and socioeconomic soil-functions. Therefore the draft of the Soil-Protection-Order defines precautionary values for inorganic substances like heavy-metals, which may cause harmful soil changes. Considering the lower binding capacity of heavy metals in acid and soils with low clay content, the precautionary values depend on soil texture and pH-value of soils. A harmful soil change has to be cared of, if element contents of soils, which are not caused by natural or by ubiquitous anthropogenetic deposits, exceed the precautionary values.

For the use of the precautionary values the knowledge of heavy metal contents of soils is essential. The natural element content of soils, caused by mineralogy of parent material, and the ubiquitous additional content of heavy metals are summarized as background-contents. Background-values are determined from background-contents according to regional aspects, the parent material of soils, the soil horizons and the agricultural or forest use of soils. Soils, with background values exceeding the precautionary values, have not to be cared of as a harmful soil change, if element contents of soils exceed the precautionary values, as far as the heavy metals will not enter the ecosystem.

Because of the importance of background values the Bavarian Geological Survey measured by order and with funds of the Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen the background contents of As, Cd, Co, Cu, Hg, Pb, Se, Tl and Zn in the soil horizons of at 4500 sampling sites in Bavaria and summarized them to background values.

The highest concentrations of Cd, Hg, Pb and Se are found in the organic layers of forest soils. The concentration of these elements are decreasing with soil depth from organic layers and topsoils to parent material. The concentration of Co, Cr, Ni, Tl and V increases with depth and is highest in the parent material. This indicates, that the concentration of Cd, Hg, Pb and Se is influenced by pollution, whereas the concentration of the other elements is dominated by parent material.

The precautionary values are exceeded by some samples in soils of almost every kind of parent material in Bavaria. In soils derived from loess, limestone, dolomite, clay-schist, basic and ultrabasic rocks the background values often exceed the precautionary values. Soils from basic and ultrabasic rocks have very high concentrations of Cr and Ni in the subsoil and parent material, exceeding the precautionary values by multitude. Due to periglacial layers, with less amount of heavy metals, the high heavy metal concentrations are decreasing from subsoil to topsoil.

The mineralogy and geochemistry of the parent material and not soil texture dominates the concentration of heavy metals in soils. In regions with a high geochemical variability of parent rocks the differentiation by the precautionary values is not sufficient.

With the exception of Pb and partly Cd and Hg, the concentration of heavy metals is higher in agricultural soil than in forest soil. This effect of land use is less significant in the mountainous areas of Eastern Bavaria and in the Alps.

1 Einleitung

Die Stoffgehalte von Böden werden durch natürliche und anthropogene Einflüsse gesteuert. Für den anorganischen Stoffbestand von Böden ist die Mineralzusammensetzung von Ausgangsmaterialien der Bodenbildung maßgebend. Im Laufe der Profilentwicklung finden Verlagerungsprozesse, z.B. durch Podsolierung oder Tonverlagerung innerhalb des Bodenprofils, aber auch z.B. durch Wind- und Wassererosion in der Landschaft statt, die Einfluß auf die Verteilung organischer und anorganischer Problemstoffe in Böden haben können. Neben diesen natürlichen Einflußfaktoren spielen insbesondere in einer hochindustrialisierten und intensiv landwirtschaftlich genutzten Region anthropogene Einflüsse eine nicht unbedeutende Rolle. So wird durch Bewirtschaftungsmaßnahmen die Verteilung der Stoffgehalte in Böden beeinflusst und es können z.T. erhebliche Mengen von Problemstoffen z.B. durch Verbrennung fossiler Brennstoffe, Kraftfahrzeugverkehr, Bergbautätigkeit, Ausbringung von Klärschlämmen, Komposten, Siedlungsabfällen und die Verwendung von Düngemitteln und Agrochemikalien in der Landwirtschaft in den Boden gelangen (BLUME, 1992). Hierdurch kann es zu einer Beeinträchtigung von Bodenfunktionen, insbesondere der Filter- und Pufferfunktion des Bodens kommen (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 1989).

Mit dem Inkrafttreten des Gesetzes zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (BBodSchG) zum 01.03.99 und dem im Entwurf vorliegenden untergesetzlichen Regelwerk (Bodenschutz- und Altlastenverordnung, E-BodSchV) sowie mit dem Bayerischen Bodenschutzgesetz (BayBodSchG), das ebenfalls im Entwurf vorliegt, wird erstmals die nachhaltige Sicherung und Wiederherstellung der Bodenfunktionen umfassend gesetzlich geregelt. Den Bestimmungen des BBodSchG unterliegen die natürlichen Bodenfunktionen (Lebensgrundlage und Lebensraum für Menschen, Tiere, Pflanzen und Bodenorganismen; Bestandteil des Naturhaushalts, insbesondere mit seinen Wasser- und Stoffkreisläufen; Abbau-, Ausgleichs- und Aufbaumedium für stoffliche Einwirkungen aufgrund der Filter-, Puffer- und Stoffumwandlungseigenschaften), die Nutzungsfunktionen des Bodens (Rohstofflagerstätte; Fläche für Siedlung und Erholung; Standort für die land- und forstwirtschaftliche Nutzung; Standort für sonstige wirtschaftliche und öffentliche Nutzungen, Verkehr, Ver- und Entsorgung) und die Funktion des Bodens als Archiv der Natur- und Kulturgeschichte.

Um den Boden effizient vor stofflichen Belastungen schützen zu können, sind fundierte fachliche Grundlagen zur Bewertung von Stoffgehalten nötig. Hierfür ist die Kenntnis des Ist-Zustandes der Böden eine wesentliche Voraussetzung. Das Bayerische Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen hat daher das Bayerische Geologische Landesamt beauftragt im Rahmen des Forschungs- und Entwicklungsvorhabens "Geogene und anthropogene Schwermetalle in Böden Bayerns; Hintergrundwerte anorganischer Problemstoffe" die Gehalte anorganische Problemstoffe in den Böden Bayerns zu erfassen und zu beschreiben und dieses Vorhaben finanziell gefördert.

Der vorsorgende Schutz des Bodens wird im BBodSchG durch Vorsorgewerte für organische und anorganische Problemstoffe sichergestellt, die unter Berücksichtigung natürlicher Stoffgehalte so festgelegt werden, daß ökotoxikologische Wirkungsschwellen nicht überschritten werden und unerwünschte oder schädliche Auswirkungen auf Pflanzen und Belastungen des Grundwassers nicht zu besorgen sind.

In Böden sind gemäß E-BodSchV naturbedingt oder großräumig siedlungsbedingt erhöhte anorganische Stoffgehalte unbedenklich, soweit eine Freisetzung der Schadstoffe oder zusätzliche Einträge keine nachteiligen Auswirkungen auf die Bodenfunktionen erwarten lassen. Für den fachlichen Vollzug des Gesetzes müssen daher Böden mit naturbedingt erhöhten Stoffgehalten kenntlich gemacht und abgegrenzt werden.

Die Darstellung des Ist-Zustandes von Böden und die Kennzeichnung von Böden mit naturbedingt oder siedlungsbedingt erhöhten Stoffgehalten ist mit Hintergrundgehalten und Hintergrundwerten möglich. Diese sind von der Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) wie folgt definiert (LABO, 1995):

Der Hintergrundgehalt eines Bodens setzt sich zusammen aus dem **geogenen Grundgehalt**, das ist der Stoffbestand des Bodens, der sich aus dem Ausgangsgestein (lithogener Anteil) und den durch pedogenetische Prozesse beeinflussten Umverteilungen (An- oder Abreicherung) von Stoffen im Boden ergibt, und der **ubiquitären Stoffverteilung als Folge diffuser Einträge** in den Boden. Die Formulierung "ubiquitär/diffus" grenzt den Hintergrundgehalt von solchen Ist-Gehalten ab, die durch punktuell hohe Stoffeinträge (z.B. punktueller Emittenteneinfluß, Altlasten) gegenüber den Hintergrundgehalten deutlich erhöht sind.

Hintergrundwerte sind repräsentative Werte für allgemein verbreitete Hintergrundgehalte eines Stoffes in Böden. Sie beruhen auf den ermittelten Hintergrundgehalten und bezeichnen unter Angabe statistischer Kenngrößen und der Differenzierung hinsichtlich der Bodeneigenschaften und Standortverhältnisse sowie der Bezugsgrößen Nutzung und Gebietstyp die repräsentativen Stoffgehalte in Böden.

Liegen die Stoffgehalte im Boden oberhalb der Hintergrundwerte, kann ein untypischer Stoffgehalt und damit eine Kontamination vermutet werden. Der anthropogene Anteil am Hintergrundgehalt ist allerdings quantitativ vom geogenen Anteil aufgrund der vielen in Frage kommenden Einflußfaktoren in der Regel nicht abzutrennen.

Die Stoffgehalte im Boden hängen von verschiedenen Einflußfaktoren ab, nach denen die Hintergrundwerte entsprechend der LABO-Definition zu differenzieren sind:

- **Ausgangssubstrat**

Die Gehalte der anorganischen Problemstoffe in Böden werden maßgeblich vom Ausgangssubstrat und dessen geochemischer Zusammensetzung beeinflusst.

- **Bodenhorizont**

Durch Pflanzen können Problemstoffe über die Wurzeln aus dem Boden aufgenommen und in Oberböden bzw. bei Wäldern in den organischen Auflagen wieder abgelagert werden. Insbesondere Stoffe mit einer hohen Affinität zur organischen Substanz können sich dadurch in Oberböden und organischen Auflagen anreichern. Daneben sind pedogenetische Prozesse für die Differenzierung von Hintergrundwerten von Bedeutung. Da die meisten Metalle im sauren Milieu weniger stark im Boden gebunden sind, können sie im Zuge der Bodenversauerung in tiefere Bodenschichten verlagert werden. Durch diese und weitere Bodenbildungsprozesse wie z.B. Podsolierung, Lessivierung oder Bioturbation werden Problemstoffe verlagert, was zu typischen Verteilungen innerhalb eines Bodenprofils führt. In den chemisch nur wenig verwitterten C-Horizonten hat i.a. keine Veränderung des ursprünglichen Stoffgehaltes stattgefunden. Die Differenzierung nach Bodenhorizonten berücksichtigt Prozesse der Pedogenese bei der Betrachtung von Stoffverteilungen im Boden.

- **Nutzung**

Pedologische Prozesse können nutzungsabhängig sein. So bewirkt das Pflügen der Äcker eine Durchmischung des Bodens bis auf Pflugtiefe und die Ausbildung eines einheitlichen Pflughorizontes. Unter Waldnutzung führt die Ausbildung einer Streuauflage und die Entwicklung bestimmter Bodeneigenschaften, wie z.B. des pH-Wertes, zu charakteristischen Bodenausprägungen. Daneben

beeinflussen nutzungsbedingte Stoffeinträge die Verteilung von Problemstoffen in Böden. Landwirtschaftlich genutzte Böden können bei unsachgemäßer Aufbringung organischer oder mineralischer Dünge- und Pflanzenschutzmittel oder durch die Verwertung organischer Abfälle (z.B. Klärschlamm) beeinträchtigt werden. Unter Waldnutzung ist der Eintrag luftgetragener Problemstoffe durch den "Auskämmeffekt" der Bäume erhöht.

- Gebietstyp

Die siedlungsstrukturelle Differenzierung (Verdichtungsräume, Räume mit Verdichtungsansätzen, ländliche Räume) und der großklimatische Gebietstyp beeinflussen die Immissionssituation und können sich daher ebenfalls auf die Stoffgehalte im Boden auswirken.

Im Rahmen eines F&E-Vorhabens wurden am Bayerischen Geologischen Landesamt (BayGLA) im Zeitraum 1994-1998 **substrat-, horizont-, nutzungs- und regionsspezifische Hintergrundwerte** anorganischer Problemstoffe in Böden Bayerns erarbeitet.

2 Material und Methoden

Das BayGLA führt seit Mitte der 80er Jahre im Rahmen des Bodenkatasters Bayern die Boden-Grundinventur, die Boden-Flächeninventur sowie die Untersuchung von Bodendauerbeobachtungsflächen durch. Der Bodenkataster soll landesweit und fortschreibbar alle boden- und standortkundlichen Daten liefern, die für ein umfassendes Bodeninformationssystem benötigt werden. Den Kernteil des Bodenkatasters bildet die Boden-Grundinventur, bei der jede Bodenform des Landes erfaßt und nach ihren chemischen und physikalischen Grunddaten, dem Stoffbestand und den Standorteigenschaften gekennzeichnet wird. Der Bodenkataster ist als Teil des Bodeninformationssystems eine wesentliche Voraussetzung dafür, daß die Verbreitung der Böden mit ihren Eigenschaften und ihrem stofflichen Zustand dargestellt und die Empfindlichkeit und Belastbarkeit von Böden abgeschätzt werden kann. Insgesamt sind für den Bodenkataster Bayern bislang ca. 15.000 Standorte in ganz Bayern beprobt und ca. 58.000 Bodenproben in eine Bodenprobenbank eingelagert worden. Die Bodenproben wurden horizontbezogen aus Bohrungen und Profilgruben entnommen, wobei eine detaillierte Standort- und Profilbeschreibung erfolgte. Die genaue Vorgehensweise bei der Beprobung ist in BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDESENTWICKLUNG UND UMWELTFRAGEN (1997) beschrieben.

Die Analysenergebnisse für den vorliegenden Bericht stammen überwiegend aus der Bodengrundinventur. Insgesamt liegen Untersuchungen auf Elementgehalte von 4.742 Standorten vor. Routinemäßig werden derzeit am BayGLA 33 Elemente untersucht. Dargestellt werden in dem Bericht die Daten der Problemstoffe Arsen (As), Cadmium (Cd), Kobalt (Co), Chrom (Cr), Kupfer (Cu), Quecksilber (Hg), Nickel (Ni), Blei (Pb), Selen (Se), Thallium (Tl), Vanadium (V) und Zink (Zn).

2.1 Analysenmethoden

Das Probenmaterial wurde bei Raumtemperatur getrocknet und auf <2 mm gesiebt. Anschließend wurde das Feinmaterial für die Analyse auf anorganische Problemstoffe in einer Achat-Planeten-Kugelmühle auf eine Korngröße von <60 µm zerkleinert (RUPPERT, 1987/1).

Bis Anfang 1984 wurden am BayGLA anorganische Problemstoffe ausschließlich im Königswasserextrakt (DIN 38414) bestimmt. Seit 1984 werden sie im Totalaufschluß ($\text{HNO}_3/\text{HF}/\text{HClO}_4$, DIN ISO Nr. 07-92 Vornorm) gemessen, der im Gegensatz zum Königswasserextrakt Gesamtgehalte liefert.

Nach RUPPERT (1987/1) sind die Chrom-Werte im Königswasseraufschluß um 20-40% niedriger als im Totalaufschluß, bei den übrigen betrachteten Elementen sind die Werte um ca. 10% niedriger. Eigene Untersuchungen bestätigen diese Tendenz, zeigen aber auch, daß die Differenz zwischen Königswassergehalten und Totalgehalten je nach Probenkollektiv starken Schwankungen unterliegen kann. Derzeit kann nicht mit hinreichender Sicherheit ausgesagt werden, wie sich Stoffgehalte im Königswasserextrakt und im Totalaufschluß je nach Element und Substrat zueinander verhalten. Aus diesem Grund konnte keine gemeinsame Auswertung von Königswassergehalten und Gesamtgehalten vorgenommen werden. Für die Darstellung der Hintergrundwerte wurden mit Ausnahme von Hg nur Gesamtgehalte ausgewertet. Hg wurde ausschließlich im Königswasserextrakt bestimmt.

Die Untersuchungen wurden größtenteils in den Labors des BayGLA in München und Bamberg durchgeführt. Ein Teil der Hg- und As- Bestimmungen wurde in externen Labors vorgenommen. Das Präparationsverfahren am BayGLA hat sich seit Beginn der Untersuchungen auf anorganische Problemstoffe trotz erheblicher methodischer Verbesserungen, die zu einer höheren Arbeits- und Aufschlußeffizienz führten, nicht wesentlich verändert (LINHARDT und DITTRICH, in Vorbereitung). Die Konzentrationen, bis zu denen die anorganischen Problemstoffe in der Aufschlußlösung noch nachgewiesen und bestimmt werden können, wurden in einzelnen Fällen erheblich abgesenkt. Die Bestimmungsgrenze anorganischer Problemstoffe ist aber neben dem instrumentellen Detektionsverfahren noch von anderen Faktoren abhängig. So können die anorganischen Problemstoffe und andere Stoffe, die in der Probe vorkommen, je nach ihrer Konzentration die Bestimmung eines einzelnen Problemstoffes durch spektrale und isobare Interferenzen erheblich stören. Bestimmungsgrenzen können daher nur für eine bestimmte Messung/Meißreihe mit Sicherheit angegeben werden. Bestimmungsgrenzen, die ohne Bezug auf eine bestimmte Messung genannt werden, geben einen mittleren wahrscheinlichen Wert an, der bei üblichem Laborbetrieb noch mit Sicherheit bestimmt werden kann (Tab. 1).

Tab. 1: Bestimmungsgrenzen anorganischer Problemstoffe in mg/kg Boden bei üblichem Laborbetrieb am BayGLA

	Labor München		Labor Bamberg
	1990	1997	1997
As	—	0,3	0,5
Cd	0,05	0,02	0,04
Co	0,05	0,004	0,01-0,5
Cr	0,1	0,09	0,1
Cu	0,05	0,07	0,05-5
Hg*	0,1	0,02	—
Ni	0,1	0,05	0,06-3
Pb	0,05	0,01	0,4
Se	—	—	0,01
Tl	0,05	0,01	0,01
V	0,1	0,7	0,03
Zn	0,5	0,35	0,1-2

* Bis 1994 wurden alle Hg-Messungen von Privatlaboratorien durchgeführt.

Da den Werten der verwendeten Datenkollektive je nach Meßreihe unterschiedliche Bestimmungsgrenzen zugrundeliegen, können im vorliegenden Bericht auch Werte angegeben sein, die in anderen Datenkollektiven und anderen Meßreihen unter der Bestimmungsgrenze liegen.

2.2 Datenaufbereitung

Um die Elementgehalte nach den unterschiedlichen bodenkundlichen und standortspezifischen Kriterien auswerten zu können, wurden die Profilbeschriebe nach der zum Zeitpunkt des Projektbeginns gültigen Bodenkundlichen Kartieranleitung, 3. Auflage, (AG BODENKUNDE, 1982) homogenisiert und in einer Projektdatenbank abgelegt.

Da die Profile zu unterschiedlichen Zeitpunkten aufgenommen worden waren, ist auch der Informationsgehalt der Beschriebe sehr unterschiedlich. Insbesondere die Substratzuordnung und die Deckschichtenansprache ist bei vielen älteren Profilen lückenhaft, so daß vor allem bei Profilen mit äolischem Fremdmaterial oder solifluidal beeinflussten Böden keine eindeutige petrographische Zuordnung getroffen werden konnte. Für die substratbezogene Auswertung mußte auf diese Proben verzichtet werden.

Proben, die an anthropogenen Belastungsstandorten entnommen worden waren, wurden bereits vor der Auswertungsprozedur ausgesondert, da sie definitionsgemäß keine Hintergrundgehalte repräsentieren. Es handelt sich hierbei z. B. um Bodenproben von Wurftaubenschießanlagen, Auftragsböden aus anthropogenem Material oder Proben, die in unmittelbarer Nähe von Straßen entnommen wurden. Der auswertbare Datenbestand reduzierte sich dadurch auf 4.500 Standorte.

Ein Problem stellt die Berücksichtigung nicht nachweisbarer Stoffgehalte dar. Eine Berücksichtigung kann erfolgen, indem als Analysenwert entweder die Nachweisgrenze, die halbe Nachweisgrenze oder der Wert 0,0 eingesetzt wird. Da bei der Auswertung der Daten mit z.T. sehr unterschiedlichen Nachweisgrenzen gearbeitet werden mußte, wurde im vorliegenden Bericht bei nicht nachweisbaren Stoffgehalten mit dem Wert 0,0 gerechnet.

2.3 Statistische Methoden

Da die untersuchten Datensätze in den meisten Fällen nicht normalverteilt waren, wurden als geeignete statistische Kenngrößen der Median und Perzentile angegeben (vgl. SACHS, 1984).

Ob sich zwei Datenkollektive signifikant unterscheiden, wurde mit Hilfe des nichtparametrischen Rangtests von Mann und Whitney untersucht, der unempfindlich gegenüber unterschiedlichen Schiefen und Varianzunterschieden ist (SACHS, 1984). Wenn mehrere unabhängige Stichproben verglichen werden sollten, wurde der H-Test von Kruskal und Wallis verwendet, der eine Verallgemeinerung des für den Vergleich von 2 Stichproben ausgelegten Mann-Whitney-Tests darstellt. Die Testverfahren wurden nur angewendet, wenn Unsicherheiten über Unterschiede zwischen Datenkollektiven bestanden. Bei einem Stichprobenumfang von $n < 10$ wurden keine Signifikanztests durchgeführt.

In jedem Datenkollektiv kann es vorkommen, daß "untypische" Werte die Auswertungsergebnisse verzerren. Die Ursachen hierfür reichen von lokalen Kontaminationen über die Auswahl des Standortes und die Probenahme bis zur Analytik. Um Analysenwerte zu identifizieren, die nicht zum Datenkollektiv gehören, wurde vor jeder Auswertung einzelner Teildatensätze eine Ausreißerkorrektur durchgeführt. Hierfür wurden mit Hilfe des Statistik-Programmpakets SPSS für Windows von jeder Verteilung Boxplots (s. Abb. 1) erstellt, diese auf Ausreißer geprüft und die entsprechenden Meßwerte aus dem Datensatz entfernt.

Als Ausreißer wurden solche Daten aus dem Datenkollektiv entfernt, die das 25. bzw. das 75. Perzentil um mehr als das 1,5-fache des Interquartilabstandes (Differenz des 25. und. 75. Perzentils) über- bzw. unterschritten (s. Abb. 1). Bei einigen bimodalen Verteilungen lieferte der Ausreißertest z.T. sehr unbefriedigende Ergebnisse, so daß expertengestützt eine Einzelfallprüfung der Ausreißer vorgenommen wurde.

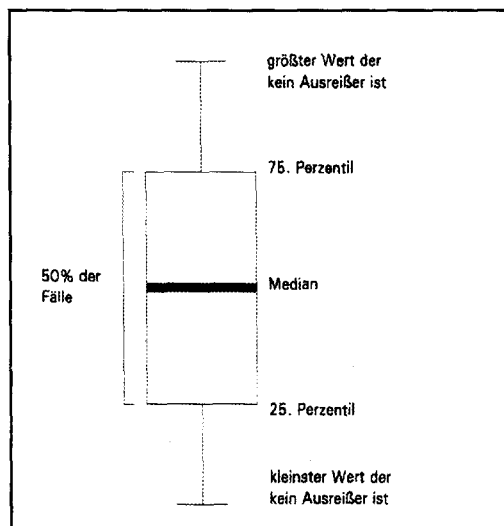


Abb. 1: Schema eines Boxplots zur Ausreißerkorrektur

Folgende statistische Kenngrößen wurden zur Beschreibung der Datenkollektive berechnet:

- **Stichprobenumfang (n):** Anzahl der Proben des Datenkollektivs
- **Minimum (Min.):** kleinster Wert des Datenkollektivs (ohne Ausreißer)
- **Maximum (Max.):** größter Wert des Datenkollektivs (ohne Ausreißer)
- **Median:** Derjenige Wert in der nach der Größe der Einzelwerte geordneten Reihe, der die Reihe halbiert.
- **25. Perzentil (25.P.):** Derjenige Wert in der nach der Größe der Einzelwerte geordneten Reihe, der 25 % des Datenkollektivs umfaßt.
- **75. Perzentil (75.P.):** Derjenige Wert in der nach der Größe der Einzelwerte geordneten Reihe, der 75 % des Datenkollektivs umfaßt.
- **90. Perzentil (90.P.):** Derjenige Wert in der nach der Größe der Einzelwerte geordneten Reihe, der 90 % des Datenkollektivs umfaßt.

Das 90. Perzentil wird zur Kennzeichnung der Obergrenze des für das Datenkollektiv repräsentativen Wertebereichs und damit als **Hintergrundwert** zur Abgrenzung von merklicher anthropogener Belastung vorgeschlagen. (vgl. PRÜß, 1994 und LABO, 1995).

2.4 Differenzierung von Hintergrundwerten

Die Analysendaten wurden nach Substraten, Nutzungen, Horizonten und Landschaftsgrößenheiten differenziert ausgewertet und die daraus resultierenden Hintergrundwerte in tabellarischer Form dargestellt (s. Anhang, Tabellen A 1 - E 9). Vorteile der tabellarischen Darstellung sind die leichte Handhabbarkeit im Vollzug, die exakte Angabe von Kenngrößen der Hintergrundwerte für einzelne Substrate und Nutzungen sowie die Vergleichbarkeit mit Daten anderer Erhebungen (vgl. LABO, 1995). Die tabellarische Darstellung von Hintergrundwerten in Form eines "Nachschlagewerks" ermöglicht es, anorganische Problemstoffgehalte in Böden im petrographischen, pedologischen und

landschaftstypischen Kontext einzuordnen, um eventuelle Belastungen und untypische Werte rasch identifizieren zu können.

2.4.1 Substratdifferenzierung

Für die Erarbeitung von Hintergrundwerten stand eine möglichst starke Substratdifferenzierung im Vordergrund, um geochemische Substratunterschiede darstellen zu können. Für eine statistische Auswertung mit Ausreißerkorrektur mußte andererseits nach einer nutzungs- und horizontspezifischen Differenzierung noch eine ausreichend große Probenzahl zur Verfügung stehen. Bei zu geringer Stichprobenzahl wurden daher Substratgruppen mit ähnlicher geochemischer Zusammensetzung gebildet. Beispielsweise wurden Böden aus Löß, Lößlehm, Schwemmlöß und Sandlöß gemeinsam ausgewertet, weil aufgrund ihrer Genese davon ausgegangen wurde, daß sie ähnliche Schwermetallgehalte aufweisen. Welche Substrate gemeinsam ausgewertet wurden, ist den Beschreibungen der Substrate unter Nr. 5.1.1 - Nr. 5.1.10 zu entnehmen.

Die Zuordnung von Bodenproben zu Substraten ist mit Unsicherheiten behaftet, da in den Deckschichten, von denen die meisten Böden im bayerischen Raum geprägt sind, die Substrate vermischt sind. Während des Pleistozäns wurde meist schluffreiches Material durch Windtransport in variabler Mächtigkeit auf die Böden aufgeweht. Auftauvorgänge während der Sommermonate im Pleistozän führten durch Kryoturbation und Solifluktion zu einer Homogenisierung der Böden und damit zu einer Einarbeitung der äolischen Komponente. Der natürliche Stoffbestand im oberen Teil der meisten bayerischen Böden ist durch diese äolische Komponente beeinflusst. Daher ist es häufig nicht möglich, unmittelbar aus den Stoffgehalten des Ausgangsgesteins auf den Stoffgehalt der oberen Bodenhorizonte zu schließen. Vielmehr müssen in den meisten Fällen die Mischungsverhältnisse zwischen äolischem, im Untergrund anstehenden und lateral umgelagertem Material beachtet werden (RUPPERT et al., 1991). Die Zuordnung von äolisch überprägten Bodenhorizonten zu Substraten gestaltet sich aufgrund ihrer Mischungsverhältnisse in der Praxis äußerst schwierig. Für die Zuordnung konnte nur die überwiegende Substratkomponente berücksichtigt werden, was dazu führt, daß bei den in Bayern häufig vorkommenden Mischsubstraten die Problemstoffgehalte der untergeordneten Komponente(n) die Auswertungsergebnisse beeinflussen und die Spannbreite der Hintergrundgehalte erhöhen. Die Spannbreiten der Hintergrundgehalte spiegeln damit die Variabilität der in Bayern vorkommenden Substratmischungen wieder.

Holozäne Substrate aus Talauen müssen nach Flußsystemen und Flußabschnitten getrennt betrachtet werden und wurden aufgrund der wenigen Gesamtgehaltsmessungen in diesen Substraten nicht ausgewertet. Zu Schwermetallgehalten in Böden des Main- und Donautales wird auf JONECK und PRINZ (1993) und RUPPERT et al. (1988) verwiesen.

2.4.2 Regionale Differenzierung

Die Regionalisierung der Hintergrundwerte erfolgte nach Landschaftsgrößenheiten auf der Grundlage der Standortkundlichen Landschaftsgliederung von Bayern (WITTMANN, 1991). Diese Regionalisierung grenzt unterschiedliche Immissionssituationen voneinander ab (z.B. Tertiärhügelland, Bayerischer Wald, Alpenregion) und gliedert gleiche oder ähnlicher Substrate nach regional unterschiedlicher geochemischer Zusammensetzung.

Beispielsweise unterscheidet sich die Substratgruppe der Lössen in den Landschaftsgrößenheiten

“Nordwestbayerns” bzw. der “Fränkischen und Schwäbischen Alb” bezüglich der meisten untersuchten Problemstoffe signifikant und konnte daher nicht gemeinsam ausgewertet werden.

Ausgehend von einer regional unterschiedlichen Datendichte wurden für die regionalisierte Auswertung Landschaftsgrößen zu folgenden “Auswertungseinheiten” zusammengefaßt (in Klammern jeweils die Nummer der Landschaftsgrößen der Standortkundlichen Landschaftsgliederung von Bayern, s. Karte A):

1. “Nordwestbayern”

Diese Auswertungseinheit umfaßt die Ton-Sand(stein)- und Ton-Kalkstein-Landschaften Nordwestbayerns mit folgenden Landschaftseinheiten: Rhein-Main-Niederung (1), Spessart-Odenwald (2), Rhön (3), Fränkische Platten (4), Keuper-Lias-Land (5), das oberfränkische Braun- und Schwarzjura-Gebiet (6.4), das Obermain-Schollenland (7) und das Oberpfälzer Becken- und Hügelland (9).

2. “Fränkische und Schwäbische Alb”

Diese Auswertungseinheit umfaßt die Dolomit- und Kalksteinlandschaften sowie die Sand(stein)-Ton-Landschaften der Fränkischen und Schwäbischen Alb (Landschaftseinheit 6 außer 6.4).

3. “Grundgebirge”

Diese Auswertungseinheit umfaßt die Landschaften des Ostbayerischen Grundgebirges und Paläozoikums mit Frankenwald, Fichtelgebirge, Vogtland (8), Oberpfälzer Wald (10) und Bayerischem Wald (11).

4. “Tertiärhügelland”

Diese Auswertungseinheit umfaßt die Deckenschotterlandschaften und die tertiären Sand-, Ton- und Löß-Landschaften Südbayerns, d.h. das Tertiärhügelland, die Iller-Lechplatte und das Donautal (12).

5. “Alpen und Alpenvorland”

Diese Auswertungseinheit umfaßt die schwäbisch-bayerischen Schotterplatten und Altmoränen (13), Jungmoränen und Molassevorberge (14), sowie die Bayerischen Alpen (15).

2.4.3 Horizontdifferenzierung

Die Horizonte wurden nach Oberböden (A-Horizonte), Unterböden (B-, T-, P-, M-, S- und G-Horizonte) und Untergrund (C-Horizonte) differenziert. Fossile Horizonte und Ah-C-Horizonte wurden nicht in die Auswertung einbezogen.

2.4.4 Nutzungsdifferenzierung

Die Daten für Ober- und Unterböden wurden nach landwirtschaftlicher Nutzung (Acker, Grünland) und Forst differenziert. Brache, Hutungen sowie Obst- und Gartenland wurden zur landwirtschaftlichen Nutzung gerechnet. Für die Auswertung der C-Horizonte wurde keine Nutzungsdifferenzierung vorgenommen. Auflagenhorizonte kommen nur unter Wald vor.

Insgesamt sind unter forstlicher Nutzung etwa doppelt so viele Profile auf anorganische Problemstoffe untersucht worden wie unter landwirtschaftlicher Nutzung. Für eine weitere Nutzungsdifferenzierung von Acker und Grünland war die Datenbasis für die meisten Substrate nicht ausreichend. Die LABO

(1995) unterscheidet für die länderübergreifenden Hintergrundwerte zwischen Forst-, Acker- und Grünlandnutzung.

Tab. 2: Mediane anorganischer Problemstoffgehalte ausgewählter Datenkollektive, differenziert nach Nutzung

Auswertungseinheit: Nordwestbayern; Oberböden								Substrat: Lößlehm (1)				
mg/kg	As	Cd	Co	Cr*	Cu	Hg	Ni	Pb*	Se	Tl*	V*	Zn
n	25	61	62	73	64	68	67	65	14	62	67	65
Acker	11	0,21	12	60	17	0,09	33	27	0,15	0,54	78	61
n	5	21	21	19	19	17	21	18	3	19	17	19
Grünland	11	0,24	13	76	18	0,06	36	34	--	0,70	108	67
Auswertungseinheit: Nordwestbayern; Oberböden								Substrat: Ton und Tonstein (2)				
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl*	V	Zn
n	5	24	23	26	26	28	25	23	3	21	24	26
Acker	12	0,30	15	64	24	0,10	41	47	--	0,73	109	89
n	4	21	22	23	21	25	21	18	4	18	22	20
Grünland	--	0,31	17	83	19	0,10	42	40	--	1,1	118	91
Auswertungseinheit: Fränkische und Schwäbische Alb; Oberböden								Substrat: Lößlehm (3)				
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	11	25	30	30	29	60	31	33	0	29	28	30
Acker	11	0,46	19	69	21	0,10	43	36	--	0,61	84	111
n	7	18	18	18	20	34	20	21	1	16	16	21
Grünland	14	0,42	19	73	22	0,09	55	40	--	0,68	92	131
Auswertungseinheit: Grundgebirge; Oberböden								Substrat: Gneis (4)				
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	6	17	12	15	18	18	17	15	0	10	10	19
Acker	5,5	0,28	11	51	21	0,13	22	38	--	0,79	69	114
n	3	15	15	15	15	18	15	16	2	16	16	14
Grünland	--	0,30	14	75	21	0,09	31	38	--	0,77	90	94

*Elemente, deren Mediane sich auf Acker- und Grünlandstandorten signifikant ($p<0,05$) unterscheiden

Für Oberböden von vier verschiedenen Datenkollektiven lag eine ausreichend hohe Analysenzahl für eine getrennte Auswertung der Problemstoffgehalte nach Acker- und Grünlandnutzung vor. Es handelt sich dabei um Böden aus Lößlehm in der Auswertungseinheit "Nordwestbayern" (1), um Böden aus Ton und Tonstein der Auswertungseinheit "Nordwestbayern" (2), um Böden aus Löß und Lößlehm der Auswertungseinheit "Fränkische und Schwäbische Alb" (3) und um Böden aus Gneis der Auswertungseinheit "Grundgebirge" (4). Für die jeweiligen Datenkollektive (1)-(4) wurden mit Hilfe des nichtparametrischen Mann-Whitney-Tests Unterschiede zwischen den Problemstoffgehalten unter

Ackernutzung und unter Grünlandnutzung getestet. Dabei ergaben sich für die Datenkollektive (3) und (4) bei keinem der untersuchten Problemstoffe signifikante Unterschiede. Für das Datenkollektiv (1) waren die Cr-, Pb-, Tl- und V-Gehalte in Oberböden unter Grünlandnutzung mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p < 0,05$ signifikant höher als in Oberböden unter Ackernutzung. Für Cr, Pb und Tl waren die Unterschiede auch bei $p < 0,01$ signifikant. Für das Datenkollektiv (2) waren die Tl-Gehalte in Oberböden unter Grünland signifikant höher als in Ackerböden ($p < 0,01$). Die Mediane der Problemstoffgehalte, differenziert nach Acker- und Grünlandnutzung, zeigt Tabelle 2. Mediane mit einem $n < 5$ werden nicht dargestellt.

Bei einigen Metallen wurden unter Grünlandnutzung tendenziell höhere Gehalte an anorganischen Problemstoffen festgestellt als unter Ackernutzung. Allerdings konnten nur in wenigen Fällen Unterschiede signifikant abgesichert werden. Außerdem kann sich auf landwirtschaftlich genutzten Flächen die Nutzung ändern, so daß eine getrennte Auswertung von Böden unter Acker- und Grünlandnutzung nur die augenblickliche Nutzungsverteilung erfaßt und nur eingeschränkt nutzungsbedingte Unterschiede in den Problemstoffgehalten herausarbeiten kann. Eine gemeinsame Auswertung von Acker- und Grünlandprofilen erscheint daher gerechtfertigt.

3 Verteilung der Analysendaten

Insgesamt wurden bis 1998 durch das BayGLA an 4.742 Standorten in Bayern Untersuchungen auf anorganische Problemstoffe durchgeführt. Daten von möglichen Belastungsstandorten (s. Kap. 2.2) und Standorte, deren Profilbeschrieb den Projektanforderungen nicht genügte, wurden jedoch für eine Erarbeitung von Hintergrundwerten nicht ausgewertet. Der auswertbare Datenbestand reduzierte sich damit auf 4.500 Standorte mit insgesamt 16.496 Einzelproben, für die mindestens eines der Elemente As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se, Tl, V und Zn im Königswasser- oder Totalaufschluß analysiert wurde. Bedingt durch die Intensität der bodenkundlichen Landesaufnahme wird die höchste Datendichte im "Tertiärhügelland" erzielt. Zu den Grenzen Bayerns hin nimmt die Datendichte deutlich ab. Durch die Weiterentwicklung der Analytik (Umstellung von AAS auf ICP-MS) und die jeweilige ursprüngliche Fragestellung zum Zeitpunkt der Probenahme wurde nicht bei allen Proben das gesamte Elementspektrum gemessen. Die Datenbasis ist daher für die einzelnen Elemente sehr unterschiedlich (Tab. 3).

Tab. 3: Anzahl der auswertbaren Standorte und Analysen

Elemente ¹	Anzahl der Standorte	Anzahl der Proben
Pb (Cd,Cr,Cu,Ni,Zn) ²	1.983	13.748
Co	1.540	7.382
As	977	5.305
Se	389	2.035
Hg ³	3.472	11.216
V, Tl	1.360	6.300

¹ Analytik (außer Hg) im Totalaufschluß
² Zahlenangaben gelten für Pb; die übrigen Elemente nach AbfKlärV sind jedoch mit ähnlicher Häufigkeit bestimmt worden
³ Hg wurde nur im Königswasseraufschluß bestimmt

4 Literaturübersicht

Die anorganischen Problemstoffe sind natürliche Bestandteile unserer Umwelt. Viele von ihnen sind für Stoffwechselprozesse bei Menschen, Tieren, Pflanzen, Pilzen oder Bakterien essentiell. Einige der anorganischen Problemstoffe werden, wie Cu auf Moorböden, in Mangelsituationen gezielt gedüngt. Schäden entstehen durch anorganische Problemstoffe, wenn sie in größeren Mengen bioverfügbar sind, genauer durch die Dosis mit der sie von Organismen aufgenommen werden, wobei zwischen den Organismen erhebliche Unterschiede in der Verträglichkeit gegenüber diesen Problemstoffen bestehen.

4.1 Übersichtsdarstellung von Literaturdaten

Über Gehalte anorganischer Problemstoffe in Böden sind bereits zahlreiche Untersuchungen an sehr unterschiedlichen Datenkollektiven und mit sehr unterschiedlichen regionalen Fragestellungen durchgeführt worden. Diese Studien basieren meist, wie auch in diesem Bericht, auf Gesamtgehalten und nicht auf dem verfügbaren Anteil. Auch die in verschiedenen Richtlinien und Gesetzen veröffentlichten Anhaltswerte zu den Mengen anorganischer Problemstoffe in Böden (LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG und ROTH, 1998) beziehen sich auf Gesamtgehalte oder auf Aufschlußverfahren, die diesen nahe kommen. Dabei wird in einer starken Vereinfachung davon ausgegangen, daß ein hoher Gesamtgehalt auch mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit mit hohen verfügbaren Anteilen korreliert.

Tab. 4: Spannweiten von Gesamtgehalten [mg/kg] anorganischer Problemstoffe in Böden

	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
Häufige Gehalte weltweit ¹	3,6-8,8			65	18	0,3	20	10-67	0,4	0,2	90	
Min. – Max. weltweit ¹	0,1-48	0,01-3	1-40	5-1000*	2-100	0,01-1,0	1-200	3-189	0,1-2,0	0,2-2,8	3-230	10-300
Mittlere Gehalte unterschiedlicher Bodenformen in												
- Deutschland ²	1,0-12,0	<0,3-0,8		7-125	<3-82	0,03-0,17	<3-419	9-59				14-152
- Baden-Württemberg ³				16,6-66,0	5,0-38,9		6,5-88,0	11,4-50,3				29,7-119,8
- Brandenburg ⁴	2,5-7,3	0,09-0,92	3,6-12	7,5-67	4,6-35	0,04-0,28	2,3-37	14-40				16-98
- Rheinland-Pfalz ⁵	2,3-12,6	0,12-0,90		5,5-46	6,4-32,5	0,07-0,27	6,8-44	22-121				26-127
- Sachsen ⁶	2,5-46	0,13-1,2		13-78	6,9-36	<0,1-0,21	3,6-95	20-115				26-170

¹PAIS und JONES (1997); ²LABO (1995); ³SCHÖTTLE et al. (1990); ⁴SCHMIDT et al. (1997); ⁵HAUENSTEIN et al. (1996); ⁶BARTH et al. (1996)
*Serpentine bis >1000 mg/kg;

Die Spannweiten der mittleren Gesamtgehalte anorganischer Problemstoffe in häufigen Böden Deutschlands und verschiedenen Bundesländern überschreiten die weltweit als häufig anzusehenden Gehalte teilweise erheblich, ohne die Spannweite weltweit vorkommender Gehalte zu erreichen (Tab. 4). Dabei sind die Gehalte häufiger Böden in Deutschland und den Bundesländern meist geringer als die Gehalte ausgewählter Gesteine, bzw. von Böden, die sich in ausgewählten Gesteinen oder Substraten bildeten (Tab. 5), was auf die ausgleichende Wirkung periglazialer Deckschichten in den meisten Böden zurückgeführt werden kann. Eine deutlich stärkere Differenzierung der sehr aggregierten Darstellung in Tabelle 4 ist in der jeweiligen Originalliteratur enthalten.

Gesteine und Substrate werden meist nach ihren Hauptbestandteilen und/oder ihrer Genese benannt und gruppiert, während die anorganischen Problemstoffe oft in den Nebenbestandteilen und Akzessorien enthalten sind. Je nach Gesteins- und Bodenkollektiv, das von den Autoren untersucht wurde, können daher andere Mengen an Nebenbestandteilen und Akzessorien zu teilweise erheblichen Unterschieden in den Angaben ähnlicher Gesteins- oder Substratgruppen führen (Tab. 5).

Tab. 5: Mittlere Gehalte [mg/kg] anorganischer Problemstoffe in Gesteinen oder Böden (Literaturdaten)

Gesteine (weltweit)	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
Sandsteine ^{2, 9}	1	0,06	0,x	20	x	0,0x	2	8	0,05	0,2	20	25
Sandsteine ¹	1	0,0x	0,3	35	x	0,03	2	7	0,05	0,82	20	15
Grauwacken ¹⁰	8	0,09	20	50	45	0,11	40	14	0,1	0,20	67	105
Löß ⁸			10	44	17		21	12		0,4	65	54
Tonsteine ¹⁰	10	0,13	19	90	45	0,45	68	22	0,5	0,68	130	95
Tonige Gesteine ¹	6,6	0,3	20	100	57	0,27	95	20	0,6	1	130	80
Karbonatgesteine ¹⁰	2,5	0,16	2	11	4	0,03	15	5	0,19	0,05	20	23
Kalksteine ¹	1	0,035	0,1	11	4	0,04	20	9	0,08	0,0x	20	20
Granitische Gesteine ¹⁰	1,5	0,09	4	12	13	0,03	7	32	0,04	1,1	94	50
Granite ¹	1,5	0,1	5	25	20	0,04	8	20	0,5	1,5	40	60
Gneise, Glimmerschiefer ¹⁰	4,3	0,10	13	76	23	0,02	26	16	0,08	0,65	60	65
Basaltisch-gabbroide Gesteine ¹⁰	1,5	0,10	48	168	90	0,02	134	3,5	0,09	0,08	251	100
Basite ¹	2,0	0,19	45	200	100	0,09	160	8	0,5	0,2	200	130
Ultrabasische Gesteine ^{2, 9}	1	0,1	150	1600	10	0,0x	2000	2	0,05	0,2	40	50
Ultrabasite ¹	0,5	0,05	200	2000	20	0,01	2000	0,1	0,5	0,01	40	30
Schwarzschiefer ¹ (Mitteleuropa)	-	-	70	200	310	-	425	28	-	-	1200	400
Kupferschiefer ⁷ (Mitteleuropa)	x00	x00	x00	x00	x0000	x0	x00	x0000	x00	x0	x000	x0000
Böden (Deutschland)	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
Hochmoortorf ²	1,0	<0,3	<3		<3	0,023	4	7				14
Niedermoortorf ²	6,0	0,4	4		10	0,056	12	17				29
Sand ⁴	1	<0,3	<3	9	<3	<0,02	4	8			11	8
Sandstein ⁴	4	<0,3	4	30	7	<0,02	13	26			30	22
Löß ⁴	6	<0,3	8	110	13	<0,02	27	31			56	42
Geschiebemergel, Geschiebelehm ⁴	3	0,3	6	28		<0,02	14	19			36	34
Tongesteine ⁴	9	<0,3	20	115	24	<0,03	63	32			112	95
Mergelstein ⁴	7	<0,3	13	61	24	0,02	36	49			73	60
Kalkstein ⁴	7	0,4	6	40	16	0,04	16	54			55	41
Saure Magmatite/ Metamorphite ⁴	4	0,3	<3	10	4	<0,02	5	30			13	45
Gneis ⁴	4	0,4	17	69	17	0,02	38	21			110	99
Glimmerschiefer ⁴	9	<0,3	26	57	30	0,03	32	48			126	156
Basische Magmatite/ Metamorphite ⁴	1	<0,3	56	455	67	<0,02	277	32			222	133
Ultrabasische Magmatite/ Metamorphite ⁴	1	<0,3	105	1260	123	0,02	1141	36			97	132
Böden/Gesteine (regional)	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
Löß ⁷ (Südbayern)		0,20		75	18	0,1	27	20				60
Löß ⁵ (Göttingen)		0,06	15	70	35		22	13				75
lehmgige Tone ⁷ (Tertiär)		0,14	16	86	36		43	23				88
Hauptdolomit ⁷ (Nordalpen)		0,05	<2	6	2		2	<3				5
Dolomit ⁷ (Frankenalb)		0,06		<5	2		3	4				8
Wettersteinkalk ⁷ (Nordalpen)		0,20	<2	5	2		2	<3				7
Dachsteinkalk ⁷ (Nordalpen)		0,30		<5	<2		<2	<3				4
Kalk ⁷ (Frankenalb)		0,38	<2	<5	3		8	9				42
Residualtone ⁷ (Frankenalb)		0,72	21	119	38		106	28				164
Residualtone ⁷ (Nordalpen)		0,83	16	97	19		44	27				120
¹ FIEDLER und RÖSLER (1988); ² HEINRICHS et al. (1980); ³ HINDEL und FLEIGE (1988); ⁴ HINDEL et al. (1998); ⁵ MAYER (1981); ⁶ PETTJOHN (1963); ⁷ RUPPERT (1987/2); ⁸ TAYLOR et al. (1983); ⁹ TUREKIAN und WEDEPOHL (1961); ¹⁰ WEDEPOHL (1984)												
"x" bezeichnet die Größenordnung												

Die Spanne der Gehalte anorganischer Problemstoffe in den Unterböden unterschiedlicher Gesteine oder Substrate Deutschlands ist in Tabelle 6 angegeben.

Tab. 6: Konzentration [mg/kg] ausgewählter Elemente in Unterböden

Substrate*	Schwankungsbereich der Mediane									
	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	V	Zn
Sand	1- 2	<0,3	<3- 5	<7- 17	<3 - 5	0,01- 0,02	<3- 6	10- 14	10- 24	8- 17
Sandstein	2- 7	0,3	<3- 9	8- 49	5 - 13	0,02- 0,04	9- 26	26- 36	<10- 50	20- 39
Sandlöß	2	<0,3	4- 5	29	4 - 5	0,01- 0,03	7- 8	14- 17	24- 25	16- 19
Loß	5- 9	<0,3- 0,3	9- 13	89- 120	10 - 18	0,02- 0,05	22- 36	29- 34	50- 75	39- 67
Geschiebelchm	3- 6	<0,3- 0,3	6- 9	29- 45	8 - 15	0,01- 0,05	12- 20	18- 26	40- 50	30- 61
Tongesteine	7- 9	<0,3	17- 20	110- 120	15 - 25	0,03- 0,06	50- 63	34- 43	90- 110	80- 100
Mergelstein	7	<0,3	15	75	26	0,03	41	45	90	67
Kalkstein	7-12	0,4- 0,7	5- 10	42- 77	11 - 20	0,04- 0,14	14- 32	50- 72	50- 86	39- 91
T-Horizont v. Kalksteinböden	-21	- 3,0	- 27	- 130	- 55	- 0,25	- 140		- 150	- 310
Saure Magmatite/ Metamorphite	3- 4	<0,3	<3- 3	13- 14	4 - 6	0,02- 0,10	4- 6	34- 40	20- 23	50- 57
Gneis	3- 7	<0,3- 0,4	12- 20	60- 75	17 - 20	0,02- 0,06	25- 42	18- 27	110- 120	100
Glimmerschiefer	4- 8	<0,3	25- 28	76- 84	27 - 37	0,03- 0,05	40	40- 45	130- 140	140- 150
Basische Magmatite/ Metamorphite	2- 5	<0,3- 0,4	23- 59	210- 480	20 - 72	0,01- 0,04	63- 300	30- 37	97- 240	73- 140
Ultrabasische Magmatite/ Metamorphite	1- 3	<0,3- 0,5	83- 110	710- 1160	93 - 210	0,02- 0,06	430- 1140	36- 62	110- 140	120- 150

* Daten aus HINDEL et al. (1998), verändert

4.2 Vergleich der Problemstoffgehalte wichtiger Substratgruppen

Böden sind Verwitterungsprodukte der Gesteine und Substrate und erben deren Mineral- und Elementbestand. Dabei können Elemente ausgetragen oder durch pedogene Prozesse angereichert werden. Austrag findet unter den humiden Klimabedingungen Bayerns immer dort statt, wo aufgrund der Bodenreaktion, des Redoxpotentials oder dem Fehlen von Substanzen mit aktiven Oberflächen, wie organische Substanz, Tonminerale und Fe/Al-Oxide, die anorganischen Problemstoffe im Boden nicht zurückgehalten werden. Anreicherung findet dort statt, wo anorganische Problemstoffe im Boden fest gebunden werden und zugleich anorganische Problemstoffe aus anderen Bodenbereichen eingetragen werden oder das Gestein sich wie beim Kalkstein, im Zuge der Verwitterung auflöst und die anorganischen Problemstoffe im Lösungsrückstand angereichert werden. Aufgrund der Bedeutung des Ausgangssubstrats ist es sinnvoll, nicht nur die Spanne der möglichen Stoffkonzentration im Boden zu nennen (Tab. 4), sondern die Gesteine und Substrate auch getrennt zu betrachten (Tab. 5 und 6).

4.2.1 Sande, Sandsteine und Grauwacken

Die meisten Sande und Sandsteine haben einen hohen Gehalt an Quarz, einem Mineral, das sehr wenige Bindungsplätze für anorganische Problemstoffe besitzt. Die anorganischen Problemstoffe der Sande und Sandsteine stammen meist aus den tonigen und schluffigen Beimengungen oder dem Bindemittel der Sandsteine. Grauwacken, meist graue bis graugrüne Sandsteine mit Gesteinsbruchstücken, enthalten neben Quarz bis zu 75% Feldspäte, Glimmer, Chlorite und andere Akzessorien.

Je nach untersuchtem Datenkollektiv (Tab. 5) werden daher unterschiedliche Konzentrationen an anorganischen Problemstoffen gefunden, die im Vergleich zu den anderen Gesteinen jedoch insgesamt niedrige Konzentrationen aufweisen. Die Unterschiede in den Stoffgehalten von Böden und den Ausgangsmaterialien sind gering, dabei werden in Böden vor allem vergleichsweise höhere Pb-Gehalte (bis 26 mg/kg) gefunden.

4.2.2 Löß, Lößlehm und Sandlöß

Löß und Sandlöß wurden während des Pleistozäns auf weiten Flächen Bayerns mit unterschiedlicher Mächtigkeit abgelagert und teilweise kryoturbat mit dem Ausgangsgestein vermischt. Löß, sein Verwitterungspunkt Lößlehm und stellenweise auch Sandlöß sind daher häufig als feinsandige bis schluffige Beimengung in den oberen Mineralbodenhorizonten enthalten, die sich in der jüngsten periglazialen Decke, der Hauptlage, oder den älteren Mittellagen gebildet haben (SCHMIDT 1992).

Im Vergleich zu den anderen Substraten hat Löß eher mittlere, teilweise auch niedrige Gehalte an anorganischen Problemstoffen (Tab. 5 und 6), wobei jedoch die Cr-Gehalte mehr als 100 mg/kg betragen und den Gehalten von Tongesteinen gleichen können (HINDEL et al., 1998). Die Gehalte anorganischer Problemstoffe in Unterböden aus Sandlöß sind nach HINDEL et al. (1998) niedriger als die der Löss, aber deutlich höher als die der Sande (Tab. 6).

4.2.3 Geschiebemergel und Geschiebelehm

Geschiebemergel und Geschiebelehme sind durch ihre Entstehung im Glazial definierte Substrate aus Gesteins- und Mineralbruchstücken in meist bindiger, beim Geschiebemergel karbonathaltiger Grundmasse (HINZE et al., 1989). Geschiebemergel und Geschiebelehme können sich aufgrund des Liefergesteins, das beim Gletschertransport aufbereitet wurde, in ihren anorganischen Problemstoffgehalten erheblich unterscheiden.

Die Gehalte anorganischer Problemstoffe in Geschiebemergeln und Geschiebelehmen der diskutierten Datenkollektive sind gering bis mittel und übertreffen meist die der Sande und Sandsteine, ohne die Gehalte der Löss zu erreichen.

4.2.4 Tone und Tonsteine

Tone und Tonsteine enthalten einen hohen Anteil an Tonmineralen, die aufgrund ihrer reaktiven, negativ geladenen Oberflächen in der Lage sind, anorganische Problemstoffe, die meist als Kationen im Boden auftreten, zu binden. An den randständigen Fe/Al-Oxidgruppen können aber auch Anionen, wie das Arsenat gebunden werden. Böden aus Tonen und Tonsteinen zeichnen sich daher im Vergleich zu Böden aus weniger bindigen Substraten durch höhere Problemstoffgehalte aus.

Tone und Tonsteine haben von den großflächig bedeutenden Substraten neben Kalken und Glimmerschiefern die höchsten As-Gehalte, in Böden und Gesteinen werden Werte von bis zu 10 mg/kg erreicht. Bei Se (bis 0,6 mg/kg) werden, abgesehen von besonderen Gesteinsformationen oder Lagerstätten, die höchsten Gehalte in den Tonen und Tonsteinen gefunden. Dies gilt auch für die Hg-Gehalte (bis 0,45 mg/kg), wobei die Stoffgehalte der Böden aus Tongestein mit <0,06 mg/kg deutlich geringer sind. Bei den Elementen Co (bis 20 mg/kg), Cr (bis 120 mg/kg), und V (bis 130 mg/kg) werden die Gehalte von Tonen und Tonsteinen nur von denen basischer Gesteine übertroffen. Bei diesen Elementen sind die Unterschiede zwischen Böden und Ausgangsmaterial gering. Die Ni-Gehalte in Böden sind ebenfalls vergleichsweise hoch, in den Böden (bis 63 mg/kg) allerdings niedriger als in tonigen Gesteinen (bis 95 mg/kg). Die Cd-Gehalte von Tongesteinen betragen bis zu 0,3 mg/kg.

4.2.5 Mergel-, Kalk- und Karbonatgesteine

Die Mergel-, Kalk- und Karbonatgesteine zeichnen sich durch ihren Karbonatgehalt aus, der in Mergelgesteinen weniger, in den Kalk- und Karbonatgesteinen mehr als 85% Karbonat beträgt. Zu dieser Gruppe zählen auch die Dolomitgesteine, die einen hohen Anteil an Magnesiumkarbonat haben, während die Kalkgesteine fast ausschließlich Calciumkarbonat enthalten. Die nicht karbonatischen Minerale der Mergel-, Kalk- und Karbonatgesteine sind meist Silikate, die, aus dem Gesteinsverband gelöst, in der Korngröße der Schluff- und Tonfraktion vorliegen. Bei der Verwitterung werden die Karbonate gelöst und im Sickerwasser abgeführt. Die zurückbleibenden Silikate bilden Böden aus Residualtonen, soweit nicht Löß oder andere Ausgangsgesteine in die Deckschichten, in denen sich die rezenten Böden entwickelt haben, eingemischt wurden. Die Residualtone weisen daher Anreicherungsfaktoren gegenüber dem Ausgangsgestein vom 2- bis zum 24-fachen auf (Tab. 5 und 6).

Im Vergleich mit den anderen Substraten haben die aus Mergel-, Kalk- und Karbonatgesteinen hervorgegangenen Böden meist die höchsten Cd-Gehalte (bis 0,7 mg/kg, in T-Horizonten bis 3 mg/kg), sowie hohe As-Gehalte (bis 12 mg/kg, in T-Horizonten bis 21 mg/kg). Bei den übrigen anorganischen Problemstoffen treten eher niedrige bis mittlere Konzentrationen auf, soweit nicht eine Anreicherung in den Residualtonen stattgefunden hat. Sowohl RUPPERT (1987/2) als auch FIEDLER und RÖSLER (1988) sowie WEDEPOHL (1984) finden meist niedrige Gehalte anorganischer Problemstoffe in Kalk- und Karbonatgesteinen, während HINDEL et al. (1998) in den Böden aus diesen Substraten und dabei insbesondere in T-Horizonten deutlich höhere Gehalte bei Cr (bis 130 mg/kg), Cu (bis 55 mg/kg, V (bis 150 mg/kg) und Zn (bis 310 mg/kg) angeben (Tab. 5 und 6). RUPPERT (1987/2) findet hier Gehalte, die mit denen von Tonen und Tonsteinen vergleichbar sind oder sogar noch darüber liegen.

4.2.6 Saure Magmatite und Metamorphite

Die sauren Magmatite und Metamorphite sind eine heterogene Gesteinsgruppe, die sich durch einen hohen Anteil an Quarz und Alkalifeldspäten auszeichnet. Bei ihrer Verwitterung entstehen sandige, sandig-lehmige bis lehmige Böden.

Aufgrund des hohen Quarzanteils sind die Gehalte anorganischer Problemstoffe insbesondere von Cr, Ni, V und Zn in Böden aus sauren Magmatiten und Metamorphiten vergleichsweise gering. Die Tl-Gehalte sind mit bis zu 1,5 mg/kg höher als in allen anderen untersuchten Gesteinen.

4.2.7 Gneise und Glimmerschiefer

Gneise und Glimmerschiefer sind Metamorphite unterschiedlichen Metamorphosegrades, die aus unterschiedlichen Ausgangsmaterialien entstanden sind und daher auch unterschiedliche Gehalte an anorganischen Problemstoffen aufweisen können. Die in den Probenkollektiven von WEDEPOHL (1984) und HINDEL et al. (1998) untersuchten Gneise und Glimmerschiefer enthalten höhere Konzentrationen an anorganischen Problemstoffen wie die sauren Magmatite und Metamorphite, bleiben aber, insbesondere bei Co, Cr, Cu, Ni, V und Zn, deutlich unter den Gehalten der basischen Magmatite und Metamorphite (Tab. 5 und 6). Die im Vergleich zu den anderen flächenhaft bedeutenden Substraten hohen As-Gehalte (bis 9 mg/kg), entsprechen etwa denen der Tone und Tonsteine. Auch bei den anderen anorganischen Problemstoffen unterscheiden sich die Gehalte zwischen den untersuchten Glimmerschiefern und den Tonen und Tonsteinen nur wenig. Die Böden haben bei den in Tabelle 5 vorgestellten Kollektiven mit Ausnahme von Co und Cr etwas höhere

Gehalte, die bis auf das Doppelte ansteigen können.

4.2.8 Basische Magmatite und Metamorphite

Zu der Gruppe der basischen Magmatite und Metamorphite zählen auch die Basite und die als basaltisch-gabbroid bezeichneten Gesteine. Die basischen Magmatite und Metamorphite zeichnen sich gegenüber den anderen Substraten sowohl im Gestein als auch im Boden durch hohe bis sehr hohe Co- (bis 59 mg/kg), Cr- (bis 480 mg/kg), Cu- (bis 100 mg/kg), Ni- (bis 300 mg/kg), V- (bis 250 mg/kg) und Zn-Gehalte (bis 140 mg/kg) aus, die nur zum Teil durch die Gehalte in ultrabasischen Gesteinen oder lagerstätten-führenden Gesteinen, wie Schwarzschiefer oder Kupferschiefer, noch übertroffen werden (Tab. 5). Niedrige Gehalte weisen die basischen Magmatite für Pb (< 8 mg/kg) auf, in den Böden werden allerdings mittlere Gehalte (bis 37 mg/kg) angegeben.

4.2.9 Ultrabasische Magmatite und Metamorphite

Die ultrabasischen Gesteine zeigen ein sehr ähnliches Muster anorganischer Problemstoffe wie die basischen Gesteine, wobei sie deren Co- (bis 200 mg/kg), Cr- (bis 2000 mg/kg) und Ni-Gehalte (bis 2000 mg/kg) noch erheblich übertreffen können (Tab. 5). In Böden liegen die Gehalte etwas niedriger, im Vergleich zu den übrigen Böden aber ebenfalls am höchsten. Sie können die Gehalte anderer Substrate um das 10- bis 100-fache überschreiten. Auch die ultrabasischen Gesteine weisen niedrige Pb-Gehalte (< 2 mg/kg) auf, in den Böden werden aber Werte bis 62 mg/kg erreicht.

4.2.10 Lagerstättengesteine

In Gesteinen, die als lagerstättenführend bekannt sind, wie Schwarz- oder Kupferschiefer können extrem hohe Gehalte anorganischer Problemstoffe auftreten (Tab. 5), die jedoch meist nur lokale Verbreitung finden. Durch die periglazialen Decken sind in den Böden über diesen Gesteinen die extremen Gehalte durch Einmischen von Löß und anderen Substraten meist stark vermindert.

4.2.11 Torfe

Torfe, die heute bodenbildend angetroffen werden, sind meist organogene Bildungen des späten Pleistozäns oder Holozäns. Ihren Bestand an anorganischen Problemstoffen haben sie überwiegend aus der Pflanzenmasse geerbt, aus der sich der Torf zusammensetzt. Soweit diese Pflanzen mit ihren Wurzeln noch Anschluß an mineralisches Gestein unter dem Torf hatten, kann der Torf durch dieses Gestein beeinflusst sein. Hatten die Pflanzenwurzeln keinen Kontakt zum mineralischen Untergrund mehr, wird der Mineralstoffgehalt der Torfe durch den Eintrag aus dem Niederschlag und bei Niedermooren zusätzlich durch den Grundwasserstrom bestimmt. Dies erklärt auch die im allgemeinen etwas höheren Gehalte der anorganischen Problemstoffe der Niedermoortorfe (Tab. 5) in der Zusammenstellung von HINDEL und FLEIGE (1988). Insgesamt haben die Moorböden jedoch vergleichsweise niedrige Gehalte.

4.3 Eintrag anorganischer Problemstoffe

Die natürlichen Grundgehalte der Böden können durch anthropogene Einflüsse überprägt werden. Neben Immissionen aus Industriebetrieben, privaten Haushalten und Verkehr kann die Aufbringung von Pflanzenschutz- und Düngemitteln die Stoffgehalte von Böden beeinflussen. Die BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR BODENKULTUR UND PFLANZENBAU (1997) hat aus den Ergebnissen von Boden-Dauerbeobachtungsflächen und durch Auswertung von Düngestatistiken Einträge und Austräge in bayerischen Ackerböden gegenübergestellt. Dabei zeigte sich, daß die Einträge durch Immissionen in den letzten 10 Jahren für alle Elemente zurückgegangen sind. Im Vergleich zu Immissionen überwiegen die Einträge durch Düngemittel, dabei sind sie besonders hoch bei organischen Düngemitteln aus der Viehhaltung, insbesondere Schweinegülle. Lediglich die Elemente Cd und Cr werden durch Mineraldünger in größeren Mengen eingetragen als durch Rinder- oder Schweinegülle.

Stellt man diese Einträge den Austrägen durch Ernteprodukte oder durch Verlagerung in die Tiefe bzw. durch Oberflächenabfluß und Erosion gegenüber, so zeigt sich sehr häufig, insbesondere bei der Anwendung organischer Dünger, speziell bei Klärschlamm, eine positive Bilanz. Dies bedeutet, daß über einen längeren Zeitraum eine Anreicherung von anorganischen Problemstoffen im Boden stattfinden kann.

5 Darstellung der Untersuchungsergebnisse

5.1 Substratdifferenzierte Auswertung

Hintergrundwerte werden für unterschiedliche Fragestellungen benötigt. Es kann dabei der Raum-, Boden- oder Nutzungsbezug im Vordergrund stehen. Die Hintergrundwerte in dieser Untersuchung sind unter Angaben zur statistischen Verteilung substrat-, horizont-, nutzungs- und regionsbezogen abgeleitet und in tabellarischer Form dargestellt (s. Anhang Tab. A1- E9). Problemstoffgehalte, die in Böden gefunden werden, können daher differenziert mit den entsprechenden Hintergrundwerten verglichen werden.

Nachfolgend werden Hintergrundwerte der einzelnen Substrate beschrieben und Unterschiede zwischen den Horizonten, Nutzungen und verschiedenen Auswertungseinheiten erläutert. Die Auswertungsergebnisse sind im einzelnen den Tabellen A1- E9 im Anhang zu entnehmen. Vergleiche zwischen Substraten, Horizonten und Auswertungseinheiten beziehen sich, wenn nicht anders erwähnt, auf den Median der Problemstoffgehalte.

Bei einigen Substraten standen nicht für alle Nutzungen und Horizonte ausreichend Daten zur Verfügung. Dies liegt zum Teil an einer ungleichen Verteilung der Probenahmelokalitäten, läßt sich jedoch in den meisten Fällen durch die unterschiedliche Nutzung oder Ausprägung der Substrate erklären. So werden z.B. Böden aus Sandstein wegen ihrer ungünstigen Nährstoff- und Wasserverhältnisse zum überwiegenden Teil forstlich genutzt, so daß für eine statistische Auswertung von Böden aus Sandsteinen in der Landschaftseinheit 6 unter landwirtschaftlicher Nutzung nicht genügend Datensätze zur Verfügung stehen. Ebenso liegen z.B. nur wenige Analysen von C-Horizonten aus Lößlehm im "Grundgebirge" vor, da Lößlehmüberdeckungen in dieser Großlandschaftseinheit meistens keine entsprechende Mächtigkeit erreichen.

Die Quecksilbergehalte sind in den Böden aller Substrate und Auswertungseinheiten sehr niedrig und liegen insbesondere in den C-Horizonten häufig unterhalb der Nachweisgrenze. Sie steigen zu

Oberboden und Auflagen hin an, wobei jedoch lediglich in den Humusaufgaben Werte gemessen werden konnten, die deutlich über der Nachweisgrenze liegen. Eine Interpretation der substratbezogenen Auswertung für dieses Element ist aufgrund der geringen Gehalte in den meisten Fällen nicht möglich.

5.1.1 Löss und Lösslehm

Böden aus Löss und Lösslehm kommen in allen Auswertungseinheiten vor. Für eine statistische Auswertung von C-Horizonten standen allerdings nur in den Auswertungseinheiten "Nordwestbayern" und "Tertiärhügelland" genügend Lössprofile zur Verfügung. In die Auswertung dieser Substratgruppe wurden auch Böden aus Schwemmlöss und Sandlöss einbezogen.

Landschaftsbezogene Auswertung

Die Gehalte anorganischer Problemstoffe von Böden aus Löss und Lösslehm in den Auswertungseinheiten "Nordwestbayern", "Grundgebirge" und "Tertiärhügelland" unterscheiden sich nur wenig, die Unterschiede sind jedoch für alle Elemente mit Ausnahme von Cr, Hg und Ni in Oberböden sowie Co und Ni in Unterböden signifikant ($p < 0,05$), so daß eine getrennte Auswertung erforderlich ist.

In den Auswertungseinheiten "Fränkische und Schwäbische Alb" und "Alpen/Alpenvorland" wurden hiervon abweichend deutlich höhere Problemstoffgehalte gefunden. Dies gilt in der Auswertungseinheit "Fränkische und Schwäbische Alb" für die Elemente Co, Ni, Tl und Zn in Oberböden unter Wald, für die Elemente Cd, Co, Cr, Ni, Pb, und Zn in Oberböden unter landwirtschaftlicher Nutzung, in der Auswertungseinheit "Alpen und Alpenvorland" für die Elemente Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, V und Zn in Oberböden unter Wald und für die Elemente Cd und Zn in Oberböden unter landwirtschaftlicher Nutzung. Die Unterschiede konnten signifikant ($p < 0,001$; für Cr $p < 0,01$) abgesichert werden.

Bei den Auswertungseinheiten mit höheren Problemstoffgehalten in Böden aus Löss handelt es sich um Regionen mit einem besonders hohen Anteil an "Kalksubstraten", wobei anzunehmen ist, daß die Lösslehme in den Kalksteinlandschaften mehr oder weniger mit Kalksteinverwitterungsrückständen kryoturbat vermischt sind. Böden aus Kalksteinsubstraten können trotz der Metallarmut des Ausgangsgesteins aufgrund der relativen Anreicherung während der Kalklösungsverwitterung hohe Gehalte an anorganischen Problemstoffen aufweisen (RUPPERT und JONECK, 1988), so daß auch höhere Gehalte in der lößlehmhaltigen Deckschicht durch diesen Umstand erklärt werden können.

Horizontbezogene Auswertung

In allen Auswertungseinheiten sind die Gehalte von Cd, Hg, Pb und Se (falls auswertbar) in den Oberböden höher als in den Unterböden, was typisch für immissionsbürtige Stoffe ist, andererseits aber auch eine Folge biogener Anreicherung sein kann (HUBER und ENGLISCH, 1997). Für die Elemente Cr, Co, Cu, Ni, V und Zn wurden dagegen im "Grundgebirge" höhere Gehalte in den Unterböden als in den Oberböden gefunden, während in den anderen Auswertungseinheiten für diese Elemente keine typische Tiefenverteilung beobachtet wurde. Die höheren Gehalte in Unterböden im Vergleich zu Oberböden könnten auf die kryoturbate Beimischung schwermetallreicher Ausgangsgesteine wie Basite und Ultrabasite zu den Lösslehmsubstraten erklärt werden.

Nutzungsbezogene Auswertung

Insbesondere in den Auswertungseinheiten "Nordwestbayern", "Fränkische und Schwäbische Alb"

sowie "Tertiärhügelland" wurden in landwirtschaftlich genutzten Böden höhere Problemstoffgehalte gefunden als in Böden unter Waldnutzung und zwar sowohl in den Ober- als auch in den Unterböden. Lediglich die Hg-, Se- und Pb-Gehalte sind (mit Ausnahme von Pb in Unterböden des Tertiärhügellandes) in Waldböden höher als in landwirtschaftlich genutzten Böden, was auf den in Waldbeständen größeren Immissionseinfluß zurückgeführt werden kann.

Tabelle 7 zeigt die Quotienten der medianen Problemstoffgehalte in Böden unter landwirtschaftlicher und unter forstwirtschaftlicher Nutzung für verschiedene Auswertungseinheiten. Quotienten > 1 bedeuten, daß unter landwirtschaftlicher Nutzung höhere Gehalte gefunden werden als unter forstwirtschaftlicher Nutzung.

Tab. 7: Quotienten der Problemstoffgehalte von Lößböden unter landwirtschaftlicher Nutzung und unter Forst (Quotient: Landwirtschaft/Forst)

	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
Auswertungseinheit "Nordwestbayern"												
Oberböden	1,2	1,5*	1,2*	1,5*	2,1*	0,80	2,4*	0,70	0,54	1,0	1,5*	1,4*
Unterböden	1,3*	1,5*	1,0	1,0	1,7*	--	2,0*	0,86	0,85	1,1*	1,2*	1,3*
Auswertungseinheit "Fränkische und Schwäbische Alb"												
Oberböden	1,1	2,9*	1,5*	1,2*	2,0*	0,8	2,1*	0,86	--	0,98	1,6*	2,0*
Unterböden	1,0	2,1*	1,1	1,2*	1,4*	1,0	1,2*	0,93	--	0,93	1,2	1,0
Auswertungseinheit "Tertiärhügelland"												
Oberböden	1,2	2,2*	1,9*	1,1*	2,0*	0,50	2,1*	1,0	--	1,3*	1,4*	1,6*
Unterböden	1,7	1,4	1,2*	0,92	1,2*	0,50	1,2*	1,2*	--	1,2*	1,4*	1,2*

* Unterschiede signifikant bei p < 0,05

In den Auswertungseinheiten "Grundgebirge" und "Alpen/Alpenvorland" ist der Unterschied zwischen Wald- und Acker- bzw. Grünlandböden weniger stark ausgeprägt. Auf die nutzungsabhängigen Unterschiede in den Problemstoffgehalten von Mineralböden wird in Kapitel 5.2 näher eingegangen.

- Böden aus Lößlehm haben in den Auswertungseinheiten "Fränkische und Schwäbische Alb" und "Alpen/Alpenvorland" tendenziell höhere Problemstoffgehalte als in anderen Auswertungseinheiten.
 - Die Cd-, Hg-, Pb- und Se-Gehalte sind in allen Auswertungseinheiten in den Oberböden höher als in den Unterböden.
 - In landwirtschaftlich genutzten Böden wurden i.a. höhere Problemstoffgehalte gefunden als in Waldböden (Ausnahme: Hg, Se, Pb).

5.1.2 Kalkstein und Kalksteinverwitterungsmaterial

Böden aus Kalkstein oder Kalksteinverwitterungsmaterial wurden in den Auswertungseinheiten "Nordwestbayern" (Muschelkalke), "Fränkische und Schwäbische Alb" (Jurakalke) und "Alpen, Alpenvorland" ausgewertet. In die Auswertung dieser Substratgruppe sind auch Böden aus Kalksandsteinen und Kalkmergelsteinen einbezogen worden.

Landschaftsbezogene Auswertung

In den Auswertungseinheiten "*Nordwestbayern*" und "*Fränkische und Schwäbische Alb*" weisen Böden aus Karbonatgesteinen hohe Gehalte an anorganischen Problemstoffen bei gleichzeitig großer Streuung auf.

Die C-Horizonte in der Auswertungseinheit "*Fränkische und Schwäbische Alb*" weisen signifikant höhere As- und Cd-Gehalte und signifikant niedrigere Cu- und Pb-Gehalte auf ($p < 0,001$, für Cu $p < 0,01$) als in der Auswertungseinheit "*Nordwestbayern*". Bezüglich der Elemente Co, Cr, Hg, Ni, Tl, V und Zn konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Für Ober- und Unterböden wurde aufgrund der geringen Stichprobenzahl kein statistischer Test durchgeführt.

Im Vergleich der Auswertungseinheiten "*Alpen/Alpenvorland*" und "*Fränkische und Schwäbische Alb*", ergibt sich je nach Horizont ein unterschiedliches Bild:

Die Problemstoffgehalte in C-Horizonten aus Kalkstein sind in der Auswertungseinheit "*Alpen/Alpenvorland*" mit 12% bis 45% der Gehalte vergleichbarer Böden der "*Fränkischen und der Schwäbischen Alb*" sehr niedrig. Eine Ausnahme stellt das Element Cd dar. Die Cd-Konzentrationen stimmen in beiden Auswertungseinheiten weitgehend überein. Die vergleichsweise niedrigen Problemstoffgehalte im Alpenraum dürften damit zusammenhängen, daß hier andere Verwitterungs- und Erosionsbedingungen herrschen als im Großraum der "*Fränkischen und Schwäbischen Alb*". Wie bereits geschildert, werden im Laufe der Bodengenese Karbonate aufgelöst und die Residualbestandteile sowie die im Karbonatgitter eingebauten Spurenelemente angereichert (RUPPERT et al., 1991). Im Alpenraum findet zum einen infolge der extremen Klimabedingungen eine stärkere mechanische Verwitterung (Frostspaltung) der Gesteinspartikel statt als in klimatisch ausgeglicheneren Gebieten, so daß dort ein höherer Anteil an chemisch unverwittertem Kalkstein in die Feinbodenfraktion ($< 2 \text{ mm}$) gelangt. Zum anderen unterliegt der chemisch verwitterte und aufbereitete Kalksteinverwitterungslehm bzw. Residualton in den Alpen verstärkt der Erosion und bleibt meist nur in besonders erosionsgeschützten Lagen innerhalb der Gesteinsmatrix erhalten. Kalksteinverwitterungsmaterial mit seinen schwermetallreichen Lehmen und Tonen ist daher im Alpenraum in geringerem Maße an der Bodenbildung beteiligt als in weniger reliefiertem Gelände.

Die Gehalte anorganischer Problemstoffe von C-Horizonten aus Kalkstein in der Auswertungseinheit "*Alpen/Alpenvorland*" stimmen gut überein mit den Werten, die sowohl WEDEPOHL (1984) als auch KUNTZE et al. (1991) als natürliche Gehalte für Kalksteine angeben. Es kann daher gefolgert werden, daß die C-Horizonte aus Kalkstein in den Bayerischen Alpen eher die natürlichen Gehalte von Kalksteinen repräsentieren, während in anderen Kalksteinlandschaften eine erhebliche Stoffanreicherung infolge der Lösungsverwitterung stattgefunden hat. Von großen Stoffgehaltsunterschieden in Böden aus Kalksteinsubstraten infolge eines unterschiedlichen Anteils von Lösungsverwitterungsrückständen berichten auch HINDEL et al. (1998).

In den Unterböden sind die Unterschiede in den Gehalten anorganischer Problemstoffe in Böden aus Kalkstein der Auswertungseinheiten "*Alpen/Alpenvorland*" und "*Fränkische und Schwäbische Alb*" deutlich geringer als in den C-Horizonten, wobei unter forstlicher Nutzung die Werte für As, Cd, Pb und V im Alpenraum sogar höher sind als auf der Alb. In den Oberböden der Auswertungseinheit "*Alpen/Alpenvorland*" liegen die Werte für Cd, Cr, Pb, V und Zn unter forstlicher Nutzung und die Werte für Cd und Pb unter landwirtschaftlicher Nutzung höher als die entsprechenden Werte der Auswertungseinheit "*Fränkische und Schwäbische Alb*". Besonders groß sind die Unterschiede für die Elemente Pb und Cd. Da Pb im Ausgangsgestein in deutlich niedrigeren Konzentrationen vorhanden ist und nur in geringem Maße biogen angereichert wird (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 1989),

kann hier von einem Immissionseinfluß ausgegangen werden.

Horizontbezogene Auswertung

In der Regel nehmen die Stoffgehalte in Böden aus Kalkstein und dessen Verwitterungsmaterial in allen Landschaften vom Oberboden zum Unterboden zu und vom Unterboden zum Ausgangsgestein dann wieder ab. Ausnahmen stellen in allen Auswertungseinheiten, soweit auswertbar, die Stoffgehalte der Elemente Cd, Hg und Pb dar. Weitere Ausnahmen finden sich in der Auswertungseinheit "Alpen/Alpenvorland" im Forst für Zn sowie in "Nordwestbayern", bei allerdings sehr geringer Probenzahl für die Elemente Co, Cr und Zn. Für diese Elemente werden die höchsten Gehalte innerhalb des Profils in den Oberböden gefunden. Die maximalen Gehalte der restlichen Elemente in den Unterböden ist v.a. durch die hohen Gehalte an Residualtonen bedingt, welche die Unterböden aus Kalksteinsubstraten prägen (z.B. T-Horizonte in Terra-Fuscen), während die Oberböden häufig durch äolische Deckschichten überprägt sind. Tabelle 8 stellt zur Erläuterung die Ergebnisse der Auswertung von T-Horizonten, d.h. Horizonte mit einem besonders hohen Anteil an Residualtonen, in der Auswertungseinheit "Fränkische und Schwäbische Alb" denen von B-Horizonten gegenüber. Die Ergebnisse zeigen, daß T-Horizonte insgesamt höhere Gehalte an anorganischen Problemstoffen aufweisen als B-Horizonte, besonders groß sind die Unterschiede bei den Elementen Cd, Ni und Zn.

Tab. 8: Problemstoffgehalte verschiedener Unterbodenhorizonte auf Kalksteinsubstraten

Auswertungseinheit: Fränk. und Schwäb. Alb: Unterböden (alle Nutzungen)												
Substrat: Kalkstein und Kalksteinverwitterung												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
T-Horizonte												
n	16	51	42	41	51	68	51	51	0	20	20	51
25.P.	10	0,28	17	61	23	0,06	64	26		0,69	95	93
Median	14	0,55	22	81	31	0,12	86	32		0,82	121	145
75.P.	19	1,7	30	112	46	0,19	135	48		1,1	151	245
B-Horizonte												
n	2	20	16	20	20	32	20	20	0	13	13	20
25.P.		0,14	13	55	17	0,06	35	21		0,68	96	67
Median		0,31	17	75	21	0,11	56	29		0,80	106	104
75.P.		0,58	27	88	30	0,18	83	36		1,2	132	164

Nutzungsbezogene Auswertung

Wie schon in Böden aus Lößlehm können auch in Böden aus Kalkstein und Kalksteinverwitterung der Auswertungseinheit "Fränkische und Schwäbische Alb" in Acker- bzw. Grünlandböden z.T. höhere Gehalte anorganischer Problemstoffe festgestellt werden als in Waldböden. Dies gilt für die Elemente Co, Cu, Ni, V und Zn sowohl in Ober- als auch in Unterböden, für die Elemente Pb und Cd nur in Unterböden und für Cr nur in Oberböden. Während dieser Effekt in der Auswertungseinheit "Nordwestbayern" bei kleiner Stichprobenzahl nicht beobachtet werden kann, ist in der Auswertungseinheit "Alpen/ Alpenvorland" der gegenteilige Effekt mit höheren Gehalten unter Forstböden zu beobachten (Ausnahme Cd und Cu in Oberböden). Möglicherweise wird ein "Nutzungseffekt" in den Alpen durch den Immissionseinfluß überdeckt.

- Böden aus Kalksteinen weisen i.a. hohe Gehalte an anorganischen Problemstoffen auf, wobei die in der Regel höchsten Gehalte in den Unterböden auf die Anreicherung von Residualtonen infolge der Kalklösungsverwitterung zurückgeführt werden können.
- In den Alpen weisen die C-Horizonte aufgrund der speziellen Verwitterungs- und Erosionsbedingungen deutlich niedrigere Problemstoffgehalte auf als in den Auswertungseinheiten *“Fränkische und Schwäbische Alb”* und *“Nordwestbayern”*. Die Gehalte entsprechen dabei weitgehend den natürlichen Gehalten von Kalksteinen.
- Während in der Auswertungseinheit *“Fränkische und Schwäbische Alb”* in landwirtschaftlich genutzten Böden tendenziell höhere Gehalte gefunden werden als in Waldböden, ist es in der Auswertungseinheit *“Alpen/Alpenvorland”* umgekehrt.

5.1.3 Dolomitstein

Böden aus Dolomitstein konnten lediglich in der Auswertungseinheit *“Alpen/Alpenvorland”* separat ausgewertet werden. Der Vergleich von C-Horizonten aus Kalkstein und Dolomitstein zeigt kaum Unterschiede in den Elementgehalten. Unterschiede treten lediglich bei Cd und Ni auf, hier sind die Gehalte in C-Horizonten aus Kalkstein doppelt bzw. dreimal so hoch wie in C-Horizonten aus Dolomitstein, allerdings auf einem sehr niedrigen Niveau. Diese Unterschiede konnten statistisch hochsignifikant ($p < 0,001$) abgesichert werden. In forstlich genutzten Oberböden sind auf Kalkstein die Konzentrationen von Co, Pb, V, und Zn gegenüber Oberböden auf Dolomitstein erhöht (signifikant bei $p < 0,05$ nur für Co und V), während sich in landwirtschaftlich genutzten Oberböden für diese Elemente auf Dolomitstein höhere Werte finden. Auch SUTTNER (1996) berichtet von höheren Cd-, Pb- und Zn-Gehalten in forstlich genutzten Oberböden auf Kalkstein im Vergleich zu entsprechenden Oberböden auf Dolomitstein. Für die Unterböden konnte aufgrund der geringen Probenzahl keine Aussage getroffen werden.

Horizontbezogene Auswertung

Die Gehalte anorganischer Problemstoffe nehmen für alle Elemente von den C-Horizonten zu den Oberböden zu. Für Unterböden liegen nur wenige Daten vor.

- Böden aus Dolomitstein weisen in der Auswertungseinheit *“Alpen/Alpenvorland”* niedrige, mit Böden aus Kalkstein vergleichbare Elementgehalte in C-Horizonten auf. Die Cd- und Ni-Gehalte liegen deutlich niedriger als in C-Horizonten aus Kalkstein.
- Die Gehalte anorganischer Problemstoffe nehmen für alle Elemente von den C-Horizonten zu den Oberböden zu.

5.1.4 Mergel und Mergelstein

Böden aus Mergel und Mergelsteinen wurden in der Auswertungseinheit *“Nordwestbayern”* (hier handelt es sich vor allem um Substrate des Gipskeupers) und in der Einheit *“Alpen/Alpenvorland”* ausgewertet. Für die Auswertung der Oberböden standen in beiden Einheiten nicht ausreichend Daten zur Verfügung, während Unterböden nur für die Einheit *“Alpen/Alpenvorland”* ausgewertet werden konnten.

Wie bei den Kalksteinen hat auch bei den Mergelsteinen die Karbonatlösungsverwitterung einen deutlichen Einfluß auf die Elementgehalte in Bodenprofilen. Die Gehalte in den C-Horizonten

entsprechen weitgehend den Werten, die KUNTZE et al. (1991) für C-Horizonte aus Mergelsteinen angeben. Diese liegen für alle untersuchten Problemstoffe zwischen dem 25. und 75. Perzentil der Werte für die C-Horizonte aus Mergel/Mergelstein in der Auswertungseinheit "Nordwestbayern". Die Gehalte in C-Horizonten der Auswertungseinheit "Alpen/Alpenvorland" bewegen sich in einem ähnlichen Bereich, wobei jedoch für eine Angabe von Perzentilen nicht genügend Datensätze zur Verfügung standen.

In der Auswertungseinheit "Nordwestbayern" finden sich in den C-Horizonten von Böden aus Mergel und Mergelsteinen bei den Elementen Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Tl und V deutlich höhere Gehalte als in den entsprechenden Horizonten aus Kalkstein. In C-Horizonten aus Kalkstein erreichen die Werte bei den genannten Elementen nur 43% - 68% der entsprechenden Werte bei Mergel und Mergelstein, während für die Elemente As, Cd und Zn ähnliche Werte ermittelt wurden. Für die C-Horizonte aus Mergelsteinen in der Auswertungseinheit "Alpen/Alpenvorland" ergibt sich ein vergleichbares Bild, allerdings bei einer sehr kleinen Stichprobenzahl. Höhere Schwermetallgehalte in C-Horizonten aus Mergelsteinen gegenüber C-Horizonten aus Kalksteinen finden auch KUNTZE et al. (1991), allerdings nur für die Elemente Cu, Ni und Co.

Landschafts- und horizontbezogene Auswertung

Systematische Unterschiede in den Problemstoffgehalten von Unterböden und C-Horizonten sowie Unterschiede zwischen den Auswertungseinheiten konnten, allerdings bei sehr kleiner Stichprobenzahl, nicht gefunden werden.

Nutzungsbezogene Auswertung

In der Auswertungseinheit "Alpen/Alpenvorland" finden sich in Unterböden aus Mergel/Mergelsteinen mit Ausnahme der Elemente Cd und Hg unter forstwirtschaftlicher Nutzung höhere Problemstoffgehalte als unter landwirtschaftlicher Nutzung, allerdings bei einem sehr kleinen Stichprobenumfang.

- In C-Horizonten aus Mergel und Mergelsteinen werden für die meisten anorganischen Problemstoffe höhere Gehalte gefunden als in C-Horizonten aus Kalksteinen.

5.1.5 Sandige Substrate

In dieser Kategorie sind Böden aus Flugsanden, pleistozänen Sanden und Kiesen, Sandsteinen und Sanden enthalten. Böden aus Flugsanden wurden in den Auswertungseinheiten "Nordwestbayern" und "Tertiärhügelland" (nur Ober- und Unterböden) ausgewertet, Böden aus Sanden und Sandsteinen in "Nordwestbayern" (Sandsteine des Buntsandstein bis Dogger β), der "Fränkischen und Schwäbischen Alb" (Sande und Sandsteine der Kreide), im "Grundgebirge" (nur Unterböden und C-Horizonte tertiärer Sande und Lehme), im "Tertiärhügelland" (tertiäre Sande) und in der Einheit "Alpen/Alpenvorland". Böden aus pleistozänen Sanden und Kiesen wurden im "Tertiärhügelland" und in der Einheit "Alpen/Alpenvorland" (nur Unterböden und C-Horizonte) ausgewertet.

Die Auswertung umfaßt Substrate sehr unterschiedlicher Genese. Insbesondere die gemeinsame Auswertung von Sandsteinen verschiedener stratigraphischer Einheiten in der Auswertungseinheit "Nordwestbayern" birgt Probleme in sich. So können Sandsteine des Buntsandsteins, des Keupers und des Dogger β aufgrund ihrer unterschiedlichen Genese, ihres unterschiedlichen Korngrößenspektrums und der unterschiedlichen Schwermineralführung geochemische Unterschiede aufweisen. Aufgrund der knappen Datenbasis konnte jedoch keine differenzierte Auswertung vorgenommen werden. In C-

Horizonten mit unterschiedlicher Bodenart aus Sedimentgesteinen konnten die geogenen Gehalte an anorganischen Problemstoffen am besten durch die Bodenart erklärt werden. Die gemeinsame Auswertung von Sandsteinen unterschiedlicher stratigraphischer Einheiten erscheint daher gerechtfertigt.

Landschaftsbezogene Auswertung

Alle sandigen Substrate haben in den C-Horizonten aufgrund ihres Quarzreichtums sehr niedrige Gehalte anorganischer Problemstoffe, die zusätzlich infolge von Auswaschung einer pedogenen Verarmung unterliegen (RUPPERT et al., 1991; HINDEL et al., 1998). Höhere Werte ergaben sich immer dann, wenn bei der Auswertung auch tonreichere Bodenarten einbezogen wurden, wie z. B. in der Auswertungseinheit "*Grundgebirge*". Hier wurden wegen der geringen Stichprobenzahl tertiäre Sande und Lehme gemeinsam ausgewertet. Ebenso weisen die C-Horizonte aus tertiären Sanden im "*Tertiärhügelland*" höhere Werte auf. Auch dies ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, daß im "*Tertiärhügelland*" bei sandigen Substraten aufgrund der geogenetischen Situation meistens Substratgemische mit schluffigen und tonigen Komponenten vorliegen.

In C-Horizonten aus pleistozänen Sanden und Kiesen der Auswertungseinheit "*Alpen/Alpenvorland*" wurden signifikant höhere Cd-Konzentrationen gefunden als im "*Tertiärhügelland*" ($p < 0,05$). Ebenso konnten in Unterböden (Forst) höhere Werte im Alpenraum für die Elemente Cd, Cr, Cu, Ni, Pb und Zn hochsignifikant ($p < 0,001$) abgesichert werden. Ein statistischer Vergleich anderer sandiger Substrate verschiedener Auswertungseinheiten erschien nicht sinnvoll, da wie oben beschrieben, die Substrate innerhalb der Auswertungseinheit "*Nordwestbayern*" sehr unterschiedlichen stratigraphischen Einheiten entstammen und daher nur bedingt vergleichbar sind. Tertiäre Sande im "*Grundgebirge*" wurden aufgrund der geringen Datendichte gemeinsam mit tertiären Lehmen ausgewertet, so daß ein Vergleich mit tertiären Sanden des Tertiärhügellandes nicht vorgenommen werden konnte. Bei Flugsanden standen für einen Vergleich nicht genügend Daten zur Verfügung.

Horizontbezogene Auswertung

In Ober- und Unterböden ergibt sich für die einzelnen Auswertungseinheiten ein uneinheitliches Bild. Eine systematische Zu- oder Abnahme von Problemstoffen von den Oberböden zu den C-Horizonten hin konnte nicht festgestellt werden.

Nutzungsbezogene Auswertung

Auch bei sandigen Substraten konnten in allen Auswertungseinheiten, soweit genügend Werte vorlagen, für die meisten Problemstoffe (ausgenommen ist z.B. das immissionsbürtige Pb) höhere Gehalte unter landwirtschaftlicher Nutzung als unter Waldnutzung gefunden werden.

- In Böden aus sandigen Substraten werden i.a. sehr niedrige Gehalte an anorganischen Problemstoffen angetroffen.
- Für die meisten untersuchten Elemente (Ausnahme z.B. Pb) wurden unter landwirtschaftlicher Nutzung höhere Gehalte als unter Waldnutzung gefunden.

5.1.6 Tone und Tonsteine

Böden aus Tonen und Tonsteinen wurden in den Auswertungseinheiten "*Nordwestbayern*" (Tone und Tonsteine des Keuper und des Lias), "*Grundgebirge*" (Tonschiefer des Frankenwaldes) und "*Tertiärhügelland*" (nur Unterböden und C-Horizonte tertiärer Tone) ausgewertet. Böden aus Tonen oder Tonsteinen sind insgesamt durch deutlich höhere Gehalte an anorganischen Problemstoffen

charakterisiert als Böden aus weniger bindigen Substraten (KUNTZE et al. 1991). Dies zeigt sich auch bei der Auswertung bayerischer Böden.

Landschaftsbezogene Auswertung

Böden aus tertiären Tonen in der Auswertungseinheit "*Tertiärhügelland*" und Böden aus Tonsteinen in der Auswertungseinheit "*Nordwestbayern*" weisen ähnliche Gehalte an anorganischen Problemstoffen auf, während in Böden aus Tonschiefer im "*Grundgebirge*" in den C-Horizonten bezüglich der Elemente Cu, Cr, Se, V und Zn höhere Werte gefunden wurden. Der Umstand, daß bestimmte bituminöse Tonschiefer im Frankenwald hohe Gehalte an Schwermetallen aufweisen können, ist bereits seit längerem bekannt und im Zusammenhang mit der Rohstoffprospektion untersucht worden (SCHMID, 1990).

Horizontbezogene Auswertung

In den Auswertungseinheiten "*Nordwestbayern*" und "*Grundgebirge*" konnte eine Zunahme der Cd- und Pb-Gehalte vom C-Horizont zum Oberboden, in der Auswertungseinheit "*Tertiärhügelland*" eine Zunahme der Pb-, Cu-, Ni- und Zn-Gehalte vom C-Horizont zum Unterboden festgestellt werden (für eine Auswertung der Oberböden lagen nicht genügend Daten vor). Alle anderen Elemente weisen in Oberböden ähnliche oder tendenziell niedrigere Gehalte auf als in den C-Horizonten.

Nutzungsbezogene Auswertung

Auch in Böden aus Ton/Tonstein konnten, sofern genügend Daten vorlagen, unter landwirtschaftlicher Nutzung tendenziell höhere Gehalte als unter forstwirtschaftlicher Nutzung festgestellt werden. Besonders große Unterschiede sind in Unterböden aus Tonschiefer in der Auswertungseinheit "*Grundgebirge*" nachweisbar, wobei die um den Faktor 1,9 (Pb) bis 6,5 (Cd) höheren Werte auf Böden unter landwirtschaftlicher Nutzung nur auf einer kleinen Stichprobenzahl beruhen.

- Böden aus Ton oder Tonstein sind insgesamt durch deutlich höhere Gehalte an anorganischen Problemstoffen charakterisiert als Böden aus weniger bindigen Substraten. Böden aus Tonschiefer in der Auswertungseinheit "*Grundgebirge*" weisen dabei bzgl. der Elemente Cu, Cr, Se, V und Zn höhere Gehalte auf als Tonböden aus anderen Auswertungseinheiten.
- Auch in Böden aus Ton/Tonstein konnten unter landwirtschaftlicher Nutzung tendenziell höhere Gehalte als unter Waldnutzung festgestellt werden.

5.1.7 Tertiäre Lehme und Schluffe

Tertiäre Lehme und Schluffe, die nur im "*Tertiärhügelland*" als Substratgruppe ausgewertet werden konnten, weisen Gehalte an anorganischen Problemstoffen auf, die mit denen tertiärer Tone vergleichbar sind. Eine systematische Zu- oder Abnahme von Problemstoffen vom Oberboden zum C-Horizont konnte nicht festgestellt werden, allerdings liegen auch bei tertiären Lehmen und Schluffen die Gehalte in Ober- und Unterböden landwirtschaftlich genutzter Standorte höher als in entsprechenden Böden unter Waldnutzung.

- Tertiäre Lehme und Schluffe im "*Tertiärhügelland*" weisen Gehalte an anorganischen Problemstoffen auf, die mit denen tertiärer Tone vergleichbar sind.
- Die Gehalte in landwirtschaftlich genutzten Böden liegen höher als in entsprechenden Böden unter Waldnutzung.

5.1.8 Magmatische und metamorphe Gesteine

Magmatische und metamorphe Gesteine konnten nur in der Auswertungseinheit "*Grundgebirge*" ausgewertet werden, mit Ausnahme von Gneisen, die mit einer geringen Stichprobenzahl auch in der Auswertungseinheit "*Nordwestbayern*" ausgewertet wurden. Die Gehalte an anorganischen Problemstoffen in der Auswertungseinheit "*Grundgebirge*" sind zum einen bestimmt durch die Immissionssituation mit hohen Niederschlägen und zumindest in Teilbereichen hohen Schadstoffdepositionsraten (HUBER und ENGLISCH, 1997; TÜRK, 1992; KAUPENJOHANN, 1989) und zum anderen durch die differenzierte geologische Situation mit Ausgangsgesteinen sehr unterschiedlicher geochemischer Zusammensetzung. In letzterem Punkt unterscheidet sich diese Auswertungseinheit von allen anderen Auswertungseinheiten.

Böden folgender grundgebirgstypischer Substrate wurden im nordostbayerischen Grundgebirge ausgewertet:

- basische und ultrabasische, magmatische und metamorphe Gesteine: Amphibolit, Basalt, Diabas, Serpentin
- saure und intermediäre, magmatische und metamorphe Gesteine: Granit, Gneis, Glimmerschiefer/Phyllit, Quarzit/Quarzitschiefer/Grauwacke

Für Basalte konnten nur C-Horizonte ausgewertet werden, bei Amphiboliten und Glimmerschiefern/Phylliten standen für die Auswertung der Oberböden nicht genügend Analysen zur Verfügung.

5.1.8.1 Basische und ultrabasische magmatische und metamorphe Gesteine

Basische und ultrabasische Gesteine, die in Bayern vor allem im nordostbayerischen Grundgebirge vorkommen, weisen hohe bis sehr hohe Konzentrationen an Cr und Ni, z.T. aber auch an Co, Cu, V und Zn auf. Die hohen Gehalte unterliegen dabei einer großen Schwankungsbreite.

Die höchsten Gehalte an anorganischen Problemstoffen in dieser Substratgruppe zeigen Böden aus **Serpentin**, einem olivinreichen ultrabasischen Tiefengestein. Hohe Gehalte finden sich ebenfalls auf Böden aus **Diabasen**. Diabase sind alte basische Ergußgesteine.

Die Problemstoffgehalte in C-Horizonten aus **Basalt** liegen in der gleichen Größenordnung wie in C-Horizonten aus Diabas. Diese Feststellung beruht allerdings auf einer sehr kleinen Stichprobenzahl, erscheint aber plausibel, da Basalte und Diabase eine ähnliche Mineralzusammensetzung aufweisen. Die Gehalte an anorganischen Problemstoffen können in basischen und ultrabasischen Gesteinen Grenz- und Richtwerte wie auch die Vorsorgewerte des E-BodSchV um ein Vielfaches überschreiten.

In C-Horizonten aus **Amphiboliten** fallen hohe V-Gehalte mit einem Median von 277 mg/kg und einem 90. Perzentil von 523 mg/kg auf. Die medianen Vanadiumgehalte in C-Horizonten aus Amphiboliten überschreiten deutlich den von KLOKE (1980) angegebenen Richtwert von 50 mg/kg und den Bereich häufig vorkommender V-Gehalte in Böden von 100 mg/kg. Auch KUNTZE et al. (1991) geben in Basiten durchschnittliche V- Gehalte von 200 mg/kg an.

Hohe Schwermetallgehalte v.a. von Cr und Ni sind für basische und ultrabasische Gesteine typisch (Tab. 5). BLUME (1992) gibt für Ultrabasite sogar mittlere Cr-, Ni- und Cu-Gehalte an, welche die Gehalte in bayerischen C-Horizonten aus Serpentin noch deutlich überschreiten. Auch RUPPERT

(1987/2) beschreibt sehr hohe Schwermetallgehalte vor allem an Cr und Ni in Metamorphiten basischer Zusammensetzung.

Horizontbezogene Auswertung

Für eine Betrachtung horizontspezifischer Unterschiede standen nur für die Substrate Diabas und Serpentin genügend Analysen zur Verfügung. In Böden aus Diabas nehmen die Gehalte der Elemente, die in hohen Konzentrationen im Ausgangsgestein enthalten sind, von den C-Horizonten zu den Oberböden ab. Es handelt sich hierbei um die Elemente Co, Cr, Cu und Ni. Die Abnahme zu den Oberböden hin kann mit einer Verdünnung durch periglaziale Deckschichten erklärt werden (RUPPERT et al, 1991). Die Gehalte der Elemente As, Cd, Hg und Pb nehmen von den C-Horizonten zu den Oberböden - vermutlich immissionsbedingt - zu. Für Se, Tl und V liegen in den Oberböden weniger als 10 Analysen vor, weshalb keine Aussage getroffen werden kann. Die Zn-Gehalte variieren in den Bodenhorizonten nur wenig.

Für Böden aus Serpentin kann, bedingt durch die geringe Stichprobenzahl, nur für die Elemente Cd, Co und Ni eine Aussage getroffen werden. Während die Cd-Gehalte - vermutlich immissionsbedingt - zu den Oberböden hin zunehmen, finden sich für Co und Ni die niedrigsten medianen Gehalte in den Unterböden. Dies erstaunt zumindest für Ni, da Serpentine sehr hohe Ni-Gehalte aufweisen und daher in den Oberböden geringere oder zumindest ähnliche Gehalte wie in den Unterböden erwartet wurden. Bei näherer Betrachtung zeigt sich auch, daß die Ni-Gehalte über einen großen Bereich schwanken und der Bereich zwischen dem 25. Perzentil und dem 75. Perzentil für Oberböden und Unterböden mit Werten zwischen ca. 500 mg/kg und 1.200 mg/kg nahezu identisch ist.

Nutzungsbezogene Auswertung

Für einen Nutzungsvergleich standen nicht ausreichend Daten für Böden unter landwirtschaftlicher Nutzung zur Verfügung.

- Böden aus basischen und ultrabasischen Gesteinen weisen sehr hohe Gehalte v.a. der Elemente Cr, Ni, aber auch Co, Cu, V und Zn auf, die Richt- und Grenzwerte um ein Vielfaches überschreiten können.
- V wird vor allem in C-Horizonten aus Amphiboliten in hohen Konzentrationen angetroffen.
- Die Gehalte der Elemente Co, Cr, Cu und Ni nehmen in Diabasen von den C-Horizonten zu den Oberböden hin ab.
- In Böden aus Diabas nehmen die Gehalte der Elemente As, Cd, Hg und Pb, in Böden aus Serpentin die Cd-Gehalte —vermutlich immissionsbedingt— von den C-Horizonten zu den Oberböden zu.

5.1.8.2 Saure und intermediäre magmatische und metamorphe Gesteine

In Böden aus vorwiegend kieselsäurereichen Gesteinen zeichnen sich C-Horizonte aus den Substratgruppen **Gneis**, **Glimmerschiefer/Phyllit**, sowie **Quarzit/Quarzitschiefer/ Grauwacke** durch sehr ähnliche Elementspektren und -gehalte aus, die deutlich unter denen basischer Gesteine liegen. Die niedrigsten Gehalte an anorganischen Problemstoffen weisen unter den sauren magmatischen und metamorphen Substraten Böden aus **Granit** auf. Die beobachteten Werte stimmen mit Ausnahme von Zn und Cd gut überein mit Gehalten, die KUNTZE et al. (1991) in C-Horizonten aus Granit fanden. Die Cd-Gehalte erreichen nur die Hälfte, die Zn-Gehalte das Doppelte der von den Autoren angegebenen Werte.

Horizontbezogene Auswertung

In Böden aus Gneis bzw. Quarzit/Quarzitschiefer/Grauacke kann für die Elemente As, Cd, Hg, Pb und Se, in Böden aus Glimmerschiefer/Phyllit sowie Granit für As und Pb tendenziell eine Zunahme der Gehalte von den C-Horizonten zu den Oberböden festgestellt werden, was auf einen Immissions-einfluß hindeutet. Im Gegensatz dazu sinken in Böden aus Quarzit/Quarzitschiefer/Grauacke von den C-Horizonten zu den Oberböden die Gehalte der Elemente Co, Cu, Ni, V und Zn.

Nutzungsbezogene Auswertung

Tendenziell können in landwirtschaftlich genutzten Böden höhere Elementgehalte festgestellt werden als in Waldböden. Ausgenommen hiervon sind in Böden aus Glimmerschiefer/Phyllit die Elemente As und Pb, in Böden aus Quarzit/Quarzitschiefer/Grauacke die Elemente As, Cd, Hg, Pb und Se und in Böden aus Granit nur Pb. Während Oberböden aus Gneis unter landwirtschaftlicher Nutzung höhere Gehalte aufweisen als unter Waldnutzung (mit Ausnahme der Elemente As und Pb), ist es in den Unterböden umgekehrt.

- Böden saurer und intermediärer magmatischer und metamorpher Gesteine zeichnen sich durch Gehalte an anorganischen Problemstoffen aus, die deutlich unter denen basischer Gesteine liegen. Die niedrigsten Gehalte weisen dabei Böden aus Granit auf.
- Die Gehalte der Elemente As, Cd, Hg, Pb und Se nehmen von den C-Horizonten zu den Oberböden hin zu, was auf einen Immissionseinfluß hindeutet.
- Tendenziell können in landwirtschaftlich genutzten Böden höhere Stoffgehalte festgestellt werden als in Waldböden. Ausgenommen sind typische immissionsgetragene Elemente.

5.1.9 Moränenmaterial

Moränenmaterial tritt nur in der Auswertungseinheit "Alpen/Alpenvorland" auf. Moränenmaterial läßt sich nicht eindeutig einem Gestein zuordnen, da je nach Liefergebiet unterschiedliche Gesteine in Moränen eingearbeitet sein können. Entsprechend variieren die geochemischen Eigenschaften von Moränenmaterial. Böden aus Moränenmaterial in der Auswertungseinheit "Alpen/Alpenvorland" weisen im Vergleich mit anderen Substraten mittlere Gehalte an anorganischen Problemstoffen auf.

Horizontbezogene Auswertung

In Böden aus Moränenmaterial nehmen die Gehalte anorganischer Problemstoffe von den C-Horizonten zu den Unterböden für alle untersuchten Problemstoffe zu. Für die Elemente Co, Cu, Ni, V und Zn nehmen die Gehalte zu den Oberböden hin wieder ab, wobei jedoch die Unterschiede nur gering sind.

Nutzungsbezogene Auswertung

Wie auch bereits in Böden anderer Substrate festgestellt wurde, finden sich auch auf Moränenmaterial mit Ausnahme von Pb und Cr höhere Problemstoffgehalte in den Ober- und Unterböden unter landwirtschaftlicher Nutzung als unter Waldnutzung.

- Böden aus Moränenmaterial in der Auswertungseinheit "Alpen/Alpenvorland" weisen mittlere Gehalte an anorganischen Problemstoffen auf.
- Die Gehalte anorganischer Problemstoffe nehmen in Böden aus Moränenmaterial von den C-Horizonten zu den Unterböden für alle untersuchten Problemstoffe zu.
- In den Ober- und Unterböden unter landwirtschaftlicher Nutzung finden sich mit Ausnahme von Pb und Cr höhere Problemstoffgehalte als unter Waldnutzung.

5.1.10 Moorböden

Torf-Horizonte von Moorböden konnten nur in der Auswertungseinheit "*Alpen und Alpenvorland*" ausgewertet werden. Zwischen Böden unter forstlicher Nutzung und Böden unter landwirtschaftlicher Nutzung sind nur geringe Unterschiede festzustellen. Auffällig ist die große Streuung der Pb-Gehalte, die sich zwischen dem 25. und 75. Perzentil im Zehnerpotenzbereich unterscheiden. Eine große Streuung ist in geringerem Maße auch bei Zn festzustellen.

5.2 Diskussion der Nutzungsunterschiede

In vielen Substraten sind die Problemstoffgehalte der Ober- und Unterböden unter Wald niedriger als unter landwirtschaftlicher Nutzung (s. Kap. 5.1). Auch in der länderübergreifenden Zusammenstellung der LABO (1995) über Hintergrundwerte von Böden wird dieser Sachverhalt vielfach bestätigt. Eine mögliche Ursache hierfür könnte sein, daß unter Waldnutzung die Problemstoffe durch den Vegetationseinfluß dem Boden entzogen und in der Biomasse bzw. der Humusauflage gespeichert und angereichert werden, während unter landwirtschaftlicher Nutzung eine schnelle Umsetzung und Mineralisation der Biomasse erfolgt.

Ein unmittelbarer Vergleich von horizontbezogenen Stoffgehalten der Wald- und Acker-/Grünlandböden ist allerdings problematisch, da bei den Ackerböden aufgrund der Durchmischung beim Pflügen Ober- und Unterböden mit möglicherweise verschiedenen Stoffgehalten vermischt werden. Auch können die Konzentrationen in den Humusauflagen von Waldböden nicht unmittelbar mit den Konzentrationen mineralischer Horizonte verglichen werden, da in den Humusauflagen aufgrund des niedrigen spezifischen Gewichtes trotz hoher Problemstoffkonzentrationen nur geringe Problemstoffmengen gespeichert sind. Um daher der Frage nachzugehen, ob die Unterschiede in den Problemstoffgehalten von Waldböden und landwirtschaftlich genutzten Böden auf die in den Humusauflagen angereicherten Stoffmengen zurückzuführen sind, müssen nutzungsspezifische Unterschiede kompensiert und anschließend eine Stoffbilanzierung bis zu einer einheitlichen Tiefe unter Berücksichtigung der Trockenraumdichte durchgeführt werden.

Für diese Bilanzierung wurden beispielhaft Bodenprofile aus Löß bzw. Lößlehm aus den Auswertungseinheiten "*Tertiärhügelland*" und "*Nordwestbayern*" ausgewählt, die für dieses Substrat mindestens eine Gesamtmächtigkeit von 70 cm aufweisen. Horizonte, die oberhalb 70 cm Tiefe beginnen und unterhalb 70 cm Tiefe enden, wurden bis zu der Tiefe von 70 cm in die Bewertung einbezogen. Um einen Volumenbezug herzustellen, wurden folgende mittlere Trockenraumdichten unter Verwendung der Angaben in SCHMIDT (1992) sowie gesonderter Auswertungen einzelner Landschaftseinheiten angenommen:

L-Horizonte:	0,06 g/cm ³
Of-Horizonte:	0,1 g/cm ³
Oh-Horizonte:	0,2 g/cm ³
A-Horizonte:	1,2 g/cm ³
Unterboden-Horizonte:	1,5 g/cm ³
C-Horizonte:	1,7 g/cm ³

Der Volumenbezug wurde hergestellt, indem die Vorräte an anorganischen Problemstoffen mit folgender Formel für jeden Horizont berechnet und die Vorräte der Horizonte anschließend für jedes Profil aufsummiert wurden:

$$V_{ges} = (C_1 * TRD_1 * m_1) + (C_2 * TRD_2 * m_2) + ... + (C_n * TRD_n * m_n)$$

V_{ges} = Gesamtvorrat ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$ bis 70 cm Tiefe)

C_x = Konzentration ($\mu\text{g}/\text{g}$) in Horizont x

TRD_x = Trockenraumdichte (g/cm^3) des Horizonts x

m_x = Mächtigkeit des Horizonts x bis in max. 70 cm Tiefe

n = Anzahl der Horizonte

Da die Trockenraumdichten bei A-Horizonten unter Wald tendenziell etwas niedriger als unter Acker sind, werden die Elementvorräte unter Wald eher überschätzt und unter Acker eher unterschätzt. Die Ergebnisse der Berechnungen für Acker/Grünland, Wald und die organischen Auflagen in der Auswertungseinheit "Tertiärhügelland" und "Nordwestbayern" sind in den Tabellen 9 und 10 dargestellt.

Tab. 9: Mittlere Schwermetallvorräte (Mediane) in $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ von Mineralböden aus Löß/Lößlehm unterschiedlicher Nutzungen und von Humusauflagen im "Tertiärhügelland"

$\mu\text{g}/\text{cm}^2$	$n_{(1)}$	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Acker/Grünland	8	11	1.200	5.200	2.000	3.000	2.300	6.200
Wald	54	4,5	1.200	6.600	1.500	2.500	1.900	5.200
Humusauflage	50	0,18	1,4	5,8	4,9	3,6	26	21

(1) n=Stichprobenzahl

Tab. 10: Mittlere Schwermetallvorräte (Mediane) in $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ von Mineralböden aus Löß/Lößlehm unterschiedlicher Nutzungen und von Humusauflagen in "Nordwestbayern"

$\mu\text{g}/\text{cm}^2$	$n_{(1)}$	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Acker/Grünland	42	18	1.200	6.500	1.700	3.600	2.400	6.100
Wald	20	11	1.100	4.100	1.300	2.700	2.500	5.200
Humusauflage	19	0,18	0,92	8,0	5,4	5,4	25	25

(1) n=Stichprobenzahl

Auch unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Bodeneigenschaften und Horizontfolgen in Acker- und Grünlandböden, sowie in Waldböden im "Tertiärhügelland" sind die Elementvorräte der Schwermetalle Cd, Cu, Ni, Pb und Zn auf Acker-/Grünlandstandorten höher als auf Waldstandorten (Tab. 9). Bei Co finden sich keine Unterschiede, während die Cr-Gehalte unter Acker/Grünland niedriger sind als unter Wald. Allerdings liegen für Acker- und Grünlandnutzung nur eine geringe Anzahl von Böden (n=8) zur Auswertung vor.

Ähnliche Gesetzmäßigkeiten und ähnliche mittlere Stoffgehalte ergeben sich bei Böden aus Löß/Lößlehm der Auswertungseinheit "Nordwestbayern" (Tab. 10). Die Acker-/Grünlandstandorte weisen für alle untersuchten Elemente, mit Ausnahme von Pb, höhere Vorräte als Waldböden auf. Insgesamt liegen die Gesamtvorräte in einer ähnlichen Größenordnung wie im "Tertiärhügelland".

Trotz hoher Konzentrationen sind die Vorräte in den organischen Auflagen aufgrund der niedrigen Trockenraumdichten in beiden Auswertungseinheiten gegenüber den Mineralböden sehr gering. Sie

betragen lediglich einen Bruchteil der Vorräte der Mineralböden. Die Gehalte der Auflagen werden zu den Gehalten des Mineralbodens unter Wald addiert, um Gesamtvorräte bis 70 cm Tiefe zu erhalten. Sie können die höheren Gehalte der Acker-/Grünlandböden im Vergleich zu den Waldböden nicht erklären. Der Immissionseinfluß, der sich z.T. in den hohen Stoffgehalten der Auflagen widerspiegelt, spielt für die Berechnung der Gesamtvorräte im Boden daher nur eine untergeordnete Rolle.

Die höheren Problemstoffgehalte in Acker-/Grünlandböden gegenüber den mineralischen Waldbodenhorizonten sind vermutlich auf die Kombination verschiedener Faktoren zurückzuführen:

- Durch die Holz- und Waldstreunutzung hat über Jahrhunderte ein Stofftransfer von den Wald- auf die Ackerflächen stattgefunden, der unter Waldnutzung zu einer Verarmung und unter landwirtschaftlicher Nutzung zu einer Anreicherung von Stoffen geführt haben kann.
- Unter forstlich genutzten Böden könnte infolge von Versauerungsprozessen bereits eine Verlagerung von anorganischen Problemstoffen aus den Oberböden stattgefunden haben. Eine Anreicherung von Problemstoffen in Unterböden unter Wald konnte auf einigen sehr sauren Substraten wie Flugsanden oder Gneisen beobachtet werden. Allerdings sind die nutzungsdifferenzierten Schwermetallunterschiede auch auf Kalksteinen und Kalksteinverwitterungsprodukten der fränkischen und schwäbischen Alb zu beobachten (s. Kap. 5.1.2), was aufgrund der hohen pH-Werte dieser Böden nicht auf Verlagerungsprozesse zurückgeführt werden kann.
- Unter landwirtschaftlicher Nutzung kann auch eine Anreicherung anorganischer Problemstoffe durch regelmäßige Düngezufuhr (mineralischer Dünger, organischer Wirtschaftsdünger oder Klärschlamm), die über den Entzug hinausgeht, eine Rolle spielen. Dabei kann es in Abhängigkeit vom Düngemittel zu einer erheblichen Zufuhr von anorganischen Problemstoffen kommen (vergl. 4.3). Phosphordünger (v.a. Triplesuperphosphat) wiesen z.B. in der Vergangenheit z.T. erhebliche Cd-Anteile auf und könnten somit einen Beitrag zu den erhöhten Cd-Gehalten geleistet haben. BOYSEN (1992) hat für drei verschiedene Bewirtschaftungssysteme im konventionellen Landbau Cd-Einträge über Mineral- und Wirtschaftsdünger von 0,9 bis 4,2 g/ha*a angegeben. Daraus würde sich ein jährlicher Cd-Eintrag von 0,009 bis 0,42 µg/cm² errechnen, der über längere Zeiträume derartige Unterschiede zwischen Wald und Acker durchaus erklären könnte. Die BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR BODENKULTUR UND PFLANZENBAU (1997) gibt jährliche Schwermetalleinträge von 0,5 bis 1,3 g/ha für verschiedene Bewirtschaftungsformen an.

5.3 Vergleich der Problemstoffgehalte in C-Horizonten verschiedener Ausgangssubstrate

Die Problemstoffgehalte verschiedener Substrate müssen unter Berücksichtigung der Unterschiede bei den einzelnen Elementen und den Auswertungseinheiten verglichen werden. Es empfiehlt sich, für einen Substratvergleich die Gehalte in den C-Horizonten zu betrachten, um zu vermeiden, daß Unterschiede zwischen den Substraten durch Bodenbildungsprozesse oder durch den Einfluß von Immissionsdepositionen überprägt werden. Zur Veranschaulichung werden im Folgenden für alle untersuchten Elemente die Mediane der Gehalte der einzelnen Substrate in Form von Balkendiagrammen dargestellt. Die Kennwerte der Datenverteilungen (Perzentile) sind dem Anhang zu entnehmen.

5.3.1 Nordwestbayern (Abb. 2a-2l)

In dieser Auswertungseinheit enthalten die C-Horizonte sandiger Substrate (Flugsand, pleistozäne Sande und Sandsteine) für die meisten Problemstoffe die niedrigsten Gehalte. Vor allem Flugsande zeichnen sich durch extrem niedrige Gehalte aus. Für Cd liegen auch in C-Horizonten aus Gneis die medianen Gehalte unterhalb der Nachweisgrenze, wobei sich jedoch die Cd-Gehalte für alle Substrate auf einem sehr niedrigen Niveau bewegen. Für Tl werden auch in Kalksteinen, Lößlehen und Gneisen ähnlich niedrige Werte wie in sandigen Substraten gefunden. Deutlich höhere Gehalte finden sich für alle untersuchten Elemente in Mergelsteinen, Ton/Tonsteinen und z.T. auch in Keuper- und Liaslehen. Für Cu, Co, Ni, Pb und Tl finden sich in Mergelsteinen die höchsten Gehalte, für As und Zn in Ton/Tonsteinen, für Cr und Se in Keuper- und Liaslehen, für Cd in Lößlehen und für V in Gneisen. Hg konnte nur in C-Horizonten aus Kalkstein und Tonstein auf einem niedrigen Niveau analytisch erfaßt werden.

Während für die meisten Elemente eine sehr deutliche Substratdifferenzierung festgestellt werden konnte, unterscheiden sich die unterschiedlichen Substrate bzgl. der Pb-Gehalte mit Ausnahme von höheren Gehalten in Mergelsteinen kaum.

- Die niedrigsten Problemstoffgehalte finden sich für alle Elemente in C-Horizonten aus sandigen Substraten. Flugsande zeichnen sich durch besonders niedrige Gehalte aus. Höhere Gehalte finden sich in tonigeren Substraten. Für die meisten Elemente weisen C-Horizonte aus Mergelsteinen die höchsten Gehalte auf. Bei Pb zeigt sich nur eine geringe Substratdifferenzierung.

5.3.2 Fränkische und Schwäbische Alb (Abb. 3a-3k)

In dieser Auswertungseinheit konnten nur C-Horizonte aus Kalkstein, Lehen des Jura und der Kreide sowie aus Sandstein ausgewertet werden. Die niedrigsten medianen Gehalte für alle untersuchten Problemstoffe wurden in C-Horizonten aus Sanden und Sandstein gefunden. Die Problemstoffkonzentrationen in Lehen des Jura und der Kreide und in Kalksteinen sind - außer für Cd - um den Faktor 1,3 bis 4 höher als in Sanden und Sandsteinen. Während für Cd C-Horizonte aus Kalkstein die höchsten Werte erreichen (7,5-mal so hohe Werte wie C-Horizonte aus Sandstein), wurden für Pb, Tl und V in Lehen des Jura und der Kreide die mit Abstand höchsten Werte gefunden. Für Co, Cr, Cu, Hg, Ni, und Zn erreichen Böden aus Lehen und Kalksteinen vergleichbare Gehalte. Für Se liegen nicht genügend Daten für eine Auswertung vor.

- Die niedrigsten Problemstoffgehalte werden in Sanden und Sandsteinen gefunden. Während für Cd in C-Horizonten aus Kalkstein die höchsten Werte gemessen werden, weisen für Pb, Tl und V die C-Horizonte aus Lehen gegenüber anderen Substraten deutlich höhere Konzentrationen auf.

5.3.3 Ostbayerisches Grundgebirge (Abb. 4a-4l)

In der Auswertungseinheit "Grundgebirge" werden für die Problemstoffe Cd, Co, Cr, Cu, Ni und V die höchsten Gehalte in C-Horizonten aus basischen und ultrabasischen Gesteinen gefunden. Für die Gehalte der Elemente Co, Cr und Ni ergibt sich dabei die Reihenfolge Serpentin > Basalt > Diabas.

Demgegenüber liegen die Gehalte in den C-Horizonten aller anderen Substrate um einige Größenordnungen niedriger. Für die Elemente Cd, Cu, V weisen Amphibolite die höchsten Gehalte auf, gefolgt von Basalten bzw. Diabasen, während Serpentinite für diese Elemente keine gegenüber sauren Substraten erhöhten Gehalte aufweisen.

Die niedrigsten Gehalte werden für alle o.g. Elemente (außer Cd) in Graniten gefunden. Glimmerschiefer/Phyllite, Gneise, Quarzite/Quarzitschiefer und Tonschiefer weisen demgegenüber nur leicht höhere Gehalte auf.

C-Horizonte aus Granit weisen für alle untersuchten Problemstoffe außer Cd, Zn, Pb und Tl die niedrigsten Gehalte auf. Während für Cd und Zn Granite, Gneise und Quarzite mittlere Gehalte haben, die unter denen basischer Gesteine liegen, zeigen sich für Pb und Tl in Böden aus den silikatreichen sauren Gesteinen Glimmerschiefer, Gneis, Granit und Quarzit die höchsten Werte, welche die Gehalte in Böden aus den basischen Gesteinen Amphibolit, Basalt, Diabas und Serpentin deutlich übersteigen. Dies wird auch von WEDEPOHL (1984) bestätigt, der allerdings für Tl ca. 18-mal so hohe Gehalte und für Pb 32-mal so hohe Gehalte in granitischen Gesteinen gegenüber ultrabasischen Gesteinen angibt.

Für As und Se finden sich die höchsten Gehalte in Tonschiefern. Quecksilber konnte in C-Horizonten in den meisten Fällen nicht analytisch nachgewiesen werden.

- Während die Elemente Co, Cr, und Ni und in geringerem Maße auch Cd, Cu und V in C-Horizonten aus basischen Gesteinen wie Serpentin, Basalt, Diabas und Amphibolit hohe Konzentrationen aufweisen, liegen die Elemente Pb und Tl in sauren Gesteinen in höheren Konzentrationen als in basischen Gesteinen vor. Die Elemente As und Se werden in C-Horizonten aus Tonschiefer mit höheren Gehalten angetroffen.

5.3.4 Tertiärhügelland (Abb. 5a-5i)

In der Auswertungseinheit "Tertiärhügelland" finden sich für die Schwermetalle As, Cr, Cu, Ni, Pb und Zn die höchsten Gehalte in den C-Horizonten tertiärer Tone oder tertiärer Schluffe und Lehme. Die Gehalte dieser Metalle nehmen über die tertiären Sande zu den pleistozänen Sanden und Kiesen ab, während C-Horizonte aus Lößlehm eine Mittelstellung zwischen Tonen und Sanden einnehmen. Für die Elemente Cr, Cu, Ni, und Zn finden sich in tertiären Schluffen und Lehmen höhere Werte als in tertiären Tonen, während bei As und Pb die tertiären Tone die höchsten Gehalte aufweisen.

Für das Element Cd gilt, daß die niedrigsten Gehalte in C-Horizonten aus tertiären Tonen gefunden werden und die Gehalte in der Reihenfolge tertiäre Sande, pleistozäne Sande und Kiese, tertiäre Schluffe und Lehme zu Lößlehm zunehmen. Die Werte sind jedoch insgesamt sehr niedrig und liegen im Bereich der Bestimmungsgrenze. Hg konnte nur in Böden aus pleistozänen Sanden/Kiesen und tertiären Schluffen/Lehmen analytisch auf einem sehr niedrigen Niveau nachgewiesen werden. Für die Elemente Se, Tl und V liegen im Tertiärhügelland nicht genügend Daten für eine Auswertung vor.

- Die niedrigsten Problemstoffgehalte finden sich in tertiären, sowie pleistozänen Sanden und Kiesen. Für Co, Cr, Cu, Hg, Ni und Zn weisen C-Horizonte aus tertiären Schluffen und Lehmen, für As und Pb tertiäre Tone und für Cd Lößlehm die höchsten Gehalte auf.

5.3.5 Alpen/Alpenvorland (Abb. 6a-6l)

In der Auswertungseinheit "Alpen/Alpenvorland" werden die höchsten Problemstoffgehalte außer Cd und Hg in C-Horizonten aus Mergel/Mergelstein gefunden. Die Gehalte liegen um ein mehrfaches über den entsprechenden Gehalten in C-Horizonten aus Kalkstein oder Dolomitstein, die sich kaum unterscheiden. Bei Cd weisen Böden aus Kalkstein etwa doppelt so hohe Gehalte auf wie Böden aus Mergelsteinen. Hg konnte nur in C-Horizonten aus Sandstein auf einem niedrigen Niveau analytisch nachgewiesen werden. Während C-Horizonte aus pleistozänen Sanden und Kiesen sowie Sandsteinen nur leicht höhere Gehalte als C-Horizonte aus Kalk-/Dolomitstein aufweisen (Ausnahme: As und Cr), finden sich in C-Horizonten aus Moränenmaterial für die meisten untersuchten Elemente Gehalte, die zwischen den Gehalten in Mergel- und in Kalksteinen liegen. Eine Ausnahme bilden Cd, Hg sowie Se, die in C-Horizonten aus Moränenmaterial nur in geringen Konzentrationen gefunden werden.

- Die höchsten Problemstoffgehalte finden sich i.a. in C-Horizonten aus Mergelsteinen, während die niedrigsten Gehalte in Kalk- und Dolomitsteinen gefunden werden. Eine Ausnahme stellt Cd dar, welches in Kalksteinen in deutlich höheren Konzentrationen gefunden wird als in den übrigen Substraten.

5.4 Auswertung der Humusauflagen

In Waldökosystemen kann, bedingt durch die rauhe Geländeoberfläche und die häufig exponierte Lage, eine gegenüber dem Freiland erhöhte Niederschlags- und Interzeptionsdeposition festgestellt werden, so daß die über den Luftpfad transportierten (Schad-) Stoffe verstärkt ausgefiltert und in den Humusauflagen und humosen Oberböden angereichert werden können (BREDEMEIER und ULRICH, 1988). Die relative Immissionsbelastung eines Gebietes kann daher für einige immissionsgetragene Problemstoffe an den Gehalten in den Humusauflagen besonders gut abgeschätzt werden (RUPPERT, 1987/2). Über den (z.T. auch selektiven) Ionentransport der Vegetation und über den Streufall kann auch eine biogene Anreicherung von Problemstoffen in Humusauflagen bzw. Oberböden auftreten (HUBER und ENGLISCH, 1997). Beide Prozesse können sich, je nach Problemstoff, mehr oder weniger stark überlagern und sind im vorliegenden Datensatz kaum zu unterscheiden.

Für die Bewertung von Stoffkonzentrationen in Humusauflagen ist zu berücksichtigen, daß Humusauflagen eine bis zu einem Faktor von 15 kleinere Trockenraumdichte als Mineralböden besitzen und daher die absoluten Stoffmengen trotz hoher Konzentrationen niedriger sein können als im Mineralboden (JONECK und PRINZ, 1993). Bereits der Eintrag geringer Stoffmengen kann sich daher in erhöhten Stoffkonzentrationen in den Humusauflagen widerspiegeln.

Humusauflagen können nur schwer einem Substrat zugeordnet werden. Treten in den meist mehrschichtigen Böden Bayerns Substratwechsel auf, kann nicht entschieden werden, aus welchem Substrat Elemente über die Vegetation in die Humusauflagen gelangt sind. Die Humusauflagen wurden daher nicht wie andere Horizonte substratbezogen ausgewertet, sondern für jede Auswertungseinheit (z.B. die Grundgebirgslandschaften) wurde nur ein Hintergrundwert für Humusauflagen berechnet. Dieses Vorgehen stellt eine Vereinfachung dar, da die Humusauflagen über die Vegetation mit dem Substrat des Mineralbodens in Verbindung stehen und Immissionsunterschiede innerhalb einer Auswertungseinheit nicht erkannt werden können. Da jedoch weder die Auswertung allein nach Substraten sinnvoll ist, noch geeignete Abgrenzungen von Immissionsräumen vorliegen, muß diese Vereinfachung akzeptiert werden, bis bessere Auswertungsverfahren verfügbar sind. Eine weitere Differenzierung von Stoffgehalten in Of-Horizonten hat Ruppert (1998) für südbayerische Humusauflagen vorgenommen.

Abb. 2a-l: Vergleich der Problemstoffgehalte verschiedener Ausgangssubstrate der Auswertungseinheit "Nordwestbayern"; () = keine Daten; < NG = kleiner Nachweisgrenze

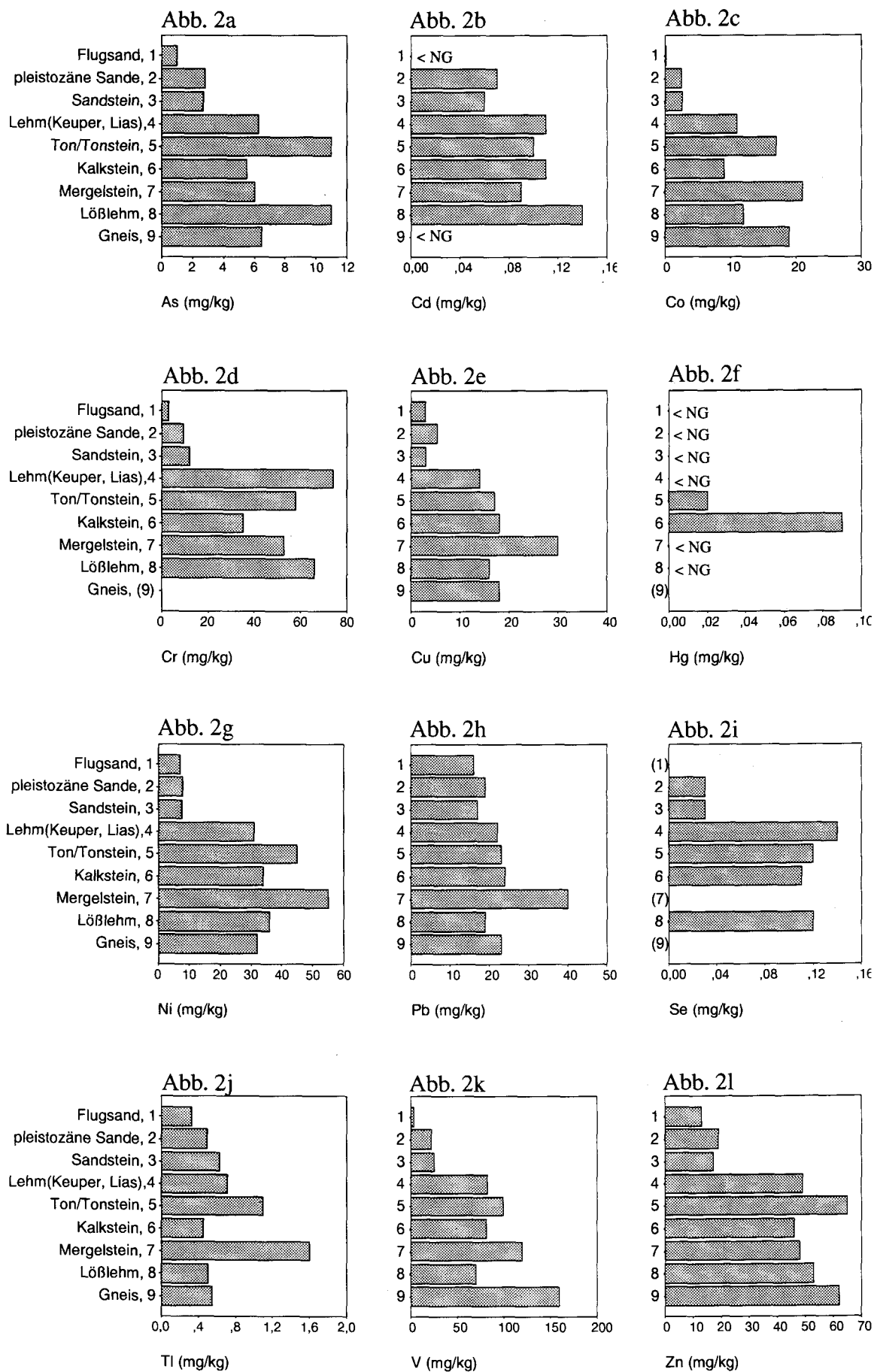


Abb. 3a-k: Vergleich der Problemstoffgehalte verschiedener Ausgangssubstrate der Auswertungseinheit "Fränkische und Schwäbische Alb"; ()=keine Daten; <NG=kleiner Nachweisgrenze

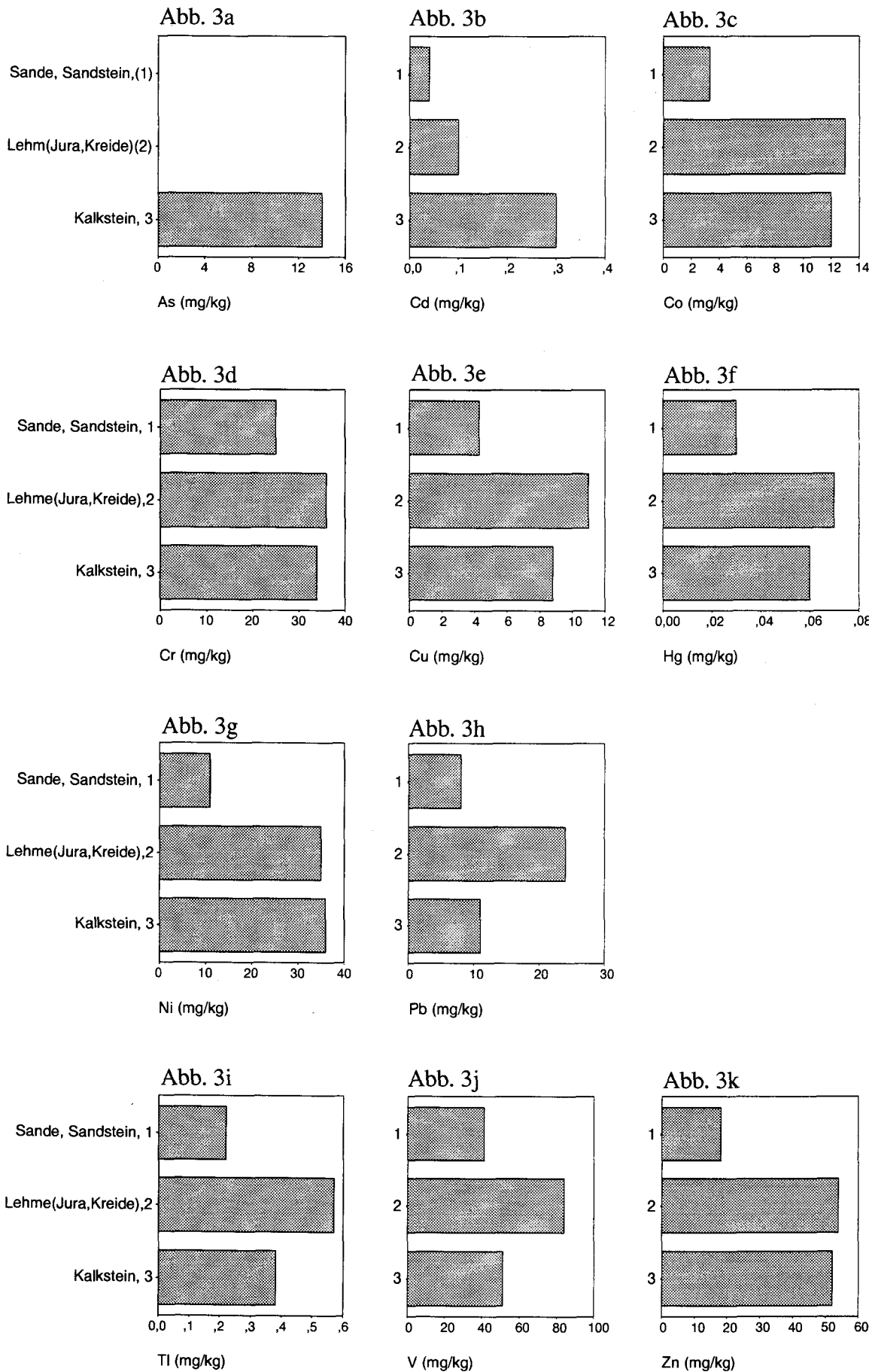


Abb. 4a-l: Vergleich der Problemstoffgehalte verschiedener Ausgangssubstrate der Auswertungseinheit "Grundgebirge"; () = keine Daten; < NG = kleiner Nachweisgrenze

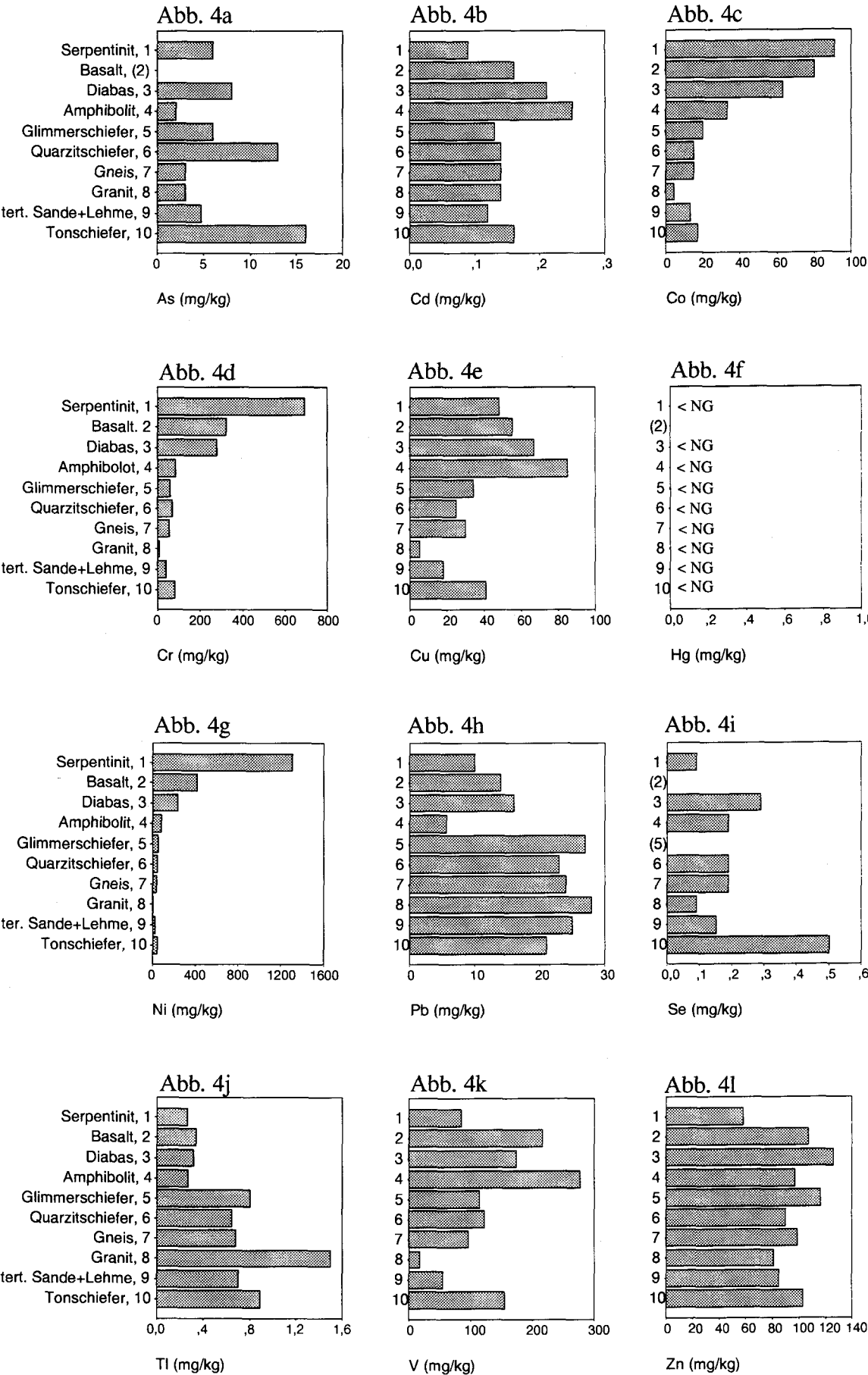


Abb. 5a-i: Vergleich der Problemstoffgehalte verschiedener Ausgangssubstrate der Auswertungseinheit "Tertiärhügelland"; () = keine Daten; < NG = kleiner Nachweisgrenze

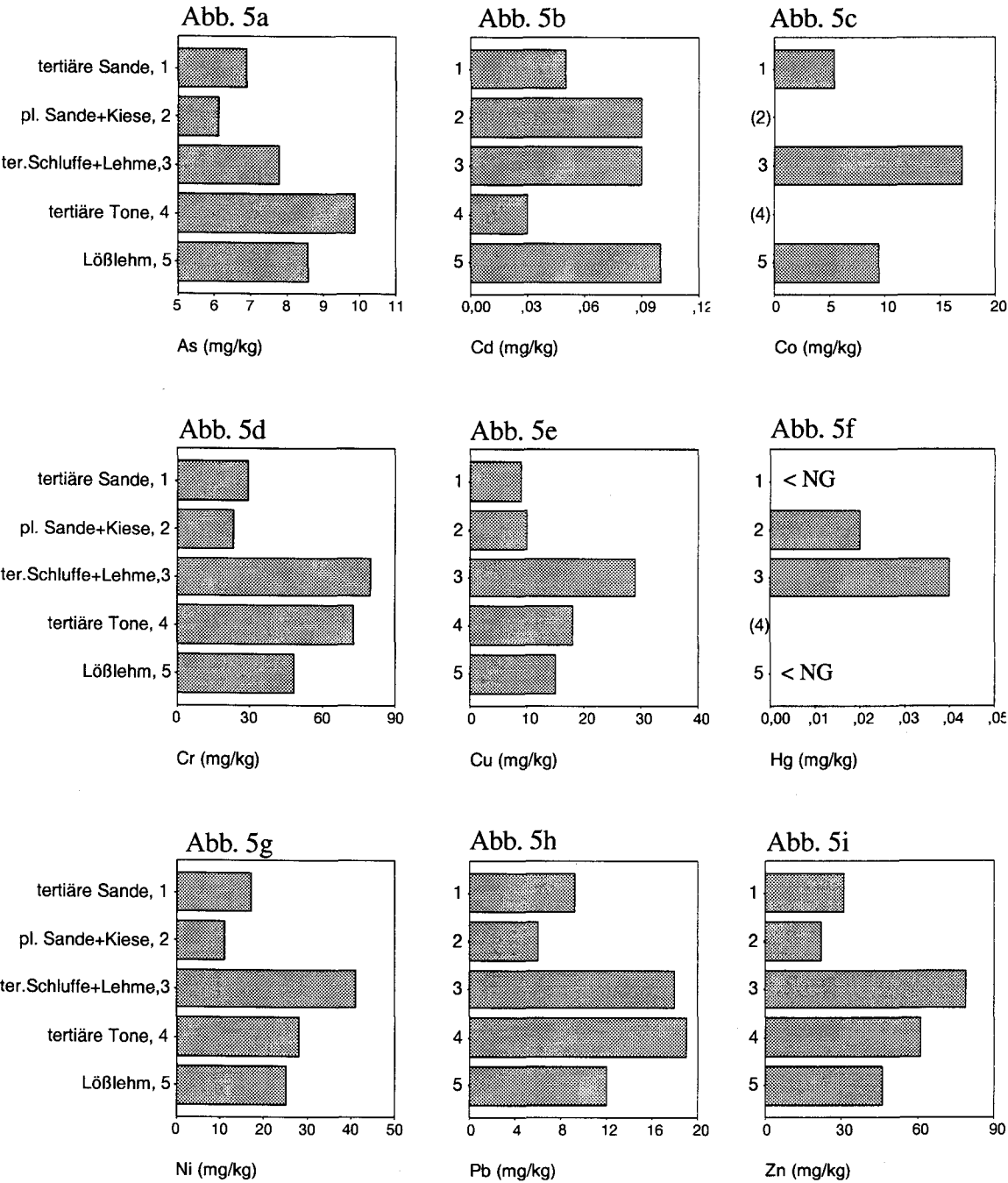
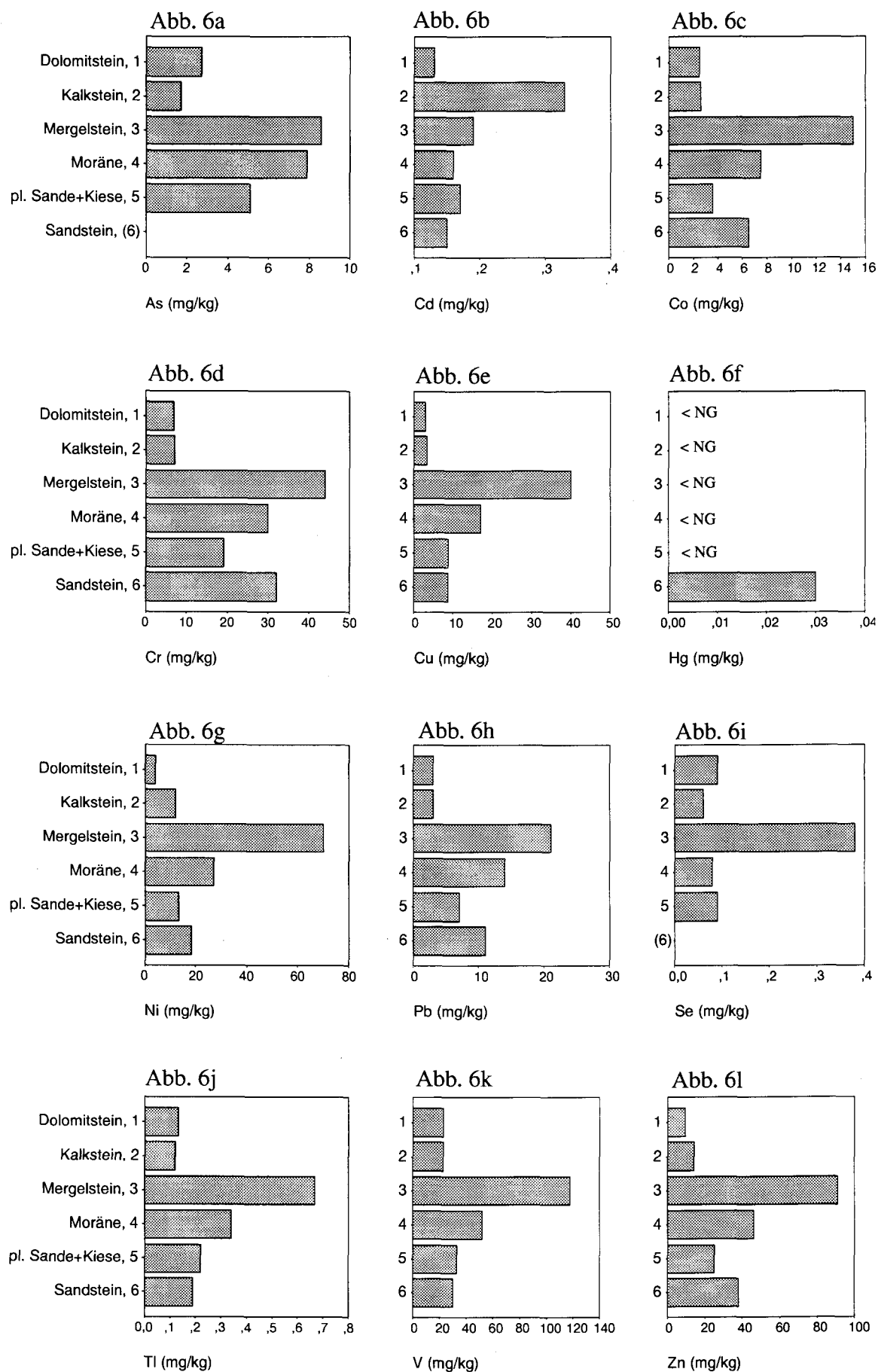


Abb. 6a-l: Vergleich der Problemstoffgehalte verschiedener Ausgangssubstrate der Auswertungseinheit "Alpen/Alpenvorland"; () = keine Daten; < NG = kleiner Nachweisgrenze



5.4.1 Vergleich von Problemstoffkonzentrationen in den Humusauflagen und Mineralböden ungeschichteter Profile

Inwieweit die Problemstoffkonzentration in den Humusauflagen vom Substrat des Mineralbodens bestimmt wird, kann durch einen Vergleich ungeschichteter Böden aus unterschiedlichen Substraten ermittelt werden. Es wurde anhand zweier Beispiele getestet, inwieweit sich unterschiedlich hohe Problemstoffkonzentrationen im Mineralboden auf die Gehalte in den Humusauflagen auswirken. Es wurden dabei in der Auswertungseinheit "Nordwestbayern" Profile aus Flugsand und aus Lößlehm und in der Auswertungseinheit "Grundgebirge" Profile aus Granit und aus Diabas ausgewählt, die innerhalb des gesamten betrachteten Profils bis zum C-Horizont keinen Substratwechsel aufweisen. Die Anzahl der hierfür jeweils zur Verfügung stehenden Profile ist dadurch allerdings gering.

In der Auswertungseinheit "Nordwestbayern" weisen Böden aus Flugsand und Böden aus Lößlehm zum Teil sehr unterschiedliche Stoffgehalte in den Mineralböden auf (s. Tab. 11 und 12). In Oberböden aus Lößlehm wurden 2,6-(Pb) bis 30-(Co) mal höhere Konzentrationen, in C-Horizonten aus Lößlehm 2,9-(Pb) bis 53-(Co) mal höhere Konzentrationen gefunden wie in den entsprechenden Horizonten aus Flugsand. Die Gehalte in den Auflagen von Waldböden der beiden Substrate liegen dagegen in ähnlichen Größenordnungen (Ausnahme: Cr und V im Oh-Horizont). Dies ist ein Hinweis darauf, daß die Stoffgehalte in den Auflagen weniger durch den Mineralboden, als vielmehr durch biogene Prozesse oder immissionsbedingte Einträge gesteuert werden.

Tab. 11: Mittlere Problemstoffgehalte ungeschichteter Böden aus Flugsand

Auswertungseinheit "Nordwestbayern"												
Böden aus Flugsand												
Nutzung: Forst												
Median	mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
Of		3,0	0,70	1,1	10	20	10	93		0,23	11	70
n _(Of)		5	11	11	7	11	11	11	1	7	7	11
Oh		6,5	0,56	3,8	11	18	18	112		0,24	11	62
n		4	7	7	4	7	7	7	1	4	4	7
Oberböden		4,0	0,07	0,32	5,7	3,7	2,6	17		0,37	2,7	12
n		7	28	21	24	28	28	28	3	17	16	28
Unterböden		2,0	<NG	0,94	6,3	4,0	9,0	18	0,02	0,44	7,1	15
n		42	74	66	39	74	75	75	7	30	29	75
C-Horizonte		1,0	<NG	0,36	2,7	3,0	7,0	16		0,31	2,4	15
n		17	29	26	15	25	29	29	3	12	11	28

(1) n = Stichprobenanzahl

Tab. 12: Mittlere Problemstoffgehalte ungeschichteter Böden aus Lößlehm

Auswertungseinheit "Nordwestbayern" Böden aus Lößlehm Nutzung: Forst												
Median	mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
Of		2,9	0,40	1,9	8,4	15	9,5	52	0,27	0,18	11	75
n ₍₁₎		6	11	11	9	11	11	11	4	9	9	11
Oh			0,36	4,0	30	15	16	90		0,45	30	55
n		1	5	5	4	5	5	5	0	4	4	5
Oberböden		9,0	0,19	9,7	43	11	17	44	0,28	0,52	49	47
n		17	40	35	34	40	40	40	11	29	25	40
Unterböden		10	0,08	13	52	16	31	30	0,18	0,68	70	57
n		40	71	66	47	71	71	71	16	42	39	71
C-Horizonte		12	<NG	19	55	17	43	46				61
n		4	6	5	2	6	6	6	0	1	1	6

(1) n = Stichprobenanzahl

Tab. 13: Mittlere Problemstoffgehalte ungeschichteter Böden aus Granit

Auswertungseinheit "Grundgebirge" Böden aus Granit Nutzung: Forst												
Median	mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
Of		8,0	0,41	1,8	15	22	8,7	131	1,5	0,29	16	73
n ₍₁₎		25	36	35	34	36	36	35	21	33	33	36
Oh		15	0,43	2,1	17	16	8,8	156	1,2	0,57	21	76
n		22	28	27	28	28	28	28	21	27	26	28
Oberböden		10	0,17	1,6	16	7,2	4,6	47	0,50	1,2	24	51
n		22	40	30	37	40	36	39	18	32	28	43
Unterböden		4,0	0,13	4,1	24	6,0	8,5	34	0,28	1,3	36	75
n		41	98	74	88	87	91	98	32	69	69	98
C-Horizonte		3,0	0,15	4,2	6,5	5,3	7,3	28	0,09	1,5	17	86
n		41	69	64	62	69	69	69	34	57	57	69

(1) n = Stichprobenanzahl

Tab. 14: Mittlere Problemstoffgehalte ungeschichteter Böden aus Diabas

Auswertungseinheit "Grundgebirge" Böden aus Diabas Nutzung: Forst												
Median	mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
Of		8,6	0,39	2,7	28	22	19	125	1,6	0,32	30	77
n ₍₁₎		5	7	7	6	7	7	7	3	6	6	7
Oh		34	0,41	9,9	109	28	45	207	1,7	0,71	75	102
n		4	5	5	4	5	5	5	3	4	4	5
Oberböden		17	0,30	21	131	26	77	73	0,74	0,59	124	118
n		10	10	11	9	12	12	10	6	8	8	12
Unterböden		6,0	0,18	36	128	37	133	22	0,29	0,40	141	120
n		16	22	19	18	22	22	21	12	15	15	22
C-Horizonte		8,0	0,25	60	292	75	288	14	0,29	0,32	174	135
n		15	19	18	17	19	19	19	11	14	13	19

(1) n = Stichprobenanzahl

In der Auswertungseinheit "Grundgebirge" wurden ungeschichtete Böden aus Granit und aus Diabas verglichen (s. Tab. 13 und 14). Bei Granit handelt es sich um ein saures Kristallingestein, welches niedrige Metallgehalte aufweist, während Diabas sich als basisches Gestein durch besonders hohe Werte an Co, Cr und Ni auszeichnet (s. Nr. 5.1.8). Die großen Unterschiede in den geogenen Problemstoffgehalten der beiden Substrate sind besonders anhand der Gehalte in den C-Horizonten zu erkennen. Demgegenüber vermindern sich die Unterschiede in den Gehalten über die Oberböden zu den organischen Auflagen.

In Tabelle 15 sind die Quotienten der Problemstoffgehalte von Bodenhorizonten aus Diabas und Bodenhorizonten aus Granit für die Elemente As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Tl, V und Zn dargestellt. Je höher dieser Quotient liegt, umso mehr übertreffen die Gehalte in Böden aus Diabas die Gehalte in Böden aus Granit. Insbesondere für die Elemente Co, Cr, Cu, Ni und V sind die Quotienten in den C-Horizonten infolge der geogenen Anreicherung dieser Elemente in Diabasen sehr hoch. Es zeigt sich jedoch, daß dieser Quotient von den C-Horizonten zu den Humusaufgaben stark abnimmt und sich die hohen Problemstoffkonzentrationen in den Mineralböden aus Diabas nur sehr schwach auf die Konzentrationen in den Humusaufgaben auswirken. Zwar liegen auch in den Oh-Horizonten von Waldböden aus Diabas die Gehalte noch deutlich über den Gehalten von Waldböden aus Granit, jedoch ist zu berücksichtigen, daß durch nicht zu vermeidende Probenahmeunschärfen meist auch ein geringer Anteil Mineralboden in die Oh-Proben gelangt, der die Ergebnisse verfälschen kann. In den Of-Horizonten dagegen liegen lediglich die Cr-, Ni- und V-Gehalte auf Diabasböden mit Quotienten von ca. 2 noch deutlich höher als auf Granitböden, während für die restlichen untersuchten Elemente die Gehalte in den Of-Horizonten für Böden aus beiden Substraten in sehr ähnlichen Konzentrationsbereichen liegen.

Zu ähnlichen Ergebnissen kommen auch WOLFF et al. (1998), die bei einer Auswertung der bundesweiten Bodenzustandserhebung im Wald (BZE) zeigen konnten, daß die Schwermetallgehalte der Humusaufgabe praktisch unabhängig von der entsprechenden Elementausstattung des Ausgangsgesteins sind.

Tab. 15: Quotienten aus Medianen der Problemstoffgehalte von Böden aus Diabas und Granit

Diabas/Granit	As	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Tl	V	Zn
Of	1,1	1,0	1,5	1,9	1,0	2,2	1,0	1,1	1,9	1,1
Oh	2,3	1,0	4,7	6,4	1,8	5,1	1,3	1,3	3,6	1,3
Oberboden	1,7	2,3	13	8	3,6	16	1,6	0,5	5	2,3
C-Horizont	2,7	1,7	14	45	14	39	0,5	0,2	10	1,6

Da die untersuchten Problemstoffgehalte in Humusauflagen nur schwach durch die Gehalte im Mineralboden beeinflusst werden, scheint eine substratübergreifende, landschaftsbezogene Auswertung von Humusauflagen gerechtfertigt.

5.4.2 Problemstoffgehalte in Humusauflagen

Die Oh-Horizonte weisen im Vergleich zu den Of-Horizonten i.a. höhere Problemstoffgehalte in den Humusauflagen der einzelnen Auswertungseinheiten auf (s. Abb. 7a-7l). Ausgenommen hiervon sind in einigen Auswertungseinheiten die Elemente Cd, Cu und Zn. Die Zunahme der Gehalte vom Of- zum Oh-Horizont erklärt sich zum einen durch den Humifizierungsprozeß, durch den sich der Anteil der organischen Substanz vermindert, weshalb nicht abbaubare Stoffe relativ angereichert werden. Zum anderen kann bei einigen Elementen auch die Affinität zu reaktiven, organischen Komplexbildnern, die bei fortschreitendem Humusabbau v.a. im Oh-Horizont freigesetzt werden, zu einer Anreicherung im Oh-Horizont führen. Als Komplexbildner dienen dabei Fulvo- und Huminsäuren, sowie niedermolekulare organische Stoffe (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 1989).

Die Unterschiede in den Problemstoffkonzentrationen der Humusauflagen verschiedener Auswertungseinheiten sind für die meisten Elemente gering. Auffällig sind höhere mediane Pb-Konzentration von 115 mg/kg in den Of-Horizonten und von 151 mg/kg in den Oh-Horizonten des Grundgebirges, während in den übrigen Auswertungseinheiten mediane Pb-Konzentration zwischen 73 mg/kg und 79 mg/kg in den Of-Horizonten und zwischen 77 mg/kg und 114 mg/kg in den Oh-Horizonten gefunden werden. Höhere Cd-Konzentrationen werden mit einem Median von 0,77 mg/kg und einer großen Spannweite bis zu ca. 3,5 mg/kg in den Oh-Horizonten der Auswertungseinheit "Alpen/Alpenvorland" gefunden, während in den übrigen Auswertungseinheiten die Mediane der Cd-Konzentration zwischen 0,38 mg/kg und 0,54 mg/kg liegen. Bei As sind höhere Konzentrationen von 7,0 mg/kg (Of) und 18 mg/kg (Oh) im "Grundgebirge" und sehr niedrige Konzentrationen von 1,1 mg/kg (Of) und 3,8 mg/kg (Oh) im "Tertiärhügelland" auffällig. Im "Tertiärhügelland" finden sich zudem im Vergleich zu anderen Auswertungseinheiten sehr niedrige Tl-Gehalte mit 0,1 mg/kg in den Of-Horizonten und 0,2 mg/kg in den Oh-Horizonten. Die Probenzahl ist für Tl in dieser Auswertungseinheit allerdings sehr gering.

Die Problemstoffkonzentrationen weisen in den Humusauflagen teilweise sehr große Spannweiten auf, was darauf zurückgeführt werden kann, daß die Elementgehalte in Humusauflagen aufgrund kleinräumiger Variabilitäten sehr stark schwanken können (SCHILLING, 1994). Allerdings kann auch ein inhomogener Datensatz mit einer mehrgipfeligen Verteilung Ursache dieser Schwankungen sein. Eine stärkere Regionalisierung bestätigt kleinräumige Unterschiede für Cd in den Humusauflagen der Alpen und für Pb in den Humusauflagen des "Grundgebirges". Innerhalb der Auswertungseinheit "Alpen/Alpenvorland" werden z.B. für Cd in Of-Horizonten von Böden der Berchtesgadener Alpen einerseits und Böden der Jungmoränen des Inn-Chiemseegletschers andererseits mittlere

Konzentrationen gefunden, die um das bis zu 10-fache voneinander abweichen. Um eine weitere Regionalisierung vornehmen zu können, stehen allerdings für viele Landschaftseinheiten nicht genügend Daten für Humusauflagen zur Verfügung. Dies gilt insbesondere für die Elemente As, Co, Se, Tl und V. Für die Auswertung der Humusauflagen ist in Zukunft eine stärkere Regionalisierung anzustreben, wofür jedoch eine breitere Datengrundlage notwendig ist.

Im Gegensatz zu den Mineralböden vieler Substrate werden in Humusauflagen Hg-Konzentrationen gemessen, die deutlich über der Nachweisgrenze liegen. In den Of-Auflagen des *“Tertiärhügellandes”* werden mittlere Konzentrationen von ca. 0,6 mg/kg erreicht.

- **Die Unterschiede in den Problemstoffkonzentrationen der Humusauflagen verschiedener Auswertungseinheiten sind für die meisten untersuchten Elemente gering. Höhere As- und Pb-Gehalte wurden in der Auswertungseinheit *“Grundgebirge”*, höhere Cd-Gehalte in der Auswertungseinheit *“Alpen/Alpenvorland”* festgestellt.**
- **Die Spannbreiten der Problemstoffgehalte sind z.T. sehr groß, was auf kleinräumige Variabilitäten in den Humusauflagen oder auf inhomogene Datensätze hindeutet.**
- **Die Oh-Horizonte weisen i.a. höhere Gehalte an anorganischen Problemstoffen auf als die Of-Horizonte, was durch eine Anreicherung infolge des Humifizierungsprozesses oder durch verstärkte Komplexierung erklärt werden kann.**

5.5 Darstellung typischer elementbezogener Tiefenprofile

Elementtiefenprofile können Hinweise auf einen Immissionseinfluß bei der Verteilung der Stoffe im Boden geben, da Immissionen zu einer Anreicherung von Problemstoffen in den Humusauflagen und zu einer Abnahme der Gehalte von den Oberböden zu den Ausgangsgesteinen führen. Dabei müssen die Stoffgehalte in Humusauflagen, Oberböden und Ausgangsgesteinen unter Berücksichtigung der Substratschichtung verglichen werden. Humusauflagen können nicht substratspezifisch ausgewertet werden, so daß kein direkter Vergleich von Humusauflagen mit den substratdifferenzierten Mineralböden möglich ist.

Allerdings wurde in den Kapiteln 5.4.1 und 5.4.2 festgestellt, daß die Elementgehalte in den Mineralböden nur einen geringen Einfluß auf die Elementgehalte in den Humusauflagen haben und die Unterschiede in den Problemstoffkonzentrationen der Humusauflagen bei großräumiger Betrachtung für die meisten Metalle gering sind. Daher wurden die Problemstoffgehalte in den Humusauflagen der 5 ausgeschiedenen Auswertungseinheiten mit den Gehalten in den Mineralböden der einzelnen Substrate dargestellt. Um für bestimmte Fragestellungen die Aussageschärfe zu erhöhen, wurden zudem kleinere, bezüglich der Substratverteilung und der Immissionssituation möglichst homogene Auswertungseinheiten gebildet und in diesen substratunabhängig Auflagen und Mineralböden von Forststandorten horizontweise ausgewertet und verglichen. Dadurch wurden in die Auswertung der Humusauflagen nur diejenigen Auflagen einbezogen, die genetisch oder bezüglich des Immissionsraumes mit den zu vergleichenden Substraten korrespondieren. Eine weitere Homogenisierung der Datenkollektive wurde durch die Auswahl ungeschichteter Profile oder die Beschränkung auf bestimmte Ausgangsgesteine der Bodenbildung erzielt.

Abb. 7a-l: Problemstoffgehalte in Humusauflagen, differenziert nach Auswertungseinheiten

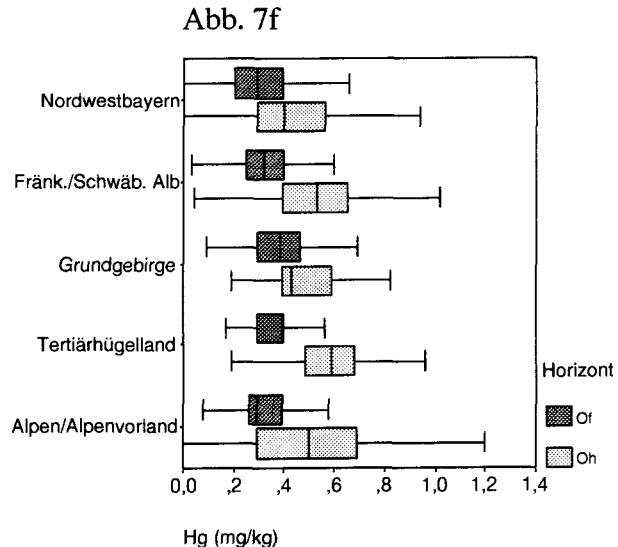
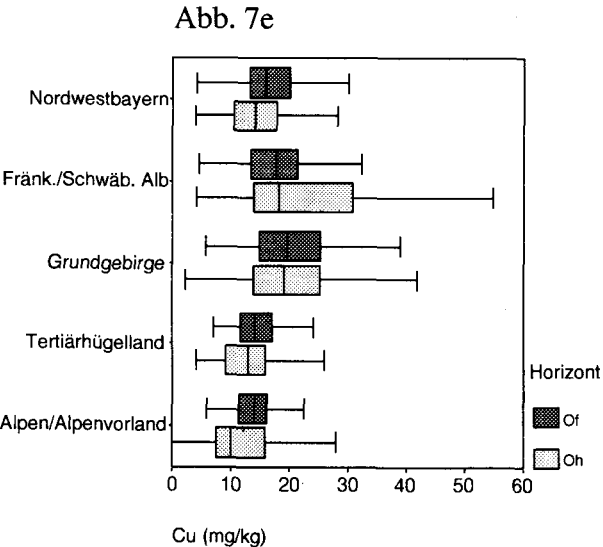
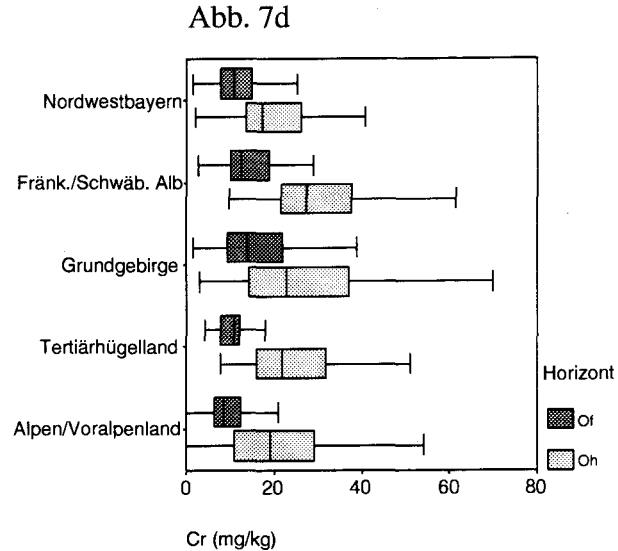
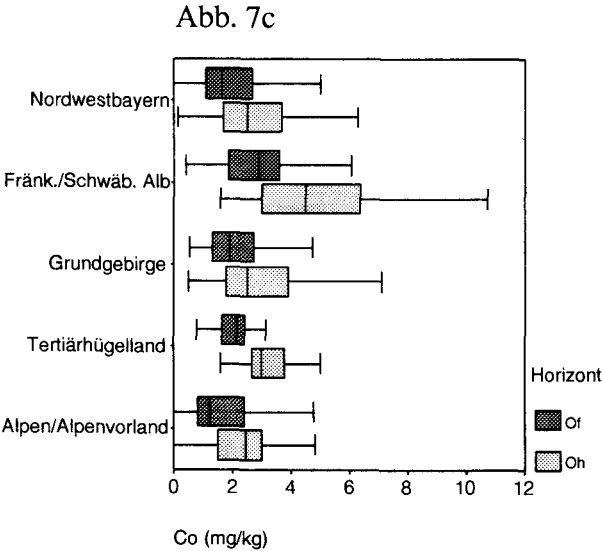
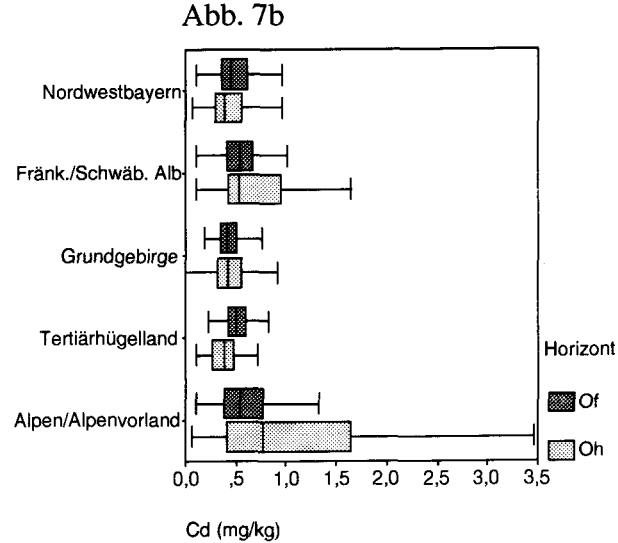
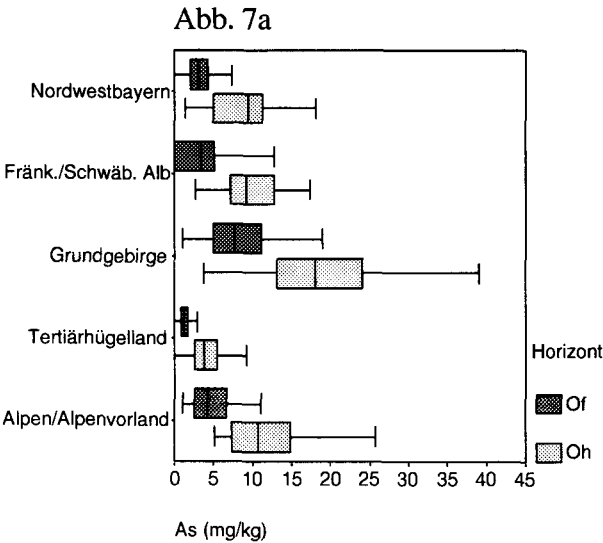


Abb. 7g

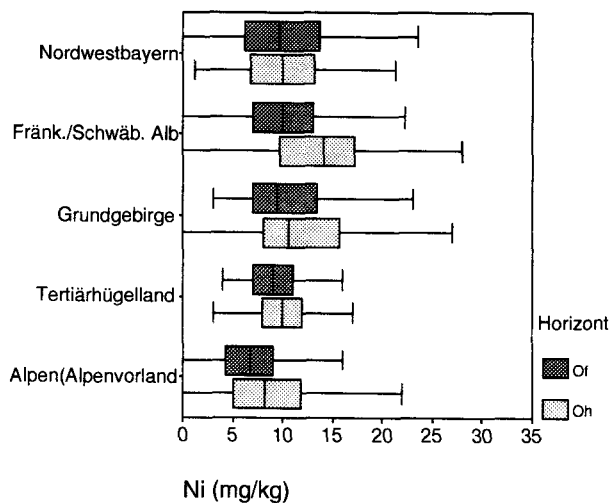


Abb. 7h

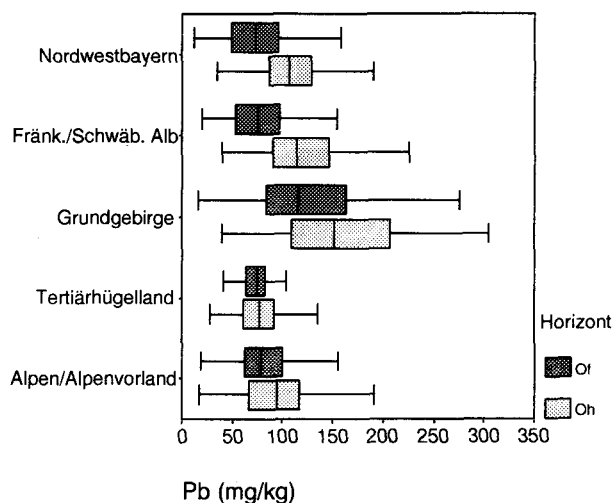


Abb. 7i

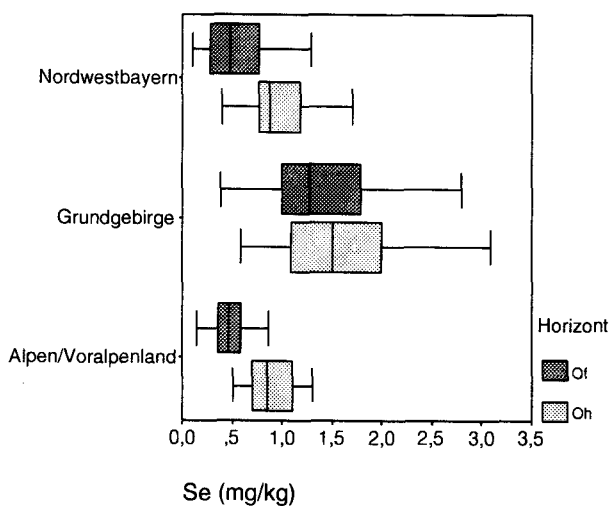


Abb. 7j

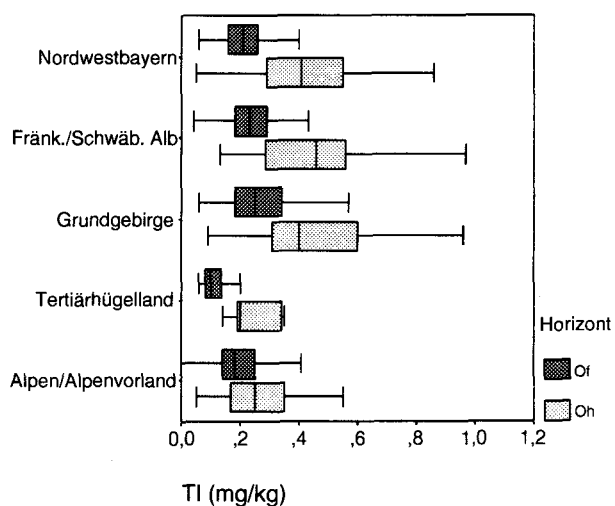


Abb. 7k

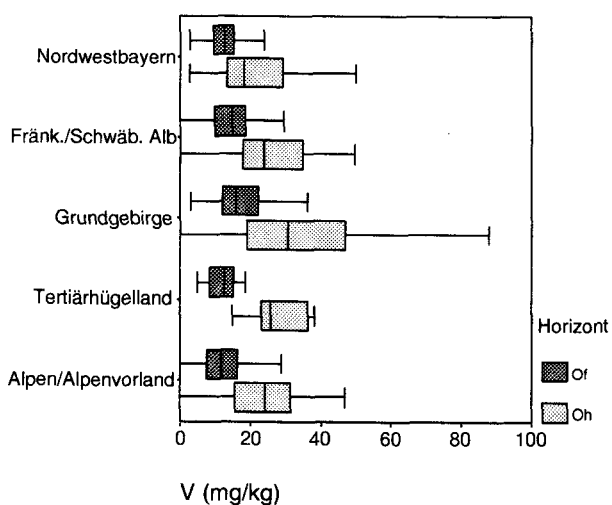
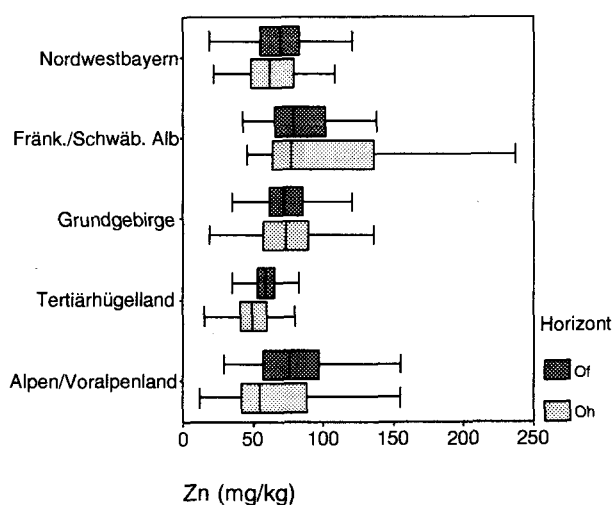


Abb. 7l



Pb, Cd, Hg, Se

Die Gehalte der Elemente **Pb, Cd, Hg** und **Se** (soweit auswertbar) sind in den Auflagen deutlich höher als in den Oberböden der einzelnen Substrate einer Auswertungseinheit. Dies gilt für alle Substrate mit Ausnahme von Kalkstein und Dolomitstein, wo insbesondere die Cd-Gehalte in den Oberböden in der gleichen Größenordnung oder sogar höher liegen als in den Humusauflagen. Ursache hierfür können die hohen geogenen und pedogenen Cd-Gehalte in Böden aus Kalksteinsubstraten sein (s. Kap. 5.1.2 und 5.1.3). Besonders hohe Anreicherungen von Pb konnten in den Humusauflagen der Auswertungseinheit *“Grundgebirge”* festgestellt werden (s. hierzu auch Kap. 5.4.2). Auch in Regionen mit einer eher geringen Immissionsbeeinflussung wie dem *“Tertiärhügelland”* wurden in den Humusauflagen deutlich höhere Cd- und Pb-Gehalte gefunden als in den Mineralböden, wie die Tiefenverteilung dieser Elemente in ungeschichteten Waldböden aus Lößlehm zeigt (Abb. 8 und 9).

Höhere Gehalte an anorganischen Problemstoffen in den Humusauflagen im Vergleich zu Mineralböden können ein Indiz für einen anthropogenen Eintrag dieser Metalle in die Böden sein (RUPPERT, 1987/2). Als gutes Indikatorelement für luftgetragene Schadstoffe erweist sich dabei Pb, da es einerseits durch den Kfz-Verkehr in großen Mengen emittiert worden ist, und andererseits die meisten Gesteine relativ niedrige geogene Gehalte an Pb aufweisen. Hinzu kommt, daß Pb erst bei relativ niedrigen pH-Werten im Boden mobil wird und sehr gut an der organischen Substanz der Auflagehorizonte und Oberböden fixiert wird (KÖNIG, 1985). Eine biogene Anreicherung von Pb in Auflagen und Oberböden kann weitgehend ausgeschlossen werden, da Pb sich bei der Aufnahme durch Pflanzen zunächst in oder auf der Wurzeloberfläche anreichert und erst bei höherem Pb-Angebot in die oberirdischen Pflanzenteile transportiert wird (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 1989).

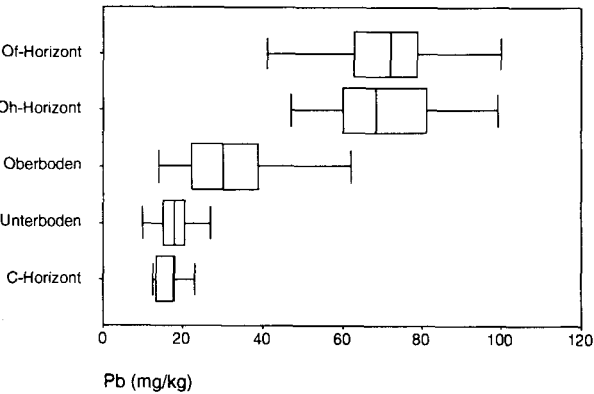


Abb. 8: Pb-Gehalte ungeschichteter Waldböden aus Lößlehm im *“Tertiärhügelland”*

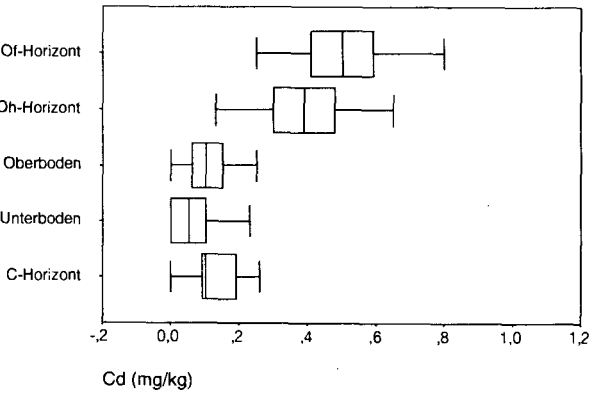


Abb. 9: Cd-Gehalte ungeschichteter Waldböden aus Lößlehm im *“Tertiärhügelland”*

Höhere **Pb**- und **Cd**-Gehalte in Humusauflagen und Oberböden im Vergleich zu tiefergelegenen Mineralbodenhorizonten finden auch RUPPERT (1987/2) für bayerische Böden sowie HUBER und ENGLISCH (1997) für Waldböden des Alpenraumes und erklären dies mit einem überwiegend

anthropogenen Eintrag dieser Elemente. Eine häufig festzustellende **Hg**-Anreicherung in Oberböden beschreibt SCHUSTER (1991) und führt dies zum einen auf anthropogen verursachte Kontaminationen durch atmosphärischen Ferntransport und zum anderen auf die starke Bindung von Hg an die organische Substanz zurück.

Im Gegensatz zu den ungeschichteten Waldböden des „Tertiärhügellandes“ zeigt sich in den Bayerischen Alpen auf Kalkstein und am ausgeprägtesten in der Landschaftseinheit 15.9 (WITTMANN, 1991), den Berchtesgadener Alpen, eine für einen rein immissionsbedingten Eintrag untypische Cd-Tiefenverteilung. Die Oh-Horizonte und die Oberböden haben hohe Cd-Gehalte, während die Of-Horizonte und die Unterböden bzw. C-Horizonte deutlich geringere Gehalte aufweisen (Abb. 10). Für Pb ist diese Verteilung nicht festzustellen, hier weisen beide Auflagenhorizonte höhere Konzentrationen auf als die Mineralböden.

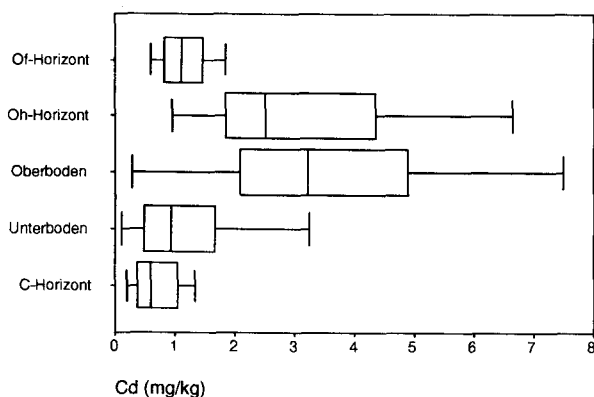


Abb. 10: Cd-Gehalte in Waldböden aus Kalkstein (Berchtesgadener Alpen)

An der Cd-Tiefenverteilung zeigt sich möglicherweise eine Verzahnung geogener, pedogener und immissorischer Effekte. Mehrere Prozesse können hieran beteiligt sein:

Cd ist ein sehr mobiles Element und wird auch durch Komplexierung an organischer Substanz deutlich weniger stark fixiert als Pb (KÖNIG, 1985). BLUME (1992) gibt für Cd einen Grenz-pH-Wert von 6,5 für eine beginnende Mobilisierung an. Im Alpengebiet können selbst auf karbonatbeeinflussten Böden in den Humusaufgaben niedrige pH-Werte auftreten. HUBER und ENGLISCH (1997) kommen in ihrer Auswertung von Waldbodeninventuren im Bereich der Arge Alp und Arge Alpen-Adria zu dem Ergebnis, daß auf carbonatischen Böden der Median der pH-Werte unter pH 5 liegt und bei ca. 25 % der Probeflächen pH-Werte < 4,2 auftreten. Eine Mobilisierung von Cd in der Of-Auflage und eine anschließende erneute Fixierung in der Oh-Auflage oder im Oberboden erscheint daher plausibel. Da zwischen den Humusaufgaben und den carbonatreichen Mineralböden im Alpengebiet ein deutlicher pH-Sprung auftritt (HUBER und ENGLISCH, 1997) erscheint auch eine Cd-Anreicherung im Grenzbereich beider Lagen möglich. So fanden RIEK und WOLFF (1995), daß das beim Streuabbau aus dem Of-Horizont freigesetzte Cd im Gegensatz zum Pb nicht nur in den Oh-Horizont, sondern bis in den Mineralboden verlagert wird. Eine Anreicherung im Grenzbereich zwischen Oh-Horizont und Mineralboden ist probenahmetechnisch allerdings nur schwer zu erfassen.

Eine weitere Ursache für die hohen Cd-Gehalte in den Oh-Horizonten kann sein, daß im Alpenraum relativ häufig Fels-Humusböden oder Böden angetroffen werden, die nur einen geringmächtigen Mineralboden aufweisen. In diesen Böden wird auch rezent Carbonat gelöst. In Carbonaten kann, je nach Zusammensetzung, Cd im Vergleich zu anderen Elementen wie Co, Cr, Ni, Pb, Zn, Cu relativ angereichert sein (RUPPERT et al., 1991; ZAUNER et al., 1993). Bei der Karbonatlösung werden die zunächst ins Karbonatgitter eingebauten Elemente wie Cd verfügbar und können in den direkt

aufliegenden Deckschichten oder Humusauflagen angereichert werden. Die hohe Sorptionskapazität der organischen Substanz und der erhöhte pH-Wert im Kontaktbereich zwischen Oh-Horizont und Carbonatgestein sorgen für eine effektive Fixierung der freigesetzten Ionen (RUPPERT, 1987/2 und RUPPERT et al., 1991).

Co, Cr, Ni, Tl, V

Die Elemente Co, Cr, Ni, Tl, und V weisen meist von den Humusauflagen mit zunehmender Profiltiefe bis zum Ausgangsgestein ansteigende Gehalte auf (s. Abb. 11, 12, 13). Dies deutet darauf hin, daß die entsprechenden Elemente v.a. geogenen Ursprungs sind und nicht im gleichen Verhältnis in die organische Substanz eingebaut werden, wie sie im Boden vorliegen.

Die niedrigeren Gehalte dieser Elemente in den Humusauflagen im Vergleich zum Mineralboden lassen sich auch in Gebieten mit klimabedingt hoher nasser Immissionsdeposition wie dem Ostbayerischen Grundgebirge oder den Bayerischen Alpen feststellen.

Die Abbildungen 11 und 12 zeigen Ni-Tiefenprofile von Waldböden auf Gneis und Diabas im "Grundgebirge". Sowohl in Böden auf Diabas, die im Ausgangsgestein geogen sehr hohe Ni-Gehalte aufweisen, als auch in Böden auf Gneis, die sich durch relativ niedrige Ni-Gehalte auszeichnen (s.a. Abb. 4g) ist eine Abnahme der Ni-Gehalte vom Ausgangsgestein zu den Humusauflagen festzustellen. Es gibt damit keine Indizien für einen bedeutenden immissionsbedingten Eintrag dieser Elemente in die Böden.

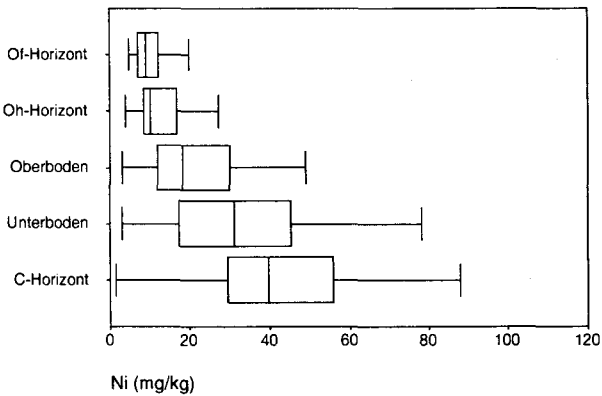


Abb. 11: Ni-Gehalte in Waldböden aus Gneis ("Grundgebirge")

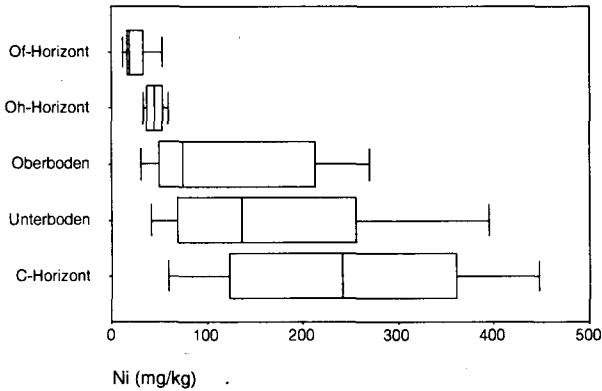


Abb. 12: Ni-Gehalte in Waldböden aus Diabas ("Grundgebirge")

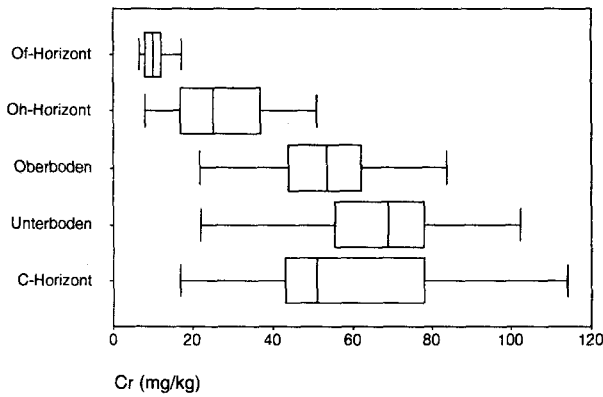


Abb. 13: Cr-Gehalte in ungeschichteten Waldböden aus Lößlehm im "Tertiärhügelland"

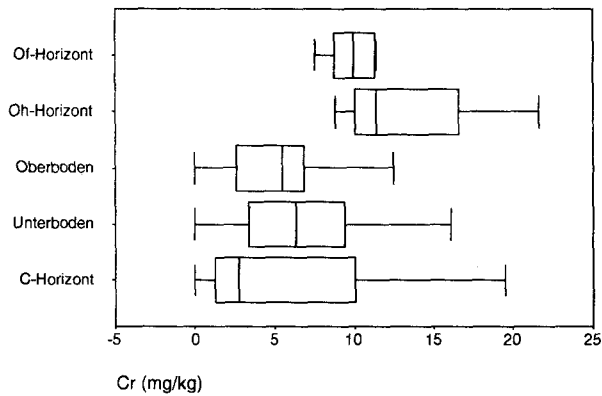


Abb. 14: Cr-Gehalte in ungeschichteten Waldböden aus Flugsanden in "Nordwestbayern"

Lediglich "schwermetallarme" Böden aus sauren, meist sorptionsschwachen Substraten wie Flugsand, Sand, Sandstein und Granit weisen bezüglich einiger Elemente z.T. eine Anreicherung in den Humusauflagen auf. In den Abbildungen 13 und 14 sind die Cr-Gehalte von ungeschichteter Waldböden aus Lößlehm in der Auswertungseinheit "Tertiärhügelland" und Flugsanden der Einheit "Nordwestbayern" dargestellt. Während in den Waldböden aus Lößlehm im "Tertiärhügelland" die medianen Cr-Gehalte von ca. 10 mg/kg in den Of-Horizonten auf ca. 70 mg/kg in den Unterböden ansteigen, liegen in den Waldböden aus Flugsanden "Nordwestbayerns" die Gehalte in den Auflagen ungefähr doppelt so hoch wie in den Mineralböden, allerdings auf einem sehr niedrigen Niveau. Die sehr niedrigen Gehalte, insbesondere im Mineralboden, deuten jedoch darauf hin, daß die relative Anreicherung in den Humusauflagen nicht immissionsbedingt ist. Sie beruht stattdessen vermutlich auf biogener Akkumulation infolge des Abbaus der organischen Substanz oder auf einer Verarmung der sorptionsschwachen Mineralbodenbereiche infolge von Auswaschung.

As

Die As-Gehalte in der Auswertungseinheit "Fränkische und Schwäbische Alb" steigen von den Auflagen über die Oberböden und Unterböden zum Ausgangsgestein hin an (s. Abb. 15). Vor allem Böden aus Kalkstein und Lößlehm weisen in dieser Auswertungseinheit im Vergleich zu den Humusauflagen höhere Werte auf. Ähnliche As-Tiefenverteilungen konnten auch im "Tertiärhügelland" gefunden werden sowie in Landschaftseinheiten, wo Substrate mit relativ hohen As-Gehalten anzutreffen sind, wie z.B. in den Tonlandschaften des Albvorlandes. Allerdings stehen in allen Auswertungseinheiten für As nur sehr wenige Daten zur Verfügung.

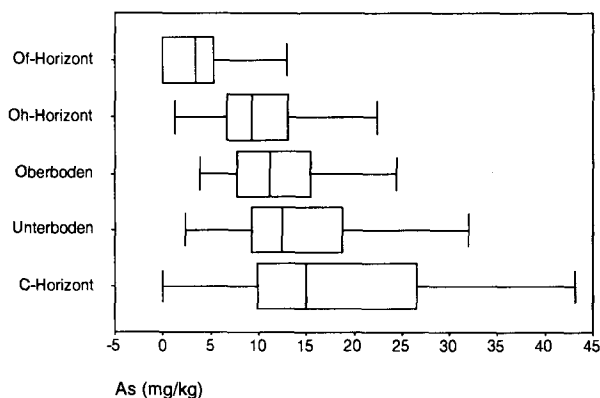


Abb. 15: As-Gehalte in Waldböden der "Fränkischen und Schwäbischen Alb"

In anderen Auswertungseinheiten finden sich in den Oh-Horizonten und den Oberböden deutlich höhere As-Gehalte als in den Unterböden und C-Horizonten. Auch die Of-Horizonte weisen meist niedrigere Gehalte auf als die Oh-Horizonte und die Oberböden.

Beispielhaft ist die As-Tiefenverteilung für die Landschaftseinheit 8 (Frankenwald, Fichtelgebirge und Vogtland) in Abbildung 16 dargestellt.

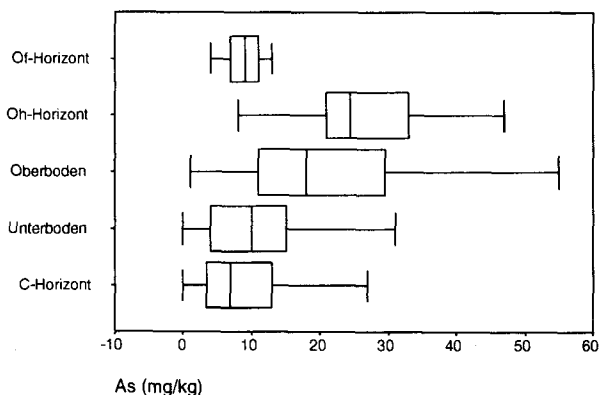


Abb. 16: As-Gehalte in Waldböden der Landschaftseinheit 8 (Frankenwald, Fichtelgebirge und Vogtland)

Zum einen scheinen hier Substrate vorzuliegen, die geogen geringe As-Gehalte aufweisen, da insbesondere in den C-Horizonten deutlich niedrigere Gehalte gefunden werden als z.B. in der Auswertungseinheit "Fränkische und Schwäbische Alb". (Eine weitere Substratdifferenzierung konnte aufgrund der geringen Analysenzahl nicht vorgenommen werden). Andererseits werden in den Humusaufgaben in der Landschaftseinheit 8 (Frankenwald, Fichtelgebirge und Vogtland), wie auch in der gesamten Auswertungseinheit "Grundgebirge" gegenüber anderen Auswertungseinheiten höhere As-Gehalte festgestellt (Kap. 5.4.2). Die As-Tiefenverteilung in der Landschaftseinheit 8 wird in ähnlicher Weise für alle Landschaftseinheiten der Auswertungseinheit "Grundgebirge" gefunden und kann einerseits durch niedrige geogene Grundgehalte im Mineralboden und zum anderen durch eine möglicherweise anthropogene Anreicherung in den Humusaufgaben erklärt werden.

Auffällig ist, daß die Of-Horizonte deutlich niedrigere As-Gehalte aufweisen als die Oh-Horizonte und die Oberböden (Abb. 16), was auch bereits bei Cd in Waldböden auf Kalkstein der Berchtesgadener Alpen beobachtet wurde. Der Grenz-pH-Wert für As liegt bei pH 4-4,5 (BLUME, 1992), so daß eine pH-bedingte Verlagerung aus dem Of-Horizont, wie sie für Cd in den Berchtesgadener Alpen postuliert wurde, als Erklärung für die im Vergleich zu den Oh-Horizonten niedrigen Gehalte im Of-Horizont unwahrscheinlich ist. Auch Prozesse im Zusammenhang mit Kalklösung kommen im "Grundgebirge" nicht in Betracht. Stattdessen könnten die im Vergleich zu den Oh-Horizonten und Oberböden niedrigeren As-Gehalte in den Of-Horizonten darauf hindeuten, daß in den letzten Jahren

die As-Einträge abgenommen haben und die rezenten Auflagen aus weniger belastetem Material gebildet werden. Als As-Eintragsquelle kommen möglicherweise auch As-haltige Mittel in Betracht, die früher im Forst zur Schädlingsbekämpfung eingesetzt wurden (z.B. Rattengifte, Fungizide, Holzschutzmittel etc.), heute jedoch nicht mehr auf dem Markt erhältlich sind. In der Salzburger Bodenzustandsinventur (AMT DER SALZBURGER LANDESREGIERUNG, 1993) werden ebenfalls unter Wald As-Anreicherungen im Oberboden festgestellt. Die Humusauflagen, die dort allerdings nicht horizontdifferenziert analysiert wurden, weisen jedoch deutlich niedrigere As-Gehalte auf als die Mineralböden.

Cu, Zn

Cu und **Zn** verhalten sich bezüglich der Tiefenverteilung im Profil sehr ähnlich. Für beide Elemente ist in den meisten Fällen nur eine schwache Differenzierung innerhalb von Waldprofilen festzustellen, mit einer Tendenz zu höheren Gehalten in Mineralböden. Auf Böden aus "schwermetallreichen" Substraten wie z.B. Tonschiefer oder basischen Substraten sind die Gehalte in den Humusauflagen i.a. geringer als in den Mineralböden. Selbst in der Auswertungseinheit "Grundgebirge", die von einer höheren Immissionsdeposition geprägt ist, unterscheiden sich die Problemstoffgehalte von Humusauflagen und Mineralböden kaum, wie dies exemplarisch für Zn anhand der Landschaftseinheit 8 (Frankenwald, Fichtelgebirge und Vogtland) dargestellt ist (Abb. 17).

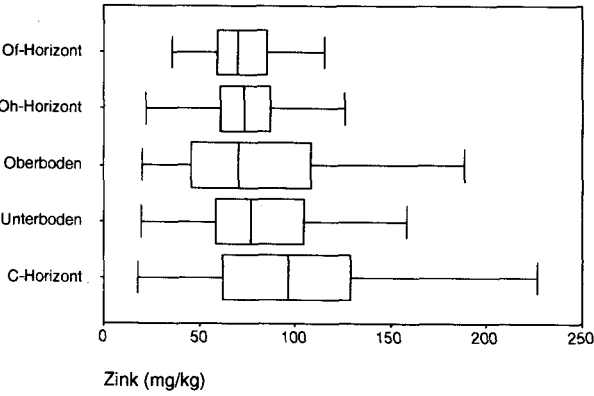


Abb. 17: Zn-Gehalte in Waldböden der Landschaftseinheit 8 (Frankenwald, Fichtelgebirge und Vogtland)

Lediglich bei Profilen aus sauren und sorptionsschwachen, nicht holozänen (und damit schwermetall-armen) Sanden, Sandsteinen und Flugsanden lassen sich in den Auflagen höhere Gehalte finden als im Mineralboden, allerdings auf einem sehr niedrigen Niveau. Beispielhaft ist dies in Abbildung 18 an den Zn-Gehalten in Waldböden aus nicht holozänen Sanden im Keuper-Lias-Land (Landschaftseinheit 5) dargestellt. Wie bereits im Zusammenhang mit den Cr-Gehalten von Waldprofilen aus Flugsanden diskutiert, liefert diese relative Anreicherung auf einem insgesamt niedrigen Niveau aber nicht unbedingt Anhaltspunkte für einen immissionsbedingten Eintrag, da sie durch biogene Akkumulation oder eine Verarmung des Mineralbodens durch Auswaschung erklärt werden kann.

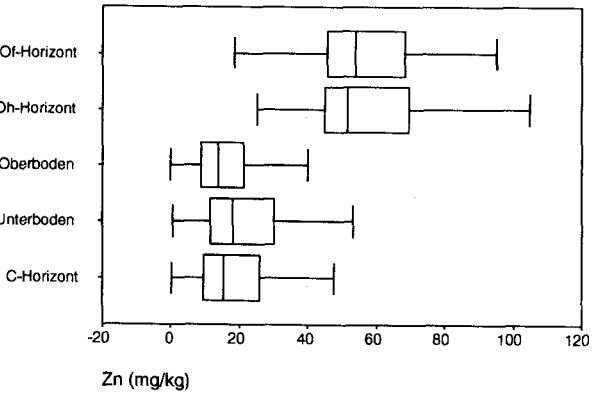


Abb. 18: Zn-Gehalte in Waldböden aus nicht holozänen Sanden in der Landschaftseinheit 5 (Keuper-Lias-Land)

Ähnliche Cu- und Zn-Tiefenverteilungen in Waldböden mit nur geringen Differenzierungen beschreiben auch HUBER und ENGLISCH (1997). Indizien für eine bedeutende Immissionsbelastung von Böden mit Cu und Zn lassen sich nicht erkennen.

Die Schwermetalltiefenprofile geben folgende Hinweise in Bezug auf die Immissionsbelastung mit Problemstoffen:

1. Die Elemente Cd, Pb, Hg (und soweit auswertbar auch Se) sind in Humusauflagen im Vergleich zu Mineralböden deutlich angereichert, so daß von einem bedeutenden immissionsbedingten Eintrag dieser Elemente auch in Gebieten mit einer geringen luftgetragenen Immissionsdeposition ausgegangen werden kann.
2. Die Elemente Co, Cr, Ni, Tl und V weisen in den meisten Fällen von den Ausgangsgesteinen zu den Humusauflagen abnehmende Gehalte auf. Die Gehalte dieser Elemente in Böden sind überwiegend geogen bedingt.
3. Für As deuten in einigen Regionen (z.B. in der Einheit "*Grundgebirge*") die höheren Gehalte in den Oh-Horizonten und Oberböden im Vergleich zu den Unterböden und Ausgangsgesteinen auf einen Eintrag hin. In anderen Regionen (z.B. in der Einheit "*Fränkische und Schwäbische Alb*") konnte kein Hinweis auf einen As-Eintrag in die Böden gefunden werden.
4. Cu und Zn weisen, außer in Böden aus schwermetallreichen Substraten wie z.B. Tonschiefern oder basischen Substraten, keine starke Differenzierung im Profil auf. Höhere Gehalte in Humusauflagen gegenüber Mineralböden lassen sich nur in Böden aus schwermetallarmen Substraten feststellen. Hinweise auf einen bedeutenden Immissionseinfluß konnten nicht gefunden werden.

5.6 Vergleich von Vorsorgewerten nach dem E-BodSchV mit Stoffgehalten unterschiedlicher Substrate

Im E-BodSchV mit Stand vom 10.09.98 sind Vorsorgewerte nach § 8 Abs. 2 Nr. 1 des BBodSchG vorgesehen, bei deren Überschreitung in der Regel das Entstehen schädlicher Bodenveränderungen bei zusätzlichen Stoffeinträgen zu besorgen ist (Tab. 16). Es wird dabei vereinfachend davon ausgegangen, daß von den Bodenarten "Sand" über "Lehm/Schluff" zu "Ton" die reaktive Oberfläche zunimmt und damit auch die Bindungskapazität für anorganische Problemstoffe in den entsprechenden Böden steigt. Zugleich wird die Bindungsfestigkeit einiger anorganischer Problemstoffe in terrestrischen Böden stark vom pH-Wert beeinflußt. Die Vorsorgewerte sind daher bodenart- und z.T. pH-bezogen abgeleitet. Überschreitungen von Vorsorgewerten sind bei Böden mit naturbedingt und großflächig siedlungsbedingt erhöhten Hintergrundgehalten unbedenklich, wenn keine Freisetzung der anorganischen Problemstoffe zu besorgen ist.

Tab. 16: Vorsorgewerte nach dem Entwurf der Verordnung zur Durchführung des Bundes-Bodenschutzgesetzes (E-BodSchV)

	Cadmium	Blei	Chrom	Kupfer	Quecksilber	Nickel	Zink
Bodenart Ton	1,5 für pH <6,0: 1	100 für pH <5,0: 70	100	60	1	70 für pH <6,0: 50	200 für pH <6,0: 150
Bodenart Lehm/Schluff*	1 für pH <6,0: 0,4	70 für pH <5,0: 40	60	40	0,5	50 für pH <6,0: 15	150 für pH <6,0: 60
Bodenart Sand*	0,4	40	30	20	0,1	15	60
Böden mit naturbedingt und großflächig siedlungsbedingt erhöhten Hintergrundgehalten	Unbedenklich, soweit eine Freisetzung der Schadstoffe oder zusätzliche Einträge nach §8 Abs. 2 und 3 der BodSchV keine nachteiligen Auswirkungen auf die Bodenfunktionen erwarten lassen						
* Schluffige Sande sind entsprechend der Bodenart Lehm/Schluff zu bewerten							

In Böden aus vielen Substraten, die in dieser Untersuchung ausgewertet wurden, konnte je nach betrachteter Bodenart eine beträchtliche Zahl von Überschreitungen der Vorsorgewerte festgestellt werden.

Löß und Lößlehm:

In allen Auswertungseinheiten überschreiten die medianen Cr-Werte (d.h. 50% aller gemessenen Werte) entweder von Ober- oder von Unterböden die Vorsorgewerte für Lehm des E-BodSchV von 60 mg/kg. In Böden aus Löß oder Lößlehm wird Lehm oder Schluff als häufigste Bodenart angetroffen.

Kalkstein und Kalksteinverwitterungsmaterial:

In landwirtschaftlich genutzten Unterböden der Einheit "*Fränkische und Schwäbische Alb*" werden für die Elemente Ni und Zn mit 115 mg/kg bzw. 221 mg/kg mediane Konzentrationen gefunden, welche die geplanten Vorsorgewerte für Ton deutlich überschreiten. Für Cd und Cr überschreitet das 75. Perzentil und damit 25 % der gefundenen Werte die entsprechenden Vorsorgewerte für Ton. Da nicht alle Böden aus diesem Substrat der Tonfraktion zuzurechnen sind, muß von einer noch höheren Zahl von Überschreitungen ausgegangen werden.

In den Oberböden aus Kalkstein in der Auswertungseinheit "*Alpen/Alpenvorland*" wird mit medianen Cd-Gehalten von 1,3 mg/kg (landwirtschaftliche Nutzung) bzw. 1,1 mg/kg (forstliche Nutzung) der vorgesehene Vorsorgewert für Lehm überschritten. Das 75. Perzentil und damit 25 % aller untersuchten Proben überschreitet mit 1,5 mg/kg (Forst) und 2,0 mg/kg (Acker, Grünland) auch den Vorsorgewert für Ton. In ausgewählten Regionen der Alpen können für Cd noch höhere Werte gefunden werden. Der Pb-Vorsorgewert für Lehm wird in den Oberböden aus Kalkstein in den Bayerischen Alpen (Forst) vom Median, der Pb-Vorsorgewert für Ton vom 75. Perzentil der Werte überschritten. In den Unterböden (Forst) der Bayerischen Alpen überschreitet der Median und in den Oberböden (Forst) das 75. Perzentil den Lehm-Vorsorgewert für Cr.

Dolomitstein:

Die medianen Cd-Gehalte von Oberböden aus Dolomitstein überschreiten in der Auswertungseinheit "*Alpen/Alpenvorland*" mit 1,4 mg/kg (Forst) und 1,3 mg/kg (landwirtschaftliche Nutzung) den geplanten Vorsorgewert für Lehm, die 75. Perzentile überschreiten mit 1,8 mg/kg auch den Vorsorgewert für Ton. Überschreitungen des Lehm-Vorsorgewertes werden ebenfalls bei Pb festgestellt.

Ton und Tonstein:

Böden aus Tonen und Tonsteinen zeigen mediane Schwermetallgehalte, die sich im Bereich der geplanten Vorsorgewerte bewegen. In Unterböden aus Tonschiefern (Acker, Grünland) in der Auswertungseinheit "Grundgebirge" überschreiten die Cu- und Zn-Mediane die Vorsorgewerte. Die Mediane der Schwermetallgehalte in C-Horizonten erreichen die Vorsorgewerte zwar nicht, beim 75. Perzentil ist jedoch bezüglich der Elemente Cu und Cr ein Erreichen oder ein Überschreiten der Werte festzustellen.

Basische magmatische und metamorphe Gesteine:

Die Cr- und Ni- Gehalte basischer magmatischer und metamorpher Gesteine überschreiten die Vorsorgewerte um ein Vielfaches. Die höchsten Überschreitungen wurden in den C-Horizonten gefunden. Auch für Cu konnten Überschreitungen der Vorsorgewerte festgestellt werden.

Saure und intermediäre magmatische und metamorphe Gesteine:

In Böden aus Quarzit/Quarzitschiefer/Grauwacke werden in Oberböden (Forst) mediane Pb-Gehalte gefunden, die den Vorsorgewert für Lehm überschreiten. Das 75. Perzentil überschreitet auch den Vorsorgewert für Ton. Böden dieser Substrate verwittern meist sandig, so weshalb die Überschreitung der Vorsorgewerte bezogen auf die Vorsorgewerte von Sandböden deutlicher ausfallen kann.

Es deutet sich an, daß es bei einer Vielzahl von Substraten in Böden Bayerns zu Überschreitungen der Vorsorgewerte kommt. Dies deckt sich im wesentlichen mit den Literaturdaten, die in Tabelle 5 zusammengestellt sind, die auch deutschlandweite bzw. weltweite Aussagen über Problemstoffgehalte in Gesteinen und Böden liefern. Auch in diesen Datensätzen wurden für einige Elemente z.T. deutliche Überschreitungen der Vorsorgewerte festgestellt, wobei jedoch aufgrund der pH- und bodenartspezifischen Ableitung der Vorsorgewerte kein direkter Vergleich mit den Literaturdaten vorgenommen werden kann. Auch die substratspezifisch differenzierten Hintergrundwerte können nicht direkt mit den bodenartenspezifisch abgeleiteten Vorsorgewerten verglichen werden. Um eine quantitative Aussage zu Überschreitungen der Vorsorgewerte machen zu können, müssen die Hintergrundwerte zusätzlich bodenartendifferenziert ausgewertet werden. Hierfür standen jedoch für die meisten Substrate nicht genügend Daten zur Verfügung.

Beispielhaft wurden daher einige Substrate zu Substratklassen zusammengefaßt und diese anschließend nach Bodenarten differenziert ausgewertet.

Hiermit konnte eine prozentuale Abschätzung vorgenommen werden, bei welchen Substratgruppen im Rahmen der Anwendung der Vorsorgewerte im Vollzug Probleme auftreten könnten. Folgende Substratklassen wurden gebildet und die prozentualen Überschreitungen der Vorsorgewerte in den einzelnen Substratklassen in der Tabelle 17 dargestellt:

holozäne Sedimente: Auenböden, quartäre Sedimente

Kalkstein: Kalk- und Dolomitstein, Kalksandstein, Kalkmergelstein, Kalksteinverwitterungslehm

Sandstein: Sandsteine aller Auswertungseinheiten

Tonstein: Tonstein, Tonschiefer

Lockergesteine: Löß, Lößlehm, Flugsand, Sandlöß, Schwemmlöß, Sand, Schluff, Lehm, Ton.

saure magmatische und metamorphe Gesteine: Granit, Gneis, Phyllit, Glimmerschiefer, Quarzit, Quarzitschiefer

basische magmatische und metamorphe Gesteine: Basalt, Diabas, Amphibolit, Serpentin

Tabelle 17: Prozentuale Überschreitung von Vorsorgewerten nach E-BodSchV

Substratklasse	Bodenart	Cd	Pb	Cr	Cu	Hg	Ni	Zn
holozäne Sedimente	Sand	>10	>25	>25	>25	>25	>50	>25
	Lehm/Schluff	>1	>10	>25	>10	>5	>10	>5
	Ton	0	0	>10	0	0	>10	0
Kalkstein	Sand	>10	0	>25	>10	>25	>25	>25
	Lehm/Schluff	>25	>10	>25	>10	>5	>25	>10
	Ton	>10	0	>10	>1	0	>25	>10
Sandstein	Sand	0	>5	>25	>1	>10	>5	>1
Tonstein	Lehm/Schluff	0	>10	>75	>25	0	>10	0
	Ton	0	0	>10	0	0	>10	0
Lockergesteine	Sand	>1	>5	>25	>1	>10	>25	>5
	Lehm/Schluff	>1	>5	>25	>1	>1	>10	>1
	Ton	0	>1	>10	>1	0	>10	>1
saure Gesteine	Sand	>1	>10	>50	>25	>25	>50	>75
	Lehm/Schluff	0	>5	>25	>5	>1	>10	>5
	Ton	-	-	-	-	-	-	-
basische Gesteine	Sand	0	0	> 75	>75	>1	>75	100
	Lehm/Schluff	0	>10	>75	>50	0	>75	>10
	Ton	-	-	-	-	-	-	-

- 100 Der Vorsorgewert wird von allen Proben überschritten
- >75 Der Vorsorgewert wird von 75 % bis 99% aller Proben überschritten
- >50 Der Vorsorgewert wird von 50 % bis 75% aller Proben überschritten
- >25 Der Vorsorgewert wird von 25 bis 50 % aller Proben überschritten
- >10 Der Vorsorgewert wird von 10 bis 25 % aller Proben überschritten
- > 5 Der Vorsorgewert wird von 5 bis 10 % aller Proben überschritten
- > 1 Der Vorsorgewert wird von 1 bis 5 % aller Proben überschritten
- 0 Der Vorsorgewert wird von keiner Probe überschritten
- Datenlage ungenügend (n<10)

Da im E-BodSchV für die Vorsorgewerte kein Bezug zu Horizonten oder Tiefenstufen vorgesehen ist, wurden alle Mineralbodenhorizonte nach einer Ausreißerkorrektur für die Auswertung verwendet. Die gemeinsame Auswertung aller Mineralbodenhorizonte führt insgesamt zu einem relativ inhomogenen Datensatz, der häufig eine bimodale Verteilung aufweist.

Es zeigt sich, daß in allen ausgewerteten Substratklassen z.T. deutliche Überschreitungen von Vorsorgewerten auftreten. Besonders auffallend sind die Überschreitungen bei Böden aus basischen Gesteinen für die Elemente Cr, Cu, Ni und Zn. Dort liegen mindestens bei einer Bodenart mehr als 75 % der Meßwerte oberhalb der Vorsorgewerte. Bei Böden aus basischen Gesteinen der Bodenart Sand überschreiten sogar sämtliche Proben den Vorsorgewert von Zink. Zu Überschreitungen der Vorsorgewerte durch mindestens 50 % der Proben kommt es auch bei Böden aus sauren Gesteinen mit der Bodenart Sand bei den Elementen Cr, Ni und Zn (> 75 %). Als besonders problematisch stellen sich insgesamt die Vorsorgewerte für Ni und Cr dar. Mit Ausnahme von Ni in Sandsteinen liegen für diese Elemente in jeder Substratklasse und Bodenart mindestens 10 %, meist sogar mehr als 25 % der Daten oberhalb der Vorsorgewerte. Vergleichsweise wenig betroffen von den Überschreitungen der Vorsorgewerte ist Cd. Hier überschreiten nur im Fall von Kalkstein (Lehm/Schluff) mehr als 25 % der Meßwerte den Vorsorgewert.

Die Bodenartendifferenzierung der Vorsorgewerte spiegelt die geochemische Variabilität der Bodenausgangsgesteine nur unzureichend wieder. Dies wird auch aus Abbildung 19 deutlich, in der die Verteilung der 90. Perzentile der Cr-Gehalte in den unterschiedlichen Bodenarten dargestellt ist. Zwar sind in der Regel die höchsten Gehalte in der Bodenart Ton und die niedrigsten im Sand anzutreffen, allerdings sind die Unterschiede in den Problemstoffgehalten zwischen verschiedenen Gesteinsklassen z.T. größer als die Unterschiede zwischen verschiedenen Bodenarten. So weisen z.B. basische Gesteine mit 960 mg/kg bei der Bodenart Lehm/Schluff extrem hohe Stoffgehalte auf, während in sauren Gesteinen für diese Bodenart das 90. Cr-Perzentil bei 89 mg/kg liegt. Auf die extrem hohen Stoffgehalte basischer und ultrabasischer Gesteine wurde bereits mehrfach hingewiesen.

Bei den besonders durch Immissionen beeinflussten Stoffen (Cd, Pb) ist keine deutliche Abhängigkeit der Gehalte im Boden von der Bodenart ersichtlich, häufig sind in der Bodenart Lehm/Schluff die Elementgehalte am höchsten, wie am Beispiel von Pb in Abbildung 20 gezeigt werden kann.

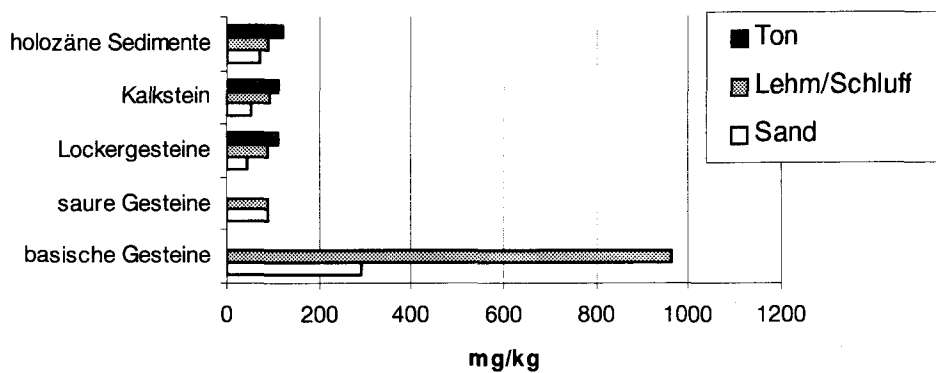


Abb. 19: Cr-Gehalte (90. Perzentile unterschiedlicher Substratgruppen

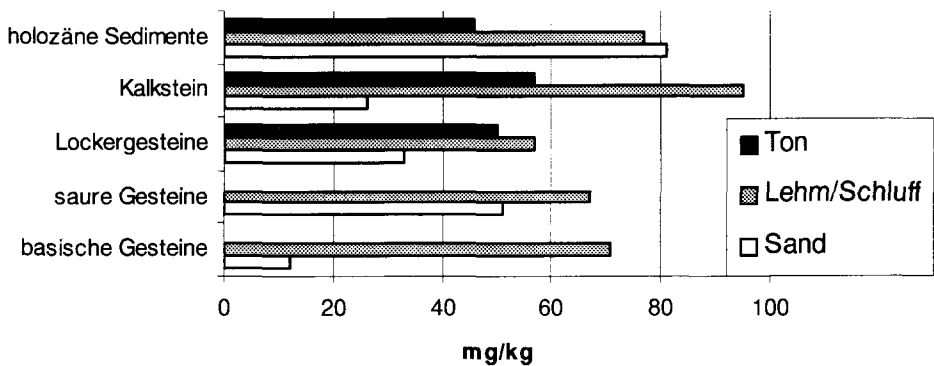


Abb. 20: Pb-Gehalte (90. Perzentile unterschiedlicher Substratgruppen

Hauptursache dafür ist vermutlich der überproportional große Anteil der Bodenart Lehm/Schluff in Oberböden, da lehmige und schluffige Bodenarten in den Oberböden aufgrund der Aufwehung von schluffigen/lehmigen Decksichten im Periglazial häufiger verbreitet sind als in Unterböden und Ausgangsgesteinen. Dadurch kann sich eine Häufung des Auftretens von stärker immissionsbeeinflussten Oberböden in dieser Klasse ergeben. Immissionsgetragene Problemstoffe sind davon in wesentlich stärkerem Maße betroffen als überwiegend geogen beeinflusste Stoffe.

Die Gegenüberstellung von Daten dieses Berichts mit Vorsorgewerten des E-BodSchV zeigt die Problematik nicht substratbezogener Werte deutlich auf. Zum einen weisen viele Substrate naturbedingt Stoffgehalte über den Vorsorgewerten auf. Zum anderen ist eine Gesetzmäßigkeit, daß Stoffgehalte vom Sand über Lehm/Schluff zu Ton ansteigen, wie es die Vorsorgewerte vermuten lassen, nicht in allen Fällen begründet. Die Ergebnisse zeigen weiter, daß Böden unterschiedlicher Substrate trotz gleicher oder ähnlicher Bodenarten sehr unterschiedliche Problemstoffgehalte aufweisen können und eine Bodenartendifferenzierung alleine die geochemische Variabilität von Böden nur unzureichend wiedergibt.

6 Zusammenfassung

In dem vom Bayerischen Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen beauftragten und geförderten Projekt "Geogene und anthropogene Schwermetalle in Böden Bayerns; Hintergrundwerte anorganischer Problemstoffe" wurden substrat-, nutzungs-, horizont- und regionsspezifische Hintergrundwerte anorganischer Problemstoffe erarbeitet und in tabellarischer Form dargestellt.

Folgende wichtige Erkenntnisse konnten gewonnen werden:

1. Die Böden der meisten Substrate weisen unter landwirtschaftlicher Nutzung höhere Gehalte an anorganischen Problemstoffen auf als Böden unter Waldnutzung. Dies gilt jedoch nicht für das häufig immissionsbürtige Element Pb und in vielen Fällen auch nicht für Cd und Hg. Dieser nutzungsabhängige Effekt ist im Ostbayerischen Grundgebirge und in den Bayerischen Alpen weniger stark ausgeprägt.
2. Die Gehalte der Elemente Cd, Hg, Pb und Se sind in den Humusauflagen von Waldböden gegenüber den Mineralböden erhöht und nehmen mit der Tiefe ab, während umgekehrt die Gehalte der Elemente Co, Cr, Ni, Tl und V von den Humusauflagen zu den Ausgangsgesteinen zunehmen. Dies deutet auf einen Immissionseinfluß für die Elemente Cd, Hg, Pb und Se und auf die Bodenbürtigkeit der anderen Elemente hin. Die Oh-Horizonte in Humusauflagen enthalten i.a. höhere Problemstoffgehalte als die Of-Horizonte, da in den Oh-Horizonten durch die Mineralisation der organischen Substanz nicht mineralisierbare Problemstoffe im Vergleich zum Of-Horizont angereichert werden können.
3. Böden aus Kalksteinen und Kalksteinverwitterungsmaterial enthalten im Vergleich zu anderen Substraten relativ hohe Problemstoffgehalte. Die Gehalte von Böden aus Kalkstein werden vor allem durch den Anteil von Residualton am Gesamtboden bestimmt, wenn nicht der Immissionseinfluß diesen Effekt überlagert. Daher finden sich die höchsten Gehalte (außer bei Pb und Cd) in den Unterböden, wo meist auch hohe Residualtonanteile angetroffen werden. Die häufig äolisch überprägten Oberböden weisen bis auf die Elemente Pb und Cd infolge des Verdünnungseffektes geringere Problemstoffgehalte als die Unterböden auf. Im Alpenraum haben die C-Horizonte niedrigere Problemstoffgehalte als in anderen Landschaftseinheiten, da die alpinen C-Horizonte einen hohen Anteil chemisch unverwitterter Kalksteine enthalten.
4. Böden aus Mergel und Mergelsteinen weisen geogen bedingt höhere Gehalte an anorganischen Problemstoffen auf als Böden aus Kalksteinen.

5. Böden aus basischen Erguß- oder Tiefengesteinen wie Diabasen, Serpentinitten oder Basalten weisen vor allem in den C-Horizonten sehr hohe Gehalte an Problemstoffen auf, die für Cr und Ni die vorgesehenen Vorsorgewerte des E-BodSchV zum Teil erheblich überschreiten. Hohe Gehalte werden auch für die Metalle Co, Cu und V gefunden. Aufgrund äolischer Überprägung nehmen die hohen Metallgehalte zum Oberboden hin ab.
6. Überschreitungen der Vorsorgewerte nach dem E-BodSchV können in Böden fast sämtlicher Substrate Bayerns vorkommen. Insbesondere in Böden aus Lößlehm, Kalkstein, Dolomitstein, Tonschiefer, basischen bzw. ultrabasischen Gesteinen sowie in Böden des Ostbayerischen Grundgebirges und der Bayerischen Alpen konnten für einige Problemstoffe eine Vielzahl von Überschreitungen der Vorsorgewerte festgestellt werden.
7. Eine Differenzierung der Vorsorgewerte nach Bodenarten ist teilweise nicht sachgerecht, da nicht in allen Böden mit zunehmendem Tongehalt auch zunehmende Gehalte an anorganischen Problemstoffen festgestellt wurden. Der Einfluß der Bodenart wird zudem vom Einfluß der geochemischen Zusammensetzung des Ausgangsmaterials der Bodenbildung übertroffen, weshalb in Gebieten mit einer hohen geochemischen Variabilität der Ausgangsgesteine die Vorsorgewerte durch die Bodenart nicht ausreichend differenziert werden.

7 Ausblick

Für die wichtigsten anorganischen Problemstoffe erlaubt der vorliegende Bericht einen ersten Überblick bezüglich ihres Vorkommens in den Böden Bayerns. Die Vielfalt der Gesteine und Landschaften Bayerns wurde in 23 Substratgruppen, 2 Nutzungsarten und in 5 Auswertungseinheiten zusammengefaßt. Dennoch waren 4.500 Standorte mit über 16.000 Analysen, die in die Auswertung einbezogen wurden, nicht ausreichend, um die ganze Vielfalt an Böden, Gesteinen und Landschaften, die Bayern als flächengrößtes Bundesland besitzt, abzudecken. Es bleiben immer noch weite Gebiete, für die noch keine oder nur eine unsichere Aussage getroffen werden kann. Der Kenntnisstand ist dabei für die einzelnen Problemstoffe z.T. sehr unterschiedlich. Aus der Sicht des vorsorgenden Bodenschutzes ist es dringend erforderlich, diese Kenntnislücken rasch zu schließen. Insbesondere in den Gebieten, in denen die Bodengrundinventur noch nicht abgeschlossen ist, sind weitere Beprobungen mit einer Auswahl der Standorte nach geowissenschaftlichen Kriterien erforderlich.

In vielen Fällen reicht das mit der Bodengrundinventur gewonnene und nach geowissenschaftlichen Kriterien ausgerichtete Probennetz nicht aus, um ein deutliches Verteilungsmuster der Hintergrundwerte darzustellen. Insbesondere die Erfassung einer immissionsbedingten Belastungskomponente und die Darstellung von Problemstoffgehalten in Humusaufgaben erfordert ein auch nach geostatistischen Gesichtspunkten ausgerichtetes Probennetz, auf dessen Grundlage Interpolationsverfahren (wie z.B. Kriging) für eine Darstellung von Stoffgehalten herangezogen werden können. Es wird daher angestrebt, für eine Verdichtung des Probennetzes ein rasterorientiertes Probenahmeverfahren anzuwenden, welches zum einen eine statistisch gleichmäßige Verteilung der Probenahmelokalitäten sichert und zum anderen Spielraum für eine Auswahl der Standorte nach geowissenschaftlichen Kriterien zuläßt. Erste positive Erfahrungen mit einer rasterorientierten Beprobung wurden bereits im Rahmen des Vorhabens "Geologischer und hydrogeologischer Infopool-Projekt Region 10 Ingolstadt" gesammelt.

Am BayGLA liegt eine große Anzahl von Analysen im Königswasseraufschluß vor, die wegen der eingeschränkten Vergleichbarkeit mit Totalgehalten nicht oder nur bedingt ausgewertet werden konnten. Eine Verbesserung der Datenbasis könnte daher durch ein Verfahren erreicht werden, das es erlaubt, die relative Aufschlußstärke des Königswasseraufschlusses gegenüber dem Totalaufschluß abzuschätzen. Da beide Aufschlußmethoden eine Probe und die darin enthaltenen Minerale unterschiedlich aufschließen, muß ein solches Umrechnungsverfahren die Mineralzusammensetzung der Probe und damit die Substratzugehörigkeit beachten. Erste Untersuchungen zur Abschätzung der Aufschlußstärke von Königswasseraufschluß gegenüber Totalaufschluß wurden von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe erfolgreich durchgeführt. Sie bestätigen, daß die Abschätzung substratbezogen abgeleitet werden muß, können jedoch aufgrund der unterschiedlichen Maßstabsebene und der Vielzahl der in Bayern vorkommenden Substrate nur bedingt auf Bayern übertragen werden.

Die Auswertungen zu Hintergrundgehalten anorganischer Problemstoffe wurden auch in Form von kleinmaßstäbigen Übersichtskarten kartographisch aufbereitet. Das Kartenwerk soll in Kürze auf CD-ROM erscheinen. Wo die Datendichte bereits heute ausreicht, können schon jetzt Auswertungen zu Hintergrundgehalten anorganischer Problemstoffe mittel- oder großmaßstäbig kartographisch umgesetzt werden. Hier sind es insbesondere die Konzeptbodenkarte im Maßstab 1:25.000 und die Bodenübersichtskarte im Maßstab 1:200.000, die, soweit sie vorliegen, auch Aussagen auf Landkreis- oder Planungsregionsebene ermöglichen. Langfristig ist geplant, die Datenlage soweit zu verbessern, daß bayernweit mittel- oder großmaßstäbige Karten zu Hintergrundgehalten anorganischer Problemstoffe vorgelegt werden können.

8 Danksagung

Allen Kolleginnen und Kollegen des Geologischen Landesamtes, die direkt oder indirekt am Gelingen dieser Arbeit beteiligt waren, sei an dieser Stelle herzlichst Dank gesagt. Ohne die gründliche Beschreibung und Beprobung der vielen Profile und die sorgfältige Analytik der Proben sowie die Vorhaltung der Daten in Datenbanken wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.

Besonderen danken möchten wir den Kollegen Dr. O. Drexler, Dr. H. Förster, Dr. W. Grottenthaler, Dr. M. Joneck, Dr. F. Schmidt und Dr. B. Schilling für ihre stete Diskussionsbereitschaft und die wertvolle Unterstützung bei der Auswahl von Bodenprofilen und deren Interpretation.

Hr. H.-H. Schraa danken wir für die Durchführung der kartographischen Arbeiten.

Für die Durchsicht des Manuskripts danken wir Fr. E. Dietz, Fr. C. Jungnickel, Dr. H.-P. Gruber und Dr. B. Schilling.

9 Literatur

- AG BODENKUNDE (1982): Bodenkundliche Kartieranleitung; 3. verbesserte und erweiterte Auflage.— Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und Geologische Landesämter der Bundesrepublik Deutschland [Hrsg.]: 331 S.; Stuttgart (Schweizerbart).
- AMT DER SALZBURGER LANDESREGIERUNG (1993): Salzburger Bodenzustandsinventur.— Amt der Salzburger Landesregierung, Abteilung 4, Land- und Forstwirtschaft [Hrsg.]: 237 S.; Salzburg.
- BARTH, N. & PÄLCHEN, W. & RANK, G. & HEILMANN, H. (1996): Bodenatlas des Freistaates Sachsen, Teil 1: Hintergrundwerte für Schwermetalle und Arsen in landwirtschaftlich genutzten Böden.— Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie: 27 S.; Radebeul.
- BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR BODENKULTUR UND PFLANZENBAU (1997): Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF), Teil II: Stoffeinträge, Stoffausträge, Schwermetallbilanzierung verschiedener Betriebstypen.— Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau, Schriftenreihe **5/97**: 85–190; Freising-München.
- BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDESENTWICKLUNG UND UMWELTFRAGEN (1997): Probenahme von Böden und Substraten zur Erfassung des Bodenzustandes und Untersuchung kontaminierter Standorte.— Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen [Hrsg.], Materialienband, **129**: 78 S., 12 Anh.; München.
- BLUME, H.-P. (1992): Handbuch des Bodenschutzes.— 794 S.; Landsberg/Lech (ecomed).
- BOYSEN, P. (1992): Schwermetalle und andere Schadstoffe in Düngemitteln, Literaturlauswertung und Analysen.— Umweltbundesamt, FB 107016/01, Berlin.
- BREDEMEIER, M. & ULRICH, B. (1988): Belastung von Waldböden durch Stoffeinträge und ihre Folgewirkung für Waldökosysteme.— In: ROSENKRANZ, D. [Hrsg.]: Bodenschutz, ergänzbares Handbuch, **4160**: 22 S.; Berlin (Erich Schmidt).
- FIEDLER, H. & RÖSLER, H. (1988): Spurenelemente in der Umwelt.— 278 S.; Stuttgart (Enke).
- HAUENSTEIN, M. & BOR, J. & BAUER, I. & HUTZLER-GORDT, U. & ROTH, C. (1996): Quantifizierung der natürlichen Boden-Schwermetallgehalte und der anthropogenen Kontamination, Ermittlung des Gefährdungspotentials.— In: GEOLOGISCHES LANDESAMT RHEINLAND-PFALZ: Bodenbelastungskataster Rheinland-Pfalz, **Bericht 2**: 213–273; Mainz.
- HEINRICHS, H. & SCHULZ-DOBRICK, B. & WEDEPOHL, K. H. (1980): Terrestrial geochemistry of Cd, Bi, Tl, Pb, Zn and Rb.— Geochim. Cosmochim. Acta **44**: 1519-1533; New York, USA.
- HINDEL, R. & FLEIGE, H. (1988): Kennzeichnung der Empfindlichkeit der Böden gegenüber Schwermetallen unter Berücksichtigung geogener und pedogener Grundgehalte sowie anthropogener Zusatzbelastung.— Umweltbundesamt, FB 10701001: 137 S.; Berlin.

- HINDEL, R. & GERTH, E. & KANTOR, W. & WEIDNER, E. (1998): Spurenelementgehalte in Böden Deutschlands: Geowissenschaftliche Grundlagen und Daten.— In: ROSENKRANZ, D. [Hrsg.]: Bodenschutz, ergänzbares Handbuch, **1520**: 75 S.; Berlin (Erich Schmidt).
- HINZE, C. & JERZ, H. & MENKE, B. & STAUDE, H. (1989): Geogenetische Definitionen quartärer Lockergesteine für die Geologische Karte 1:25.000 (GK25).— Geol. Jb. A **112**. 243 S.; Hannover.
- HUBER, S. & ENGLISCH, M. (1997): Auswertung von Waldbodeninventuren im Bereich von Arge Alp und Arge Alpen-Adria.— Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen [Hrsg.]: 190 S.; München.
- JONECK, M. & PRINZ, R. (1993): Schwermetallgehalte in Böden des Maintales und angrenzender Nebentäler.— GLA-Fachberichte, **10**: 87 S.; München.
- KAUPENJOHANN, M. (1989): Chemischer Bodenzustand und Nährelementversorgung immissionsbelasteter Fichtenbestände in NO-Bayern.— Bayreuther Bodenkundl. Berichte, Bd. **11**: 202 S.; Bayreuth.
- KLOKE, A. (1980): Orientierungsdaten für tolerierbare Gesamtgehalte einiger Elemente in Kulturböden.— Mitt. VDLUFA, Heft **1-3**: 9-11.
- KÖNIG, N. (1985): Molekülgrößenverteilung, Komplexierungs- und Adsorptionsverhalten natürlicher organischer Substanzen eines sauren Waldbodens und ihr Einfluß auf die Schwermetallkonzentration in der Bodenlösung.— Mitt. Dt. Bodenkundl. Ges., **43/I**: 383-388; Oldenburg.
- KUNTZE, H., & FLEIGE, R. & HINDEL, R., & WIPPERMANN, T., & FILIPINSKI, M., & GRUPE, M., & PLUQUET, E. (1991): Empfindlichkeit der Böden gegenüber geogenen und anthropogenen Gehalten an Schwermetallen – Empfehlungen für die Praxis.— In: ROSENKRANZ, D. [Hrsg.]: Bodenschutz, ergänzbares Handbuch, **1530**: 86 S.; Berlin (Erich Schmidt).
- LABO (BUND-LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENSCHUTZ) (1995): Hintergrund- und Referenzwerte für Böden.— Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen [Hrsg.]: 151 S.; München.
- LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG & ROTH, L. (1998): Grenzwerte-Kennzahlen zur Umweltbelastung in Deutschland und in der EG, Tabellenwerte.— **8. Ergänzungslieferung**: 391 S.; Landsberg (ecomod).
- LINHARDT, E. & DITTRICH, R.: Analytische Multielement-Methoden am Bayerischen Geologischen Landesamt; Teil I: Bestimmungen von Haupt-, Neben- und Spurenelementen an Böden und Gesteinen mittels ICP-MS bzw. ICP-OES.— In: BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT: Geologica Bavarica, München. (*in Vorbereitung*)
- MAYER, R. (1981): Natürliche und anthropogene Komponenten des Schwermetallhaushaltes von Waldökosystemen.— Göttinger bodenkundliche Berichte, **70**: 292 S.; Göttingen.

- PAIS, I & JONES, J. B. (1997): The Handbook of Trace Elements.— 223 S.; Boca Raton-FL, USA (CRC Press LLC).
- PETTIJOHN, F. J. (1963): Chemical composition of sandstones – excluding carbonate and volcanic sands.— In “Data of Geochemistry – Sixth Edition”.– U.S. Geol. Surv. Prof. Pap., **440-S**: 21 S.; Washington, USA.
- PRÜß, A. (1994): Einstufung mobiler Spurenelemente in Böden.— In: ROSENKRANZ, D. [Hrsg.]: Bodenschutz, ergänzbares Handbuch, **3600**: 59 S.; Berlin (Erich Schmidt).
- RIEK, W. & WOLFF, B. (1995): Deutscher Beitrag zur europäischen Waldzustandserhebung.— Bund-Länder-Arbeitsgruppe BZE. Eberswalde.
- RUPPERT, H. (1987/1): Bestimmung von Schwermetallen im Boden sowie die ihr Verhalten beeinflussenden Bodenfaktoren.— Beilage zu: GLA-Fachberichte, **2**, 11 S.; München.
- RUPPERT, H. (1987/2): Natürliche Grundgehalte und anthropogene Anreicherungen von Schwermetallen in Böden Bayern.— GLA-Fachberichte, **2**: 96 S.; München.
- RUPPERT, H. (1998): Die Humusaufgabe von Waldböden Südbayerns als Anzeiger der relativen Immissionsbelastung durch Schwermetalle.— GLA-Fachberichte, **15**: München. (*in Vorbereitung*)
- RUPPERT, H. & JONECK, M. (1988): Anthropogene Schwermetallanreicherungen in bayerischen Böden vor dem Hintergrund der natürlichen Grundgehalte.— Materialienband, **54**: 60 S.; München.
- RUPPERT, H. & SCHMIDT, F. & JONECK, M. & JERZ, H. & DREXLER, O. (1988): Schwermetallgehalte in Böden des Donautales.— GLA-Fachberichte, **4**: 51 S.; München.
- RUPPERT, H. & SCHMIDT, F. & SCHMIDT, R. (1991): Bereiche natürlicher Spurenmetallgehalte in den häufigsten Böden Bayerns.— GLA-Fachberichte, **5**: 49–73; München.
- SACHS, L. (1984): Angewandte Statistik.— 552 S.; Berlin (Springer).
- SCHEFFER, F. & SCHACHTSCHABEL, P. (1989): Lehrbuch der Bodenkunde.— 491 S.; Stuttgart (Enke).
- SCHILLING, B. (1994): Bodendauerbeobachtungsflächen des Bayerischen Geologischen Landesamtes.— GLA-Fachberichte, **11**: 60 S.; München.
- SCHMID, H. (1990): Seltene Elemente in paläozoischen Schwarzschiefern des Frankenwaldes.— S. 14-18 In: BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (1990): Erkundung mineralischer Rohstoffe in Bayern: 125 S.; München.
- SCHMIDT, F. (1992): Die Böden Bayerns, Datenhandbuch für die Böden des Tertiärhügellandes, der Iller-Lech-Platte und des Donautales.— 527 S.; München.

- SCHMIDT, R. & BALLA, H. & SCHMIED, F. & SCHOLZ, B. (1997): Schwermetallgehalte brandenburgischer Böden.— Fachbeiträge des Landesumweltamtes-Titelreihe, Nr. 19: 42 S.; Potsdam.
- SCHÖTTLE, M. & WOLF, D. & TURIAN, G. & BÜHLER, M. & NÖLTNER, T. & RATHKENS, K. & SCHWEIKLE, V. (1990): Schwermetalle von Böden aus verschiedenen Ausgangsgesteinen in Baden-Württemberg.— Sachstandsbericht, 4: 12 S.; Karlsruhe (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg).
- SCHUSTER, E. (1991): Quecksilberkontaminierte Böden. Eine Literaturstudie zur Einschätzung des Verhaltens von Quecksilber und seiner Verbindungen.— Materialienband, 75: 165 S.; München (Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen).
- SUTTNER, T. (1996): Hintergrundwerte für Schwermetalle in Böden der Bayerischen Alpen.— In: BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDESENTWICKLUNG UND UMWELTFRAGEN: Spezifische Bodenbelastungen im Alpenraum.— Kurzfassungen der Referate anlässlich der gemeinsamen Arbeitsgruppe von Arge Alp und Arge Alpen-Adria am 14. und 15.03 1996 in Salzburg: 124-129, München.
- TAYLOR, S. R. & MC LENNAN, S. M. & MC CULLOCH, M. T. (1983): Geochemistry of loess, continental crustal composition and crustal model ages.— *Geochim. Cosmochim. Acta*, 47: 1897-1905; New York, USA.
- TÜRK, T. (1992): Die Wasser- und Stoffdynamik in zwei unterschiedlich geschädigten Fichtenstandorten im Fichtelgebirge.— *Bayreuther Bodenkundliche Berichte*, Bd. 22: 203 S.; Bayreuth.
- TUREKIAN, K. K. & WEDEPOHL, K. H. (1961): Distribution of the elements in some major units of the earth's crust.— *Geological Society of America Bulletin*, 72: 175-192.
- WEDEPOHL, K. H. (1984): Die Zusammensetzung der oberen Erdkruste und der natürliche Kreislauf ausgewählter Metalle;— In: MERIAN [Hrsg.]: *Metalle in der Umwelt*: 1-11; Weinheim.
- WITTMANN, O. (1991): Standortkundliche Landschaftsgliederung von Bayern.— *GLA-Fachberichte*, 5: 1-47; München.
- WOLFF, B. & RIEK, W. & ANDERS, S. (1998): Bundesweite Bodenzustandserhebung im Wald (BZE).— *Bodenschutz* 1/98: 6-11; Berlin
- ZAUNER, G. & PAPENFUß, R. & JAHN, R. & STAHR, K. (1993): Gesteine als Quelle von Schwermetallen in Böden.— *Mitt. Dt. Bodenkundl. Ges.*, 72/1: 477-480; Oldenburg.

Anhang

**Hintergrundwerte
anorganischer Problemstoffe
in Böden Bayerns**

Erläuterungen zum Anhang II

- n:** Anzahl der Proben des Datenkollektivs
Min.: kleinster Wert des Datenkollektivs
Max.: größter Wert des Datenkollektivs
Median: Derjenige Wert in der nach der Größe der Einzelwerte geordneten Reihe, der die Reihe halbiert
25.P.: 25. Perzentil = derjenige Wert in der nach der Größe der Einzelwerte geordneten Reihe, der 25 % des Datenkollektivs umfaßt
75.P.: 75. Perzentil = derjenige Wert in der nach der Größe der Einzelwerte geordneten Reihe, der 75 % des Datenkollektivs umfaßt
90.P.: 90. Perzentil = derjenige Wert in der nach der Größe der Einzelwerte geordneten Reihe, der 90 % des Datenkollektivs umfaßt
<NG: Meßwerte kleiner Nachweisgrenze

- Die Werte beziehen sich für alle Elemente außer Quecksilber auf Messungen im Totalaufschluß.
- Für Quecksilber beziehen sich die Werte auf Messungen im Königswasserextrakt.
- Bei einem Stichprobenumfang von $n < 10$ sind die statistischen Kenngrößen als nicht gesichert anzusehen. Perzentile wurden in diesem Fall nicht angegeben.
- Bei einem Stichprobenumfang von $n < 20$ sind die statistischen Kenngrößen kursiv dargestellt (vgl. LABO, 1995).

Die Humusaufgaben (Of- und Oh-Horizonte) sind jeweils am Beginn einer Auswertungseinheit tabelliert. In einer Auswertungseinheit werden bei ausreichender Datenlage je Substrat 5 Einzel-tabellen von Hintergrundwerten für die

Oberböden unter Forst

Oberböden unter Acker und Grünland

Unterböden unter Forst

Unterböden unter Acker und Grünland sowie

C-Horizonte unter Forst, Acker und Grünland

auf einer Doppelseite dargestellt. Auslassungen sind in fehlenden Daten begründet, da nicht jedes Substrat in allen Horizonten und unter jeder Nutzung vorkommt.

Auswertungseinheiten:

(in Klammern die Nummern der Landschaftseinheiten der Standortkundlichen Landschaftsgliederung nach WITTMANN, 1991)

- **Nordwestbayern** **Seite A6-A24**
Rhein-Main-Niederung (1), Spessart-Odenwald (2), Rhön (3), Fränkische Platten (4) Keuper-Lias-Land (5), oberfränkisches Braun- und Schwarzjura-Gebiet (6.4), Obermain-Schollenland (7) Oberpfälzer Becken- und Hügelland (9)
- **Fränkische und Schwäbische Alb** **Seite A26-A35**
Fränkische und Schwäbische Alb (Landschaftseinheit 6 außer 6.4)
- **Grundgebirge** **Seite A36-A59**
Frankenwald, Fichtelgebirge und Vogtland (8), Oberpfälzer Wald (10) und Bayerischer Wald (11)
- **Tertiärhügelland** **Seite A60-A73**
Tertiärhügelland, Iller-Lechplatte und Donautal (12).
- **Alpen und Alpenvorland** **Seite A74-A90**
Schwäbisch-bayerische Schotterplatten und Altmoränen (13), Jungmoränen und Molassevorberge (14), Bayerische Alpen (15).

Auswertungseinheit: Nordwestbayern

	Seite
● Tabellen A 1: Humusauflagen	A7
● Tabellen A 2: Flugsand	A8
● Tabellen A 3: Sandstein	A10
● Tabellen A 4: pleistozäne Sande und Kiese	A12
● Tabellen A 5: Lehme des Keuper und des Lias	A14
● Tabellen A 6: Ton und Tonsteine des Keuper und des Lias	A16
● Tabellen A 7: Kalkstein und Kalksteinverwitterung	A18
● Tabelle A 8: Mergel und Mergelstein	A20
● Tabellen A 9: Löß und Lößlehm	A22
● Tabellen A 10: Gneis	A24

Tabellen A1

Auswertungseinheit: Nordwestbayern

Humusauflagen

Of-Horizont												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	41	157	131	139	149	117	157	152	27	124	121	159
Min.	0,84	0,10	0,29	1,5	4,0	<NG	<NG	12	0,10	0,06	2,8	19
25.P.	2,2	0,36	1,2	7,8	13	0,2	6,3	48	0,27	0,16	9,4	55
Median	3,0	0,45	1,7	11	16	0,29	9,6	73	0,48	0,21	12	70
75.P.	4,1	0,63	2,7	15	19	0,39	14	95	0,79	0,26	15	83
90.P.	5,7	0,77	3,9	19	23	0,48	19	121	0,99	0,34	20	95
Max.	6,0	0,96	5,2	25	29	0,66	25	158	1,3	0,40	25	121

Oh-Horizont												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	30	101	90	89	91	83	96	96	19	89	81	101
Min.	1,3	0,06	0,15	2,1	3,9	<NG	1,2	35	0,40	0,05	2,8	22
25.P.	5,0	0,29	1,7	13	10	0,29	6,6	86	0,74	0,28	13	48
Median	9,4	0,38	2,5	17	14	0,40	9,9	106	0,88	0,41	18	62
75.P.	11	0,57	3,7	26	17	0,56	13	128	1,3	0,55	30	79
90.P.	15	0,71	4,8	31	22	0,70	18	149	1,6	0,71	37	90
Max.	18	0,96	6,3	41	27	0,94	23	190	1,7	0,86	50	108

Tabellen A 2

Auswertungseinheit: **Nordwestbayern**
Substrat: **Flugsand**

Oberböden Nutzung: Forst												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	6	31	17	26	33	45	30	32	3	19	11	32
Min.	3,0	<NG	<NG	<NG	<NG	<NG	<NG	4,6	<NG	0,20	2,0	2,0
25.P.		<NG	0,05	2,4	2,6	<NG	<NG	13		0,26	2,4	6,3
Median	3,5	0,07	0,30	5,7	4,0	<NG	2,2	21		0,38	2,9	12
75.P.		0,10	0,41	6,7	5,1	0,09	4,9	25		0,51	6,5	17
90.P		0,14	0,77	10	6,8	0,14	6,9	35		0,59	7,8	21
Max.	5,0	0,20	1,1	12	6,9	0,20	11	40	0,55	0,64	8,1	32

Oberböden Nutzung: Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	2	8	8	8	7	13	8	8	1	8	8	7
Min.	<NG	0,10	1,0	2,7	2,7	<NG	2,6	16		0,31	10	18
25.P.						<NG						
Median		0,17	4,7	15	8,3	0,07	6,5	28		0,83	27	51
75.P.						0,11						
90.P.						0,13						
max	1,8	0,38	15	33	16	0,13	17	54		1,2	40	59

Unterböden Nutzung: Forst												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	39	75	69	41	81	66	85	82	7	32	34	81
Min.	1,0	<NG	<NG	<NG	<NG	<NG	<NG	3,4	<NG	0,20	<NG	0,64
25.P.	2,0	<NG	<NG	3,4	3,0	<NG	4,1	13		0,35	3,4	11
Median	2,0	<NG	1,1	6,3	4,0	<NG	8,0	18	0,09	0,43	9,1	15
75.P.	3,0	0,06	3,5	9,1	5,0	<NG	17	21		0,56	20	18
90.P.	3,7	0,1	4,0	13	6,0	0,11	24	25		0,69	22	24
Max.	4,0	0,23	7,3	16	6,8	0,4	34	29	0,20	0,82	43	28

Unterböden Nutzung: Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	3	14	14	12	13	16	14	14	1	14	14	13
Min.	<NG	<NG	0,57	1,7	0,91	<NG	1,8	9,8		0,31	5,2	5,1
25.P.		0,09	2,1	7,5	3,9	<NG	6,9	17		0,45	8,2	14
Median		0,13	5,2	12	11	<NG	11	24		0,85	33	47
75.P.		0,25	13	24	16	0,09	24	62		1,2	62	63
90.P.		0,34	17	29	21	0,10	33	88		1,2	74	99
Max.	1,5	0,39	18	31	22	0,10	34	92		1,2	75	112

C-Horizonte Nutzung: Forst, Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	19	29	24	18	28	10	32	32	4	15	12	31
Min.	<NG	<NG	<NG	<NG	<NG	<NG	<NG	6,4	<NG	0,18	<NG	<NG
25.P.	1,0	<NG	<NG	0,79	<NG	<NG	1,7	11		0,24	0,16	5,1
Median	1,0	<NG	0,17	2,9	3,0	<NG	7,0	16		0,33	3,1	13
75.P.	3,0	0,05	0,72	16	3,0	0,06	16	19		0,47	4,5	14
90.P.	4,0	0,10	1,2	20	5,0	0,09	18	20		0,52	7,6	15
Max.	4,0	0,13	2,1	26	5,0	0,09	19	23	0,01	0,53	7,9	15

Tabellen A 3

Auswertungseinheit: Nordwestbayern
Substrat: Sandstein

Oberböden Nutzung: Forst												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	13	110	85	105	108	97	110	107	14	96	85	108
Min.	1,6	<NG	0,15	<NG	<NG	<NG	<NG	1,6	<NG	<NG	<NG	<NG
25.P.	3,7	0,04	0,48	5,7	2,1	0,06	<NG	15	0,06	0,19	5,7	9,3
Median	4,8	0,08	0,81	9,0	3,4	0,06	2,9	23	0,16	0,56	13	15
75.P.	5,9	0,10	1,5	18	5,6	0,13	6,1	32	0,29	0,68	23	23
90.P.	6,9	0,18	2,4	26	7,2	0,19	9,4	44	0,31	0,79	30	32
Max.	7,2	0,22	3,5	37	9,6	0,26	15	57	0,31	0,99	36	41

Oberböden Nutzung: Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	5	26	26	27	28	12	26	26	3	26	26	29
Min.	2,2	0,07	2,3	5,4	2,1	<NG	1,9	18	0,06	0,46	13	15
25.P.		0,11	2,7	13	4,0	0,06	4,6	25		0,63	22	25
Median	4,0	0,15	4,4	20	6,6	0,10	7,5	28		0,67	29	41
75.P.		0,19	5,3	28	10	0,13	11	32		0,85	37	48
90.P.		0,24	7,6	36	14	0,16	13	36		1,1	53	56
Max.	4,7	0,26	8,7	40	18	0,17	16	39	0,80	1,1	57	73

Unterböden Nutzung: Forst												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	16	153	123	154	154	107	148	158	12	129	118	150
Min.	1,3	<NG	0,24	<NG	<NG	<NG	<NG	5,3	<NG	<NG	3,7	5,1
25.P.	3,0	0,04	1,3	7,8	2,0	<NG	3,2	16	0,06	0,43	12	13
Median	4,1	0,07	2,4	13	3,2	<NG	6,1	20	0,10	0,61	21	19
75.P.	4,9	0,10	4,7	25	5,0	0,07	6,5	26	0,14	0,72	34	28
90.P.	5,7	0,13	7,7	38	8,6	0,10	12	34	0,20	0,89	48	34
Max.	6,0	0,20	12	60	13	0,17	19	42	0,20	1,1	66	44

Unterböden Nutzung: Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	5	29	34	30	33	21	29	32	4	34	31	29
Min.	3,0	<NG	1,4	3,2	1,1	<NG	2,2	12	0,03	0,28	8,5	14
25.P.		0,04	2,9	9,5	3,4	<NG	5,8	17		0,58	19	18
Median	3,4	0,08	5,2	14	6,3	0,06	10	21		0,67	27	21
75.P.		0,12	7,5	19	9,6	0,13	14	25		1,1	38	31
90.P.		0,15	11	35	12	0,22	17	29		1,3	54	36
Max.	4,8	0,16	13	38	15	0,23	22	32	0,05	1,4	62	42

C-Horizonte Nutzung: Forst, Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	33	115	103	110	110	71	114	115	24	102	100	107
Min.	0,28	<NG	0,25	<NG	<NG	<NG	<NG	3,2	0,01	0,09	3,4	2,2
25.P.	1,4	0,04	1,3	5,0	1,7	<NG	4,5	14	0,01	0,51	13	11
Median	2,7	0,06	2,6	12	3,1	<NG	7,6	17	0,03	0,63	25	17
75.P.	6,2	0,10	4,9	19	5,1	<NG	12	22	0,05	0,79	37	26
90.P.	9,4	0,12	6,6	30	7,9	0,17	16	25	0,09	0,93	54	37
Max.	11	0,21	9,3	42	14	0,27	32	34	0,13	1,1	73	50

Tabellen A 4

Auswertungseinheit: Nordwestbayern
Substrat: pleistozäne Sande und Kiese

Oberböden Nutzung: Forst												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	2	16	5	16	16	22	16	14	2	5	4	16
Min.	2,8	<NG	0,71	7,1	3,2	<NG	2,3	26	0,01	0,37	7,7	14
25.P.		0,04		13	4,8	<NG	5,0	34				19
Median		0,12	0,74	23	8,5	0,08	7,5	46		0,62		30
75.P.		0,19		36	17	0,19	12	63				41
90.P.		0,26		39	20	0,34	14	87				50
Max.	4,0	0,27	2,0	44	21	0,39	14	88	0,19	0,73	16	61

Oberböden Nutzung: Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	2	8	6	9	8	14	9	8	0	6	6	8
Min.	9,5	0,10	2,6	14	4,1	<NG	1,6	21		0,38	30	25
25.P.						<NG						
Median		0,22	4,8	35	16	0,07	11	25		0,49	41	42
75.P.						0,11						
90.P.						0,21						
Max.	12	0,42	8,6	60	25	0,22	27	41		0,89	61	76

Unterböden Nutzung: Forst												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	5	21	10	22	24	19	24	22	3	10	9	22
Min.	1,0	<NG	0,68	2,0	<NG	<NG	<NG	8,7	<NG	0,27	7,6	9,0
25.P.		0,01	1,5	5,5	2,5	<NG	3,7	17		0,37		16
Median	2,2	0,03	2,3	7,7	5,5	<NG	6,3	22		0,64	14	24
75.P.		0,10	2,7	41	9,0	0,07	13	45		0,72		32
90.P.		0,18	3,2	53	12	0,12	17	61		0,83		42
Max.	4,0	0,21	3,2	80	15	0,12	24	68	0,09	0,84	23	49

Unterböden Nutzung: Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	5	14	11	14	13	19	14	14	0	8	11	12
Min.	9,2	<NG	3,5	12	3,1	<NG	1,6	12		0,48	15	15
25.P.		<NG	3,8	19	6,3	<NG	10	14			33	20
Median	12	0,05	5,7	28	12	<NG	17	17		0,51	41	28
75.P.		0,19	8,9	38	17	<NG	24	24			55	35
90.P.		0,35	12	50	26	0,16	29	31			65	39
Max.	12	0,39	12	50	30	0,19	33	37		0,58	66	39

C-Horizonte Nutzung: Forst, Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	14	18	16	14	18	14	16	19	10	11	11	21
Min.	1,8	<NG	<NG	2,9	2,2	<NG	3,5	11	<NG	0,33	11	5,6
25.P.	2,0	<NG	<NG	4,5	4,0	<NG	6,0	16	0,01	0,40	16	12
Median	2,8	0,07	2,5	9,5	5,3	<NG	7,8	19	0,03	0,49	22	19
75.P.	3,2	0,12	3,7	20	6,7	<NG	10	22	0,07	0,68	31	30
90.P.	4,1	0,41	5,3	39	8,6	0,05	12	28	0,09	0,86	42	46
Max.	4,3	0,50	6,0	39	10	0,09	12	29	0,09	0,87	45	56

Tabellen A 5

Auswertungseinheit: Nordwestbayern

Substrat: Lehme des Keuper und des Lias

Unterböden Nutzung: Forst												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	10	23	16	27	27	15	25	26	10	14	15	24
Min.	1,1	<NG	1,6	7,7	2,6	<NG	14	14	<NG	0,58	27	19
25.P.	2,8	0,05	7,3	22	6,1	<NG	17	17	0,04	0,67	32	36
Median	5,0	0,10	10	30	9,8	<NG	30	22	0,10	0,78	59	49
75.P.	6,1	0,11	22	76	18	0,04	37	25	0,14	0,86	96	78
90.P.	7,5	0,18	31	86	24	0,08	49	29	0,20	0,97	135	105
Max.	7,6	0,18	35	125	29	0,10	57	32	0,20	0,99	175	109

Unterböden Nutzung: Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	0	9	7	10	9	5	10	10	0	7	6	10
Min.		<NG	9,5	34	11	<NG	16	24		0,66	108	29
25.P.				50			20	25				47
Median		0,22	11	61	13	0,02	30	90		0,92	117	83
75.P.				70			35	123				91
90.P.				71			35	139				93
Max.		0,38	11	71	15	0,22	35	140		0,95	131	93

C-Horizonte Nutzung: Forst, Acker												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	13	13	10	14	14	17	11	12	11	8	9	13
Min.	2,5	0,02	7,4	14	3,8	<NG	16	11	0,03	0,49	34	20
25.P.	3,4	0,06	7,8	28	11	<NG	24	17	0,05			30
Median	6,3	0,11	11	74	14	<NG	31	22	0,14	0,71	82	49
75.P.	8,9	0,16	28	101	33	0,07	38	24	0,23			83
90.P.	14	0,24	44	112	48	0,08	49	30	0,31			102
Max.	14	0,27	45	115	57	0,10	52	32	0,32	0,96	115	106

Tabellen A 6

Auswertungseinheit: Nordwestbayern

Substrat: Ton und Tonsteine des Keuper und des Lias

Oberböden Nutzung: Forst												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	6	11	14	12	14	13	15	16	2	8	9	16
Min.	8,5	0,11	9,7	24	5,3	0,07	13	31	0,21	0,63	44	42
25.P.		0,17	13	31	8,7	0,13	23	42				58
Median	14	0,18	15	63	14	0,16	26	51		0,77	76	73
75.P.		0,24	21	75	16	0,20	36	61				81
90.P.		0,32	30	107	19	0,20	44	81				84
Max.	20	0,32	32	113	20	0,20	54	83	0,32	0,87	98	84

Oberböden Nutzung: Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	10	45	47	49	46	49	46	43	8	42	47	49
Min.	5,7	<NG	5,1	21	5,2	<NG	11	14	0,11	0,47	41	24
25.P.	8,5	0,22	13	47	16	0,07	32	34		0,62	79	69
Median	11	0,30	15	69	22	0,10	42	41	0,15	0,91	110	95
75.P.	14	0,41	21	93	30	0,14	54	55		1,2	132	110
90.P.	15	0,52	28	110	37	0,17	61	69		1,3	149	145
Max.	15	0,59	32	125	45	0,23	80	84	0,17	1,9	197	164

Unterböden Nutzung: Forst												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	47	105	97	82	106	59	106	103	16	67	71	103
Min.	2,0	<NG	1,1	3,5	2,1	<NG	3,9	10	<NG	0,33	8,1	10
25.P.	9,0	<NG	11	41	12	<NG	30	21	0,01	0,66	75	46
Median	15	0,10	17	60	19	0,06	40	27	0,14	0,81	99	63
75.P.	22	0,14	22	76	30	0,09	56	39	0,25	1,1	136	78
90.P.	31	0,19	28	86	43	0,10	72	48	0,34	1,4	185	95
Max.	38	0,30	38	111	58	0,13	86	62	0,37	1,7	207	116

Unterböden Nutzung: Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	16	83	87	90	85	91	87	80	7	85	87	88
Min.	8,2	<NG	4,6	21	2,5	<NG	11	13	0,12	0,51	24	25
25.P.	14	0,10	13	48	12	<NG	39	23		0,73	84	58
Median	18	0,14	18	67	21	0,06	52	30	0,14	1,1	135	79
75.P.	26	0,23	27	99	31	0,09	72	37		1,7	169	105
90.P.	32	0,36	34	119	39	0,10	108	50		2,4	199	124
Max.	39	0,42	45	136	57	0,13	129	79	0,25	3,0	295	168

C-Horizonte Nutzung: Forst, Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	54	103	98	97	102	88	104	101	40	88	89	101
Min.	1,0	<NG	4,8	9,9	<NG	<NG	5,4	10	<NG	0,40	21	7,4
25.P.	6,5	0,04	10	44	11	<NG	34	19	0,06	0,77	70	48
Median	11	0,10	17	58	17	0,02	45	23	0,12	1,1	99	65
75.P.	17	0,13	23	80	27	0,09	67	32	0,23	1,4	172	82
90.P.	24	0,22	31	119	35	0,16	85	38	0,30	1,6	188	115
Max.	26	0,29	38	130	49	0,20	115	50	0,38	2,2	221	137

Tabellen A 7

Auswertungseinheit: Nordwestbayern
Substrat: Kalkstein und Kalksteinverwitterung

Oberböden Nutzung: Forst												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	7	9	9	5	9	3	10	10	0	4	4	9
Min.	4,0	0,38	5,0	37	14	0,16	13	37		0,70	74	68
25.P.							20	43				
Median	11	0,49	13	67	21		41	50				96
75.P.							45	57				
90.P.							50	66				
Max.	14	0,81	17	90	34	0,19	51	66		1,1	145	132

Oberböden Nutzung: Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	6	9	11	12	10	8	9	11	5	11	9	10
Min.	9,4	0,23	11	28	15	0,09	35	19	0,18	0,43	93	51
25.P.			14	37	22			25		0,48		59
Median	10	0,29	17	51	27	0,14	44	29	0,19	0,55	103	73
75.P.			17	75	34			41		0,68		84
90.P.			20	99	39			45		0,84		89
Max.	14	0,37	21	100	40	0,16	58	46	0,21	0,85	125	90

Unterböden Nutzung: Forst												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	4	6	4	7	7	4	6	7	4	4	4	5
Min.	11	0,14	14	45	16	<NG	34	18	0,23	0,61	105	74
25.P.												
Median		0,24		63	26		51	22				77
75.P.												
90.P.												
Max.	24	0,37	18	98	48	0,12	78	41	0,40	0,93	115	83

Unterböden Nutzung: Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	3	7	8	9	9	4	8	7	3	9	8	9
Min.	14	0,13	8,3	23	20	<NG	39	11	0,04	0,45	72	34
25.P.												
Median		0,21	15	46	27		63	20		0,66	104	76
75.P.												
90.P.												
Max.	19	0,23	19	87	37	0,19	81	26	0,16	1,2	122	85

C-Horizonte Nutzung: Forst, Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	26	39	39	27	37	15	40	42	5	22	22	39
min	3,0	<NG	3,0	2,7	3,4	<NG	1,6	3,0	0,08	0,22	37	5,8
25.P	4,0	<NG	5,2	29	11	<NG	17	16		0,37	66	27
Median	5,5	0,11	9,0	35	18	0,09	34	24	0,11	0,45	81	46
75.P	10	0,23	13	61	22	0,09	41	36		0,65	94	62
90.P	12	0,31	15	74	25	0,16	50	41		0,74	120	72
max	13	0,50	18	103	33	0,16	63	49	0,15	0,87	123	97

Tabelle A 8

Auswertungseinheit: Nordwestbayern
Substrat: Mergel, Mergelstein

C-Horizonte Nutzung: Forst, Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	17	31	29	23	31	20	31	31	4	16	20	27
Min.	2,0	<NG	10	19	8,7	<NG	32	10	0,10	0,56	63	38
25.P.	4,0	<NG	15	27	11	<NG	38	21		1,1	82	44
Median	6,0	0,09	21	53	30	<NG	55	40		1,6	119	48
75.P.	9,0	0,35	27	88	43	0,07	75	53		2,0	203	67
90.P.	12	0,46	30	123	75	0,10	96	68		2,6	303	74
Max.	15	0,64	38	148	86	0,13	108	80	1,0	2,9	332	78

Tabellen A 9

Auswertungseinheit: Nordwestbayern

Substrat: Löß, Lößlehm

Oberböden Nutzung: Forst												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	34	117	90	113	113	77	115	114	25	77	72	114
Min.	4,0	<NG	0,39	9,5	1,4	<NG	2,6	11	0,09	0,27	19	9,5
25.P.	8,0	0,10	4,0	32	5,1	0,08	8,3	30	0,19	0,47	40	32
Median	9,0	0,15	9,9	47	8,5	0,11	14	43	0,28	0,55	54	45
75.P.	12	0,21	15	68	12	0,16	24	52	0,35	0,65	71	56
90.P.	15	0,32	19	81	15	0,19	33	58	0,51	0,78	86	74
Max.	17	0,42	29	105	23	0,25	44	81	0,55	0,93	107	90

Oberböden Nutzung: Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	26	80	82	91	81	91	81	80	12	81	87	81
Min.	9,1	0,06	6,7	25	7,6	<NG	16	17	0,09	0,36	46	40
25.P.	11	0,18	11	42	15	<NG	27	25	0,13	0,50	72	54
Median	11	0,22	12	70	18	0,09	33	28	0,15	0,56	82	63
75.P.	13	0,26	14	90	20	0,12	39	31	0,19	0,62	96	72
90.P.	14	0,32	21	102	24	0,17	44	35	0,25	0,74	131	83
Max.	15	0,36	23	126	29	0,29	53	40	0,27	0,93	149	94

Unterböden Nutzung: Forst												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	81	164	146	136	171	69	168	163	38	109	106	170
Min.	2,8	<NG	0,06	6,6	<NG	<NG	3,7	8,1	0,03	0,29	22	9,0
25.P.	6,1	0,04	9,0	37	5,9	<NG	12	22	0,12	0,48	46	33
Median	9,0	0,10	13	52	11	0,05	21	29	0,20	0,58	69	52
75.P.	13	0,13	18	68	19	0,07	34	35	0,23	0,71	84	66
90.P.	16	0,17	23	89	22	0,10	49	40	0,29	0,96	107	78
Max.	22	0,25	29	107	37	0,16	67	50	0,36	1,1	131	115

Unterböden Nutzung: Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	26	73	77	81	78	59	79	70	13	75	75	78
Min.	7,3	0,04	6,1	17	7,1	<NG	14	18	0,07	0,40	44	38
25.P.	10	0,11	12	41	17	<NG	30	22	0,12	0,56	76	56
Median	12	0,15	13	54	19	<NG	42	25	0,17	0,64	85	67
75.P.	14	0,19	17	90	23	0,07	49	27	0,21	0,74	97	76
90.P.	15	0,24	21	101	25	0,12	55	31	0,28	0,97	111	84
Max.	16	0,28	24	127	31	0,17	61	33	0,32	1,1	127	99

C-Horizonte Nutzung: Forst, Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	22	39	36	35	36	29	36	32	9	31	32	37
Min.	8,7	<NG	8,2	16	7,5	<NG	19	12	0,07	0,34	42	28
25.P.	10	0,10	11	35	13	<NG	32	17		0,46	64	46
Median	11	0,14	12	66	16	<NG	36	19	0,12	0,50	70	53
75.P.	12	0,17	14	81	19	0,06	43	21		0,57	84	60
90.P.	13	0,19	19	87	21	0,14	48	26		0,63	92	68
Max.	13	0,22	20	94	25	0,16	58	29	0,21	0,73	98	76

Tabellen A 10

Auswertungseinheit: Nordwestbayern
Substrat: Gneis

Unterböden Nutzung: Forst												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	10	14	14	5	15	1	15	15	0	4	4	14
Min.	4,0	<NG	11	43	7,2		10	14		0,47	120	28
25.P.	4,8	<NG	12		12		19	17				44
Median	5,5	<NG	19	59	14		34	22				69
75.P.	7,3	0,05	23		19		42	26				101
90.P.	8,0	0,08	26		21		52	29				139
Max.	8,0	0,10	27	72	21		53	31		0,88	160	162

C-Horizonte Nutzung: Forst												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	8	13	13	3	9	0	13	13	0	5	5	12
Min.	4,0	<NG	12	62	16		19	11		0,27	123	31
25.P.		<NG	14				23	15				51
Median	6,5	<NG	19		18		32	23		0,54	159	62
75.P.		0,06	21				39	26				70
90.P.		0,13	26				48	27				81
Max.	9,0	0,16	27	73	20		49	27		0,88	168	82

Auswertungseinheit: Fränkische und Schwäbische Alb

	Seite
● Tabellen B 1: Humusauflagen	A27
● Tabellen B 2: Sande und Sandsteine der Kreide	A28
● Tabellen B 3: Lehme des Jura und der Kreide	A30
● Tabellen B 4: Löß und Lößlehm	A32
● Tabellen B 5: Kalkstein und Kalksteinverwitterung	A34

Tabellen B 1

Auswertungseinheit: Fränkische und Schwäbische Alb
Humusauflagen

Of-Horizont												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	21	94	83	88	93	277	91	98	2	75	74	90
Min.	<NG	0,10	0,41	2,9	4,5	0,03	<NG	20	0,59	0,04	<NG	43
25.P.	<NG	0,41	1,8	10	13	0,25	7,0	53		0,18	9,8	66
Median	3,2	0,55	2,9	12	18	0,32	10	76		0,23	15	79
75.P.	3,7	0,66	3,6	19	21	0,41	13	97		0,29	18	102
90.P.	5,3	0,82	4,9	24	25	0,48	17	116		0,37	24	120
Max.	8,4	1,0	6,8	29	33	0,66	22	154	0,78	0,47	34	138

Oh-Horizont												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	10	50	51	56	52	112	55	52	1	47	44	51
Min.	2,7	0,10	1,6	9,7	4,2	0,04	<NG	40		0,13	<NG	45
25.P.	6,0	0,41	3,0	22	14	0,39	10	89		0,27	18	62
Median	8,5	0,54	4,5	27	18	0,53	14	114		0,46	24	77
75.P.	13	0,96	6,5	38	31	0,65	18	147		0,56	35	142
90.P.	17	1,6	8,1	47	48	0,75	27	185		0,70	44	193
Max.	17	1,8	11	61	55	1,0	28	235		0,97	50	237

Tabellen B 2

Auswertungseinheit: Fränkische und Schwäbische Alb
Substrat: Sande und Sandsteine der Kreide

Oberböden Nutzung: Forst												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	1	16	15	15	12	70	11	16	0	11	10	16
Min.		<NG	0,46	6,0	1,8	<NG	2,4	6,5		<NG	4,1	4,0
25.P.		0,01	1,2	18	3,1	<NG	3,0	8,2		0,06	6,2	7,3
Median		0,04	1,9	30	4,7	0,05	4,2	14		0,09	9,0	12
75.P.		0,09	3,0	35	6,7	0,09	6,9	20		0,11	29	18
90.P.		0,15	4,2	47	10	0,16	12	25		0,12	54	26
Max.		0,16	5,4	56	11	0,22	12	30		0,12	57	27

Unterböden Nutzung: Forst												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	1	18	17	17	14	80	17	18	0	15	11	15
Min.		<NG	1,5	8,0	<NG	<NG	<NG	5,1		0,03	7,2	6,5
25.P.		<NG	2,5	22	2,8	<NG	3,0	7,0		0,10	9,3	7,7
Median		0,03	3,4	38	5,2	0,01	5,5	8,3		0,12	17	12
75.P.		0,09	8,4	45	8,6	0,06	14	16		0,25	48	22
90.P.		0,11	12	52	11	0,09	21	21		0,29	55	28
Max.		0,20	13	54	12	0,12	22	22		0,29	55	30

C-Horizonte Nutzung: Forst, Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	2	14	15	16	16	30	12	15	0	13	12	13
Min.	<NG	<NG	1,2	8,0	<NG	<NG	1,7	2,3		<NG	8,4	6,0
25.P.		<NG	2,9	11	3,7	<NG	6,1	4,9		0,06	25	12
Median		0,04	3,3	25	4,3	0,03	11	8,0		0,22	41	18
75.P.		0,06	5,2	44	8,3	0,09	15	13		0,35	56	27
90.P.		0,13	11	54	10	0,12	24	18		0,62	72	35
Max.	3,9	0,14	11	61	12	0,22	27	20		0,69	75	36

Tabellen B 3

Auswertungseinheit: Fränkische und Schwäbische Alb
Substrat: Lehme des Jura und der Kreide

Unterböden Nutzung: Forst												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	5	13	8	14	14	8	12	14	3	7	7	12
Min.	2,3	<NG	6,8	15	4,3	<NG	6,5	8,7	0,18	0,61	69	15
25.P.		0,01		22	5,0		12	14				30
Median	14	0,05	14	32	15	0,06	21	22		0,64	80	44
75.P.		0,10		45	18		27	30				50
90.P.		0,18		63	28		31	33				56
Max.	15	0,23	21	64	28	0,09	31	35	0,23	0,85	98	57

C-Horizonte Nutzung: Forst, Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	0	7	6	7	7	6	7	8	0	6	6	7
Min.		0,05	7,9	25	3,1	<NG	12	11		0,47	57	21
25.P.												
Median		0,10	13	36	11	0,07	35	24		0,57	84	54
75.P.												
90.P.												
Max.		0,35	20	54	18	0,33	70	40		1,0	95	90

Tabellen B 4

Auswertungseinheit: Fränkische und Schwäbische Alb

Substrat: Löß und Lößlehm

Oberböden Nutzung: Forst												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	35	109	102	118	120	220	115	119	4	88	88	113
Min.	4,3	<NG	1,7	15	1,3	<NG	4,0	17	0,19	0,36	19	17
25.P.	7,5	0,10	8,0	44	6,6	0,06	14	33		0,55	44	45
Median	11	0,16	13	57	10	0,12	21	42		0,63	54	58
75.P.	14	0,31	19	69	15	0,20	35	52		0,72	69	83
90.P.	17	0,47	27	84	19	0,34	45	66		0,89	94	109
Max.	22	0,64	35	104	28	0,56	65	81	0,54	1,1	102	138

Oberböden Nutzung: Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	16	47	49	46	47	96	50	52	1	43	42	50
Min.	6,7	0,12	7,0	<NG	8,2	<NG	11	15		0,20	36	31
25.P.	11	0,30	15	48	15	0,06	28	28		0,52	74	66
Median	12	0,47	20	69	20	0,09	45	36		0,62	87	114
75.P.	14	1,0	31	87	32	0,12	87	50		0,79	114	194
90.P.	17	1,4	35	105	47	0,18	111	62		1,0	133	237
Max.	17	2,3	53	119	55	0,26	167	74		1,3	159	297

Unterböden Nutzung: Forst												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	47	104	93	109	112	128	110	108	4	84	80	113
Min.	7,3	<NG	4,1	14	<NG	<NG	4,3	12	0,19	0,28	21	18
25.P.	10	0,05	13	40	8,9	<NG	20	25		0,55	55	50
Median	12	0,10	16	50	14	0,06	33	28		0,68	69	69
75.P.	17	0,17	20	66	20	0,09	48	32		0,82	94	89
90.P.	20	0,28	24	78	26	0,12	69	38		0,99	105	107
Max.	24	0,44	34	98	35	0,22	88	42	0,27	1,2	135	143

Unterböden Nutzung: Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	10	29	28	32	28	50	24	33	1	21	23	26
Min.	11	0,04	9,0	32	4,0	<NG	22	18		0,37	55	38
25.P.	11	0,11	15	46	13	<NG	33	23		0,58	79	60
Median	12	0,21	18	62	20	0,06	41	26		0,63	82	71
75.P.	14	0,33	20	80	22	0,09	43	35		0,68	97	80
90.P.	15	0,92	27	95	25	0,12	53	41		0,87	110	95
Max.	15	1,0	30	115	32	0,17	58	45		0,90	119	106

Tabellen B 5

Auswertungseinheit: Fränkische und Schwäbische Alb
 Substrat: Kalkstein und Kalksteinverwitterung

Oberböden Nutzung: Forst												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	5	21	23	25	22	51	24	19	0	19	18	22
Min.	11	<NG	3,0	8,6	<NG	<NG	<NG	12		0,29	27	6,0
25.P.		0,17	8,1	32	7,0	0,09	19	36		0,52	46	57
Median	15	0,66	13	46	15	0,16	38	42		0,71	62	100
75.P.		0,78	16	64	24	0,19	49	51		0,83	83	127
90.P.		0,94	20	90	32	0,29	53	69		1,2	101	175
Max.	15	1,2	24	105	42	0,33	78	69		1,2	106	178

Oberböden Nutzung: Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	3	9	10	11	9	20	10	11	2	6	7	10
Min.	10	0,15	9,0	40	12	<NG	26	16	0,50	0,33	60	48
25.P.			13	59		0,09	31	23				61
Median		0,57	16	83	22	0,11	63	41		0,63	108	134
75.P.			19	92		0,16	72	51				176
90.P.			19	107		0,19	107	64				241
Max.	17	0,71	19	110	40	0,22	110	65	0,79	0,91	184	247

Unterböden Nutzung: Forst												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	8	37	30	41	39	57	40	40	0	16	17	40
Min.	8,1	<NG	9,0	33	4,0	<NG	11	12		0,62	49	17
25.P.		0,13	16	61	17	0,05	46	23		0,69	83	81
Median	19	0,33	18	78	23	0,09	66	28		0,80	106	102
75.P.		0,46	23	106	31	0,12	86	33		0,92	128	142
90.P.		0,59	28	122	35	0,19	129	41		1,2	157	171
Max.	41	1,0	31	138	43	0,22	136	49		1,2	162	228

Unterböden Nutzung: Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	10	22	23	18	21	30	25	25	0	16	16	25
Min.	8,7	0,14	7,6	18	9,2	<NG	23	16		0,48	42	40
25.P.	11	0,27	16	56	23	0,06	67	28		0,67	104	114
Median	14	0,71	25	75	31	0,11	115	41		0,82	127	221
75.P.	15	1,7	34	105	49	0,21	169	55		1,3	160	314
90.P.	19	2,4	40	121	68	0,30	217	58		1,7	178	410
Max.	20	4,0	51	123	85	0,32	229	62		2,0	204	560

C-Horizonte Nutzung: Forst, Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	15	68	67	72	71	83	70	74	3	48	45	70
Min.	4,0	<NG	0,18	<NG	<NG	<NG	<NG	<NG	0,19	0,01	2,8	<NG
25.P.	11	0,16	3,0	7,0	3,6	<NG	11	3,4		0,11	13	15
Median	14	0,30	12	34	8,8	0,06	36	11		0,38	51	52
75.P.	21	0,40	20	54	21	0,12	57	27		0,83	87	104
90.P.	22	0,73	27	74	39	0,16	109	35		1,2	138	147
Max.	23	1,4	44	110	52	0,29	141	60	1,6	1,9	159	232

Auswertungseinheit: Grundgebirge

	Seite
● Tabellen C 1: Humusauflagen	A37
● Tabellen C 2: Amphibolit	A38
● Tabellen C 3: Diabas	A40
● Tabelle C 4: Basalt	A42
● Tabellen C 5: Serpentin	A44
● Tabellen C 6: Glimmerschiefer, Phyllit	A46
● Tabellen C 7: Quarzit, Quarzitschiefer, Grauwacke	A48
● Tabellen C 8: Gneis	A50
● Tabellen C 9: Granit	A52
● Tabellen C 10: tertiäre Sande und Lehme	A54
● Tabellen C 11: Tonschiefer	A56
● Tabellen C 12: Lößlehm	A58

Tabellen C 1

Auswertungseinheit: Grundgebirge
Humusauflagen

Of-Horizont												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	107	180	173	174	180	243	181	183	90	161	160	178
Min.	1,0	<NG	0,54	1,5	5,6	0,09	3,0	16	0,39	0,06	3,1	36
25.P.	5,0	0,34	1,3	9,3	15	0,29	7,0	83	0,97	0,18	12	61
Median	7,0	0,41	1,9	14	19	0,38	9,4	115	1,3	0,25	16	72
75.P.	11	0,51	2,7	22	25	0,45	13	163	1,8	0,34	22	86
90.P.	14	0,77	3,7	32	32	0,59	18	226	2,2	0,43	28	104
Max.	23	1,1	7,0	47	45	0,82	28	290	3,0	0,58	41	141

Oh-Horizont												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	104	178	167	180	180	214	175	180	94	164	159	179
Min.	3,7	<NG	0,48	3,0	2,4	0,19	<NG	39	0,59	0,09	4,7	19
25.P.	13	0,32	1,8	14	14	0,39	8,0	107	1,1	0,30	19	57
Median	18	0,42	2,4	23	19	0,43	11	151	1,5	0,40	31	73
75.P.	22	0,56	3,8	37	26	0,59	15	207	2,0	0,60	47	89
90.P.	28	0,97	5,8	48	37	0,69	25	245	2,5	0,77	64	109
Max.	35	1,4	10	77	54	0,93	37	305	3,1	0,96	88	136

Tabellen C 2

Auswertungseinheit: Grundgebirge

Substrat: Amphibolit

Unterböden Nutzung: Forst												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	5	8	8	8	8	12	8	8	6	8	8	8
Min.	2,0	0,08	12	41	6,2	<NG	71	4,5	<NG	0,27	61	32
25.P.						<NG						
Median	2,0	0,21	19	92	45	<NG	104	9,8	0,09	0,42	139	72
75.P.						<NG						
90.P.						0,19						
Max.	6,0	0,27	55	172	145	0,39	135	15	0,69	0,57	336	136

Unterböden Nutzung: Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	5	8	7	7	7	12	7	8	5	7	7	8
Min.	2,0	0,20	9,0	4,7	42	<NG	5,8	6,3	0,19	0,28	71	97
25.P.						<NG						
Median	5,0	0,26	19	69	51	<NG	25	13	0,29	0,34	126	114
75.P.						<NG						
90.P.						0,05						
Max.	6,0	0,33	27	98	69	0,06	28	21	0,39	0,52	220	128

C-Horizonte Nutzung: Forst, Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	14	19	19	19	18	20	18	18	17	18	19	19
Min.	1,0	0,08	8,0	<NG	15	<NG	9,7	0,54	<NG	0,04	44	76
25.P.	1,8	0,16	24	37	50	<NG	38	3,5	0,09	0,19	168	92
Median	2,0	0,25	33	85	85	<NG	79	5,7	0,19	0,27	277	97
75.P.	3,3	0,28	58	167	131	<NG	110	9,1	0,45	0,32	338	122
90.P.	5,5	0,32	76	197	181	0,19	131	9,8	0,59	0,38	523	137
Max.	6,0	0,38	77	282	190	0,39	139	11	0,59	0,40	546	142

Tabellen C 3

Auswertungseinheit: Grundgebirge
Substrat: Diabas

Oberböden Nutzung: Forst												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	10	10	11	9	12	12	12	10	6	8	8	12
Min.	1,0	0,22	8,8	54	18	<NG	31	44	0,29	0,41	94	80
25.P.	5,8	0,27	9,9		21	0,09	50	48				91
Median	17	0,30	21	131	26	0,18	77	73	0,74	0,59	124	118
75.P.	28	0,35	60		57	0,24	245	82				157
90.P.	33	0,39	65		60	0,36	270	89				160
Max.	33	0,39	66	276	60	0,39	270	89	0,79	0,90	165	161

Unterböden Nutzung: Forst												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	16	22	19	18	22	20	22	21	12	15	15	22
Min.	1,0	<NG	11	76	14	<NG	42	6,1	<NG	0,25	114	59
25.P.	3,3	0,13	24	91	25	<NG	60	14	0,19	0,35	124	94
Median	6,0	0,18	36	128	37	<NG	133	22	0,29	0,40	141	120
75.P.	15	0,27	60	265	64	0,09	259	36	0,37	0,62	178	135
90.P.	18	0,31	67	310	74	0,18	275	48	0,47	0,80	214	150
Max.	20	0,38	70	333	79	0,19	395	50	0,50	0,82	218	158

C-Horizonte Nutzung: Forst, Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	15	20	20	19	22	27	23	23	11	14	13	21
Min.	1,0	<NG	22	49	4,0	<NG	16	1,9	<NG	0,08	116	77
25.P.	2,0	0,08	41	91	44	<NG	118	4,6	0,09	0,13	141	103
Median	8,0	0,21	63	280	67	<NG	233	16	0,29	0,32	174	126
75.P.	11	0,32	75	335	78	<NG	393	30	0,29	0,37	188	142
90.P.	20	0,44	94	421	90	0,09	538	50	0,65	0,59	237	159
Max.	21	0,50	96	526	94	0,19	583	59	0,69	0,63	242	188

Tabelle C 4

Auswertungseinheit: Grundgebirge
Substrat: Basalt

C-Horizonte Nutzung: Forst, Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	0	7	6	7	7	0	7	7	0	6	6	7
Min.		0,11	24	91	38		63	5,0		0,10	41	49
25.P.												
Median		0,16	80	324	55		413	14		0,34	216	107
75.P.												
90.P.												
Max.		0,51	109	1360	112		1240	83		7,5	272	175

Tabellen C 5

Auswertungseinheit: Grundgebirge
Substrat: Serpentinit

Oberböden Nutzung: Forst												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	9	10	10	7	7	10	10	9	8	9	8	8
Min.	6,0	0,28	32	235	7,3	<NG	209	37	0,19	0,28	68	70
25.P.		0,36	46			<NG	498					
Median	11	0,50	91	900	12	<NG	1020	62	0,39	0,41	84	94
75.P.		0,72	147			0,19	1210					
90.P.		0,83	172			0,19	1370					
Max.	17	0,83	172	1750	18	0,19	1380	93	0,50	0,54	97	112

Unterböden Nutzung: Forst												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	19	14	19	12	19	18	19	16	16	16	16	18
Min.	2,0	0,09	21	129	5,9	<NG	281	3,1	<NG	0,06	70	47
25.P.	3,0	0,10	33	195	14	<NG	490	6,9	0,02	0,24	76	56
Median	4,0	0,12	69	350	23	<NG	842	9,6	0,09	0,29	90	61
75.P.	7,0	0,14	107	500	45	<NG	1200	15	0,19	0,42	155	76
90.P.	11	0,20	129	565	52	<NG	1560	19	0,25	0,50	200	90
Max.	11	0,20	151	567	55	<NG	1640	23	0,39	0,51	213	93

C-Horizonte Nutzung: Forst, Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	24	24	23	15	23	19	23	24	15	12	14	23
Min.	<NG	<NG	68	466	11	<NG	858	2,7	<NG	0,16	66	49
25.P.	3,0	<NG	79	522	33	<NG	1008	5,5	0,09	0,22	75	54
Median	6,0	0,09	91	692	48	<NG	1310	10	0,09	0,26	84	58
75.P.	12	0,13	118	1080	58	<NG	1740	36	0,09	0,29	87	66
90.P.	18	0,15	146	1270	77	<NG	2720	62	0,13	0,48	96	80
Max.	22	0,16	152	1340	88	<NG	2800	67	0,19	0,51	98	84

Tabellen C 6

Auswertungseinheit: Grundgebirge
Substrat: Glimmerschiefer, Phyllit

Unterböden Nutzung: Forst												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	17	32	30	16	27	9	32	27	2	12	14	29
Min.	2,0	<NG	3,9	46	14	<NG	9,6	19	0,29	0,77	61	48
25.P.	2,5	<NG	11	65	22		23	32		0,97	89	94
Median	4,0	0,14	20	86	27	0,04	41	38		1,5	113	110
75.P.	8,5	0,23	23	103	38		57	44		1,8	129	164
90.P.	13	0,37	30	116	45		67	51		2,5	139	168
Max.	13	0,50	40	137	53	0,09	72	62	0,29	2,8	143	176

Unterböden Nutzung: Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	10	15	15	5	12	18	15	13	0	5	5	13
Min.	3,0	<NG	3,0	55	20	<NG	18	19		0,56	66	46
25.P.	3,0	<NG	17		25	<NG	31	24				80
Median	3,5	0,38	25	64	32	<NG	52	35		0,83	119	132
75.P.	4,5	0,50	28		41	0,05	58	40				137
90.P.	6,0	0,54	28		46	0,09	59	43				143
Max.	6,0	0,60	28	108	46	0,10	59	43		7,6	847	145

C-Horizonte Nutzung: Forst, Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	13	32	31	22	27	11	31	25	3	18	18	28
Min.	1,0	<NG	2,6	37	3,0	<NG	12	17	0,09	0,42	78	30
25.P.	3,0	0,04	7,2	50	23	<NG	26	22		0,68	109	80
Median	6,0	0,13	20	60	34	<NG	48	27		0,80	114	116
75.P.	8,0	0,38	26	85	43	<NG	55	31		1,3	138	128
90.P.	13	0,43	28	108	48	<NG	69	44		2,1	147	162
Max.	13	0,50	46	112	50	<NG	77	49	0,19	2,1	159	178

Tabellen C 7

Auswertungseinheit: Grundgebirge

Substrat: Quarzit, Quarzitschiefer, Grauwacke

Oberböden												
Nutzung: Forst												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	13	15	11	14	11	17	14	15	11	14	14	14
Min.	11	0,10	1,7	32	7,1	<NG	6,8	19	0,29	0,33	64	24
25.P.	17	0,14	1,9	44	9,5	<NG	8,0	47	0,29	0,45	78	29
Median	28	0,23	2,1	54	10	0,19	12	71	0,69	0,63	91	38
75.P.	37	0,29	2,4	60	12	0,22	14	111	1,1	0,84	105	52
90.P.	50	0,30	2,9	68	13	0,31	16	126	1,2	0,97	125	65
Max.	55	0,31	3,0	72	14	0,39	18	130	1,2	1,0	133	73

Unterböden												
Nutzung: Forst												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	20	30	30	31	28	34	31	22	22	26	27	29
Min.	5,0	0,07	2,1	40	3,4	<NG	7,6	11	0,09	0,39	69	20
25.P.	10	0,12	4,4	55	10	<NG	14	18	0,29	0,47	91	46
Median	12	0,16	9,0	75	16	<NG	25	25	0,45	0,64	110	58
75.P.	15	0,21	14	85	20	0,09	34	28	0,69	0,70	129	75
90.P.	19	0,25	18	91	27	0,19	46	31	0,97	0,88	144	88
Max.	20	0,30	26	105	29	0,22	53	35	1,0	0,98	156	110

C-Horizonte Nutzung: Forst, Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	11	23	19	24	22	25	21	23	11	19	15	22
Min.	6,8	0,04	2,2	38	8,2	<NG	26	6,0	0,09	0,31	91	23
25.P.	11	0,09	10	56	21	<NG	37	13	0,19	0,53	101	72
Median	13	0,14	15	69	25	<NG	41	23	0,19	0,65	122	90
75.P.	15	0,19	21	90	34	0,09	47	28	0,29	0,83	130	105
90.P.	18	0,24	29	104	41	0,15	53	40	0,39	0,95	138	123
Max.	18	0,26	34	113	45	0,19	57	46	0,39	0,97	139	129

Tabellen C 8

Auswertungseinheit: Grundgebirge

Substrat: Gneis

Oberböden Nutzung: Forst												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	37	79	69	83	83	66	83	87	38	68	68	89
Min.	6,0	0,10	0,82	9,3	2,0	<NG	3,0	34	0,19	0,29	16	10
25.P.	9,0	0,16	2,8	32	9,5	0,09	11	45	0,41	0,46	60	44
Median	11	0,20	4,8	45	14	0,19	16	56	0,59	0,61	74	67
75.P.	12	0,25	7,5	59	19	0,19	24	69	0,82	0,76	91	92
90.P.	13	0,30	9,8	73	27	0,24	30	97	1,0	0,92	100	126
Max.	16	0,38	14	95	33	0,32	41	117	1,2	1,1	121	150

Oberböden Nutzung: Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	8	31	27	29	33	19	30	30	1	25	25	33
Min.	2,7	0,15	2,1	19	7,2	<NG	5,7	24		0,25	41	28
25.P.		0,22	9,0	42	16	0,09	17	34		0,61	67	80
Median	5,5	0,28	12	75	21	0,14	24	38		0,79	73	98
75.P.		0,33	15	91	31	0,18	39	42		0,94	103	121
90.P.		0,34	20	118	39	0,19	46	45		1,1	137	146
Max.	13	0,39	21	148	48	0,28	61	47		1,3	149	165

Unterböden Nutzung: Forst												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	86	181	153	174	172	149	179	179	74	142	139	185
Min.	1,0	<NG	2,0	3,6	2,1	<NG	3,0	6,0	<NG	0,28	20	21
25.P.	3,3	0,11	7,1	36	14	<NG	17	23	0,24	0,54	76	65
Median	4,3	0,16	11	58	21	<NG	32	27	0,48	0,67	93	99
75.P.	7,0	0,20	16	76	29	0,09	42	36	0,68	0,9	112	121
90.P.	8,4	0,25	22	93	39	0,16	52	43	0,93	1,1	132	139
Max.	13	0,40	28	132	52	0,22	78	55	1,3	1,4	156	181

Unterböden Nutzung: Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	31	54	52	49	56	28	55	48	16	46	38	55
Min.	<NG	<NG	1,1	12	3,9	<NG	5,5	10	<NG	0,09	24	16
25.P.	1,5	0,09	8,8	24	12	<NG	14	21	<NG	0,56	55	59
Median	5,0	0,13	13	40	18	<NG	24	26	0,09	0,84	79	82
75.P.	8,0	0,19	21	64	29	0,03	46	29	0,22	1,0	96	100
90.P.	13	0,24	24	87	41	0,09	55	33	0,29	1,3	123	127
Max.	16	0,35	37	117	51	0,12	71	36	0,29	1,6	153	153

C-Horizonte Nutzung: Forst, Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	69	121	111	114	123	110	122	119	56	92	100	131
Min.	<NG	<NG	1,3	1,2	1,8	<NG	2,9	11	<NG	0,23	8,0	18
25.P.	2,0	0,11	12	35	19	<NG	26	21	0,09	0,56	77	80
Median	3,0	0,14	15	55	30	<NG	38	24	0,19	0,68	96	99
75.P.	4,5	0,19	21	80	38	<NG	54	28	0,29	0,83	143	122
90.P.	5,3	0,24	26	94	48	0,09	64	32	0,40	0,99	159	154
Max.	8,0	0,33	35	127	66	0,59	88	37	0,52	1,1	216	181

Tabellen C 9

Auswertungseinheit: Grundgebirge
Substrat: Granit

Oberböden Nutzung: Forst												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	22	40	30	37	40	35	36	39	18	32	28	43
Min.	3,8	<NG	0,69	6,3	<NG	<NG	<NG	24	0,08	0,49	12	15
25.P.	7,0	0,12	0,99	12	4,4	<NG	2,8	42	0,21	0,90	18	37
Median	10	0,17	1,6	16	7,2	0,09	4,6	47	0,47	1,2	24	51
75.P.	12	0,23	2,2	24	10	0,19	7,1	62	0,74	1,4	32	65
90.P.	15	0,29	3,7	30	15	0,29	9,8	88	0,93	1,8	35	91
Max.	17	0,38	4,3	37	18	0,42	15	95	1,2	1,9	35	106

Oberböden Nutzung: Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	3	11	10	9	9	12	10	12	0	6	5	12
Min.	2,0	<NG	2,6	19	4,0	<NG	5,6	33		1,1	25	43
25.P.		0,12	4,9			0,02	8,2	36				58
Median		0,20	6,1	29	7,9	0,12	11	45		1,3	37	80
75.P.		0,22	9,0			0,16	15	61				109
90.P.		0,24	13			0,20	33	64				124
Max.	3,2	0,24	13	58	9,9	0,22	35	65		1,6	41	128

Unterböden Nutzung: Forst												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	41	98	74	88	87	66	91	100	32	69	69	99
Min.	1,0	<NG	0,99	3,3	0,71	<NG	<NG	15	<NG	0,59	12	25
25.P.	2,6	0,09	2,5	11	3,5	<NG	4,8	24	0,13	1,1	23	56
Median	4,0	0,13	4,1	24	6,0	<NG	8,5	33	0,28	1,3	36	75
75.P.	7,0	0,17	7,0	38	8,7	0,03	14	47	0,53	1,5	50	92
90.P.	12	0,19	8,7	71	12	0,09	21	60	0,65	1,8	86	108
Max.	14	0,24	14	81	18	0,12	29	74	0,84	2,0	98	120

Unterböden Nutzung: Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	5	15	17	15	19	16	18	19	0	13	13	19
Min.	2,0	<NG	2,9	8,0	4,0	<NG	4,4	23		0,73	17	34
25.P.		0,03	4,8	19	5,1	<NG	14	27		0,81	26	54
Median	2,0	0,12	8,2	41	9,5	0,06	16	34		1,1	48	73
75.P.		0,13	12	66	17	0,09	31	41		1,5	99	104
90.P.		0,15	15	89	29	0,13	45	52		1,8	124	126
Max.	4,0	0,16	17	117	33	0,16	48	55		1,9	132	128

C-Horizonte Nutzung: Forst, Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	41	76	77	65	73	69	78	82	34	62	58	82
Min.	<NG	<NG	0,51	0,69	<NG	<NG	<NG	16	<NG	0,63	4,7	30
25.P.	2,0	0,11	2,5	2,7	3,5	<NG	3,7	23	0,03	1,3	9,6	60
Median	3,0	0,14	4,4	7,1	5,3	<NG	7,9	28	0,09	1,5	17	81
75.P.	4,0	0,17	7,2	14	7,6	<NG	15	46	0,19	2,0	35	103
90.P.	5,1	0,19	15	18	11	0,09	19	54	0,25	2,4	57	118
Max.	6,3	0,24	21	27	13	0,12	27	76	0,40	2,8	59	144

Tabellen C 10

Auswertungseinheit: Grundgebirge
Substrat: tertiäre Sande und Lehme

Unterböden Nutzung: Forst												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	3	13	10	12	11	12	12	10	3	8	10	13
Min.	4,1	0,05	0,89	12	0,95	<NG	2,2	13	0,09	0,29	18	15
25.P.		0,06	1,9	17	2,2	<NG	4,0	14			20	21
Median		0,07	3,1	20	4,1	<NG	6,5	16		0,33	25	26
75.P.		0,11	5,3	25	5,3	0,07	10	20			31	52
90.P.		0,14	8,3	32	5,5	0,09	14	21			33	64
Max.	8,0	0,14	8,5	32	5,5	0,09	14	22	0,19	0,38	34	68

C-Horizonte Nutzung: Forst												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	6	14	11	14	14	7	14	14	6	13	13	13
Min.	3,6	0,05	4,3	17	8,1	<NG	7,4	16	0,09	0,41	32	25
25.P.		0,09	9,1	27	13		13	22		0,54	38	41
Median	4,7	0,12	13	41	18	<NG	22	25	0,15	0,70	55	85
75.P.		0,17	16	62	23		32	32		1,1	81	88
90.P.		0,20	18	89	26		34	37		1,3	92	111
Max.	7,0	0,21	18	93	26	<NG	35	39	0,29	1,4	94	121

Tabellen C 11

Auswertungseinheit: Grundgebirge
Substrat: Tonschiefer

Oberböden Nutzung: Forst												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	4	8	6	8	8	15	8	8	2	6	4	8
Min.	26	0,15	2,3	35	11	<NG	6,8	47	1,4	0,43	114	36
25.P.						<NG						
Median		0,26	3,2	69	18	0,19	16	94		0,84		50
75.P.						0,29						
90.P.						0,39						
Max.	39	0,37	7,5	132	31	0,39	23	151	4,1	1,1	124	100

Unterböden Nutzung: Forst												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	10	23	21	21	23	32	23	21	9	16	21	23
Min.	17	<NG	2,8	42	9,7	<NG	9,3	13	0,50	0,74	103	42
25.P.	18	0,15	8,2	75	17	<NG	23	23		0,82	132	63
Median	18	0,20	13	87	28	0,19	30	33	1,2	0,91	166	79
75.P.	20	0,27	17	101	45	0,19	36	57		1,0	312	123
90.P.	21	0,31	23	108	50	0,29	39	79		1,1	440	140
Max.	21	0,35	24	122	69	0,39	46	89	1,6	1,1	521	143

Unterböden Nutzung: Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	6	10	11	4	10	14	11	11	0	5	5	11
Min.	36	0,16	5,1	82	56	<NG	36	5,2		0,24	182	77
25.P.		0,83	15		64	<NG	71	20				95
Median	40	1,3	19		72	<NG	92	62		0,75	216	273
75.P.		1,5	26		74	0,08	108	66				311
90.P.		1,6	37		78	0,16	129	68				316
Max.	42	1,6	37	90	78	0,19	132	68		1,7	273	316

C-Horizonte Nutzung: Forst, Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	13	23	22	23	24	27	19	20	11	18	14	21
Min.	<NG	0,05	0,83	45	19	<NG	32	7,4	<NG	0,27	115	18
25.P.	4,5	0,11	9,5	64	25	<NG	41	17	<NG	0,71	123	77
Median	16	0,16	17	82	41	<NG	46	21	0,50	0,89	155	103
75.P.	23	0,24	21	96	78	0,19	56	29	2,0	1,0	203	136
90.P.	37	0,30	25	104	102	0,29	69	37	3,5	1,9	217	153
Max.	44	0,39	30	105	139	0,39	69	39	3,6	1,9	220	163

Tabellen C 12

Auswertungseinheit: Grundgebirge
 Substrat: Lößlehm

Oberböden Nutzung: Forst												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	14	33	23	29	32	22	30	33	14	19	23	34
Min.	7,0	0,09	0,99	23	<NG	<NG	2,5	24	0,29	0,36	26	21
25.P.	10	0,14	2,8	35	8,0	0,09	9,3	37	0,38	0,48	52	38
Median	12	0,19	4,3	46	11	0,14	13	49	0,59	0,50	71	50
75.P.	17	0,30	6,6	62	17	0,19	23	78	0,99	0,56	88	73
90.P.	22	0,40	14	77	21	0,28	31	104	1,5	0,64	118	102
Max.	23	0,46	50	85	28	0,29	39	118	1,5	0,69	127	119

Oberböden Nutzung: Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	4	14	11	15	16	12	13	14	4	17	15	15
Min.	9,0	0,11	9,7	35	9,9	<NG	17	26	0,29	0,32	58	62
25.P.		0,16	11	59	13	<NG	18	28		0,50	64	64
Median		0,24	11	78	17	0,05	22	32		0,57	72	72
75.P.		0,29	11	84	32	0,09	25	37		0,80	111	111
90.P.		0,35	12	90	48	0,12	31	41		1,1	134	134
Max.	25	0,35	12	92	51	0,12	32	43	1,9	1,1	137	137

Unterböden Nutzung: Forst												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	30	54	47	55	57	38	53	50	24	46	48	58
Min.	4,0	0,05	3,9	17	5,0	<NG	4,3	14	0,09	0,41	43	30
25.P.	6,0	0,10	9,9	43	10	<NG	16	21	0,19	0,55	67	56
Median	10	0,14	13	63	15	<NG	25	26	0,28	0,62	85	69
75.P.	11	0,17	15	78	25	<NG	36	31	0,39	0,68	103	85
90.P.	15	0,20	17	90	32	0,19	39	37	0,55	0,79	111	102
Max.	17	0,23	20	101	40	0,29	53	43	0,59	0,86	122	117

Unterböden Nutzung: Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	12	26	25	28	27	19	23	29	10	29	18	27
Min.	7,0	0,08	8,1	32	11	<NG	22	13	0,19	0,33	85	51
25.P.	7,3	0,14	12	57	16	<NG	32	18	0,19	0,50	93	64
Median	9,5	0,15	14	80	20	<NG	35	25	0,29	0,63	95	70
75.P.	15	0,19	15	92	23	<NG	39	30	0,32	0,72	99	79
90.P.	22	0,24	17	97	29	0,09	44	35	0,39	0,74	102	90
Max.	23	0,26	22	103	30	0,12	49	40	0,39	0,84	109	91

Auswertungseinheit: Tertiärhügelland

	Seite
● Tabellen D 1: Humusauflagen	A61
● Tabellen D 2: Flugsand	A62
● Tabellen D 3: tertiäre Sande	A64
● Tabellen D 4: pleistozäne Sande und Kiese	A66
● Tabellen D 5: tertiäre Schluffe und Lehme	A68
● Tabellen D 6: tertiäre Tone	A70
● Tabellen D 7: Löß und Lößlehm	A72

Tabellen D 1

Auswertungseinheit: Tertiärhügelland
Humusauflagen

Of-Horizont												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	117	128	13	118	119	467	125	127	2	12	12	11116
Min.	<NG	0,23	0,79	4,3	7,0	0,17	4,0	41	<NG	0,06	5,1	35
25.P.	0,78	0,41	1,6	8,0	11	0,29	7,0	64		0,08	8,2	53
Median	1,1	0,50	2,1	11	14	0,39	9,0	74		0,10	13	59
75.P.	1,5	0,60	2,7	12	17	0,40	11	83		0,14	15	66
90.P.	2,2	0,68	3,5	15	20	0,50	12	92		0,20	18	78
Max.	3,1	0,82	3,8	20	24	0,60	16	104	0,50	0,20	18	86

Oh-Horizont												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	89	90	13	88	86	51	91	93	0	9	9	91
Min.	<NG	0,10	1,6	8,0	4,0	0,19	3,0	28		0,14	15	15
25.P.	2,5	0,27	2,6	16	9,0	0,46	8,0	61				41
Median	3,8	0,38	3,0	22	13	0,59	10	77		0,20	26	49
75.P.	5,4	0,48	3,9	32	16	0,69	12	92				60
90.P.	7,3	0,60	4,7	40	20	0,85	14	108				73
Max.	9,2	0,71	5,0	51	26	0,96	17	135		0,35	38	80

Tabellen D 2

Auswertungseinheit: Tertiärhügelland
Substrat: Flugsand

Oberböden Nutzung: Forst												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	10	14	0	13	12	5	11	10	0	2	2	12
Min.	1,3	<NG		11	<NG	<NG	3,0	8,0		0,19	19	12
25.P.	2,5	0,02		12	3,0		4,0	11				13
Median	3,0	0,09		18	4,0	0,06	5,0	15				19
75.P.	3,5	0,16		27	5,8		5,1	19				21
90.P.	4,5	0,20		36	7,6		6,0	23				23
Max.	4,6	0,22		39	8,0	0,25	6,0	23		0,59	70	24

Unterböden Nutzung: Forst												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	25	24	2	22	25	8	25	23	0	2	2	24
Min.	<NG	<NG	1,6	8,0	<NG	<NG	<NG	3,0		0,19	21	11
25.P.	1,9	<NG		14	<NG		3,5	7,0				13
Median	3,1	0,01		19	4,0	0,03	6,0	9,0				18
75.P.	4,5	0,04		23	7,5		10	11				24
90.P.	6,7	0,06		32	12		14	15				29
Max.	7,9	0,07	2,7	36	13	0,09	15	15		0,21	23	35

Tabellen D 3

Auswertungseinheit: Tertiärhügelland
Substrat: tertiäre Sande

Oberböden Nutzung: Forst												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	38	34	9	37	38	26	37	37	0	3	2	38
Min.	<NG	<NG	0,27	7,0	<NG	<NG	<NG	4,0		0,09	29	6,0
25.P.	3,1	0,03		13	2,3	0,02	3,0	10				13
Median	4,6	0,08	9,0	21	5,0	0,09	4,0	18				21
75.P.	6,5	0,10		30	7,0	0,19	8,0	22				26
90.P.	8,4	0,13		39	10	0,30	13	31				32
Max.	11	0,15	33	50	13	0,38	15	35		0,41	46	41

Unterböden Nutzung: Forst												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	88	85	19	83	84	46	88	82	0	6	7	85
Min.	<NG	<NG	1,9	7,0	<NG	<NG	2,7	3,0		0,20	16	6,0
25.P.	3,2	0,02	4,7	18	3,5	<NG	6,7	9,0				20
Median	5,3	0,03	9,0	23	5,0	0,03	10	11		0,25	36	25
75.P.	7,9	0,08	16	31	8,0	0,09	16	13				33
90.P.	11	0,10	18	40	12	0,09	24	16				41
Max.	15	0,15	22	47	16	0,19	29	19		0,33	58	50

C-Horizonte												
Nutzung: Forst, Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	56	53	14	55	52	15	54	54	0	7	7	53
Min.	<NG	<NG	2,6	7,0	<NG	<NG	3,0	3,0		0,14	17	8,0
25.P.	3,9	0,02	4,0	19	6,0	<NG	13	7,0				25
Median	6,9	0,05	5,4	29	9,0	<NG	17	9,2		0,25	26	31
75.P.	9,6	0,08	22	40	14	0,02	23	12				44
90.P.	15	0,10	34	54	17	0,05	29	14				56
Max.	18	0,13	36	63	21	0,09	37	19		0,31	48	66

Tabellen D 4

Auswertungseinheit: Tertiärhügelland

Substrat: pleistozäne Sande und Kiese

Oberböden Nutzung: Forst												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	11	10	1	10	10	5	8	10	0	0	0	10
Min.	2,7	<NG		20	5,0	0,08	5,0	19				19
25.P.	4,4	0,05		24	5,8			22				22
Median	5,1	0,09		28	8,5	0,19	7,0	31				28
75.P.	5,8	0,20		32	11			39				32
90.P.	6,1	0,26		36	11			44				39
Max.	6,1	0,26		36	11	0,19	9,0	44				39

Unterböden Nutzung: Forst												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	29	23	1	27	28	11	28	25	0	0	0	27
Min.	1,7	<NG		19	4,0	<NG	5,0	5,0				16
25.P.	3,3	<NG		29	6,0	<NG	9,3	8,5				23
Median	4,6	0,03		34	9,0	<NG	14	10				27
75.P.	6,7	0,04		42	17	0,02	24	13				39
90.P.	8,7	0,06		52	22	0,05	32	14				49
Max.	9,3	0,06		56	41	0,05	41	16				50

C-Horizonte												
Nutzung: Forst, Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	15	10	4	10	10	14	10	9	0	4	4	10
Min.	1,6	<NG	2,4	4,0	4,9	<NG	5,1	5,0		0,13	8,6	6,1
25.P.	3,7	0,05		10	5,3	<NG	7,4					11
Median	6,1	0,09		23	10	0,02	11	6,0				22
75.P.	9,6	0,22		30	15	0,04	22					37
90.P.	11	0,25		38	18	0,06	30					39
Max.	11	0,25	22	39	18	0,06	31	8,0		0,20	23	39

Tabellen D 5

Auswertungseinheit: Tertiärhügelland

Substrat: tertiäre Schluffe und Lehme

Oberböden Nutzung: Forst												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	17	13	1	18	17	3	14	15	0	1	1	15
Min.	3,2	0,02		18	3,0	<NG	9,0	15				10
25.P.	4,6	0,04		36	5,7		10	26				32
Median	5,6	0,06		49	9,0		13	28				40
75.P.	8,2	0,06		60	13		15	34				43
90.P.	10	0,09		76	16		19	37				48
Max.	11	0,10		87	18	0,29	19	38				51

Oberböden Nutzung: Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	6	16	14	11	15	16	16	12	0	13	13	14
Min.	<NG	0,14	12	76	23	0,04	32	27		0,51	82	86
25.P.		0,17	13	78	28	0,05	35	29		0,61	98	92
Median	14	0,21	14	83	31	0,07	38	31		0,64	102	97
75.P.		0,29	15	85	35	0,09	42	34		0,70	110	100
90.P.		0,34	16	90	40	0,11	50	39		0,72	116	107
Max.	24	0,40	16	91	40	0,12	59	39		0,72	117	108

Unterböden Nutzung: Forst												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	64	69	2	68	65	19	68	70	0	1	1	65
Min.	0,1	<NG	13	28	4,0	<NG	5,0	9,0				29
25.P.	7,2	0,02		53	12	<NG	24	14				53
Median	10	0,07		66	18	0,05	30	17				63
75.P.	13	0,10		76	24	0,09	39	21				72
90.P.	15	0,12		85	30	0,19	44	25				90
Max.	20	0,21	16	107	38	0,19	59	30				98

Unterböden Nutzung: Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	7	14	15	12	16	36	15	14	0	15	15	14
Min.	<NG	<NG	11	35	10	<NG	35	17		0,59	86	72
25.P.		0,04	11	45	17	0,03	40	22		0,64	96	85
Median	11	0,06	15	49	29	0,04	44	24		0,76	114	93
75.P.		0,08	17	56	35	0,08	54	26		0,85	120	99
90.P.		0,09	18	59	39	0,09	57	28		0,90	128	105
Max.	18	0,09	18	60	41	0,19	57	28		0,90	130	107

C-Horizonte Nutzung: Forst, Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	36	33	5	33	37	24	37	32	0	2	2	37
Min.	<NG	<NG	5,3	41	7,0	<NG	17	9,0		0,33	34	36
25.P.	4,8	0,04		65	21	0,02	34	14				67
Median	7,8	0,09	17	80	29	0,04	41	18				79
75.P.	14	0,13		87	35	0,09	54	20				95
90.P.	17	0,24		95	45	0,10	58	23				109
Max.	21	0,25	19	109	48	0,19	81	25		0,72	124	125

Tabellen D 6

Auswertungseinheit: Tertiärhügelland
Substrat: tertiäre Tone

Unterböden Nutzung: Forst												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	17	18	2	19	19	2	19	18	0	0	0	19
Min.	1,8	<NG	19	29	4,0	<NG	11	9,0				21
25.P.	5,1	<NG		37	14		18	11				33
Median	9,4	0,03		92	34		44	20				84
75.P.	16	0,10		102	44		55	25				104
90.P.	22	0,12		117	49		60	28				106
Max.	23	0,19	21	155	61	<NG	92	29				144

Unterböden Nutzung: Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	14	15	11	3	13	3	13	14	0	3	3	15
Min.	5,0	<NG	10	54	27	<NG	24	29		0,91	140	71
25.P.	10	<NG	12		29		38	32				84
Median	14	<NG	18		34		47	37				101
75.P.	23	0,15	26		40		59	41				116
90.P.	30	0,34	32		49		76	43				131
Max.	30	0,39	33	103	52	0,11	81	44		0,94	153	136

C-Horizonte Nutzung: Forst, Acker												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	13	14	1	11	13	3	13	13	0	0	0	13
Min.	2,8	<NG		45	12	<NG	15	11				33
25.P.	6,9	0,02		58	15		20	13				37
Median	9,9	0,03		73	18		28	19				61
75.P.	15	0,3		93	29		42	24				74
90.P.	24	0,32		104	41		50	32				92
Max.	25	0,35		106	44	0,16	50	36				96

Tabellen D 7

Auswertungseinheit: Tertiärhügelland
Substrat: Löß und Lößlehm

Oberböden Nutzung: Forst												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	125	161	53	166	164	74	162	165	5	44	47	159
Min.	3,5	<NG	2,4	12	3,3	<NG	4,8	14	0,09	0,36	38	22
25.P.	6,5	0,05	4,2	41	7,0	0,06	11	22		0,42	47	36
Median	7,6	0,10	6,5	53	10	0,16	14	30	0,19	0,45	54	41
75.P.	8,6	0,13	9,6	62	12	0,19	17	39		0,47	59	46
90.P.	10	0,17	14	73	14	0,27	20	47		0,50	61	51
Max.	12	0,23	17	85	17	0,36	25	62	0,39	0,54	69	59

Oberböden Nutzung: Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	21	25	24	16	19	68	24	25	0	14	15	22
Min.	5,4	<NG	7,8	28	15	<NG	19	20		0,43	63	43
25.P.	7,3	<NG	10	51	18	0,03	26	24		0,49	68	60
Median	10	0,22	12	59	20	0,08	30	29		0,57	78	66
75.P.	12	0,29	17	73	22	0,12	33	39		0,60	111	73
90.P.	15	0,37	19	82	24	0,19	37	47		0,65	121	80
Max.	17	0,50	21	91	26	0,22	41	49		0,65	126	81

Unterböden Nutzung: Forst												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	200	201	35	208	206	71	205	207	3	24	26	207
Min.	2,6	<NG	6,4	19	4,0	<NG	6,6	7,0	0,09	0,39	45	15
25.P.	7,4	0,02	8,7	52	10	<NG	17	15		0,44	56	44
Median	9,8	0,05	11	66	16	0,04	28	18		0,50	62	55
75.P.	13	0,10	15	78	21	0,09	34	21		0,54	71	65
90.P.	15	0,13	17	86	24	0,09	39	24		0,63	88	71
Max.	20	0,20	19	102	35	0,19	50	29	0,09	0,65	91	93

Unterböden Nutzung: Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	32	32	29	26	32	64	33	25	0	23	23	33
Min.	<NG	<NG	7,9	37	8,3	<NG	16	14		0,4	54	42
25.P.	5,8	<NG	11	54	14	<NG	27	19		0,48	71	61
Median	12	0,07	13	61	19	0,02	33	22		0,60	87	67
75.P.	16	0,14	16	70	24	0,05	46	25		0,70	106	88
90.P.	18	0,21	22	83	27	0,09	57	27		0,80	117	97
Max.	19	0,24	23	89	32	0,09	62	30		0,91	141	107

C-Horizonte Nutzung: Forst, Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	25	20	6	18	20	24	20	19	1	3	3	19
Min.	3,1	<NG	6,0	17	7,0	<NG	8,0	6,0		0,36	45	22
25.P.	5,7	0,08		39	13	<NG	21	10				40
Median	8,6	0,10	9,5	48	15	<NG	25	12				46
75.P.	12	0,19		69	22	<NG	36	18				61
90.P.	13	0,22		80	26	0,09	42	23				67
Max.	20	0,26	19	98	28	0,09	56	28		0,55	106	68

Auswertungseinheit: Alpen und Alpenvorland

	Seite
● Tabellen E 1: Humusauflagen	A75
● Tabellen E 2: pleistozäne Sande und Kiese	A76
● Tabellen E 3: Sandstein	A78
● Tabellen E 4: Kalkstein und Kalksteinverwitterung	A80
● Tabellen E 5: Dolomitstein	A82
● Tabellen E 6: Mergel und Mergelstein	A84
● Tabellen E 7: Löß und Lößlehm	A86
● Tabellen E 8: Moräne	A88
● Tabellen E 9: Moor	A90

Tabellen E 1

Auswertungseinheit: **Alpen und Alpenvorland**
Humusauflagen

Of-Horizont												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	59	147	117	145	150	451	150	158	49	105	98	453
Min.	1,0	0,10	<NG	<NG	5,9	<NG	<NG	19	0,14	<NG	<NG	29
25.P.	2,5	0,38	0,83	6,3	11	0,26	4,1	62	0,35	0,14	7,4	57
Median	4,2	0,54	1,2	8,6	14	0,29	6,7	79	0,47	0,18	12	76
75.P.	6,6	0,77	2,4	13	16	0,39	9,0	100	0,59	0,26	16	99
90.P.	8,1	1,0	3,4	18	19	0,50	11	124	0,68	0,33	23	126
Max.	11	1,3	4,8	24	22	0,89	17	155	0,86	0,42	31	155

Oh-Horizont												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	44	130	106	129	133	146	128	129	26	89	82	127
Min.	5,1	0,07	<NG	<NG	<NG	<NG	<NG	17	0,50	0,05	<NG	12
25.P.	7,3	0,41	1,5	11	7,4	0,29	5,0	66	0,71	0,17	15	42
Median	9,7	0,77	2,4	19	10	0,50	8,2	95	0,87	0,25	24	55
75.P.	14	1,7	3,0	29	16	0,69	12	117	1,1	0,35	31	89
90.P.	17	2,6	5,0	40	20	0,95	17	147	1,3	0,46	38	122
Max.	25	4,4	7,7	54	28	1,3	22	191	1,6	0,55	47	160

Tabellen E 2

Auswertungseinheit: Alpen und Alpenvorland
Substrat: pleistozäne Sande und Kiese

Unterböden Nutzung: Forst												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	8	16	14	13	16	19	16	16	2	12	12	16
Min.	9,6	0,07	7,6	30	17	<NG	23	12	0,16	0,49	66	46
25.P.		0,17	10	40	21	<NG	33	21		0,51	80	68
Median	11	0,20	13	58	26	0,02	43	24		0,58	98	79
75.P.		0,38	20	78	36	0,07	57	28		0,70	118	87
90.P.		0,49	25	83	43	0,09	74	34		0,87	131	111
Max.	16	0,50	26	84	43	0,12	78	35	0,19	0,94	134	112

C-Horizonte Nutzung: Forst, Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	18	30	24	27	31	37	31	27	8	27	25	31
Min.	1,0	<NG	2,1	3,3	3,1	<NG	<NG	2,9	<NG	0,13	15	8,9
25.P.	2,0	0,13	3,1	10	7,2	<NG	11	6,4		0,18	28	19
Median	5,1	0,17	3,6	19	8,8	<NG	13	7,0	0,09	0,22	33	25
75.P.	7,6	0,24	4,5	26	11	0,06	21	9,5		0,29	41	32
90.P.	10	0,31	5,7	33	15	0,09	22	13		0,35	59	42
Max.	11	0,40	6,3	44	16	0,12	24	15	0,47	0,38	60	48

Tabellen E 3

Auswertungseinheit: Alpen und Alpenvorland
Substrat: Sandstein

Oberböden Nutzung: Forst												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	4	9	9	10	11	13	10	11	4	7	7	10
Min.	6,3	0,04	1,6	16	3,0	<NG	5,0	7,3	0,08	0,20	39	13
25.P.				28	6,5	0,05	5,4	11				21
Median		0,11	3,0	41	8,5	0,16	7,3	28		0,37	50	28
75.P.				59	11	0,29	9,6	35				39
90.P.				74	14	0,30	12	60				42
Max.	9,4	0,19	4,7	75	15	0,30	12	65	0,35	0,52	62	42

Unterböden Nutzung: Forst												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	4	11	11	11	10	13	10	9	4	5	6	11
Min.	7,2	0,02	2,2	11	4,0	<NG	5,3	16	0,25	0,20	34	24
25.P.		0,11	5,0	41	6,1	<NG	8,0					33
Median		0,13	6,0	79	11	0,09	18	18		0,41	75	41
75.P.		0,16	14	105	16	0,16	28					74
90.P.		0,23	17	117	24	0,21	43					81
Max.	15	0,23	17	119	25	0,22	44	24	0,43	0,44	113	82

C-Horizonte Nutzung: Forst, Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	3	8	6	8	8	6	8	8	3	5	5	8
Min.	2,5	<NG	3,5	4,1	0,44	<NG	1,8	1,8	0,12	0,03	12	4,6
25.P.												
Median		0,15	6,5	32	8,8	0,03	18	11		0,19	30	38
75.P.												
90.P.												
Max.	8,4	0,21	7,8	106	32	0,16	53	19	0,25	0,36	45	77

Tabellen E 4

Auswertungseinheit: Alpen und Alpenvorland

Substrat: Kalkstein und Kalksteinverwitterung

Oberböden Nutzung: Forst												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	7	18	15	23	21	23	24	21	4	13	16	22
Min.	9,2	0,31	3,0	5,5	6,8	<NG	7,0	23	0,39	0,42	38	58
25.P.		0,71	9,3	34	9,3	0,09	21	52		0,59	79	80
Median	16	1,1	12	58	13	0,19	33	83		0,68	93	130
75.P.		1,5	15	81	19	0,39	53	136		0,78	119	171
90.P.		2,4	16	95	22	0,58	97	157		0,97	135	214
Max.	26	2,4	17	112	30	0,61	155	244	0,87	0,97	151	263

Oberböden Nutzung: Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	1	10	10	11	11	11	10	10	1	11	9	10
Min.		0,28	0,62	2,5	3,0	<NG	7,5	12		0,10	13	17
25.P.		0,50	1,4	6,1	4,7	<NG	9,5	24		0,31		31
Median		1,3	3,9	33	17	0,09	22	55		0,47	42	83
75.P.		2,0	7,6	52	30	0,29	35	102		0,89		131
90.P.		2,3	11	76	45	0,37	55	175		1,2		204
Max.		2,3	11	82	48	0,39	56	179		1,2	91	210

Unterböden Nutzung: Forst												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	5	18	14	18	17	17	17	15	2	13	14	16
Min.	7,3	0,12	10	56	5,1	<NG	30	22	0,62	0,59	72	73
25.P.		0,40	14	62	12	<NG	44	31		0,73	105	88
Median	30	0,54	17	77	21	0,16	71	34		0,95	140	96
75.P.		2,3	19	94	26	0,21	85	52		1,3	159	138
90.P.		3,6	21	105	38	0,31	114	58		1,3	182	171
Max.	37	4,1	21	118	40	0,39	119	59	0,68	1,3	196	189

Unterböden Nutzung: Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	5	7	8	8	8	9	8	7	5	8	8	6
Min.	3,2	0,15	11	26	13	<NG	27	15	0,20	0,34	60	57
25.P.												
Median	13	0,37	21	57	26	0,09	66	32	0,36	0,79	114	84
75.P.												
90.P.												
Max.	30	0,68	36	132	94	0,30	102	37	0,77	1,2	153	109

C-Horizonte Nutzung: Forst, Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	28	67	65	67	72	75	72	72	19	62	50	66
Min.	0,16	<NG	<NG	<NG	<NG	<NG	<NG	<NG	<NG	<NG	5,8	<NG
25.P.	0,43	0,19	0,57	1,1	0,13	<NG	3,1	1,1	0,04	0,04	13	4,1
Median	1,7	0,33	2,6	7,0	3,3	<NG	12	3,0	0,06	0,12	23	14
75.P.	7,1	0,45	5,9	12	9,9	<NG	27	9,5	0,16	0,28	36	25
90.P.	9,0	0,69	9,3	26	15	0,20	48	20	0,21	0,44	59	34
Max.	9,2	0,94	13	40	21	0,39	61	25	0,27	0,62	84	51

Tabellen E 5

Auswertungseinheit: Alpen und Alpenvorland
Substrat: Dolomitstein

Oberböden Nutzung: Forst												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	4	22	17	22	22	17	22	21	2	13	12	19
Min.	15	0,34	2,0	10	4,0	<NG	4,0	25	0,29	0,17	24	24
25.P.		0,78	3,2	23	7,3	0,18	9,1	48		0,35	39	54
Median		1,4	6,3	46	10	0,25	20	61		0,51	65	83
75.P.		1,8	9,1	55	16	0,39	24	95		0,80	93	132
90.P.		2,3	11	65	20	0,50	29	133		1,3	113	190
Max.	34	3,0	12	68	21	0,51	31	139	1,0	1,3	115	194

Oberböden Nutzung: Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	2	10	11	11	10	10	11	11	2	8	6	10
Min.	6,0	0,33	2,6	16	10	<NG	7,8	25	0,39	0,22	28	55
25.P.		0,60	4,5	29	12	0,09	13	51				65
Median		1,3	9,0	48	15	0,19	24	74		0,66	76	91
75.P.		1,8	11	75	17	0,29	27	102				116
90.P.		2,0	13	77	20	0,38	41	115				138
Max.	25	2,0	13	78	20	0,39	42	118	0,76	1,2	90	140

Unterböden Nutzung: Forst												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	0	8	8	8	7	10	8	7	0	3	3	7
Min.		0,31	5,8	25	7,2	<NG	7,1	16		0,23	32	64
25.P.						<NG						
Median		0,59	15	84	14	0,16	39	41				88
75.P.						0,38						
90.P.						0,51						
Max.		1,3	17	101	15	0,52	49	47		0,65	99	135

Unterböden Nutzung: Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	3	7	7	7	7	7	7	7	3	4	5	7
Min.	20	0,20	9,0	63	12	<NG	21	22	0,46	1,2	78	67
25.P.												
Median		0,59	15	85	23	0,19	58	35			116	96
75.P.												
90.P.												
Max.	31	3,3	29	115	36	0,52	91	60	1,8	2,1	138	169

C-Horizonte Nutzung: Forst, Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	17	58	47	53	55	58	57	49	12	37	33	52
Min.	0,25	<NG	<NG	<NG	<NG	<NG	<NG	0,29	0,01	<NG	10	<NG
25.P.	0,83	0,07	0,91	2,3	<NG	<NG	2,8	1,1	0,06	0,05	16	4,3
Median	2,7	0,13	2,5	6,8	3,0	<NG	4,0	3,0	0,09	0,13	23	9,2
75.P.	5,9	0,27	3,0	11	6,1	0,06	15	5,7	0,12	0,26	36	17
90.P.	8,5	0,44	4,3	18	9,1	0,15	25	11	0,17	0,40	47	23
Max.	11	0,53	5,4	22	15	0,19	30	12	0,19	0,55	59	35

Tabellen E 6

Auswertungseinheit: **Alpen und Alpenvorland**
Substrat: **Mergel, Mergelstein**

Unterböden Nutzung: Forst												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	5	9	9	10	10	14	9	8	5	10	10	10
Min.	7,5	0,14	13	27	11	<NG	22	23	0,25	0,49	99	48
25.P.				39	19	<NG				0,56	112	82
Median	9,2	0,19	21	65	38	<NG	61	27	0,53	0,67	123	114
75.P.				131	62	0,11				0,78	160	124
90.P.				193	71	0,21				0,89	174	145
Max.	14	0,58	31	199	71	0,22	123	35	0,65	0,9	175	147

Unterböden Nutzung: Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	7	14	14	14	14	11	10	9	5	11	11	8
Min.	5,1	0,1	5,4	28	8,2	0,12	9,4	17	0,2	0,36	66	62
25.P.		0,2	11	39	17	0,12	23			0,43	92	
Median	7,4	0,28	13	48	30	0,19	49	22	0,43	0,59	120	82
75.P.		0,43	16	102	36	0,19	57			0,82	147	
90.P.		0,68	21	146	41	0,27	65			0,94	165	
Max.	19	0,74	21	156	44	0,29	66	27	0,98	0,95	167	95

C-Horizonte Nutzung: Forst, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	6	9	9	9	9	6	9	9	6	8	9	9
Min.	0,63	<NG	7,8	5,8	12	<NG	33	3,4	0,05	0,36	26	25
25.P.												
Median	8,6	0,19	15	44	40	<NG	70	21	0,38	0,67	118	91
75.P.												
90.P.												
Max.	11	0,52	39	117	93	0,16	96	29	0,71	0,79	139	146

Tabellen E 7

Auswertungseinheit: Alpen und Alpenvorland
Substrat: Löß und Lößlehm

Oberböden Nutzung: Forst												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	46	103	86	110	116	132	117	111	34	71	78	116
Min.	3,8	<NG	0,94	11	2,6	<NG	3,2	8,8	0,06	0,16	26	20
25.P.	9,0	0,10	4,9	46	9,0	0,12	13	32	0,47	0,41	56	44
Median	13	0,23	9,2	59	13	0,19	21	49	0,72	0,59	97	65
75.P.	21	0,74	12	73	16	0,32	30	80	1,1	0,81	128	121
90.P.	31	1,2	16	86	20	0,44	38	121	1,3	1,1	146	164
Max.	35	1,6	22	108	22	0,65	49	165	1,9	1,3	193	228

Oberböden Nutzung: Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	18	31	34	35	33	64	35	33	17	30	32	34
Min.	2,8	0,07	1,7	12	5,3	<NG	8,3	4,5	0,32	0,22	14	29
25.P.	11	0,29	7,5	46	15	0,06	19	33	0,50	0,42	59	61
Median	14	0,64	10	58	17	0,11	31	63	0,59	0,57	86	111
75.P.	25	1,4	15	81	24	0,19	43	97	0,98	0,68	111	175
90.P.	34	1,8	18	92	31	0,29	51	140	1,3	0,94	147	242
Max.	35	2,4	22	105	36	0,35	70	175	1,4	0,99	161	282

Unterböden Nutzung: Forst												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	36	83	64	92	91	64	94	81	16	54	60	87
Min.	6,9	<NG	2,1	25	2,1	<NG	<NG	13	0,01	0,35	4,1	15
25.P.	9,2	0,07	9,0	53	9,7	<NG	22	20	0,15	0,45	65	51
Median	11	0,11	13	65	14	0,09	29	22	0,19	0,52	88	59
75.P.	14	0,19	17	80	19	0,19	38	28	0,35	0,63	121	77
90.P.	17	0,34	20	94	28	0,19	50	36	0,59	0,77	137	98
Max.	20	0,52	26	120	34	0,39	60	39	0,59	0,91	173	126

Unterböden Nutzung: Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	10	18	23	18	21	36	23	23	7	22	21	18
Min.	4,3	0,05	2,4	37	11	<NG	11	15	0,26	0,23	47	49
25.P.	8,5	0,12	10	53	17	<NG	21	24		0,43	65	69
Median	13	0,21	15	60	21	0,05	45	36	0,35	0,53	95	81
75.P.	23	0,43	19	68	25	0,09	51	50		0,81	114	92
90.P.	34	0,75	25	77	28	0,19	58	56		1,1	120	121
Max.	35	0,75	28	82	34	0,29	69	64	0,54	1,2	121	121

Tabellen E 8

Auswertungseinheit: Alpen und Alpenvorland

Substrat: Moräne

Oberböden Nutzung: Forst												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	22	32	31	37	40	24	42	40	13	26	29	38
Min.	6,5	0,03	1,4	24	3,0	<NG	4,6	17	0,13	0,22	33	19
25.P.	9,3	0,11	2,4	37	8,1	0,16	9,3	24	0,23	0,32	41	34
Median	12	0,16	5,1	44	12	0,22	15	35	0,38	0,37	53	45
75.P.	16	0,21	9,1	53	14	0,32	21	50	0,63	0,44	74	58
90.P.	18	0,25	13	67	19	0,39	30	58	0,66	0,53	86	65
Max.	19	0,31	14	73	21	0,46	36	87	0,66	0,57	101	83

Oberböden Nutzung: Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	6	16	15	16	16	14	16	15	2	16	16	14
Min.	7,5	0,15	3,2	33	5,6	<NG	8,5	13	0,26	0,24	45	40
25.P.		0,24	7,7	54	14	0,05	17	22		0,38	57	61
Median	9,6	0,38	8,5	68	18	0,13	27	30		0,46	99	71
75.P.		0,58	12	82	24	0,19	39	42		0,59	122	82
90.P.		0,81	16	89	31	0,24	44	52		0,82	141	106
Max.	12	0,96	17	90	32	0,26	45	59	0,39	0,87	144	107

Unterböden Nutzung: Forst												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	33	63	51	72	75	32	73	67	20	40	40	62
Min.	4,4	0,06	3,1	15	3,2	<NG	8,0	14	0,02	0,32	43	39
25.P.	7,5	0,10	8,7	46	13	<NG	27	18	0,13	0,42	62	58
Median	9,9	0,13	12	62	18	0,12	34	21	0,17	0,48	78	65
75.P.	13	0,20	15	77	26	0,12	45	24	0,22	0,54	87	71
90.P.	16	0,27	19	90	34	0,19	56	28	0,34	0,61	104	80
Max.	18	0,34	22	116	41	0,29	65	33	0,34	0,72	122	89

Unterböden Nutzung: Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	17	33	34	34	34	23	34	29	7	34	33	30
Min.	5,4	0,05	3,9	27	4,4	<NG	8,1	13	0,26	0,26	51	46
25.P.	8,6	0,13	10	46	15	<NG	27	17		0,44	77	67
Median	10	0,23	13	57	22	0,06	45	19	0,43	0,54	103	76
75.P.	13	0,45	16	90	29	0,19	60	24		0,68	117	82
90.P.	14	0,67	22	94	36	0,26	71	29		0,82	126	87
Max.	15	0,78	23	139	48	0,29	86	32	0,53	0,90	166	92

C-Horizonte Nutzung: Forst, Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	36	64	58	73	74	35	75	76	22	58	56	75
Min.	1,0	0,04	0,66	2,1	<NG	<NG	2,6	1,7	<NG	0,07	14	5,6
25.P.	4,9	0,11	4,2	16	8,5	<NG	16	8,4	0,03	0,23	34	28
Median	7,9	0,16	7,5	30	17	<NG	27	14	0,08	0,34	52	46
75.P.	9,4	0,19	9,9	54	22	0,09	36	18	0,11	0,46	69	62
90.P.	10	0,24	13	71	28	0,12	46	23	0,16	0,53	90	77
Max.	15	0,35	16	96	38	0,19	64	32	0,17	0,63	115	100

Tabellen E 9

Auswertungseinheit: **Alpen und Alpenvorland**
Moor

H-Horizonte Nutzung: Forst												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	15	38	30	32	39	31	40	39	8	22	21	38
Min.	<NG	0,02	0,20	<NG	0,81	<NG	<NG	0,81	<NG	<NG	<NG	2,0
25.P.	3,0	0,13	0,29	2,2	6,0	<NG	3,0	6,9		<NG	2,3	6,6
Median	9,0	0,41	0,58	5,1	12	0,16	12	30	0,18	0,01	11	14
75.P.	18	0,67	3,0	7,0	15	0,29	20	61		0,07	14	35
90.P.	24	0,93	5,8	7,0	17	0,40	26	81		0,12	19	47
Max.	25	1,4	7,0	10	21	0,59	27	103	0,89	0,17	24	65

H-Horizonte Nutzung: Acker, Grünland												
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Tl	V	Zn
n	19	33	28	20	29	10	32	32	13	18	17	32
Min.	<NG	0,07	<NG	<NG	<NG	<NG	<NG	0,49	0,09	<NG	2,0	2,1
25.P.	1,0	0,16	0,28	3,0	5,8	<NG	3,0	6,7	0,19	0,03	4,8	9,0
Median	3,0	0,40	1,2	6,1	10	<NG	6,2	19	0,62	0,06	11	21
75.P.	7,1	0,86	2,0	8,4	16	0,15	15	86	0,93	0,14	27	48
90.P.	9,7	1,4	3,5	10	20	0,26	19	122	1,2	0,23	34	81
Max.	11	1,7	4,0	11	26	0,26	22	147	1,3	0,26	35	96

In der Reihe "GLA Fachberichte" des Bayerischen Geologischen Landesamtes erschienen bisher:

- [1] AUERSWALD, K. & SCHMIDT, F. (1986): Atlas der Erosionsgefährdung in Bayern.- GLA Fachberichte, **1**: 74 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- [2] RUPPERT, H. & SCHMIDT, F. (1987): Natürliche Grundgehalte und anthropogene Anreicherungen von Schwermetallen in Böden Bayerns.- GLA Fachberichte, **2**: 97 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- [3] WROBEL, J.-P. & HANKE, K. (1987): Karten der Gefährdung der Grundwässer in Bayern durch Nitrat.-
JONECK, M., STANJEK, CH. & HOLZNER, G. (1987): Nitratverlagerung und Nitratabbau in Böden, Deck- und Verwitterungsschichten in verschiedenen Klimabereichen Bayerns.- GLA Fachberichte, **3**: 127 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- [4] RUPPERT, H., SCHMIDT, F., JONECK, M., JERZ, H. & DREXLER, O. (1988): Schwermetallgehalte in Böden des Donautales.- GLA Fachberichte, **4**: 51 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- [5] WITTMANN, O. (1991): Standortkundliche Landschaftsgliederung von Bayern - Übersichtskarte 1 : 1 000 000 - und Abhängigkeitsbeziehungen der Bodennutzung.-
RUPPERT, H., SCHMIDT, F. & SCHMIDT, R. (1991): Bereiche natürlicher Spurenmetalle in den häufigsten Böden Bayerns.- GLA Fachberichte, **5**: 73 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- [6] MARTIN, W., RUPPERT, H. & FRIED, G. (1991): Veränderungen von Elementgehalten, pH-Wert und potentieller Kationenaustauschkapazität in ausgewählten Böden Bayerns. Untersuchungen an 203 Profilen im Zeitraum 1964 bis 1986.-
RUPPERT, H. (1991): Zur Problematik der Abschätzung anthropogener Stoffgehalte in Böden am Beispiel von Schwermetallen.- GLA Fachberichte, **6**: 61 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- [7] JONECK, M. & PRINZ, R. (1991): Dioxine in Böden Bayerns. Gehalte polychlorierter Dibenzodioxine (PCDD) und polychlorierter Dibenzofurane (PCDF) in Auflage- und Oberbodenhorizonten von Böden unterschiedlicher Nutzung und Immissions-situation.- GLA Fachberichte, **7**: 60 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- [8] v. POSCHINGER, A. (1992): GEORISK. Erfassung und Untersuchung von Massenbewegungen im Bayerischen Alpenraum.- GLA Fachberichte, **8**: 33 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- [9] JONECK, M. & PRINZ, R. (1993): Inventur organischer Schadstoffe in Böden Bayerns. Chlorierte Kohlenwasserstoffe, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe und N-Herbizide in Böden unterschiedlicher Nutzung und Immissionssituation.- GLA Fachberichte, **9**: 155 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- [10] JONECK, M. & PRINZ, R. (1993): Schwermetallgehalte in Böden des Maintales und angrenzender Nebentäler.- GLA Fachberichte, **10**: 87 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).

- [11] SCHILLING, B. (1994): Boden-Dauerbeobachtungsflächen des Bayerischen Geologischen Landesamtes - Zielsetzung, Stand der Arbeiten und Ergebnisse aus den Erstuntersuchungen.- GLA Fachberichte, **11**: 60 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- [12] JONECK, M. & PRINZ, R.. (1994): Hintergrundbelastung bayerischer Böden mit organischen Problemstoffen. GLA Fachberichte, **12**: 55 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- [13] DIEPOLDER, G. W. (1995): Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung. Grundlagen - Bewertung - Darstellung in Karten.-
WAGNER, B. & WROBEL, J.-P. (1995): Untersuchungen zum Wasser- und Stofftransport in der ungesättigten Zone im Hinblick auf ihre Schutzfunktion für das Grundwasser.- GLA Fachberichte, **13**: 100 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- [14] SCHILLING, B. (1997): Boden-Monitoring.- GLA Fachberichte, **14**: 91 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- [15] RUPPERT, H.: Die Humusaufgabe von Waldböden Südbayerns als Anzeiger der relativen Immissionsbelastung durch Schwermetalle.- GLA Fachberichte, München (Bayer. Geol. L.-Amt) (erscheint demnächst).
- [17] PRINZ, R. & WITTENBECHER, M.: Typische Gehalte ausgewählter Spurenelemente in Waldböden Bayerns.- GLA Fachberichte, München (Bayer. Geol. L.-Amt) (erscheint demnächst).

