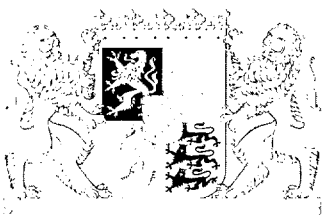


GLA

FACHBERICHTE

10

**Schwermetallgehalte
in Böden des Maintales und
angrenzender Nebentäler**



Bayerisches Geologisches Landesamt

GLA FACHBERICHTE

10

Schwermetallgehalte in Böden des Maintales und angrenzender Nebentäler

von
M. JONECK und R. PRINZ

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

München 1993

GLA-Fachberichte 10	87 S.	11 Abb.	52 Tabellen	München 1993
---------------------	-------	---------	-------------	--------------

ISSN 0932 - 9269

Anschrift der Autoren: Dr. M. JONECK
Außenstelle des Bayerischen Geologischen
Landesamtes
(Staatliches Forschungsinstitut für Geochemie)
Concordiastraße 28
D-96049 Bamberg

R. PRINZ
Bayerisches Geologisches Landesamt
Heßstraße 128
D-80797 München

Herausgeber: Bayerisches Geologisches Landesamt
Heßstraße 128, D-80797 München
Redaktion: H. Frank
Druck: Copyprint, München

INHALT

1	Einleitung	10
2	Material und Methoden	10
3	Geologie und Flußgeschichte	11
	3.1 Das Maintal von Aschaffenburg bis Lichtenfels	11
	3.2 Geologie der Flußtäler von Rednitz, Pegnitz und Regnitz	14
4	Geogene Schwermetallgesamtgehalte potentieller Ausgangsmaterialien der Bodenbildung	15
5	Bodenkundlicher Überblick	17
	5.1 Allgemeine Kennzeichnung der Böden und ihrer Schwermetallgesamtgehalte	17
	5.1.1 Die Böden im Buntsandstein des Untermain (Flußabschnitt: Aschaffenburg - Gemünden)	20
	5.1.2 Die Böden im Jura und Keuper des Obermain (Flußabschnitt: Karlstadt - Lichtenfels; tiefere Auenterrasse)	25
	5.1.3 Die Böden der Täler von Regnitz, Pegnitz und Rednitz	29
6	Räumliche Differenzierung der Schwermetallgesamtgehalte	37
7	Beurteilung der Ergebnisse	39
8	Zusammenfassung	55
9	Danksagung	56
10	Literaturverzeichnis	57
11	Tabellenanhang	60

Verzeichnis der Tabellen:

Tabelle 1: Schwermetallgesamtgehalte ($\text{mg kg}^{-1} \text{m}_T$) potentieller Ausgangsmaterialien der Bodenbildung im Maintal (zusammengestellt aus RUPPERT, 1987a)	16
Tabelle 2: Bodenkundliche Kenndaten und Schwermetallgesamtgehalte (Konzentrationsbereich; arithmetischer Mittelwert (in Klammern)) in Böden des Maintales und ausgewählter Nebentäler	18
Tabelle 3: Schwermetallkonzentrationen ($\text{mg kg}^{-1} \text{m}_T$) in Braunen kalkhaltigen Auenböden (Ac) des Maintales (Talabschnitt: Aschaffenburg bis Gemünden) (n=16)	20
Tabelle 4: Schwermetallkonzentrationen ($\text{mg kg}^{-1} \text{m}_T$) in Braunen Auenböden (An) des Maintales (Talabschnitt: Aschaffenburg bis Gemünden) (n=12 für O/U; n=1 für A)	21
Tabelle 5: Schwermetallkonzentrationen ($\text{mg kg}^{-1} \text{m}_T$) im Auengley - kalkhaltigen Auenboden (AG-Ac) des Maintales (Talabschnitt: Aschaffenburg bis Gemünden) (n=8)	22
Tabelle 6: Schwermetallkonzentrationen ($\text{mg kg}^{-1} \text{m}_T$) im Auengley-Brauner Auenboden (AG-A) und Brauner Auenboden-Auengley (A-AG) des Maintales (Talabschnitt: Aschaffenburg bis Gemünden) (n=4)	23
Tabelle 7: Schwermetallkonzentrationen ($\text{mg kg}^{-1} \text{m}_T$) in Pseudogley-Braunerden (S-B) des Maintales (Talabschnitt: Aschaffenburg bis Gemünden)	24
Tabelle 8: Schwermetallkonzentrationen ($\text{mg kg}^{-1} \text{m}_T$) in Auftragsböden (YY) des Maintales (Talabschnitt: Aschaffenburg bis Gemünden) (n=3)	24
Tabelle 9: Schwermetallkonzentrationen ($\text{mg kg}^{-1} \text{m}_T$) einer podsoligen Braunerde (pB) des Maintales (Talabschnitt: Aschaffenburg bis Gemünden)	25
Tabelle 10: Schwermetallkonzentrationen ($\text{mg kg}^{-1} \text{m}_T$) in Braunen Auenböden (An) des Maintales (Talabschnitt: Lichtenfels bis Hallstadt) (n = 32)	26
Tabelle 11: Schwermetallkonzentrationen ($\text{mg kg}^{-1} \text{m}_T$) in Auengley - Brauner Auenboden des Maintales (Talabschnitt: Lichtenfels bis Hallstadt) (n = 4)	27
Tabelle 12: Schwermetallkonzentrationen ($\text{mg kg}^{-1} \text{m}_T$) in Hortisol-Gleyen (YO-G) des Maintales (Talabschnitt: Lichtenfels bis Hallstadt)	27
Tabelle 13: Schwermetallkonzentrationen ($\text{mg kg}^{-1} \text{m}_T$) einer podsoligen Braunerde (pB), Braunerde-Podsole (B-P) und eines Eisenpodsols (Pe) des Maintales (Talabschnitt: Lichtenfels bis Hallstadt)	28
Tabelle 14: Schwermetallkonzentrationen ($\text{mg kg}^{-1} \text{m}_T$) in Braunen Auenböden (An) der Täler von Regnitz, Pegnitz und Rednitz (n = 26)	29
Tabelle 15: Schwermetallkonzentrationen ($\text{mg kg}^{-1} \text{m}_T$) in kalkhaltigen Braunen Auenböden (Ac) der Täler von Regnitz, Pegnitz und Rednitz (n = 6)	30

Tabelle 16: Schwermetallkonzentrationen ($\text{mg kg}^{-1} \text{m}_T$) in Auengley - Braunen Auenböden (AG-A) der Täler von Regnitz, Pegnitz und Rednitz (n = 9)	30
Tabelle 17: Schwermetallkonzentrationen ($\text{mg kg}^{-1} \text{m}_T$) in Auengleyen (AGn) und Braunen Auenböden-Auengleyen (A-AG) der Täler von Regnitz, Pegnitz und Rednitz (n = 9)	31
Tabelle 18: Schwermetallkonzentrationen ($\text{mg kg}^{-1} \text{m}_T$) in Hortisolen (YO) und Auftragsböden (YY) der Täler von Regnitz, Pegnitz und Rednitz (n = 9)	32
Tabelle 19: Schwermetallkonzentrationen ($\text{mg kg}^{-1} \text{m}_T$) in Podsol-Braunerden (P-B) und podsoligen Braunerden (pB) der Täler von Regnitz, Pegnitz und Rednitz (n = 10)	33
Tabelle 20: Schwermetallkonzentrationen ($\text{mg kg}^{-1} \text{m}_T$) in Eisenpodsolon (Pe) und Eisenhumuspodsolon (Pn) der Täler von Regnitz, Pegnitz und Rednitz (n = 8)	34
Tabelle 21: Schwermetallkonzentrationen ($\text{mg kg}^{-1} \text{m}_T$) in Braunerden (S-B, pS-B, pD-B) der Täler von Regnitz, Pegnitz und Rednitz (n = 8)	35
Tabelle 22: Schwermetallkonzentrationen ($\text{mg kg}^{-1} \text{m}_T$) in Pseudogley (Sn) und Subtypen (D-S, B-S, P-S) der Täler von Regnitz, Pegnitz und Rednitz (n = 7)	36
Tabelle 23: Schwermetallkonzentrationen ($\text{mg kg}^{-1} \text{m}_T$) des Kolluviums (Kn), Gley-Kolluviums (D-K), Pelosols (Dn) und Pseudogley-Podosols (S-P)	37
Tabelle 24: Grenz- und Orientierungswerte für Schwermetallgesamtgehalte (angegeben in $\text{mg kg}^{-1} \text{m}_T$) in (Kultur-)Böden	40
Tabelle 25: Vergleich mittlerer Schwermetallgesamtgehalte ($\text{mg kg}^{-1} \text{m}_T$) der Of-Lagen in den Tälern von Main, Regnitz, Pegnitz und Rednitz mit denen des industriefernen Tertiärhügellandes	54

Verzeichnis der Tabellen im Anhang:

Tabelle A1: Räumliche Differenzierung der Schwermetallgesamtgehalte ($\text{mg kg}^{-1} \text{m}_T$) in Böden landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzter sowie "Sonstiger"-Standorte des Maintales (Flußabschnitt: Aschaffenburg - Markt Heidenfeld)	61
Tabelle A2: Räumliche Differenzierung der Schwermetallgesamtgehalte ($\text{mg kg}^{-1} \text{m}_T$) in Böden landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzter sowie "Sonstiger"-Standorte des Maintales (Flußabschnitt: Markt Heidenfeld - Karlstadt)	62
Tabelle A3: Räumliche Differenzierung der Schwermetallgesamtgehalte ($\text{mg kg}^{-1} \text{m}_T$) in Böden landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzter sowie "Sonstiger"-Standorte des Maintales (Flußabschnitt: Karlstadt - Kitzingen)	63

Tabelle A4: Räumliche Differenzierung der Schwermetallgesamtgehalte ($\text{mg kg}^{-1} \text{m}_T$) in Böden landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzter sowie "Sonstiger"-Standorte des Maintales (Flußabschnitt: Kitzingen - Hassfurt)	64
Tabelle A5: Räumliche Differenzierung der Schwermetallgesamtgehalte ($\text{mg kg}^{-1} \text{m}_T$) in Böden landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzter sowie "Sonstiger"-Standorte des Maintales (Flußabschnitt: Hassfurt - Bamberg)	65
Tabelle A6: Räumliche Differenzierung der Schwermetallgesamtgehalte ($\text{mg kg}^{-1} \text{m}_T$) in Böden landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzter sowie "Sonstiger"-Standorte (Flußabschnitt: Bamberg - Erlangen)	66
Tabelle A7: Räumliche Differenzierung der Schwermetallgesamtgehalte ($\text{mg kg}^{-1} \text{m}_T$) in Böden landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzter sowie "Sonstiger"-Standorte (Flußabschnitt: Erlangen - Nürnberg)	67
Tabelle A8: Räumliche Differenzierung der Schwermetallgesamtgehalte ($\text{mg kg}^{-1} \text{m}_T$) in Böden landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzter sowie "Sonstiger"-Standorte des Maintales (Flußabschnitt: Bamberg - Lichtenfels)	68
Tabelle A9: Räumliche Differenzierung der Schwermetallgesamtgehalte ($\text{mg kg}^{-1} \text{m}_T$) in Böden forstwirtschaftlich genutzter Standorte des Maintales (Flußabschnitt: Aschaffenburg - Markt Heidenfeld)	69
Tabelle A10: Räumliche Differenzierung der Schwermetallgesamtgehalte ($\text{mg kg}^{-1} \text{m}_T$) in Böden forstwirtschaftlich genutzter Standorte des Maintales (Flußabschnitt: Karlstadt - Kitzingen)	70
Tabelle A11: Räumliche Differenzierung der Schwermetallgesamtgehalte ($\text{mg kg}^{-1} \text{m}_T$) in Böden forstwirtschaftlich genutzter Standorte des Maintales (Flußabschnitt: Kitzingen - Hassfurt)	71
Tabelle A12: Räumliche Differenzierung der Schwermetallgesamtgehalte ($\text{mg kg}^{-1} \text{m}_T$) in Böden forstwirtschaftlich genutzter Standorte des Maintales (Flußabschnitt: Hassfurt - Bamberg)	72
Tabelle A13: Räumliche Differenzierung der Schwermetallgesamtgehalte ($\text{mg kg}^{-1} \text{m}_T$) in Böden forstwirtschaftlich genutzter Standorte (Flußabschnitt: Bamberg - Erlangen)	73
Tabelle A14: Räumliche Differenzierung der Schwermetallgesamtgehalte ($\text{mg kg}^{-1} \text{m}_T$) in Böden forstwirtschaftlich genutzter Standorte (Flußabschnitt: Erlangen - Nürnberg)	74
Tabelle A18: Konzentrationsbereiche, arithmetische Mittelwerte und Standardabweichungen der Schwermetallgesamtgehalte ($\text{mg kg}^{-1} \text{m}_T$) und pH-Werte in Böden forstwirtschaftlich genutzter Standorte des Maintales	78
Tabelle A19: Konzentrationsbereiche, arithmetische Mittelwerte und Standardabweichungen der Schwermetallgesamtgehalte ($\text{mg kg}^{-1} \text{m}_T$) und pH-Werte in Böden forstwirtschaftlich genutzter Standorte des Regnitztales	79

Tabelle A20: Konzentrationsbereiche, arithmetische Mittelwerte und Standardabweichungen der Schwermetallgesamtgehalte ($\text{mg kg}^{-1} \text{ m}_T$) und pH-Werte in Böden forstwirtschaftlich genutzter Standorte des Pegnitztales	80
Tabelle A21: Konzentrationsbereiche, arithmetische Mittelwerte und Standardabweichungen der Schwermetallgesamtgehalte ($\text{mg kg}^{-1} \text{ m}_T$) und pH-Werte in Böden forstwirtschaftlich genutzter Standorte des Rednitztales	81
Tabelle A22: Grenzwertüberschreitungen (<i>kursiv gedruckt</i>) gemäß der AbfKlärV vom 15.04.1992 in Acker-Oberböden (Angaben in $\text{mg kg}^{-1} \text{ m}_T$)	82
Tabelle A23: Grenzwertüberschreitungen (<i>kursiv gedruckt</i>) gemäß der AbfKlärV vom 15.04.1992 in Acker-Unterböden (Angaben in $\text{mg kg}^{-1} \text{ m}_T$)	83
Tabelle A24: Grenzwertüberschreitungen (<i>kursiv gedruckt</i>) gemäß der AbfKlärV vom 15.04.1992 in Grünland-Oberböden (Angaben in $\text{mg kg}^{-1} \text{ m}_T$)	84
Tabelle A25: Grenzwertüberschreitungen (<i>kursiv gedruckt</i>) gemäß der AbfKlärV vom 15.04.1992 in Grünland-Unterböden (Angaben in $\text{mg kg}^{-1} \text{ m}_T$)	86
Tabelle A26: Grenzwertüberschreitungen (<i>kursiv gedruckt</i>) gemäß der AbfKlärV vom 15.04.1992 in Garten-Oberböden (Angaben in $\text{mg kg}^{-1} \text{ m}_T$)	87
Tabelle A27: Grenzwertüberschreitungen (<i>kursiv gedruckt</i>) gemäß der AbfKlärV vom 15.04.1992 in Ober- und Unterböden sog. "leichter" Böden (Tongehalt < 5%) oder Böden mit pH-Werten zwischen pH 5 und pH 6 (Angaben in $\text{mg kg}^{-1} \text{ m}_T$)	87

Verzeichnis der Abbildungen:

Abbildung 1: Häufigkeitsverteilung der Chrom- und Nickelgesamtgehalte in Ober- und Unterböden von Ackerstandorten	42
Abbildung 2: Häufigkeitsverteilung der Chrom- und Nickelgesamtgehalte in Ober- und Unterböden von Grünlandstandorten	43
Abbildung 3: Häufigkeitsverteilung der Kupfer- und Zinkgesamtgehalte in Ober- und Unterböden von Ackerstandorten	44
Abbildung 4: Häufigkeitsverteilung der Kupfer- und Zinkgesamtgehalte in Ober- und Unterböden von Grünlandstandorten	45
Abbildung 5: Häufigkeitsverteilung der Cadmium- und Bleigesamtgehalte in Ober- und Unterböden von Ackerstandorten	46
Abbildung 6: Häufigkeitsverteilung der Cadmium- und Bleigesamtgehalte in Ober- und Unterböden von Grünlandstandorten	47

Abbildung 7: Häufigkeitsverteilung der Quecksilbergesamtgehalte in Ober- und Unterböden von Acker- und Grünlandstandorten	48
Abbildung 8: Häufigkeitsverteilung der Chrom- und Nickelgesamtgehalte in Auflagen, Ober- und Unterböden von Forststandorten	50
Abbildung 9: Häufigkeitsverteilung der Kupfer- und Zinkgesamtgehalte in Auflagen, Ober- und Unterböden von Forststandorten	51
Abbildung 10: Häufigkeitsverteilung der Cadmium- und Bleigesamtgehalte in Auflagen, Ober- und Unterböden von Forststandorten	52
Abbildung 11: Häufigkeitsverteilung der Quecksilbergesamtgehalte in Auflagen, Ober- und Unterböden von Forststandorten	53

Verzeichnis der Abkürzungen:

a	Jahr
A	organische Auflage
AbfKlärV	Klärschlammverordnung
A-Horizont	organo-mineralischer Oberbodenhorizont
B-Horizont	mineralischer Horizont unter dem A-Horizont ("Unterbodenhorizont")
C-Horizont	mineralischer Untergrundhorizont (i.d.R. das Ausgangsgestein der Bodenbildung)
Cd	Cadmium
cm ³	Kubikzentimeter
Cu	Kupfer
Cr	Chrom
d	Tag ("day")
g	Gramm
GLA	Bayerisches Geologisches Landesamt, München
Hg	Quecksilber
k.A.	keine Angaben
kg	Kilogramm
l	Liter
m	Meter
mg	Milligramm (= 10 ⁻³ g)
m _T	Trockensubstanz
n	Stichprobenumfang
n.a.	nicht analysiert
n.b.	nicht beprobt
O	Oberboden
Pb	Blei
pH	Maßzahl für die Wasserstoffionenkonzentration (pH = -log c _{H+})
ppm	parts per million (entspricht mg kg ⁻¹ m _T)
s	Standardabweichung
StMLU	Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen
TK-Nr.	Nummer der Topographischen Karte
U	Unterboden
\tilde{x}	50% Perzentil (= Medianwert)
\bar{x}	arithmetischer Mittelwert
Zn	Zink

1 Einleitung

Die Inventur von Umweltchemikalien in Böden sowie deren Transport und Verhalten ist in den letzten Jahren zunehmend in den Vordergrund des wissenschaftlichen Interesses gerückt. Dies liegt vor allem daran, daß mit Eintrag atmosphärischer Säuren in Böden deren Pufferkapazität herabgesetzt werden kann und dies eine Verlagerung von Schadstoffen ins Grundwasser begünstigt. Die Bestandsaufnahme und die Dynamik von Schadstoffen in Auenböden findet immer größere Beachtung, da in der BRD ca. 20% des Trinkwassers als Uferfiltrat von Oberflächengewässern gewonnen wird (BMI, 1975).

Auen sind aufgrund ihres Wasser- und Stoffhaushaltes dynamische Systeme, die starken Veränderungen unterliegen. Entsprechend unterschiedlich sind dort die Prozesse der Pedogenese im Vergleich zu terrestrischen Standorten. Geht man bei terrestrischen Böden davon aus, daß der flächenhaft bedeutendste Anteil des anthropogenen Schwermetalleintrages (von Zusatzeinträgen über Düngungsmaßnahmen abgesehen) über die Atmosphäre erfolgt, muß dies für Auenböden nicht unbedingt gelten. So weisen auf der einen Seite die Untersuchungsergebnisse von SCHÖNFISCH (1990) an Main und Oberrhein auf eine Zunahme der Schwermetallgesamtgehalte von älteren zu jüngeren Auensedimenten hin, die im ursächlichen Zusammenhang mit den erhöhten atmosphärischen Schwermetalleinträgen der Neuzeit stehen könnten. Andererseits wurden jedoch auch in Einzelfällen erhöhte Gehalte in den älteren Auensedimenten registriert, was für einen anthropogenen Schwermetalleintrag über das oberflächennahe Grundwasser sprechen könnte (vgl. JONECK, 1987). Diese Sachlage erschwert in den Auenböden die Abschätzung anthropogener Schwermetallkonzentrationen mittels der Schwermetallgesamtgehalte, wie sie z.B. RUPPERT (1991) und BOR & KRZYZANOWSKI (1987) für terrestrische Böden vorschlagen erheblich bzw. schließt eine Anwendung dieser Verfahren aus.

Für die ökologische Beurteilung von Schwermetallgehalten in Böden und die Ableitung transferpfadabhängiger Gefährdungspotentiale wird man künftig neben den Schwermetallgesamtgehalten auch auf leichter verfügbare Schwermetallfraktionen zurückgreifen müssen (vgl. HORNBERG, 1991). Ansätze zur Vorgehensweise bieten zum Beispiel die Arbeiten von TESSIER et al. (1979) und FÖRSTNER (1983) für Sedimente, von PRÜß et al. (1991) und BRÜMMER et al. (1986) für Böden sowie von DÜRETH-JONECK (1993) für kontaminierte Böden. Inwieweit sich dadurch neue Gesichtspunkte für die Frage der Trennung geogener/pedogener und anthropogener Schwermetallgehalte in Böden ergeben muß die Zukunft zeigen.

Der vorliegende Fachbericht konzentriert sich auf die **Inventur** der Schwermetallgesamtgehalte in Böden, einem wichtigen Teilaspekt des Bodenkatasters Bayern. In Verbindung mit dem GLA-Fachbericht 4 "Schwermetallgehalte in Böden des Donautales" liegt somit ein ausführlicher Überblick über die Schwermetallgesamtgehalte der Böden in den beiden größten Entwässerungssystemen Bayerns vor.

2 Material und Methoden

Bei der Bodenprobennahme durch das Bayerische Geologische Landesamt (GLA) stand die repräsentative Auswahl der Standorte im Vordergrund. Unterschiedliche Flußabschnitte, Talbereiche und Nebenflüsse fanden dabei ebenso Beachtung wie die unterschiedlichen Nutzungen und die große Vielfalt der Böden. Insgesamt wurden im Rahmen des vom Bayerischen Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen geförderten Vorhabens 329 Standorte ausgewählt und 773 Bodenproben (Einzelproben) gezogen. Die Analysen wurden im GLA sowie im Staatlichen Forschungsinstitut für Geochemie, der GLA-Außenstelle in Bamberg durchgeführt. Die Analysemethoden sind RUPPERT et al. (1987b) bzw.

RUPPERT et al. (1988) zu entnehmen. Die Standort- und Profilbeschreibung erfolgte nach ARBEITSGRUPPE BODENKUNDE (1982).

3 Geologie und Flußgeschichte

3.1 Das Maintal von Aschaffenburg bis Lichtenfels

Falls nicht gesondert zitiert lehnen sich die folgenden Ausführungen an die Wasserwirtschaftliche Rahmenuntersuchung von Donau und Main (BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT, 1980) an.

Das Main Einzugsgebiet umfaßt einen Teil der süddeutschen Großscholle und setzt sich aus sehr heterogenen geologischen Baueinheiten zusammen. So durchfließt der Main zwischen Aschaffenburg und Lichtenfels die Trias- und Jura-Ablagerungen des Fränkischen Schichtstufenlandes. Sie stellen den flächenmäßig größten Anteil am Main Einzugsgebiet dar. Im Frankenwald, der Münchberger Gneismasse und dem Fichtelgebirge im Osten, sowie im Spessart, Odenwald und Taunus im Westen stehen die Gesteine des variskischen Sockels an.

Der heutige Verlauf des Maintales ist das Ergebnis einer wechselvollen Entwicklungsgeschichte. Im Jungtertiär war das Maintal zum südlichen Molassebecken und zur Donau hin gerichtet ("Urmain"). Der Anschluß an das rhenanische Entwässerungssystem erfolgte gegen Ende des Ältestpleistozäns (BRUNNACKER et al., 1978). Bis ins Jungpleistozän folgten mehrere Phasen kräftiger Erosion und fast ebenso starker Schotterakkumulation. Dabei wurden die aufgeschütteten Mittelterrassen nach anschließender linienhafter Eintiefung und erneuter Akkumulation von den Niederterrassen abgelöst.

Der ständige Wechsel von Erosion und Akkumulation mit unterschiedlichen Stammlagen (Eiche, Kiefer) charakterisiert auch die holozäne Flußgeschichte und prägte schließlich das heutige Bild des Flußlaufes. Nach JERZ (1986) setzte dabei der Main seine postglazialen und jüngsten Kies- und Sandablagerungen ab. Es lassen sich eine Ältere und eine Jüngere Auenstufe unterscheiden, die beide noch von größeren Hochwässern überflutet werden können. Gesäumt wird das Flußbett des Mains im wesentlichen von würmeiszeitlichen Niederterrassen - oder generell ungegliederten Terrassenschotter. In SCHWARZMEIER (1977) finden sich darüberhinausgehend detaillierte Angaben zur Terrassengliederung und der Flußgeschichte des Main.

- Talabschnitt: Aschaffenburg - Karlstadt (Buntsandsteingebiet)

Im Bereich zwischen Aschaffenburg und Marktheidenfeld ist das z.T. mehrere 100 m tief eingeschnittene Maintal durch eine vorwiegend asymmetrische Talform und starke Schlingenbildung des Flusses gekennzeichnet. Talverengungen bis auf wenige 100 m sind keine Seltenheit.

Die Terrassen, als Überreste einer ehemals mächtigen Kies- und Sandfüllung des Maintales, lagern sich am Gleithang an. Ohne merkliche Abstufungen gehen sie in die Buntsandsteinhöhen des Spessarts über. Am Prallhang läßt der Fluß kaum Platz für eine breite Talaua.

Die altpleistozänen Ablagerungen bestehen fast durchgehend aus Mittel- bis Grobkies mit unterschiedlichen Sandanteilen. Bei den jüngeren Ablagerungen entfallen ca. 40-60 % auf den Schluff- und ca. 30 % auf den Feinsandanteil. Der Rest verteilt sich auf die Mittel- bis Grobsandfraktion. Kleinere Kiesgerölle können zum Teil mit eingestreut sein.

Zwischen Marktheidenfeld und Karlstadt verläuft der Main in einem sehr engen Talbett. Nur an wenigen Stellen, wie etwa bei Steinbach und Karlstadt, erweitert sich das Maintal. Die überwiegend steil ansteigenden Talflanken werden im allgemeinen vom Buntsandstein gebildet. Auf der Höhe des Wernzuflusses gehen die meist bewaldeten Talhänge des Buntsandsteines in die oft kahlen, oder mit Weinbergen bestandenen Talhänge des Muschelkalkes über.

Die Talaufschüttung ist aus sehr unterschiedlichem Material aufgebaut und wechselt sowohl horizontal als auch vertikal sehr rasch. So liegen Grob- bis Feinkiese in Wechsellagerung mit Sanden, Geröllen und Tonschichten. Steinlagen und örtlich begrenzt auch Tonschichten treten dabei bevorzugt an der Basis auf. Zum Jüngeren hin nimmt im allgemeinen der Sandanteil zu, der dann in die **holozäne Überdeckung aus Feinsand und sandigem Lehm übergeht**.

Wie zu erwarten war, zeigt die petrographische Zusammensetzung der Grobkiese von Karlstadt mainabwärts eine Abnahme des Muschelkalkanteils bei gleichzeitigem Anstieg der Buntsandsteinkomponente an. Eine generelle Unterscheidung der petrographischen Zusammensetzung nach dem Alter kann nicht festgestellt werden. Jedoch konnte SCHWARZMEIER (1979) zumindestens in einigen Bereichen in den jüngeren Schüttungen einen größeren Muschelkalkanteil nachweisen.

- **Talabschnitt: Karlstadt - Schweinfurt**

Dieser Bereich des Mittelmains ist morphologisch weitgehend vom Muschelkalk geprägt, obwohl im östlichen Teil des Maindreieckes der Keuper bereits an die Talflanken herunter reicht. Das Schweinfurter Becken ist dabei aufgrund verschiedener tektonischer und flußgeschichtlicher Ereignisse gesondert zu betrachten.

Zwischen Karlstadt und Würzburg streichen jüngere Schichten des Unteren Muschelkalkes unter die Quartärsedimente ein. Am Talrand bildet der Untere Muschelkalk, der überwiegend aus Mergelkalksteinen mit Zwischenschaltungen von sehr harten Kalksteinbänken aufgebaut ist, markante Steilstufen aus.

Die quartären Talablagerungen des Mains beschränken sich in diesem Abschnitt vornehmlich auf schmale, talbegleitende Terrassenstufen. In den älteren, hochgelegenen Bereichen bestehen die Sande, mit vereinzelt Kieslagen und Geröllen aus über 50 % Quarziten, der Rest entfällt auf Sandsteine, schwarze Kieseliefer, Hornsteine und Muschelkalkgerölle. In den jungpleistozänen Sedimenten ist eine Zunahme von Muschelkalkgeröllen in der Grobkiesfraktion zu beobachten.

Südlich von Würzburg streicht der Mittlere Muschelkalk in Talniveau ein und bildet unmittelbar die Unterlage der Talsedimente. Tone, Tonschiefer, Mergel, Mergelsteine und Gipsinseln dominieren die Gesteinszusammensetzung des Mittleren Muschelkalkes. Bevorzugt an der Basis im oberen Profilbereich sind auch dolomitische Kalksteine, Zellenkalke und Oolithe vertreten. Unmittelbar darüber folgen im Talbereich bis über 10 m mächtige Mergel, deren stratigraphische Stellung noch nicht eindeutig geklärt ist. Die **jüngsten Schichten sind Auenlehmüberdeckungen unterschiedlicher Mächtigkeit**.

Etwa ab Ochsenfurt, also ab der Spitze des Maindreieckes, verschwinden die Gesteine des Mittleren Muschelkalkes völlig als Liegendes der Mainsedimente. An ihre Stelle treten die Gesteine des Oberen Muschelkalkes. Der Obere Muschelkalk ist hier durch eine Wechsellagerung von Kalk- und Mergelbänken gekennzeichnet und begleitet die unteren Talhänge bis zum Beginn des Schweinfurter Beckens. Im westlichen Maindreieck liegen ältere grundwasserfreie Terrassensedimente von über 15 m Mächtigkeit, die im östlichen Maindreieck jedoch stark abnehmen. Dafür nimmt aber dort deren flächenhafte Verbreitung zu, was insbesondere für den linksseitigen, flach geneigten Maintalhang zutrifft.

Im Geröllspektrum macht sich gegenüber den flußabwärts liegenden Talstrecken der Einfluß des Keupers immer stärker bemerkbar. So erhöht sich der Anteil mesozoischen Sandsteins (ohne Buntsandstein) von ca. 10 % bei Würzburg auf über 80 % nördlich von Kitzingen. Der Muschelkalkanteil hat hier sein Maximum bereits überschritten und sinkt auf unter 50 % südlich von Schweinfurt.

Die **quartäre Talfüllung** ist in der Regel wie folgt aufgebaut. Unter der Auenlehmüberdeckung (überwiegend sandig, schluffige Sedimente, tonarm, wenig Kies, einzelne Steine, 1,0 - 1,5 m Mächtigkeit) liegen mehrere Meter mächtige Sandpakete mit einem deutlichen Maximum im Mittel- und Grobsandanteil. Der Ton- und Schluffanteil überschreitet nur selten 20 %. Der Kiesanteil liegt z.T. über 25 %.

In Folge tektonischer Verstellungen konnte sich im Bereich um Schweinfurt eine geologische Mulde herausbilden. Das Abtauchen des Muschelkalkes südlich von Schweinfurt begünstigte diese Entwicklung, da hier zum ersten Mal die Keupersedimente unter die Mainsohle abgleiten und das Liegende der Quartärschotter bilden. Vermutlich durch die leichte Erodierbarkeit der tonigen Keuperschichten bedingt, wurde dabei vor allem die linksmainische Verebnungsflächen begünstigt. Im Osten dieser Verebnungsfläche sind alte Schotterreste erhalten, die einem ehemals südlicher verlaufendem Main zuzurechnen sind. Erst das Heraustreten des Muschelkalkes an den Talrändern östlich von Schweinfurt bedingt wieder eine zunehmende Verengung des Maintales.

- **Talabschnitt: Schweinfurt - Haßfurt**

Ab dem östlichen Rand des Schweinfurter Beckens mainaufwärts wird die Talmorphologie wieder vom Oberen Muschelkalk bestimmt. Da der Muschelkalk im Vergleich zu den weichen Schichten des Keupers der Erosion einen größeren Widerstand entgegengesetzt, ist demzufolge das Maintal hier nur wenige hundert Meter breit.

Der Talbereich wird nach KÖRBER (1962) beinahe ausschließlich von der Unteren Niederterrasse eingenommen und stellt somit ein relativ gleichmäßiges Niveau dar. Die Mächtigkeiten der Talfüllung schwanken dabei im Durchschnitt zwischen 5 und 8 m. Die Verteilung der Korngrößen bis ca. 4 m unter Geländeoberkante zeigt ein Übergewicht des Sandanteils mit ca. 70-80 % an. Der Rest entfällt in den **obersten 2,5 m auf lehmige, tonige Auenablagerungen** und zwischen 2,5 und 4 m zunehmend auf grobklastisches Material (> 63 mm), steigt nach unten weiter an und wächst an der Quartärbasis stellenweise bis auf über 60 % an.

- **Talabschnitt: Haßfurt - Bamberg**

In diesem Abschnitt des Maintales folgen die triassischen Schichten entsprechend dem generellen Einfallen des nordbayerischen Schichtstufenlandes nach Südosten. An den talumrandeten Hängen begleiten das Maintal flußaufwärts immer jüngere Schichten. Die überwiegend tonigen Gesteine des Unteren Keupers und die Myophorien- und Estheriensichten des Mittleren Keupers bilden das flachwellige Hügelland vor dem Steigerwaldanstieg. In dieses Hügelland hat sich der Main eingebettet und eine relativ breite Talaue ausgeräumt. Erst die Sandsteinpakete, beginnend mit dem Schilfsandstein, lassen wieder markantere Geländeformen entstehen, die dann zur eigentlichen Steigerwaldstufe ansteigen. Bis kurz vor Bamberg kommt es daher in diesem Bereich zu einer zwar mäßigen, aber deutlichen Talverengung und einer markanten morphologischen Abgrenzung der Talaue gegen die Schichten des Keupers. An der nördlichen Begrenzung des sog. "Bamberg Kessels" erscheinen bereits die Schichten des Rhät-sandsteins, die in den Jura überleiten. Für die erneute Talausweitung zum Bamberger Kessel macht FREYBERG (1955) den Feuerlettenausbiß im Osten und den Talrandbereich im Westen maßgeblich verantwortlich.

Die Mächtigkeit der gesamten Talfüllung ist sehr unterschiedlich. In der Regel 5-8 m, örtlich auch über 12 m. Nach SCHIRMER (1973) ist der tiefste Teil der quartären Talfüllung während der letzten Eiszeit gebildet worden und beträgt durchschnittlich 2-2,5 m. Die größten Schwankungen bezüglich ihrer Schichtdicke weisen die **jüngsten Mainablagerungen auf, die örtlich bis über 5 m betragen können.** Hinsichtlich der Korngrößenverteilung überwiegen in diesen **Sedimentdecken der Schluff- und Feinsandanteil**, wobei sie von einzelnen Kies- und Tonschnüren und häufig von organischer Substanz durchsetzt werden. Nach FUGMANN (1976) repräsentieren diese Feinsedimente geologisch gesehen eine relativ kurze Akkumulationsphase des Flusses, die etwa im Frühmittelalter einsetzt und im Hochmittelalter ihren Höhepunkt erreicht.

- **Talabschnitt: Bamberg - Lichtenfels**

In seinen Randbereichen wird dieser Talabschnitt, aus stratigraphischer Sicht vom Burgsandstein über Feuerletten und Rhätsandstein bis zum Lias begleitet. Die Talform ist in der Regel deutlich asymmetrisch angelegt. Die rechtsmainische Talflanke hebt sich relativ steil aus der Talaue empor. Vereinzelt sind hier altpleistozäne Terrassenreste angelagert. Der linksmainische Talrand ist im Gegensatz dazu durch einen flachen Anstieg mit größeren Terrassenflächen gekennzeichnet. Ihre Verbreitung gilt bis in eine Höhe von 80 m über dem heutigen Main als gesichert. Im letzten Drittel dieses Abschnittes wird dann dieser linksmainische Saum altpleistozäner Terrassen schmaler und die Juralandschaft mit ihrem ausgeprägten Relief tritt näher an den Main heran.

Der Sedimentaufbau des Talquartärs entspricht in seinem Profil in etwa dem des Mittelmainabschnittes. Auch hier beginnt die Abfolge über dem Liegenden mit einer Schicht aus Sand und Kies. Darüber folgen Sande, die gegen die Oberfläche mit feinkörnigen Lehmen und Schluffen abschließen.

3.2 Geologie der Flußtäler von Rednitz, Pegnitz und Regnitz

Die Flüsse Rednitz und Regnitz stellen einen nahezu meridional verlaufenden Hauptentwässerungszug dar. Beinahe das gesamte mittelfränkische Becken, sowie große Teile der nördlichen und mittleren Frankenalb werden dadurch an die rheinische Entwässerung angeschlossen. Die Anlage des Talzuges ist alt. Er ist erstmalig im Miozän als Teilstück eines präriesischen Flußsystems faßbar, welches den Nordosten Bayerns südwärts zum Molassebecken hin entwässerte (Urmain)(WEICKEN, 1982).

In dem untersuchten Flußabschnitt zwischen Schwabach und Fürth durchfließt die **Rednitz** die mesozoischen Sedimente des Keupers (Sandstein-, Gipskeuper). Der Sandsteinkeuper wird vorwiegend aus Sandsteinbänken und untergeordnet Zwischenletten aufgebaut. Dolomiteinlagen treten vereinzelt auf. Der Gipskeuper besteht überwiegend aus Tonsteinen mit eingeschalteten Steinmergel und Gipslagen. Östlich des Flußlaufes sind die **mesozoischen Sedimente z.T. von spätwürmzeitlichen Flug- bzw. Decksanden überlagert.** Entstehung und Ausprägung der Terrassen verlaufen entsprechend der Entwicklung im Maintal. Die Talbreite ist jedoch im Vergleich zum Maintal geringer. Entsprechend eingeschränkt sind die fluviatilen Ablagerungen.

Die **Pegnitz** durchquert bis zur Mündung in die Regnitz den gesamten Frankenjura. Besonders auffällig ist dabei der scharfe Knick mit dem der Fluß bei Hersbruck aus der Nord-Süd- in die Ost-West-Richtung umbiegt. Unser Untersuchungsgebiet im Pegnitztal beschränkt sich dabei auf den Ost-West verlaufenden Talabschnitt.

In diesem Bereich durchfließt die Pegnitz Dogger, Lias (mit Oberen Keuper), Feuerletten und Sandsteinkeuper. Entsprechend heterogen ist die Zusammensetzung der Gesteinsablagerungen in die die Pegnitz ihren Flußlauf eingeschnitten hat. Sie reichen von Tonen, Mergeln, Sandsteinen und Kalken bis zu den Sandstein-Tonstein-Wechselfolgen des Sandsteinkeupers mit seinen dolomitischen Einlagerungen im Mündungsgebiet der Pegnitz. Die **Talfüllung besteht dort aus Sanden, Tonen und Schottern**, die einen wiederholten Wechsel zwischen Ausräumung und Wiederverfüllung zeigen (SPÖCKER, 1973). Auch hier ist die flächenhafte Ausweitung des Talgrundes im Gegensatz zu Ober- und Mittelmain gering.

Das **Regnitztal** durchschneidet zwischen Fürth und Forchheim den mittlern Keuper mit seinen vorwiegend sandigen Sedimentgesteinen in die mitunter Lettenbänder eingeschaltet sind. Ab Forchheim tritt dann der Lias und Obere Keuper hervor, wobei die Talränder der Regnitz zum Teil vom Feuerletten (Mittlerer Keuper) eingesäumt werden. In Richtung Bamberg hat sich der Fluß zwischen dem sogenannten Albvorland im Osten (Lias) und den Ausläufern des Steigerwaldes im Westen eingebettet. Die Schichten des Keupers, in geringem Maße auch die des Lias sind dabei vielfach von jüngeren Ablagerungen überdeckt.

Nach LANG (1970) begleiten die Regnitz zu beiden Seiten meist ältere fluviatile Ablagerungen des Holozäns ("Vorterrasse"). Sie nehmen eine Höhe von 3-5 m über dem Flußniveau ein und können eine Breite von mehr als 1 km erreichen.

Die holozänen Sedimente des Regnitztales lagern im allgemeinen auf pleistozänen Terrassensanden. Bis zur Basis des Quartärs gibt LANG (1970) Mächtigkeiten im Bereich um 20 m an. Die **jüngsten holozänen Ablagerungen ("Auenlehme")** erreichen im Regnitztal Mächtigkeiten zwischen wenigen Zentimetern und mehreren Metern. Sie haben größtenteils eine **lehmig-sandige Textur und sind in der Regel karbonatfrei** (SCHRÖDER, 1968).

4 Geogene Schwermetallgesamtgehalte potentieller Ausgangsmaterialien der Bodenbildung

In Tabelle 1 sind die Schwermetallgesamtgehalte potentieller Ausgangsmaterialien der Bodenbildung in den Untersuchungsgebieten zusammengestellt. Diese Gehalte stellen für das jeweilige Substrat bzw. Ausgangsgestein in erster Näherung die natürlichen, geogenen Schwermetallkonzentrationen bzw. Schwermetallkonzentrationsbereiche dar.

Auenböden sind aus sehr unterschiedlichem und weit verfrachtetem Substrat entstanden. Dieses Substrat ist i.d.R. eine komplexe Mischung verschiedener geogener Ausgangsmaterialien mit z.T. bereits andernorts vorverwittertem, erodiertem und anschließend wieder akkumuliertem Bodenmaterial. Wie die qualitative Zusammensetzung variiert auch das quantitative Mischungsverhältnis der einzelnen Gesteinskomponenten des Substrats. Insofern können die geogenen Grundgehalte in Auenböden nicht an Hand der in Tabelle 1 aufgeführten Schwermetallkonzentrationen abgeleitet werden. Sie geben allenfalls einen **Hinweis** auf die zu erwartenden geogenen Schwermetallkonzentrationsbereiche.

Zur Trennung geogener und pedogener/anthropogener Schwermetallanteile werden bei homogenem Substrat die Schwermetallgehalte der entsprechenden Cv-Horizonte (geogener Hintergrundwert) von den Gehalten der korrespondierenden Bodenhorizonte subtrahiert (vgl. RUPPERT, 1991). Liegen Substratgemische bzw. Substratschichtungen vor, wie z.B. im Auenbereich und bei terrestrischen Böden mit ausgeprägten Deckschichten (Einmischung schluffreichen Fremdmaterials), weist der oben skizzierte Ansatz jedoch deutliche Schwächen auf. In Auenböden verkompliziert sich der Sachverhalt zusätzlich dadurch, daß anthropogene Zusatzeinträge über oberflächennahes, vom Stoffgehalt des Vorfluters beeinflusstes Grundwasser zu einer Schwermetallanreicherungen in tieferen Bodenschichten führen kann (vgl.

Tabelle 1: Schwermetallgesamtgehalte (mg kg⁻¹ m_r) potentieller Ausgangsmaterialien der Bodenbildung im Maintal (zusammengestellt aus RUPPERT, 1987a)

Substrat	Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
LÖß, LÖBLEHM, SANDLÖß:						
Löß (21 Cv-Horizonte)	73 - 78	15 - 39	7 - 25	40 - 75	0,05 - 0,32	7 - 27
Sandlöß (8 Cv-Horizonte)	40 - 71	12 - 34	11 - 21	23 - 58	0,09 - 0,24	7 - 17
Kolluvium aus Lößlehm (5 M-Horizonte)	k.A.	15 - 30	10 - 21	40 - 55	0,15 - 0,35	9 - 25
MALM:						
Residualton (Mittelwert n=13)	119 ± 19	106 ± 42	38 ± 16	164 ± 58	0,72 ± 0,63	28 ± 6
Kalk	< 5	8	3	42	0,38	9
Dolomit	< 5	3	2	8	0,06	4
DOGGER:						
Dogger-Sandstein (2 Cv-Horizonte)	11	11	33	k.A.	k.A.	3
LIAS:						
Karbonatgestein	25	90	21	k.A.	k.A.	k.A.
Mergelkalk (Lias γ; Cv-Horizont)	16	38	14	k.A.	k.A.	11
FEUERLETTEN:						
schluffig, karbonathaltiger Tonstein (P-Horizont)	51	43	3	k.A.	k.A.	5
SANDSTEINKEUPER:						
Burgsandstein (Cv-Horizont)	8	3	2	10	0,01	< 2
Tonstein des Blasensandsteines (P-Horizont)	41	35	11	k.A.	k.A.	7
GIPSKEUPER:						
Schilfsandstein (2 Cv-Horizonte)	20	17	10	k.A.	k.A.	6
Myophorienschichten (Cv-Horizont; Tonstein, Tonmergel)	31	34	4	k.A.	k.A.	7
Estheriensschichten (Cv-Horizont; Tonmergel)	29	22	23	k.A.	k.A.	38
UNTERER KEUPER:						
mergelige Tone	88 - 171	18 - 88	24 - 109	39 - 82	k.A.	13 - 107
Haupt- oder Werksandstein (Cv-Horizont)	20	23	6	k.A.	k.A.	8

Fortsetzung Tabelle 1: Schwermetallgesamtgehalte (mg kg ⁻¹ m _T) potentieller Ausgangsmaterialien der Bodenbildung im Maintal (zusammengestellt aus RUPPERT, 1987)						
Substrat	Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
MUSCHELKALK:						
Oberer Muschelkalk (sandiger Dolomit)	k.A.	k.A.	k.A.	299 ± 250	k.A.	89 ± 74
Mittlerer Muschelkalk (Dolomit)	k.A.	k.A.	k.A.	400 ± 320	k.A.	65 ± 40
Untere Muschelkalk (Dolomit)	k.A.	k.A.	k.A.	69 ± 65	k.A.	173 ± 14
BUNTSANDSTEIN:						
Dickbanksandstein (2 Cv-Horizonte)	6	5	2	k.A.	k.A.	8
Sandsteine der Salmünster-Folge (2 Cv-Horizonte)	14	9	5	k.A.	k.A.	5
Anmerkungen: k.A.: keine Angaben						

JONECK, 1987; SCHÖNFISCH, 1990). Neben diesen Akkumulationseffekten durch die Schwermetallbindung vor allem an Fe- und Mn-Oxihydroxiden (HILLER, 1991) muß an hydromorphen Standorten mit einer erneuten Freisetzung der Schwermetalle gerechnet werden, sofern eine Veränderung des chemischen Milieus zur reduktiven Auf- bzw. "Anlösung" der Oxihydroxide führt.

5 Bodenkundlicher Überblick

5.1 Allgemeine Kennzeichnung der Böden und ihrer Schwermetallgesamtgehalte

Um Angaben über die Schwermetallbelastung in den Überschwemmungsbereichen der Flußgebiete machen zu können, ist die Beschaffenheit der jüngsten Sedimente in den Auenbereichen von Interesse. Diese Ablagerungen bestehen aus unterschiedlich großen, unterschiedlich weit transportierten Sedimenten. Im wesentlichen setzen sich die Auensedimente aus den drei Komponenten Kies, Sand und Schluff zusammen. In Abhängigkeit von den Liefergebieten besitzt das Ausgangsmaterial der Bodenbildung daher unterschiedliche physikalische und chemische Eigenschaften.

Vorherrschende Bodentypen im Maintal sind:

- Brauner Auenboden
- Brauner kalkhaltiger Auenboden
- Auengley
- Gley
- Pelosol
- Rendzina
- Braunerde
- Kolluvium

Die Bodenformen, als kleinste systematische Einheiten zur Kennzeichnung von Bodenprofilen variieren in Abhängigkeit vom Substrat und den örtlich stark unterschiedlichen Standortverhältnissen.

Tabelle 2: Bodenkundlichen Kenndaten und Schwermetallgesamtgehalte (Konzentrationsbereich; arithmetrischer Mittelwert (in Klammern)) in Böden des Maintales und ausgewählter Nebentäler

Bodentyp	Substrate und Standortmerkmale	Anzahl	Bodenkundliche Kenndaten *1						Schwermetallkonzentrationen (mg kg ⁻¹ m ⁻¹)						
			Ton	Schluff	Sand	CaCO ₃	Humus	pH	Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	Hg
Brauner Auenboden	mittlere bis jüngere, für den Main z.T. ältere Auenstufe (holozäne Talsedimente); grundwasserfern, überschwemmungsfähig;	O *2: n=82 U *3: n=82	2-30 (12)	5-70 (45)	10-93 (43)	< 0,5	2-4	4,1-7,4 (6,0)	11-47 (24)	6-41 (21)	6-70 (21)	22-238 (77)	0,15-1,86 (0,39)	11-86 (31)	0,04-0,21 (0,12) (n=17)
Brauner kalkhaltiger Auenboden	jüngster bis älterer Auenbereich, z.T. grundwasserbeeinflusst, Übersflutungsbereich (holozäne Talsedimente);	O: n=57 U: n=55	2-30 (11)	5-70 (43)	10-93 (46)	2-10	1-2	4,4-7,4 (6,1)	4-45 (22)	5-47 (21)	4-62 (18)	20-279 (63)	0,07-3,04 (0,27)	9-95 (23)	0,02-0,19 (0,08)
Auengley, kalkhaltiger Auengley, Brauner Auenboden, Brauner Auenboden-Auengley, kalkhaltiger Auengley-kalkhaltiger Brauner Auenboden, Auengley-kalkhaltiger Brauner Auenboden;	jüngere (z.T. jüngerer) bis älterer Auenbereich, grundwasserbeeinflusst, überschwemmungsfähig; (holozäne Talsedimente);	O: n=30 U: n=30	2-15 (12)	5-70 (53)	15-93 (35)	<0,5-1,0	2-4	4,3-7,3 (6,4)	18-88 (36)	12-46 (26)	10-197 (40)	49-392 (126)	0,20-2,75 (0,72)	22-158 (45)	0,06-0,67 (0,23) (n=20)
Braunerde, Peloso-Braunerde, Pseudogley-Braunerde, podsolige Braunerde, Podsol-Braunerde;	pleistozäne Terrassensande, terrestrischer Bereich, nicht überschwemmungsfähig, kalkfrei;	O: n=14 U: n=18	2-30 (9)	5-65 (25)	25-93 (66)	-	2-4	3,0-7,1 (4,3)	3-35 (12)	2-30 (9)	3-23 (9)	12-45 (28)	0,04-0,30 (0,15)	13-98 (34)	0,05-0,24 (0,12) (n=10/8*)
Podsol, Eisenhumuspodsol, Pseudogley-Podsol, Braunerde-Podsol;	pleistozäne Terrassensande, z.T. mit Flugsand überdeckt, terrestrischer Bereich, grundwasserfern, nicht überschwemmungsfähig, kalkfrei;	O: n=6 U: n=5	2-38 (8)	5-65 (25)	22-93 (67)	-	< 1	3,4-6,6 (4,5)	1-46 (12)	2-33 (9)	3-24 (7)	11-44 (26)	0,02-0,81 (0,12)	3-18 (12)	0,03-0,09 (0,05)
Kolluvium, Gley-Kolluvium	Akkumulation humosen Bodennaterials infolge holozäner Hangabspülung über pleistozänen Terrassensand, z.T. grundwasserbeeinflusst;	O: n=3 U: n=3	8-15	10-70	15-82	< 0,5	2-4	6,5-7,1	14-27	12-21	19-35	58-87	0,28-0,71	26-59	n.a.*3 n.a.
			10-15	20-70	15-70	< 0,5	1-2	6,7-7,6	15-26	11-26	17-26	45-58	0,16-0,52	22-54	n.a.

Fortsetzung Tabelle 2: Bodenkundlichen Kenndaten und Schwermetallgesamtgehalte (Konzentrationsbereich; Mittelwert (in Klammern)) in Böden des Maintales und ausgewählter Nebentäler

Bodentyp	Standortmerkmale	Anzahl	Bodenkundliche Kenndaten *1						Schwermetallkonzentrationen (mg kg ⁻¹ m _T)						
			Ton	Schluff	Sand	CaCO ₃	Humus	pH	Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	Hg
Pararendzina, Mullrendzina, Terra calcis, Braunerde-Pararendzina;	terrestrischer Bereich, nicht überschwemmungsgefährdet; (pleistozäne Terrassensedimente)	O: n=15	10-15 (14)	70-75 (71)	15	2-10	2-4	6,4-7,5 (7,1)	28-63 (41)	23-60 (35)	13-44 (22)	51-328 (82)	0,13-0,53 (0,25)	16-136 (33)	0,08-0,13 (0,1) (n=9)
		U: n=11	5-15 (9)	70-90 (82)	5-15 (9)	10-25	<<1	7,1-7,7 (7,4)	26-49 (35)	20-67 (33)	11-40 (18)	37-67 (51)	0,07-0,33 (0,13)	11-52 (18)	0,04-0,15 (0,07)
vergleyter Horisol, Hortisol, Auftragsböden;	stark anthropogen beeinflusste Böden, sehr unterschiedliche Standortbedingungen, z.T. grundwasserbeeinflusst; (holozäne bis pleistozäne Terrassensedimente, anthropogene Aufschüttungen);	O: n=10	8-18 (10)	10-65 (34)	25-82 (56)	0,5-2,0	2-4	6,1-7,3 (6,9)	11-95 (32)	8-50 (20)	13-135 (39)	64-426 (160)	0,32-2,79 (0,7)	33-190 (75)	0,09-0,55 (0,24) (n=8)
		U: n=7	2-18 (10)	5-65 (37)	25-93 (53)	0,5-2,0	1-2	6,8-7,4 (7,2)	7-77 (29)	1-33 (17)	10-100 (32)	26-296 (119)	0,12-2,24 (0,63)	20-72 (41)	0,08-0,55 (0,22)
Parabraunerde, Bänderparabraunerde;	terrestrischer Bereich, grundwasserferm; (pleistozäne Terrassensedimente);	O: n=7	10-15 (14)	70-75 (71)	15	<< 0,5	2-4	3,6-7,4 (4,9)	19-49 (30)	14-40 (25)	10-42 (18)	38-62 (51)	0,13-0,40 (0,27)	24-62 (39)	0,06-0,14 (0,1) (n=4/6*)
		U: n=5	5-30 (14)	60-90 (74)	5-15 (12)	-	-	3,8-7,5 (5,3)	21-41 (33)	16-37 (29)	10-37 (21)	34-53 (42)	0,06-0,18 (0,11)	6-23 (15)	0,03-0,12 (0,06)

ANMERKUNGEN: *1: der pH-Wert wurde im Labor mittels 0,01m CaCl₂ bestimmt; alle übrigen bodenkundlichen Kenndaten wurden im Gelände nach ARBEITSGRUPPE BODENKUNDE, 1982 bestimmt und sind in Gew. % angegeben;
 *2: O: Oberbodenhorizonte; n: Stichprobenumfang;
 *3: U: Unterbodenhorizonte; n: Stichprobenumfang;
 *4: (n=4/6): Anzahl der untersuchten Oberböden (n=4)/Anzahl der untersuchten Unterböden (n=6);
 *5: n.a.: nicht analysiert;

In Tabelle 2 wird versucht, die große Vielfalt der Böden im Untersuchungsgebiet vereinfacht darzustellen sowie einen ersten Überblick über deren bodenkundliche Kenndaten und Schwermetallgesamtgehalte zu geben. Dazu mußten Bodentypen bzw. Bodenformen in geeigneter Weise zusammengefaßt werden. Entsprechend nehmen naturgemäß die Schwankungsbreiten aller Parameter zu und unterstreichen damit den integrierenden Charakter dieser Tabelle. Die bodenkundlichen Kenndaten wurden, mit Ausnahme des pH-Wertes, im Gelände mit Hilfe der Bodenkundlichen Kartieranleitung (ARBEITSGRUPPE BODENKUNDE, 1982) abgeschätzt. Die Schwermetallgesamtgehalte und pH-Werte wurden nach RUPPERT (1987b) im Labor bestimmt.

5.1.1 Die Böden im Buntsandstein des Untermains (Flußabschnitt: Aschaffenburg - Gemünden)

Die Talaufschüttungen des Untermains sind gekennzeichnet durch Wechsellagerung von Grob- bis Feinkies mit Sanden, Geröllen und Tonschichten. Der Sandanteil vergrößert sich dabei zum Jüngerem hin, die holozänen Überdeckungen sind aus Feinsand und sandigem Lehm aufgebaut.

An Hand der vorliegenden Geländeaufnahmen lassen sich folgende Bodentypen im Unterlauf des Maines ausscheiden. Die angeführten Profilbeschreibungen kennzeichnen im folgenden einen charakteristischen Vertreter dieses Bodentyps.

- Brauner kalkhaltiger Auenboden (Ac)

Der Braune kalkhaltige Auenboden liegt meist im unmittelbaren Überflutungsbereich des Mains. Entwickelt hat sich dieser Boden aus den lehmig-sandigen, z.T. sandig schluffigen holozänen Ablagerungen fluviatiler Sedimente. Diese Ablagerungen sind durchgehend humushaltig und im tieferen Untergrund vergleht. Vereinzelt werden im Untergrund holozäne Schotter (II ICv-Horizonte) erreicht. Die Böden sind durch sekundäre Carbonatanreicherungen gekennzeichnet.

Ca. 37 % der beprobten Standorte werden durch diesen Bodentyp repräsentiert.

Profilbeschreibung:

Ahc	0 - 15 cm	dunkelbraungrauer, humoser, kalkhaltiger, lehmiger Sand;
aMc ₁	15 - 40 cm	braungrauer, schwach humoser, kalkhaltiger, schwach lehmiger Sand;
aMc ₂	40 - 105 cm	graubrauner, sehr schwach humoser, kalkhaltiger, schwach lehmiger Sand;
aMc ₃	105 - 150+ cm	graubrauner, sehr schwach humoser, kalkhaltiger, sehr schwach lehmiger Sand;

Tabelle 3: Schwermetallkonzentrationen (mg kg⁻¹ m_T) in Braunen kalkhaltigen Auenböden (Ac) des Maintales (Talabschnitt: Aschaffenburg bis Gemünden) (n=16);

Kenngrößen	Cr		Ni		Cu		Zn		Cd		Pb		Hg (n=15)	
	O	U	O	U	O	U	O	U	O	U	O	U	O	U
Minimum	15	12	12	9	13	7	50	26	0,23	0,12	23	12	0,05	0,03
Maximum	51	70	29	38	80	120	275	316	1,76	3,09	67	66	0,55	0,68
\bar{x}	31	27	19	18	30	26	124	95	0,67	0,52	40	34	0,24	0,22

Anmerkungen: O: Oberbodenhorizont U: Unterbodenhorizont
 \bar{x} : arithmetischer Mittelwert

Der pH-Wert liegt für Oberböden im Mittel bei pH 6,8, für Unterböden bei pH 7,1.

Braune Auenböden (An)

Die Braunen Auenböden haben sich aus holozänen Talsedimenten entwickelt, deren Korngrößen meist im Bereich der Schluff-, zum Teil aber auch im Bereich der Sandfraktion liegen. Die wechsellagig und unterschiedlich mächtigen Sedimentabfolgen sind bis in den tiefen Untergrund durchgehend humushaltig, örtlich sind sie durch hohe Carbonatgehalte, infolge sekundärer Carbonatanreicherung gekennzeichnet. In tieferen Bodenbereichen wurden Hydromorphiemerkmale registriert.

Ca. 26% der untersuchten Böden entfallen auf diesen Bodentyp.

Profilbeschreibung:

Ah	0 - 15 cm	dunkelbraungrauer, humoser, sandig lehmiger Schluff;
aM ₁	15 - 55 cm	braungrauer, schwach humoser, sandiger, schwach lehmiger Schluff;
aMc ₂	55 - 90 cm	graubrauner, sehr schwach humoser, kalkhaltiger sandiger Schluff;
aMc ₃	90 - 130 cm	hellbraungrauer, sehr schwach humoser, stark kalkhaltiger lehmiger Sand;
GoaMc	130 - 155+ cm	bräunlich grauer, sehr schwach humoser, stark kalkhaltiger sandiger Schluff, schwach rost- und schwach bleichfleckig;

Tabelle 4: Schwermetallkonzentrationen (mg kg⁻¹ m_T) in Braunen Auenböden (An) des Maintales (Talabschnitt: Aschaffenburg bis Gemünden) (n=12 für O/U; n=1 für A);

Kenngrößen	Cr		Ni		Cu		Zn		Cd		Pb		Hg (n=15)	
	A/O	U	A/O	U	A/O	U	A/O	U	A/O	U	A/O	U	A/O	U
Minimum	3/13	10	3/9	7	18/10	8	171 49	24	1,26 0,29	0,11	18/18	9	0,07 0,04	0,03
Maximum	36	33	27	26	36	29	153	111	1,07	0,33	86	95	0,21	0,19
\bar{x}	27	22	18	16	19	13	81	50	0,47	0,19	40	26	0,11	0,08

Anmerkungen: A: organische Auflagehorizonte O: Oberbodenhorizont
 U: Unterbodenhorizont \bar{x} : arithmetischer Mittelwert

Die pH-Werte liegen im Ober- und Unterboden bei durchschnittlich pH 5,8.

Auengley - Brauner kalkhaltiger Auenboden (AG-Ac)

Dieser Bodentyp tritt hauptsächlich im Bereich der jüngsten Auenstufe auf und ist durch unterschiedlich stark ausgeprägte Hydromorphierung gekennzeichnet. Der Grundwassereinfluß reicht z.T. bis wenige dm unter die Geländeoberkante. Das Körnungsspektrum umfaßt an diesen Standorten den Bereich vom lehmigen Sand bis zum lehmigen Schluff, mit Dominanz der sandigen Komponenten im Untergrund. Entsprechend den Braunen Auenböden sind auch hier die unterschiedlichen holozänen Sedimente tiefgreifend humos und stets carbonathaltig mit unterschiedlich stark ausgeprägten hydromorphen Merkmalen. Ca. 17% der beprobten Standorte werden durch diesen Bodentyp repräsentiert.

Profilbeschreibung:

Ah	0 - 20 cm	dunkelbraungrauer, humoser, kalkhaltiger, feinsandig-lehmiger Schluff;
aM	20 - 45 cm	graubrauner, schwach humoser, kalkhaltiger, feinsandiger, lehmiger Schluff; sehr schwach rostfleckig;
GoaM	45 - 80 cm	braungrauer, sehr schwach humoser, kalkhaltiger, feinsandiger Schluff; schwach rost- und bleichfleckig;
aMGo	80 - 125 cm	hellbraungrauer, sehr schwach humoser, kalkhaltiger, feinsandiger Schluff; rost- und bleichfleckig;
Gr	125 - 150+ cm	grauer, sehr schwach humoser, kalkhaltiger, schwach feinsandiger Schluff; sehr stark bleichfleckig;

Tabelle 5: Schwermetallkonzentrationen (mg kg⁻¹ m_r) im Auengley - kalkhaltigen Auenboden (AG-Ac) des Maintales (Talabschnitt: Aschaffenburg bis Gemünden) (n=8);

Kenn- größen	Cr		Ni		Cu		Zn		Cd		Pb		Hg	
	O	U	O	U	O	U	O	U	O	U	O	U	O	U
Minimum	20	19	12	14	14	12	52	39	0,3	0,15	29	20	0,06	0,04
Maximum	88	73	46	51	127	134	390	497	2,75	1,65	88	96	0,57	1,3
\bar{x}	45	38	28	27	45	41	176	157	1,17	0,61	46	44	0,26	0,39

Anmerkungen: O: Oberbodenhorizont U: Unterbodenhorizont
 \bar{x} : arithmetischer Mittelwert

Der pH-Wert liegt für Oberböden im Mittel bei pH 7,0, für Unterböden bei pH 7,1.

- Auengley - Brauner Auenboden (AG-A), Brauner Auenboden - Auengley (A-AG)

Beide Bodentypen haben sich aus den holozänen Talsedimenten des rezenten Überflutungsbereiches entwickelt. Petrographisch dominiert die Schluff-, im Untergrund dagegen teilweise die Sandfraktion. Im Unterschied zum Auengley-kalkhaltiger Auenboden sind diese Böden bis in den tieferen Untergrund entkalkt, 70 cm unter Geländeoberkante (Go-, Gr-Horizonte) ist das Solum humusfrei. Dadurch treten die hydromorphen Merkmale stärker in Erscheinung.

Beide Bodentypen repräsentieren ca. 9% der beprobten Untersuchungsstandorte.

Profilbeschreibung (AG-A):

Ap	0 - 25 cm	dunkelbraungrauer, humoser, feinsandiger, lehmiger Schluff;
aM	25 - 65 cm	graubrauner, schwach humoser, feinsandiger, lehmiger Schluff;
Go	65 - 125 cm	hellbraungrauer, stark schluffiger Feinsand; stark rost- und bleichfleckig;
Gor	125 - 150+ cm	grauer, feinsandiger Schluff; schwach rostfleckig, stark bleichfleckig;

Profilbeschreibung (A-AG):

GoAh	0 - 15 cm	dunkelbraungrauer, humoser, lehmiger Schluff; rostfleckig;
GoaM	15 - 55 cm	hellbraungrauer, sehr schwach humoser, sandiger, schwach lehmiger Schluff; rostfleckig;

aMGo 55 - 75 cm	hellrotbraungrauer, sehr schwach humoser, sandiger Schluff, stark rost- und bleichfleckig;
Go 75 - 100 cm	hellrotgrauer, sandiger Schluff, stark rost- und bleichfleckig;
Gor 100 - 150+ cm	hellrötlichgrauer, lehmiger Sand, schwach rost- und sehr stark bleichfleckig;

Tabelle 6: Schwermetallkonzentrationen (mg kg⁻¹ m_r) im Auengley-Brauner Auenboden (AG-A) und Brauner Auenboden-Auengley (A-AG) des Maintales (Talabschnitt: Aschaffenburg bis Gemünden) (n=4);

Kenngrößen	Cr		Ni		Cu		Zn		Cd		Pb		Hg (n=2)	
	O	U	O	U	O	U	O	U	O	U	O	U	O	U
Minimum	16	15	8	8	7	5	41	27	0,21	0,11	25	17	0,1	0,06
Maximum	40	24	17	18	33	15	169	60	0,83	0,28	158	33	0,24	0,1
\bar{x}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Anmerkungen: O: Oberbodenhorizont U: Unterbodenhorizont
 \bar{x} : arithmetischer Mittelwert (für n < 5 nicht berechnet)

Die pH-Werte liegen für Oberböden im Bereich von pH 4,3 bis pH 5,8, für Unterböden im Bereich von pH 4,4 bis pH 6,0.

- Pseudogley - Braunerde (S-B)

Mit zunehmender Entfernung vom rezenten Überflutungsbereich treten die bisher vorgestellten semiterrestrischen Böden in den Hintergrund, terrestrische Bodenformen bzw. Bodentypen dominieren. Diese Bodentypen besitzen keinen Anschluß zum Grundwasser des Auensystems. Die hydromorphen Merkmale der hier vorgestellten Pseudogley - Braunerden haben sich unter dem Einfluß von Stauwasser entwickelt. Verantwortlich dafür sind dicht gepackte Stauhazone pleistozänen Ursprungs. In Abhängigkeit von Exposition und Orographie überdecken durchschnittlich 50 cm mächtige Flugsande bzw. pleistozäne Sande und Kiese die pleistozänen sandig-tonigen Sedimenten der Niederterrassen. Ca. 6% der untersuchten Standorte werden durch den Bodentyp der Pseudogley-Braunerde repräsentiert.

Profilbeschreibung (S-B):

Ap	0 - 25 cm	braungrauer, humoser, sehr schwach kiesiger, sehr schwach grusiger, lehmiger Sand;
SwBv	25 - 45 cm	rötlichbraungrauer, sehr schwach kiesiger, sehr schwach grusiger, lehmiger Sand;
IISdBv	45 - 55 cm	graurötlichbrauner, sehr schwach kiesiger, sehr schwach grusiger, schwach toniger Sand; Konkretionen;
Bv	55 - 100+ cm	rötlich brauner, sehr schwach kiesiger, sehr schwach grusiger, schwach toniger Sand;

Tabelle 7: Schwermetallkonzentrationen (mg kg⁻¹ m_T) in Pseudogley-Braunerden (S-B) des Maintales (Talabschnitt: Aschaffenburg bis Gemünden);

Kenngrößen	Cr		Ni		Cu		Zn		Cd		Pb		Hg	
	A/O	U	A/O	U	A/O	U	A/O	U	A/O	U	A/O	U	A/O	U
Standort 1	9	9	6	5	7	7	29	24	0,16	0,09	16	11	n.b.	n.b.
Standort 2	19	18	13	11	8	7	34	33	0,24	0,19	18	15	n.b.	n.b.
Standort 3	5/10	11	10/6	5	22/7	5	95/30	25	1,17 0,1	0,05	93/51	15	0,32 0,14	0,05

Anmerkungen: A: organische Auflagehorizonte O: Oberbodenhorizont
 U: Unterbodenhorizont n.b.: nicht bestimmt

Die pH-Werte liegen im Oberboden zwischen pH 3,7 und pH 5,1, im Unterboden zwischen pH 3,8 und pH 5,3.

Auftragsböden (YY)

Die Auftragsböden werden der Gruppe der anthropogenen Böden zugeordnet. Sie sind durch das Auf- oder Einbringen von natürlichen und/oder künstlichen Substraten gekennzeichnet. Der heterogene Auftrag variiert vom feinsandigen, lehmigen Schluff bis zum steinig, grusigen Sand. Die Mächtigkeiten erreichen z.T. 125 cm, sind humos und karbonathaltig. Der Untergrund dieser Standorte wird aus schluffigen, sandigen Talsedimenten holozänen Ursprungs aufgebaut.

Aufgrund stark wechselnder anthropogener Überprägung dieser Böden können ihre Schwermetallgehalte sowohl von Standort zu Standort als auch zwischen den einzelnen Bodenhorizonten sehr stark variieren. Ca. 6 % der untersuchten Standorte werden durch diesen Bodentyp repräsentiert.

Profilbeschreibung (YY):

- jYAp 0 - 25 cm dunkelbraungrauer, humoser, carbonathaltiger, feinsandiger, lehmiger Schluff;
- jYh 25 - 70 cm braungrauer, schwach humoser, carbonathaltiger, feinsandiger, lehmiger Schluff;
- jY 70 - 125 cm violettgraubrauner, carbonathaltiger, sehr schwach steiniger, sehr schwach kiesiger, grusiger, lehmiger Sand;
- IIfAh 125 - 150+ cm schwärzlichgrauer, sehr schwach humoser, carbonathaltiger, schwach toniger, schluffiger Sand;

Tabelle 8: Schwermetallkonzentrationen (mg kg⁻¹ m_T) in Auftragsböden (YY) des Maintales (Talabschnitt: Aschaffenburg bis Gemünden) (n=3);

Kenngrößen	Cr		Ni		Cu		Zn		Cd		Pb		Hg	
	O	U	O	U	O	U	O	U	O	U	O	U	O	U
Standort 1	32	23	17	13	26	18	157	98	0,56	0,42	79	33	0,19	0,2
Standort 2	11	-	8	-	13	-	103	-	0,35	-	35	-	0,1	-
Standort 3	95	77	50	33	135	100	426	296	2,79	2,24	88	72	0,55	0,55

Anmerkungen: O: Oberbodenhorizont U: Unterbodenhorizont -: nicht beprobt

Die pH-Werte liegen für Oberböden im Bereich von pH 6,1 - 7,0, für Unterböden zwischen pH 7,0 und pH 7,2.

- **Podsolige Braunerde (pB)**

Dieser Bodentyp ist im Gesamtkollektiv nur einmal vertreten. Der Standort liegt ca. 1.000 m vom Auenbereich entfernt in einem Kiefernforst. Der Höhenunterschied zwischen dem Auenbereich und dem Standort beträgt ca. 60 m. (Jüngere) Fluviale Ablagerungen fehlen. Das Substrat ist durch Lößlehm und Geröllsandstein triasischen Ursprungs gekennzeichnet. Die quarzreichen, kieselig aber auch tonig verbackenen Sandsteine neigen zum raschen Absanden und sind somit für die schwach lehmige, vom Feinsand dominierte Bodenart verantwortlich. Der Boden ist durchwegs carbonatfrei, das saure Ausgangsgestein bestimmt die Höhe der pH-Werte. Im Oberboden liegt der pH-Wert bei 3,2, im Unterboden bei pH 3,7.

Profilbeschreibung (pB)

- L + 0,5 cm
- Of + 2 cm (Auflage: feinhumusarmer Moder)
- Oh + 1 cm
- Aeh 0 - 3 cm violettstichig, braungrauer, humoser, schwach steiniger, grusiger, schwach lehmiger Feinsand;
- Bv 3 - 37 cm fahlbrauner, steiniger, grusiger, sehr schwach lehmiger Feinsand;
- ICv 37 - 50 cm hellbraungrauer Sand;

Tabelle 9: Schwermetallkonzentrationen (mg kg ⁻¹ m _r) einer podsoligen Braunerde (pB) des Maintales (Talabschnitt: Aschaffenburg bis Gemünden)														
Kenngrößen	Cr		Ni		Cu		Zn		Cd		Pb		Hg	
	A/O	U	A/O	U	A/O	U	A/O	U	A/O	U	A/O	U	A/O	U
Standort	8/5	5	6/5	5	14/4	3	54/15	13	0,68 0,05	0,02	126 25	14	0,36 0,06	0,03

Anmerkungen: A: organische Auflage O: Oberbodenhorizont U: Unterbodenhorizont

5.1.2 Die Böden im Jura und Keuper des Obermains (Flußabschnitt: Karlstadt - Lichtenfels; tiefere Auenterrasse)

Folgende Bodentypen lassen sich an Hand der vorliegenden Geländeaufnahmen auf diesem Substrat ausscheiden.

- **Brauner Auenboden (An)**

Dieser Bodentyp hat sich aus Auensedimenten mit z.T. eingelagerten stärker humosen Lagen (Solumsediment) entwickelt. Die vereinzelt auftretenden Vergleyungen im tieferen Untergrund sind auf den Anschluß an oberflächennahes Grundwasser zurückzuführen. Ca. 70 % aller Probenentnahmestellen repräsentieren diesen Bodentyp.

Profilbeschreibung:

- Ap (Ah) 0 - 15 cm dunkelbraungrauer, mäßig humoser, lehmiger Schluff;
 aM₁ 15 - 40 cm graubrauner, schwach humoser, lehmiger Schluff bzw. sandig-lehmiger Schluff;
 aM₂ 40 - 90 cm braungrauer, sehr schwach humoser, schwach sandig lehmiger Schluff;
 II ICv 90 - 120 cm bräunlichgrauer, stark sandiger Kies;

Tabelle 10: Schwermetallkonzentrationen (mg kg ⁻¹ m _r) in Braunen Auenböden (An) des Maintales (Talabschnitt: Lichtenfels bis Hallstadt) (n = 32);												
Kenn- größen	Cr		Ni		Cu		Zn		Cd		Pb	
	O	U	O	U	O	U	O	U	O	U	O	U
Minimum	15	12	12	11	13	9	46	32	0,21	0,15	14	10
Maximum	44	44	41	47	58	62	238	279	1,86	3,04	71	68
\bar{x}	24	22	23	22	22	19	80	74	0,42	0,36	28	23

Anmerkungen: O: Oberbodenhorizont U: Unterbodenhorizont \bar{x} : arithmetischer Mittelwert

Der pH-Wert dieses Bodentyps liegt im Oberboden bei durchschnittlich 5,9 und Unterboden im Durchschnitt bei pH 6,1.

- Brauner kalkhaltiger Auenboden (Ac)

Dieser Bodentyp tritt als Variante des Braunen Auenbodens (An) auf. Im Probenkollektiv "Oberes Maintal" ist er nur einmal vertreten. Er unterscheidet sich im wesentlichen vom Braunen nur durch die mehr oder minder starke sekundäre Carbonatanreicherungen in den einzelnen Horizonten.

Profilbeschreibung:

- A(c)h 0 - 15 cm dunkelbraungrauer, mäßig humoser, carbonathaltiger, sandig lehmiger Schluff;
 aM(c)₁ 15 - 40 cm graubrauner, schwach humoser, carbonathaltiger, sandig lehmiger Schluff;
 aM(c)₂ 40 - 60 cm braungrauer, sehr schwach humoser, carbonathaltiger, sandig lehmiger Schluff;
 II ICv 60 - 100 cm + bräunlich grauer, carbonathaltiger, sandiger Kies;

Die Schwermetallgehalte liegen im Bereich durchschnittlicher Größenordnungen wie sie in Tabelle 3 für kalkhaltige Auenböden des Flußabschnittes Aschaffenburg - Gemünden angegeben sind.

Der pH-Wert liegt hier im Oberboden bei pH 7,0 und im Unterboden bei pH 7,3.

- Auengley - Brauner Auenboden (AG-A)

Bei deutlicher Vergleyung im Unterboden bilden sich z.T. fließende Übergänge zum Bodentyp **Brauner Auenboden - Auengley (A-AG)** aus.

Das im tieferen Untergrund vergleyte Kolluvium mit deutlich erkennbaren hydromorphen Merkmalen (Rost- und Bleichfleckung) ist für diesen Bodentyp charakteristisch. Vom Auengley unterscheidet er sich durch den Kolluvial-Horizont, der aus fluviatilen Sedimenten entstanden ist. Es handelt sich somit um einen allochthonen Auengley - Braunen Auenboden.

Profilbeschreibung:

Ah	0 - 15 cm	dunkelbraungrauer, mäßig humoser, sandig lehmiger Schluff;
aM	15 - 40 cm	braungrauer, schwach humoser, lehmiger Schluff;
GoaM	40 - 65 cm	hellbraungrauer, sehr schwach humoser, schluffiger Lehm, mit schwach rostfleckiger Eisen- und schwach bleichfleckiger Manganfärbung;
Go	65 - 95 cm	bräunlich grauer, schluffiger Lehm, mit hoher Rost- und mittlerer Bleichfleckigkeit;
Gro	95 - 150 cm	violettstichig grauer, grob grusiger toniger Sand; rost- und bleichfleckig;

Tabelle 11: Schwermetallkonzentrationen ($\text{mg kg}^{-1} \text{m}_T$) in Auengley - Brauner Auenboden des Maintales (Talabschnitt: Lichtenfels bis Hallstadt) (n = 4);

Kenngrößen	Cr		Ni		Cu		Zn		Cd		Pb	
	O	U	O	U	O	U	O	U	O	U	O	U
Minimum	23	22	22	21	15	14	52	39	0,28	0,17	22	14
Maximum	31	35	26	35	33	26	148	100	0,71	0,43	46	32
\bar{x}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Anmerkungen: O: Oberbodenhorizont U: Unterbodenhorizont
 \bar{x} : arithmetischer Mittelwert (für n < 5 nicht berechnet)

Von den Probenentnahmestellen im Bereich der tieferen Auenterrassen im Lias repräsentieren ca. 10 % diesen Bodentyp. Die pH-Werte liegen durchschnittlich bei pH 5,9 im Oberboden und pH 6,0 im Unterboden.

- Hortisol-Gley (YO-G)

Ca. 7 % der beprobten Auenböden entfallen auf die Gruppe anthropogenen Böden und sind bodentypologisch den Hortisolen zuzuordnen. Charakteristisch für diese Böden sind anthropogen beeinflusste Oberbodenhorizonte (teilweise auch Unterbodenhorizonte) in Folge der z.T. tiefgreifender bodenmischenden Meliorationsmaßnahmen. Sie sind durch erhöhte organische Substanzgehalte im Oberboden sowie durch Vergleyung im nahen Untergrund gekennzeichnet. Der pH-Wert dieser Böden liegt im Durchschnitt bei pH 6,6 im Oberboden und pH 6,9 im Unterboden.

Profilbeschreibung:

RAp	0 - 35 cm	schwarzgrauer, humoser bis stark humoser, sehr schwach lehmiger Sand;
Go	35 - 60 cm	hellbraun grauer, kiesiger Sand;
Gr	60 - 100 cm +	hellgrauer kiesiger Sand;

Tabelle 12: Schwermetallkonzentrationen ($\text{mg kg}^{-1} \text{m}_T$) in Hortisol-Gleyen (YO-G) des Maintales (Talabschnitt: Lichtenfels bis Hallstadt);

Kenngrößen	Cr		Ni		Cu		Zn		Cd		Pb	
	O	U	O	U	O	U	O	U	O	U	O	U
Standort 1	11	7	8	1	46	15	150	26	0,77	0,12	190	27
Standort 2	12	4	14	2	60	4	164	22	0,81	0,09	149	4
Standort 3	6	3	1	1	5	2	17	4	0,22	0,04	14	2

Anmerkungen: O: Oberbodenhorizont U: Unterbodenhorizont

- **podsolige Braunerden (pB), Braunerde-Podsole (B-P) und Eisenpodsol (Pe)**

Weitere ca. 7 % der beprobten Auenböden werden durch jeweils eine podsolige Braunerden (pB), einen Braunerde-Podsol (B-P) (im tieferen Untergrund oftmals pseudovergleyt) sowie einem Eisenpodsol (Pe) repräsentiert.

Petrographisch werden diese Bodentypen vom Flugsand bestimmt. Die Bodenart Sand ist bis in den tieferen Untergrund (150 cm +) anzutreffen. Stratigraphisch handelt es sich um eine spätwürmeiszeitliche sandreiche Deckschicht.

Profilbeschreibung:

L	+ 1 cm	(Auflage: F-Mull)
Of	+ 3 cm	
Ahe	0 - 3 cm	ungleichmäßig schwach gebleichter, schwach humoser Sand;
Ae	3 - 15 cm	grauer, gebleichter Sand;
Bsv	15 - 30 cm	brauner, mit Sesquioxiden angereicherter Sand;
Bv	30 - 50 cm	hellbrauner, schwach lehmiger Sand;
l Cv	50 - 120 cm	grauoranger Sand;
SwlCv	120 - 150 cm	orangegrauer, schwach gebleichter, rostfleckiger Sand;

Tabelle 13: Schwermetallkonzentrationen ($\text{mg kg}^{-1} \text{m}_r$) einer podsoligen Braunerde (pB), Braunerde-Podsole (B-P) und eines Eisenpodsols (Pe) des Maintales (Talabschnitt: Lichtenfels bis Hallstadt);

Kenngrößen	Cr		Ni		Cu		Zn		Cd		Pb	
	A/O	U	A/O	U	A/O	U	A/O	U	A/O	U	A/O	U
podsolige Braunerde	4/4	5	6/3	2	18/5	3	48/12	11	0,72 0,1	0,09	45/14	3
Braunerde-Podsol	4/1	1	4/2	2	18/3	2	57/7	6	0,65 0,23	0,05	31/6	5
Eisenpodsol	5/2	2	9/2	2	23/3	1	57/7	5	0,66 0,07	0,07	81/4	4

Anmerkungen: A: organische Auflagehorizonte; O: Oberbodenhorizont; U: Unterbodenhorizont;

Die pH-Werte liegen im mineralischen Oberboden durchschnittlich bei pH 3,6 und im Unterboden bei pH 4,2. Die relativ niedrigen pH-Werte sind für Böden mit Podsolierungsdynamik charakteristisch.

5.1.3 Die Böden der Täler von Regnitz, Pegnitz und Rednitz

- Brauner Auenboden (An)

Lehmig sandige bzw. lehmig schluffige holozäne Talsedimente meist über sandigem Kies oder Sand bilden das Ausgangsmaterial der allochthonen Braunen Auenböden (An). Typisch für diesen Bodentyp sind humose Lagen (Solumsediment), die oftmals bis in den tieferen Untergrund reichen. Ca. 25 % aller Probenentnahmestellen repräsentieren diesen Bodentyp.

Profilbeschreibung:

Ap (Ah) 0 - 15 cm dunkelbraungrauer, mäßig humoser lehmiger Schluff;
 aM₁ 15 - 40 cm graubrauner, schwach humoser lehmiger Schluff bzw. sandig-lehmiger Schluff;
 aM₂ 40 - 90 cm braungrauer, sehr schwach humoser, schwach sandig lehmiger Schluff;
 II ICv 90 - 120 cm bräunlichgrauer, stark sandiger Kies;

Tabelle 14: Schwermetallkonzentrationen (mg kg ⁻¹ m _r) in Braunen Auenböden (An) der Täler von Regnitz, Pegnitz und Rednitz (n = 26);												
Kenn- größen	Cr		Ni		Cu		Zn		Cd		Pb	
	A/O	U	A/O	U	A/O	U	A/O	U	A/O	U	A/O	U
Minimum	2/7	5	5/3	3	19/7	6	60/26	20	0,54 0,16	0,1	26/21	9
Maximum	5/58	23	8/33	26	64 243	439	174 465	265	1,58 1,98	0,56	50 239	164
\bar{x}	4 22	14	6 17	13	42 73	53	423 150	82	1,02 0,69	0,3	41 61	37

Anmerkungen: A: organische Auflagehorizonte; O: Oberbodenhorizont;
 U: Unterbodenhorizont; \bar{x} : arithmetischer Mittelwert;

Der pH-Wert dieses Bodentyps liegt im Oberboden bei durchschnittlich pH 6,1, im Unterboden bei pH 6,4 und in den organischen Auflagen unter Forst bei pH 4,0.

- Brauner kalkhaltiger Auenboden (Ac)

Eine Variante des allochthonen Braunen Auenbodens ist der kalkhaltige Braune Auenboden (Ac), der neben dem tiefreichenden Humusgehalt durch kalkhaltige Mineralbodenhorizonte infolge sekundärer Carbonatanreicherung gekennzeichnet ist. Ca. 58 % der Probenentnahmestellen repräsentieren diesen Bodentyp.

Profilbeschreibung:

Ach 0 - 15 cm dunkelbraungrauer, mäßig humoser, carbonathaltiger, sandig lehmiger Schluff;
 aMc₁ 15 - 40 cm graubrauner, schwach humoser, carbonathaltiger, sandig lehmiger Schluff;
 aMc₂ 40 - 60 cm braungrauer, sehr schwach humoser, carbonathaltiger, sandig lehmiger Schluff;
 II ICv 60 - 100 cm + bräunlich grauer, carbonathaltiger, sandiger Kies;

Tabelle 15: Schwermetallkonzentrationen (mg kg ⁻¹ m _T) in kalkhaltigen Braunen Auenböden (Ac) der Täler von Regnitz, Pegnitz und Rednitz (n = 6);												
Kenn- größen	Cr		Ni		Cu		Zn		Cd		Pb	
	O	U	O	U	O	U	O	U	O	U	O	U
Minimum	16	13	14	12	17	14	68	45	0,35	0,16	27	16
Maximum	40	40	45	47	37	40	111	98	0,51	0,39	38	26
\bar{x}	30	28	29	31	26	24	89	70	0,43	0,28	89	70

Anmerkungen: O: Oberbodenhorizont; U: Unterbodenhorizont; \bar{x} : arithmetischer Mittelwert;

Die pH-Werte liegen im Oberboden bei durchschnittlich pH 7,0, im Unterboden bei pH 7,3.

- Auengley - Brauner Auenboden (AG-A)

Bei deutlicher Vergleyung im Unterboden bilden sich z.T. fließende Übergänge zum Bodentyp des Braunen Auenboden - Auengley (A-AG) aus.

Das im tieferen Untergrund vergleyte Kolluvium mit deutlich erkennbaren hydromorphen Merkmalen (Rost- und Bleichfleckung) ist für diesen Bodentyp charakteristisch. Vom Auengley unterscheidet sich dieser durch den Kolluvial-Horizont der aus fluviatilen Sedimenten entstanden ist. Ca. 9 % aller Probenentnahmestellen repräsentieren diesen Bodentyp.

Profilbeschreibung:

Ah	0 - 15 cm	dunkelbraungrauer, mäßig humoser, sandig lehmiger Schluff;
aM	15 - 40 cm	braungrauer, schwach humoser, lehmiger Schluff;
GoaM	40 - 65 cm	hellbraungrauer, sehr schwach humoser, schluffiger Lehm, mit schwach rostfleckiger Eisen- und schwacher bleichfleckiger Manganfärbung;
Go	65 - 95 cm	bräunlich grauer, schluffiger Lehm, mit hoher Rost- und mittlerer Bleichfleckigkeit;
Gro	95 - 150 cm	violettstichig grauer, grob grusiger, toniger Sand;

Tabelle 16: Schwermetallkonzentrationen (mg kg ⁻¹ m _T) in Auengley - Braunen Auenböden (AG-A) der Täler von Regnitz, Pegnitz und Rednitz (n = 9);												
Kenn- größen	Cr		Ni		Cu		Zn		Cd		Pb	
	O	U	O	U	O	U	O	U	O	U	O	U
Minimum	21	10	11	6	16	10	87	33	0,27	0,17	23	17
Maximum	48	39	51	55	270	277	486	458	1,27	1	257	244
\bar{x}	30	24	29	27	93	48	191	124	0,78	0,42	70	50

Anmerkungen: O: Oberbodenhorizont; U: Unterbodenhorizont; \bar{x} : arithmetischer Mittelwert;

Die pH-Werte liegen im Oberboden durchschnittlich bei pH 6,4, im Unterboden bei pH 6,7.

- **Auengley (AGn) und Brauner Auenboden - Auengley (A-AG)**

Der Auengley ist gekennzeichnet durch Oxidations- und Reduktionshorizonte wie beim typischen Gley, wobei der Kolluvial-Horizont ebenfalls eine Vergleyung aufweist. Der allochthon entstandene Auengley ist aus überwiegend schluffigem, feinkörnigem Flußsediment entstanden, das i.d.R. grobkörnigen Sand überdeckt. Eine weniger weit fortgeschrittene Vergleyung weist der Bodentyp Brauner Auenboden - Auengley auf. Der A-Horizont und der darunter folgende aM-Horizont ist i.d.R. nicht hydromorph beeinflusst. Ca. 9% der untersuchten Böden werden durch diese beiden Bodentypen repräsentiert.

Profilbeschreibung:

Auengley (AGn):

GoAh 0 - 20 cm dunkelbraungrauer, mäßig humoser, sandig schluffiger Lehm mit Rost- und Bleichflecken;
aMGo 20 - 40 cm braungrauer, sehr schwach humoser, sandig schluffiger Lehm mit Rost- und Bleichflecken;
Go 40 - 90 cm braunlilagrauer, schluffiger Lehm, mit Rost- und Bleichflecken;
Gr 90 - 100 cm + dunkelgrauer, stark lemiger Sand, bleichfleckig;

Brauner Auenboden - Auengley (A-AG):

Ah 0 - 15 cm dunkelbraungrauer, mäßig humoser, lehmiger Schluff;
aM 15 - 40 cm graubrauner, schwach humoser, lehmiger Schluff;
aMGo 40 - 90 cm braungrauer, sehr schwach humoser, sandig lehmiger Schluff, mit Rost- und Bleichflecken;
Go 90 - 100 cm + braunlilagrauer Sand, mit Rost- und Bleichflecken;

Tabelle 17: Schwermetallkonzentrationen (mg kg⁻¹ m_T) in Auengleyen (AGn) und Braunen Auenböden - Auengleyen (A-AG) der Täler von Regnitz, Pegnitz und Rednitz (n = 9);

Kenn- größen	Cr		Ni		Cu		Zn		Cd		Pb	
	O	U	O	U	O	U	O	U	O	U	O	U
Minimum	25	17	14	17	36	27	100	96	0,74	0,32	39	38
Maximum	115	63	58	58	299	253	668	701	4,72	2,46	173	134
\bar{x}	46	31	36	34	144	88	317	221	1,63	0,71	112	75

Anmerkungen: O: Oberbodenhorizont; U: Unterbodenhorizont; \bar{x} : arithmetischer Mittelwert;

Die durchschnittlichen pH-Werte liegen im Oberboden bei pH 6,3, im Unterboden bei pH 6,5.

- **Hortisol (YO) und Auftragsböden (YY)**

Beide Bodentypen gehören zur Gruppe der anthropogenen Böden. Gekennzeichnet sind sie durch tiefgreifende, bodenmischende Meliorationsmaßnahmen (Hortisole) bzw. durch das Auf- und/oder Einbringen von natürlichem oder künstlichem Substrat (Auftragsböden). Mitunter können die Horizonte hydromorph beeinflusst sein und weisen dann entsprechende Stauwasser- bzw. Grundwassermerkmale auf. Ca. 9 % der untersuchten Standorte entfallen auf diese Gruppe.

Profilbeschreibung:

Hortisol (YO):

RAp 0 - 40 cm grauschwarzer, stark humoser, schwach lehmiger Sand;
 R 40 - 80 cm schwarzgrauer, mäßig humoser, schwach lehmiger Sand, rostfleckig;
 IIGro 80 - 100 cm + grauer Sand mit Rost- und Bleichflecken;

Auftragsboden (YY):

jYAp 0 - 35 cm dunkelbraungrauer, mäßig humoser, sehr schwach lehmiger Sand;
 Y₁ 35 - 65 cm graubrauner, sehr schwach lehmiger Sand;
 Y₂ 65 - 100 cm + rotlich hellbrauner, schwach toniger Sand;

Tabelle 18: Schwermetallkonzentrationen (mg kg ⁻¹ m _r) in Hortisolen (YO) und Auftragsböden (YY) der Täler von Regnitz, Pegnitz und Rednitz (n = 9);												
Kenngrößen	Cr		Ni		Cu		Zn		Cd		Pb	
	O	U	O	U	O	U	O	U	O	U	O	U
Minimum	10	-	6	-	9	-	27	-	0,17	-	22	-
Maximum	86	-	48	-	535	-	913	-	1,9	-	710	-
\bar{x}	33	-	18	-	140	-	282	-	0,82	-	177	-

Anmerkungen: O: Oberbodenhorizont; U: Unterbodenhorizont; -: nicht bestimmt;
 \bar{x} : arithmetischer Mittelwert;

Die pH-Werte liegen im Oberboden durchschnittlich bei pH 6,3.

- **Podsol-Braunerden (P-B) und podsolige Braunerden (pB)**

Die authochthonen podsoligen Braunerden und Podsol-Braunerden charakterisieren den Bodentyp der älteren Terrassenstufen in den Tälern von Regnitz, Pegnitz und Rednitz. Infolge des Auftretens von Flugsand dominiert an diesen Standorten auch der Sand als Bodenart. Von den beprobten Standorten werden knapp 10% durch diese Böden repräsentiert.

Profilbeschreibung:

L + 1 cm
 Of + 3 cm (Auflage: feinhumusreicher Moder)
 Oh + 1,5 cm

Ahe	0 - 3 cm	ungleichmäßig schwach gebleichter, schwach humoser Sand;
Ae	3 - 15 cm	grauer, gebleichter Sand;
Bsv	15 - 30 cm	brauner, sesquioxidreicher Sand;
Bv	30 - 50 cm	hellbrauner, schwach lehmiger Sand;
ICv	50 - 120 cm	grauoranger Sand;
SwICv	120 - 150 cm	orangegrauer, schwach gebleichter, rostfleckiger Sand;

Tabelle 19: Schwermetallkonzentrationen (mg kg ⁻¹ m _T) in Podsol-Braunerden (P-B) und podsoligen Braunerden (pB) der Täler von Regnitz, Pegnitz und Rednitz (n = 10);												
Kenn- größen	Cr		Ni		Cu		Zn		Cd		Pb	
	A/O	U	A/O	U	A/O	U	A/O	U	A/O	U	A/O	U
Minimum	1/3	2	1/1	1	11/2	1	49/8	5	0,41 0,07	0,05	18/7	5
Maximum	9/10	10	9/5	6	5.170 185	9	1.050 61	36	3/0,3	0,25	498 70	73
\bar{x}	7/5	4	5/3	3	261 25	4	141 23	19	0,88 0,16	0,1	100 29	19

Anmerkungen: A: organische Auflagehorizonte (L+Of); O: Oberbodenhorizont;
U: Unterbodenhorizont; \bar{x} : arithmetischer Mittelwert;

Die pH-Werte liegen durchschnittlich bei pH 3,5 im Oberboden und pH 4,1 im Unterboden. Die organischen Auflagen weisen einen durchschnittlichen pH-Wert von 3,6 auf.

- Eisenpodsol (Pe) und Eisenhumuspodsol (Pn)

Auf den älteren Flußterrassen haben sich Eisenhumuspodsole entwickelt. Sie sind durch sauergebleichte, i.d.R. humusverarmte A-Horizonte, verbunden mit einem darunter liegenden Humusanreicherungshorizont gekennzeichnet. Der darunterfolgende B-Horizont weist stets Anreicherungen von Sesquioxiden und z.T. auch von Huminstoffen auf. Hauptbodenart ist Sand, der bis in den tieferen Untergrund (100 cm +) reicht. Stratigraphisch ist er pleistozänem Flug- und Terrassensand zu zuordnen.

Die Humusform, ein weiteres bodentypologisches Merkmal, ist durch mikrobiell wenig umgesetztes organisches Material (vorherrschend feinhumusarmer bzw. feinhumusreicher Rohhumus) gekennzeichnet. Ca. 8 % der Probennahmestellen repräsentieren diesen Bodentyp.

Profilbeschreibungen:

Eisenpodsol (Pe):

Ahe	0 - 14 cm	violettstichiger dunkelgrauer, mäßig humoser Sand;
Ae	14 - 20 cm	violettgrauer Sand;
Bsv	20 - 35 cm	gelbbrauner Sand, Anreicherung von Sesquioxiden;
Bv	35 - 55 cm	gelbbrauner Sand;
ICv	55 - 100 cm +	orangegrauer Sand;

Eisenhumuspodsol (Pn):

Aeh	0 - 2 cm	schwarzgrauer, mäßig humoser Sand;
Ahe	2 - 7 cm	violettgrauer, sehr schwach humoser Sand;

Bhs	7 - 12 cm	graubrauner, sehr schwach humoser Sand;
Bhv	12 - 55 cm	braungrauer, sehr schwach humoser Sand;
Bv	55 - 70 cm	hellgrauer Sand;
ICv	70 - 100 cm +	graugelber Sand;

Tabelle 20: Schwermetallkonzentrationen (mg kg ⁻¹ m _T) in Eisenpodsohlen (Pe) und Eisenhumuspodsohlen (Pn) der Täler von Regnitz, Pegnitz und Rednitz (n = 8);												
Kenngrößen	Cr		Ni		Cu		Zn		Cd		Pb	
	A/O	U	A/O	U	A/O	U	A/O	U	A/O	U	A/O	U
Minimum	1/1	1	2/1	1	8/1	1	51/2	3	0,44 0,02	0,04	21/2	3
Maximum	14/3	4	14/3	5	518 25	4	375 20	18	2,29 0,31	0,24	275 31	17
\bar{x}	6 2	3	6 1	2	58 5	2	128 8	9	1/0,1	0,1	109 10	7
Anmerkungen: A: organische Auflagehorizonte; O: Oberbodenhorizont; U: Unterbodenhorizont; \bar{x} : arithmetischer Mittelwert;												

Die pH-Werte liegen im Mittel bei pH 3,4 im Oberboden und bei pH 4,3 im Unterboden. Die organischen Auflagen weisen durchschnittliche pH-Werte von 3,5 auf.

- Braunerden (Bn)

Die Braunerden haben sich z.T. aus sehr unterschiedlichen geologischen Ausgangsmaterialien entwickelt. So wechselt die Stratigraphie von Löß, Rhät-Lias über Flugsand und Sandstein bis hin zu pleistozänen Terrassensanden. Dementsprechend variiert die jeweilig dominierende Bodenart z.T. recht stark. Braunerden aus Löß und Rhät-Lias weisen vor allem lehmig-schluffige bis tonig-schluffige Feinbodenfraktionen auf, während solche aus Flugsand, Terrassensanden und Sandstein vorherrschend sandiges Substrat enthalten. Charakterisiert wird die Braunerde durch verbrauchte und verlehnte, kalkfreie B-Horizonte mit darunter folgenden schwächer verwitterten C-Horizont. Die Braunerde repräsentiert in diesen Flußtälern ca. 3 % aller Probenentnahmestellen. Unter Forst variieren die Humusformen je nach Substrat vom feinhumusreichen bis feinhumusarmen Moder.

Profilbeschreibung:

Ah	0 - 3 cm	dunkelbraungrauer, mäßig humoser, mittelskelettreicher, steiniger, schwach sandig lehmiger Schluff;
Bv	3 - 50 cm	hellbrauner, mäßig skelettreicher, steiniger, schwach sandig lehmiger Schluff;
II ICv	50 - 100 cm +	graugelbbrauner, stark steiniger, sandig toniger Schluff;

Tabelle 21: Schwermetallkonzentrationen (mg kg⁻¹ m_r) in Braunerden (S-B, pS-B, pD-B) der Täler von Regnitz, Pegnitz und Rednitz (n = 8);

Kenn- größen	Cr		Ni		Cu		Zn		Cd		Pb	
	A/O	U	A/O	U	A/O	U	A/O	U	A/O	U	A/O	U
Minimum	2/4	4	2/2	3	25/6	4	78/21	20	0,57 0,14	0,04	28/16	8
Maximum	7/23	23	25/39	48	352 159	25	425 389	224	2,0 2,13	1,77	126 167	86
\bar{x}	5 12	13	11 12	18	87 46	13	189 105	86	1,18 0,5	0,36	69 59	25

Anmerkungen: A: organische Auflagehorizonte; O: Oberbodenhorizont;
U: Unterbodenhorizont; \bar{x} : arithmetischer Mittelwert;

Im Oberboden liegen die pH-Werte im Durchschnitt bei pH 4,8 im Unterboden bei pH 5,0. Die organischen Auflagen weisen mittlere pH-Werte von 4,4 auf.

- Pseudogleye (Sn) und Subtypen (D-S, B-S, P-S)

Pseudogleye gehören zur Klasse der Stauwasserböden. Sie sind durch Hydromorphie, d.h. zeitweilige Vernässung mit Wechsel zwischen Naß- und Trockenphasen gekennzeichnet. Ursache hierfür ist ein im tieferen Untergrund befindlicher Sd-Horizont, der eine hohe Lagerungsdichte aufweist, dementsprechend meist niedrige Wasserleitfähigkeiten ($k_f \leq 1 \text{ cm d}^{-1}$) besitzt und somit als Wasserstauer fungiert. Stratigraphische Voraussetzung hierfür ist ein Schichtwechsel mit hohem Anteil an lehmigem, schluffigem oder tonigem Material. Die hier beprobten Pseudogleye weisen als geologisches Ausgangsmaterial meist Blasensandstein, Lößlehm, Burgsandstein oder Feuerletten auf. Diese geologischen Ausgangsmaterialien haben zumeist lehmige oder schluffige bzw. tonige Verwitterungsprodukte und können daher als Staukörper wirken. Der Sd-Horizont ist je nach Eisengehalt des Ausgangsmaterials unterschiedlich stark marmoriert, das heißt, die Aggregatoberflächen sind infolge der Eisenverlagerung gebleicht, während das Aggregatinnere durch die Anreicherung von Eisen rot gefärbt ist.

Der darüber liegende Stauwasserleiter (Sw-Horizont) unterscheidet sich bodenartig durch einen erheblich größeren Anteil grobkörnigeren Materials mit unterschiedliche hohem, aber stets vorhandenem Sandanteil. Geologisches Ausgangsmaterial ist hier meist eine Flugsand-Deckschicht. Der Sw-Horizont ist definiert als wasserleitende Bodenschicht mit > 80 % Flächenanteil von Bleich- und Rostflecken sowie Konkretionen. Die Wasserdurchlässigkeit liegt bei $k_f \geq 10 \text{ cm d}^{-1}$. Als Humusform dominiert Moder.

Profilbeschreibung:

Ah	0 - 3 cm	dunkelbraungrauer, mäßig humoser, sandig lehmiger Schluff;
Sw	3 - 45 cm	hellbraungrauer, sandig lehmiger Schluff mit Rost- und Bleichflecken, 1-3 mm große Konkretionen;
II Sd	45 - 60 cm	gräulich brauner, schluffig, schwach toniger Lehm mit Rost- und Bleichflecken, 1-3 mm große Konkretionen;
ICv	60 - 100 cm +	grüngrauer, lehmiger Ton mit 1-3 mm großen Konkretionen;

Der Pseudogley repräsentiert ca. 7 % aller Probennahmestellen der Regnitz-, Pegnitz- und Rednitz-flußtäler.

Tabelle 22: Schwermetallkonzentrationen (mg kg⁻¹ m_r) in Pseudogley (Sn) und Subtypen (D-S, B-S, P-S) der Täler von Regnitz, Pegnitz und Rednitz (n = 7);

Kenn- größen	Cr		Ni		Cu		Zn		Cd		Pb	
	A/O	U	A/O	U	A/O	U	A/O	U	A/O	U	A/O	U
Minimum	1/2	3	2/1	1	19/5	4	62/19	21	0,46 0,13	0,04	32/19	12
Maximum	23 26	16	10 12	13	159 62	19	352 73	43	1,72 1,11	0,14	315 60	27
\bar{x}	8 12	10	6/7	8	157 22	9	115 41	30	1,06 0,32	0,09	120 32	18

Anmerkungen: A: organische Auflagehorizonte; O: Oberbodenhorizont;
U: Unterbodenhorizont; \bar{x} : arithmetischer Mittelwert;

Im Oberboden liegen die pH-Werte im Durchschnitt bei pH 3,9 im Unterboden bei pH 4,1. Die organischen Auflagen weisen Mittelwerte von pH 3,4 auf.

- Sonstige Bodentypen

In diesem Absatz werden die Böden zusammengefaßt, die im o.g. Untersuchungsgebiet nur einmal beprobt wurden. Dies sind: Kolluvium (Kn), Gley-Kolluvium (G-K), Pelosol (Dn), Pelosol-Braunerde (D-B) und Pseudogley-Podsol (S-P).

Der Bodentyp des **Kolluviums (Kn)** ist durch einen Mineralbodenhorizont gekennzeichnet, der aus hangabwärtsverlagerten und dort akkumulierten mehr oder minder humosen Bodenmaterial besteht (M-Horizont). Definitionsgemäß müssen Ah+M-Horizont > 4 dm betragen (siehe Profilbeschreibung).

Profilbeschreibung:

Ap 0 - 20 cm dunkelbraungrauer, mäßig humoser, sehr schwach lehmiger Sand;
wM 20 - 45 cm bräunlich dunkelgrauer, schwach humoser, sehr schwach lehmiger Sand;
ICv 45 - 100 cm+ gelblich grauer Sand;

Das **Gley-Kolluvium (G-K)** unterscheidet sich vom Kolluvium durch grundwasserbeeinflusste Horizonte (z.B. MGo) in Bodentiefen > 40 cm.

Der **Pelosol (Dn)** ist bodentypologisch durch einen mineralischen Unterbodenhorizont aus Tongestein mit > 45 Gew.-% Tongehalt gekennzeichnet. Dies führt zu dessen typischen Gefügemerkmal (Polyedergefüge). Das geologische Ausgangsmaterial ist im vorliegenden Fall tonhaltiger Letten, der von einer 2 dm mächtigen Flugsandüberdeckung überlagert wird (siehe Profilbeschreibung). Im Unterschied dazu hat sich beim **Pelosol-Braunerde (D-B)** in 5 dm Bodentiefe ein lehmig, toniger Verbraunungshorizont eingeschaltet.

Profilbeschreibung:

Ap 0 - 20 cm violett-dunkelbrauner, mäßig humoser, toniger Sand;
IIP 20 - 60 cm braunvioletter, lehmiger Ton;
ICv 60 - 100 cm+ violett-graugelber, schwach carbonathaltiger, mäßig skelettreicher, lehmiger Ton;

Der Pseudogley-Podsol (S-P) zeichnet sich durch einen gebleichten Oberboden, mit Humusauswaschung in tiefere Lagen sowie durch einen im tieferen Untergrund vorhandenen Stauwasserkörper aus.

Profilbeschreibung:

- Ahe 0 - 7 cm violett-dunkelgrauer, mäßig humoser Sand;
- Bhs 7 - 35 cm dunkelbrauner, sehr schwach humoser Sand;
- Bv 35 - 45 cm hellbrauner, schwach kiesiger Sand;
- Sw 45 - 52 cm hellgrauer, schwach kiesiger Sand mit Rost- und Bleichflecken;
- IISd 52 - 90 cm gelblich-grüngrauer, feinsandiger Schluff mit Rost- und Bleichflecken;
- ICv 90 - 100 cm+ grüngrauer, feinsandiger Schluff;

Die oben vorgestellten Bodentypen repräsentieren im Probennahmegebiet der Regnitz-, Pegnitz- und Rednitztäler ca. 4 % der beprobten Bodentypen.

Tabelle 23: Schwermetallkonzentrationen (mg kg ⁻¹ m ₋₇) des Kolluviums (Kn), Gley-Kolluviums (D-K), Pelosols (Dn) und Pseudogley-Podsols (S-P);												
Kenngrößen	Cr		Ni		Cu		Zn		Cd		Pb	
	A/O	U	A/O	U	A/O	U	A/O	U	A/O	U	A/O	U
Kolluvium	10	12	5	10	49	54	67	82	0,59	0,67	55	54
Gley-Kolluvium	20	21	19	27	26	11	90	67	0,44	0,34	33	17
Pelosol	18	29	13	34	53	22	80	95	0,26	0,15	53	27
Pelosol-Braunerde	4/10	11	8/7	4	20/8	5	64/24	16	0,62 0,09	0,04	25/40	10
Pseudogley-Podsol	4/2	4	8/2	7	14/1	1	52/3	8	0,81 0,07	0,04	45/6	20

Anmerkungen: A: organische Auflagehorizonte; O: Oberbodenhorizont; U: Unterbodenhorizont;

Die pH-Werte liegen im Durchschnitt in den Oberböden bei pH 4,9, in den Unterböden bei pH 5,0. Organische Auflagen weisen Mittelwerte von pH 4,5 auf.

6 Räumliche Differenzierung der Schwermetallgesamtgehalte

In den Tabellen A1 - A14 im Anhang sind die Schwermetallgesamtgehalte der Böden für einzelne Abschnitte der untersuchten Flußlandschaften dargestellt. Diese Vorgehensweise ist der Versuch einer Regionalisierung der Untersuchungsergebnisse auf einfachstem Niveau. Aufgrund des z.T. geringen Stichprobenumfangs innerhalb der einzelnen Klassen lassen sich diese Ergebnisse nicht verallgemeinern, bieten jedoch die Möglichkeit Tendenzen zu erkennen. Darüberhinaus wird ein besserer Vergleich mit regional erhobenen Schwermetallgesamtgehalten in Böden (z.B. im Rahmen der Schwermetallkataster von Landkreisen und Kommunen) ermöglicht.

Die Schwermetallgesamtgehalte der untersuchten Ackerstandorte im Auenbereich des Mains lassen sich an Hand der gewählten Flußabschnitte nicht eindeutig differenzieren (siehe Tabellen A1 - A8 im Anhang). Dies liegt an den geringen Stichprobenumfängen und der hohen Variabilität der Schwerme-

tallgehalte in den Böden (siehe \bar{x} und s). So deuten große Wertebereiche in Verbindung mit einer hohen Standardabweichung des Mittelwertes auf eine schiefe Verteilung der Analysendaten hin. Grund dafür sind i.d.R. wenige, aber dafür stärker belastete Standorte im Probenkollektiv.

In den Oberböden der **Grünlandstandorte** übersteigen die Konzentrationsspannen für Kupfer, Zink und Cadmium im Abschnitt Marktheidenfeld - Karlstadt diejenigen der anderen Flußabschnitte. Verantwortlich dafür sind, wie oben bereits ausgeführt wenige im Vergleich zu den anderen Untersuchungsstandorten aber höher belastete Oberböden.

Generell deutet sich an, daß gegenüber den Ackerstandorten die Maxima der Kupfer-, Zink- und Cadmium-Konzentrationen unter Grünlandnutzung im Maintal erhöht sind. Entsprechendes gilt in den meisten Fällen auch für die mittleren Schwermetallgehalte. Während für Chrom und Nickel kaum Unterschiede auftreten, verhält sich Blei indifferent. Bezüglich der Quecksilbergehalte können aufgrund der geringen Probenzahl keine Aussagen getroffen werden.

Die oben angeführten Befunde spiegeln den bekannten Sachverhalt wider, daß infolge der jährlichen Pflugtätigkeit unter ackerbaulicher Nutzung (Oberbodenhorizontmächtigkeit i.d.R. 30 cm) eingetragene Schwermetalle auf eine größere Horizontmächtigkeit verteilt werden. Somit kommt gegenüber den Grünlandstandorten (Oberbodenhorizontmächtigkeit i.d.R. 10-15 cm), die keiner durchmischenden Bearbeitung unterliegen, ein sog. "Verdünnungseffekt" zum tragen.

Die Schwermetallgehalte der entsprechenden Unterbodenhorizonten liegen i.d.R. unter dem Konzentrationsniveau der Oberbodenhorizonte.

Für den **Regnitzabschnitt** zwischen Bamberg und Erlangen (Tabelle A6 im Anhang) deuten, im Vergleich zum Maintal, die Kupfer- und Zink-Gehalte auf ein erhöhtes Schwermetallkonzentrationsniveau in den Ackeroberböden hin. Unter Grünland ist entsprechendes für die Schwermetalle Kupfer, Zink, Cadmium und Blei festzustellen. Das Konzentrationsniveau ist gegenüber den Ackerstandorten erhöht. In den Unterböden nehmen hier i.d.R. die Schwermetallgehalte ab.

Der **Talabschnitt zwischen Erlangen und Nürnberg (Regnitz, Pegnitz)** ist im Vergleich zu den bisher vorgestellten Flußabschnitten durch erhöhte Kupfer-, Zink-, Cadmium-, und Blei-Konzentrationsniveaus für **Acker- und Grünlandoberböden** sowie für **Grünlandunterböden** gekennzeichnet. Bei den ackerbaulich genutzten Standorten gilt dies i.d.R. auch für den Vergleich der Mittelwerte und Standardabweichungen. Ackerunterbodenhorizonte weisen für Kupfer, Zink, Cadmium und Blei ebenfalls weite Konzentrationsbereiche auf. Hierfür sind einige wenige Unterbodenhorizonte mit erhöhten Schwermetallgehalten verantwortlich (vgl. \bar{x} , s).

Die Schwermetallgehalte in den **Gartenoberböden** sind durch sehr weite Konzentrationsspannen gekennzeichnet. Das Probenkollektiv setzt sich lediglich aus 4 Standorten zusammen, ist somit keinesfalls repräsentativ. An zwei der vier Standorte wurden stark bis sehr stark erhöhte Kupfer-, Zink-, Cadmium- und Bleigealte registriert (siehe Tabellen A7 und A26 im Anhang). Auf den ubiquitären Schwermetalleintrag allein lassen sich diese erhöhten Gehalte nicht zurückführen. Vielmehr dürften räumlich begrenzte Zusatzeinträge für die Schwermetallkonzentrationen dieser Standorte verantwortlich sein.

Forstwirtschaftlich genutzte Standorte wurden nicht an allen Flußabschnitten beprobt (z.B. Flußabschnitt Marktheidenfeld - Karlstadt) (vgl. Tabellen A9 - A14 im Anhang). Aufgrund dieses Sachverhaltes und der z.T. geringen Stichprobenumfänge wird auf einen eingehenderen Vergleich verzichtet. Dennoch soll kurz auf einen Aspekt näher eingegangen werden.

Im Vergleich zu den anderen Flußabschnitten wurden im Abschnitt Erlangen - Nürnberg (Regnitz, Pegnitz) sehr hohe Kupfer-, Zink-, Cadmium- und Blei-Maxima vor allem in den Auflagehorizonten und in den Oberböden (z.T. auch Unterböden) registriert (vgl. RUPPERT & JONECK, 1988). Dabei handelt es sich i.d.R. um wenige, jedoch z.T. sehr stark belastete Standorte (vgl. Abbildungen 8 - 11) aus dem östlichen Bereich des Ballungsraumes Erlangen - Nürnberg. Dieser Befund sowie das ansonsten geringfügig erhöhte Schwermetallkonzentrationsniveau der Böden in diesem Ballungsraum stimmen für Cadmium und Blei sehr gut mit den Ergebnissen der Wirkungsuntersuchungen für das Belastungsgebiet Erlangen-Fürth-Nürnberg (KORTE et al., 1987) überein. Im o.g. Belastungsgebiet wurden im Vergleich zum Belastungsgebiet Ingolstadt-Neustadt-Kehlheim z.B. die höchsten Bleidepositionsraten sowie erhöhte Cadmium-Gehalte der Grünlandvegetation im Bereich östlich von Nürnberg (Pegnitztal) registriert. Für Kupfer und Zink ergeben sich keine entsprechend übereinstimmende Befunde.

In Ergänzung zur räumlichen Differenzierung sind in den Anhangstabellen A15 - A21 die Schwermetallgesamtgehalte der Böden in Abhängigkeit von der Standortnutzung dargestellt.

7 Beurteilung der Ergebnisse

In Tabelle 24 sind Grenz- und Orientierungswerte für Schwermetallgesamtgehalte in Böden zusammengefaßt. Die Schwermetallgehalte in den Böden der untersuchten Flußlandschaften werden an Hand der Grenzwerte der Klärschlammverordnung vom 15. April 1992 (AbfKlärV) beurteilt.

Darüber hinaus soll durch die Gegenüberstellung mittlerer Schwermetallgesamtgehalte in den Of-Lagen der Täler von Main, Regnitz, Pegnitz und Rednitz und des industriefernen, ländlichen Tertiärhügellandes in erster Näherung die relative Immissionsituation in den Untersuchungsgebieten beurteilt werden (vgl. RUPPERT & JONECK, 1988).

1) Abfallklärschlammverordnung vom 15. April 1992

In den Abbildungen 1 - 11 sind die relativen Häufigkeiten der Schwermetallgesamtgehalte in unterschiedlich genutzten Böden (Acker, Grünland, Forst) dargestellt. Die Zahlen über den Balken kennzeichnen den absoluten Wert der Stichproben innerhalb der jeweiligen Klassen, die mit "AbfKlärV-Grenzwert" bezeichnete Linie markiert den jeweiligen Grenzwert der Klärschlammverordnung für landwirtschaftlich genutzte Standorte. Stichproben rechts dieser Linie überschreiten somit den jeweiligen AbfKlärV-Grenzwert. In Ergänzung dazu sind in den Tabellen A22 - A27 im Anhang die landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Standorte zusammengefaßt, an denen mindestens ein Schwermetall den Grenzwert der AbfKlärV überschreitet.

Aus Gründen der Vollständigkeit sind für die Forststandorte ebenfalls Häufigkeitsverteilungen aufgeführt, obwohl sie aufgrund der organischen Auflagehorizonte und damit hinsichtlich ihrer Dateninterpretation eine Sonderstellung einnehmen (siehe JONECK & PRINZ, 1993); die AbfKlärV-Grenzwerte besitzen für Forststandorte zudem keine Verbindlichkeit.

- landwirtschaftlich genutzte Standorte

Die Verteilungen der **Chrom-** und **Nickel-Gesamtgehalte** von Acker- und Grünlandstandorten zeigen einen ähnlichen Verlauf (siehe Abbildung 1 und 2), wobei für Chrom unter Acker der Anteil der Boden-

Tabelle 24: Grenz- und Orientierungswerte für Schwermetallgesamtheite (angegeben in mg kg ⁻¹ m _p) in (Kultur-)Böden;							
Literaturnachweis	Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	Hg
AbfklärV ¹	100	50	60	200	1,5	100	1
Ergänzung AbfklärV: leichte Böden (T < 5% und pH 5-6)	k.A.	k.A.	k.A.	150	1	k.A.	k.A.
Orientierungsdaten für tolerierbare ⁺ und häufige ^{**} Schwermetallgesamtheite in Kulturböden (Kloke-Richtwerte '80) ²	100 ⁺	50	100	300	3	100	2
	2 - 50 ^{**}	2 - 50	1 - 20	3 - 50	0,01 - 1	0,1 - 20	0,01 - 1
vorläufige Prüfwerte für den Nutzpflanzenanbau ² (entspricht den Schwellenwerten "Mindestuntersuchungsprogramm Kulturböden", NRW, 1988 siehe ³)	100	100	100	500	2	300	2
HLB ^{2,3} A-Wert: "mittlere" Hintergrundkonzentration für den Referenzboden;	100	35	36	140	0,8	85	0,3
	B-Wert: Testwert für (genauere) Untersuchungen;	250	100	100	500	5	150
C-Wert: Testwert für Sanierung bzw. Sanierungsstudien;	800	500	500	3.000	20	600	10
Anmerkungen: ¹ : BMU (1991): Klärschlammverordnung (AbfklärV) vom 15. April 1992. Bundesgesetzblatt, Teil I, S. 912-934, Bonn; k.A.: keine Angaben; ² : entnommen aus: Bayerisches Staatsministerium des Inneren, Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (Hrsg.) (1991): Leitfaden für die Behandlung von Altablagern und kontaminierten Standorten in Bayern. RB-Nr. 40/90/12, München; ³ : Holländischer Leitfaden zur Bodensanierung;							

proben in der Klasse $\leq 20 \text{ mg kg}^{-1} m_T$ gegenüber dem Grünland erhöht ist. Der Grenzwert der AbfklärV wird für Chrom nicht, für Nickel in 2 Acker- bzw. 5 Grünlandproben überschritten.

Für **Kupfer** und **Zink** (Abbildung 3) sind die Gehalte unter Acker in über 75% der beprobten Ober- und Unterbodenhorizonte in den niedrigsten Konzentrationsklassen. Der Grenzwert für Kupfer wird von 9 Ober- und 3 Unterböden, für Zink von jeweils 2 Ober- und Unterböden überschritten.

Gegenüber den Ackerstandorten ergibt sich für die Grünlandnutzung (Abbildung 4) sowohl beim Kupfer als auch beim Zink ein grundsätzlich anderes Verteilungsmuster. In der niedrigsten Konzentrationsklasse liegt der prozentuale Anteil der Bodenproben z.T. weit unter 75 %. Die Anteile der Bodenproben in den einzelnen Klassen sind im Vergleich zum Acker zu größeren Konzentrationen hin verschoben. Die Anzahl der Bodenproben mit Schwermetallgehalten über dem Grenzwert von 60 bzw. 200 $\text{mg kg}^{-1} m_T$ ist unter Grünland deutlich erhöht. Ausschließlich in der niedrigsten Gehaltsklasse liegt der Anteil der Unterbodenhorizonte über dem der Oberbodenhorizonte. In allen übrigen Konzentrationsstufen kehrt sich diese Abfolge um. Dies weist auf eine Anreicherung der Schwermetalle in den Oberböden hin. Gegenüber den Ackerstandorten scheint das Ausmaß der Anreicherung unter Grünland deutlich erhöht.

Die Häufigkeitsverteilungen für **Cadmium** und **Blei** unter Acker- und Grünlandnutzung sind in den Abbildungen 5 und 6 dargestellt. Die Verteilungen ergeben ein ähnliches Bild wie für Kupfer und Zink. Auch hier ist der Anteil der Bodenproben in den Gehaltsklassen $> 0,5 \text{ mg kg}^{-1} m_T$ für Cadmium bzw. $> 50 \text{ mg kg}^{-1} m_T$ für Blei unter Grünland deutlich höher als unter Acker. Entsprechendes gilt für die Anzahl der Bodenproben über den jeweiligen Grenzwerten der Klärschlammverordnung.

Nicht so deutlich ausgeprägt sind die Unterschiede zwischen Acker und Grünland beim **Quecksilber** (Abbildung 7), wenngleich auch hier unter Grünland der Prozentanteil der Proben in höheren Gehaltsklassen größer ist. Eine Unterbodenprobe (Grünlandnutzung) überschreitet den KVO-Grenzwert.

Es fällt auf, und dies trifft für beinahe alle Schwermetalle in gleicher Weise zu, daß in der Klasse mit den jeweils niedrigsten Gehalten die Anzahl der Unterbodenhorizonte immer über derjenigen der Oberbodenhorizonten liegt. In der Regel kehrt sich diese Reihenfolge bereits in der nächst höheren Gehaltsklasse um. Dies deutet auf eine Anreicherung der Schwermetalle in den Oberböden hin. Für Chrom und Nickel ist dieser Sachverhalt nicht entsprechend deutlich ausgeprägt.

Zusammenfassend kann für die **landwirtschaftlich genutzten Standorte** festgehalten werden, daß unter Grünland der Anteil der Bodenproben in höheren Konzentrationsklassen im Vergleich zum Acker erhöht ist. Ein Grund für diesen Unterschied ist die durchmischende und damit verdünnend wirkende Pflugfähigkeit unter Ackernutzung sein.

In den Oberbodenhorizonten liegen i.d.R. die Schwermetallgehalte über denen der Unterböden. Dies spricht für eine Anreicherung der Schwermetalle in den Oberböden. Sehr deutlich trifft dies für die Schwermetalle Kupfer, Zink, Cadmium, Blei und in gewissem Maße auch für Quecksilber zu. Für Chrom und Nickel sind diese Unterschiede nicht in dieser Deutlichkeit zu registrieren.

Dieser beobachtete Zusammenhang könnte u.a. dem Sachverhalt Rechnung tragen, daß durch die Verwendung von Wirtschaftsdüngern nennenswerte Mengen Schwermetalle zusätzlich auf die Böden gelangen. In Verbindung mit der geringen Schwermetallmobilität in gut gepufferten Böden kommt es zu einer Anreicherung in den humusreichen Oberböden. Ein weiterer nennenswerter Schwermetalleintrag in (Ober-)Böden erfolgt vor allem für Kupfer, Zink, Cadmium, Blei und Quecksilber, untergeordnet auch für Nickel und Chrom, über luftgetragene Immissionen im Gebiet Erlangen-Nürnberg-Fürth (vgl. KORTE et al., 1987).

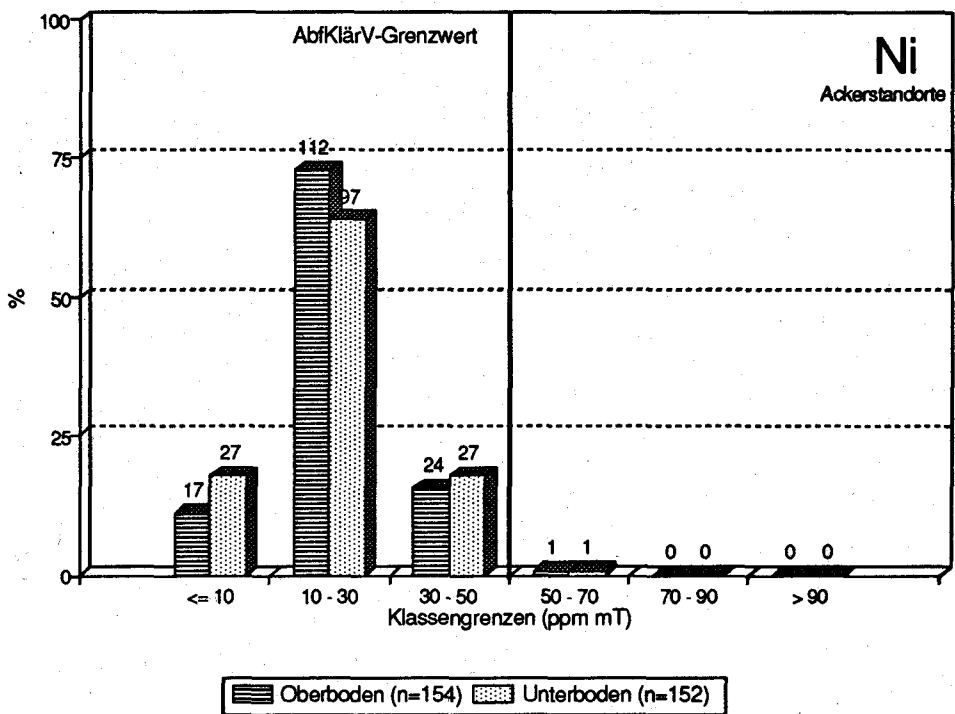
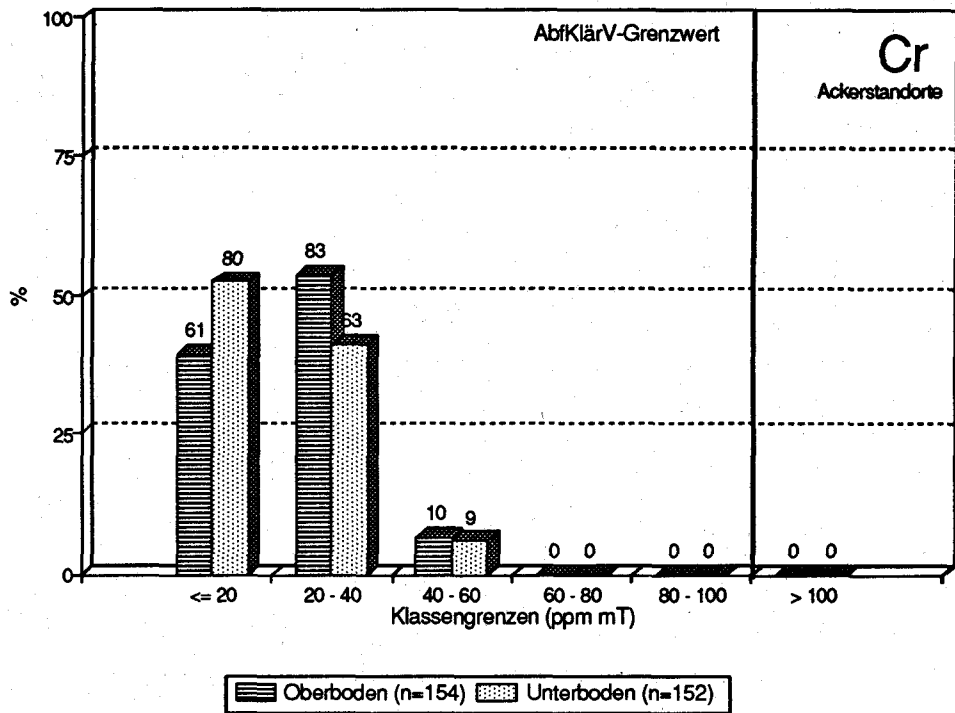


Abbildung 1: Häufigkeitsverteilung der Chrom- und Nickelgesamtgehalte in Ober- und Unterböden von Ackerstandorten;

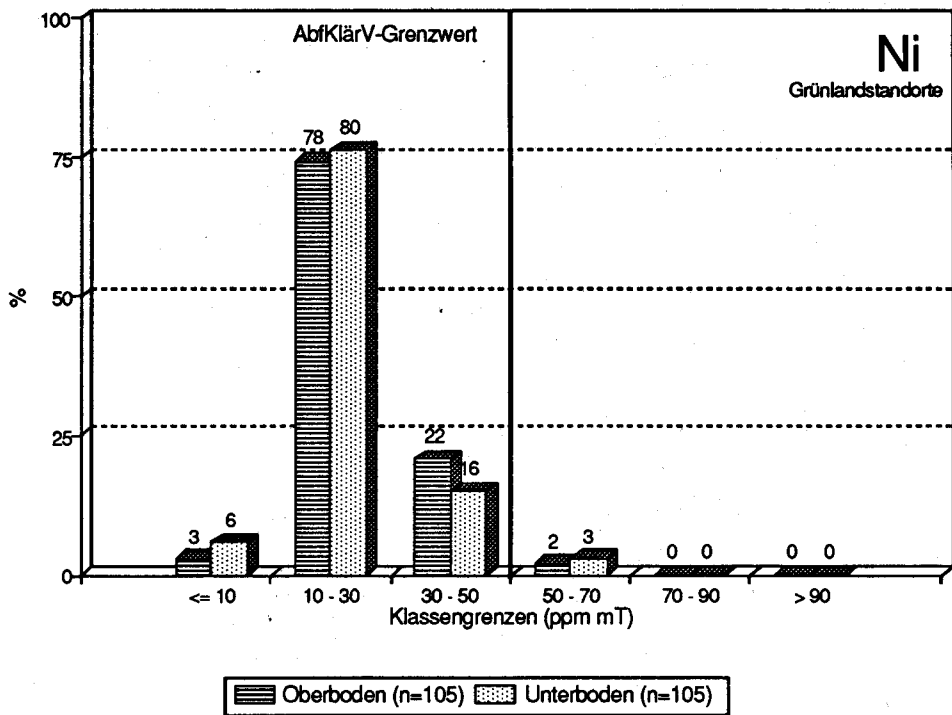
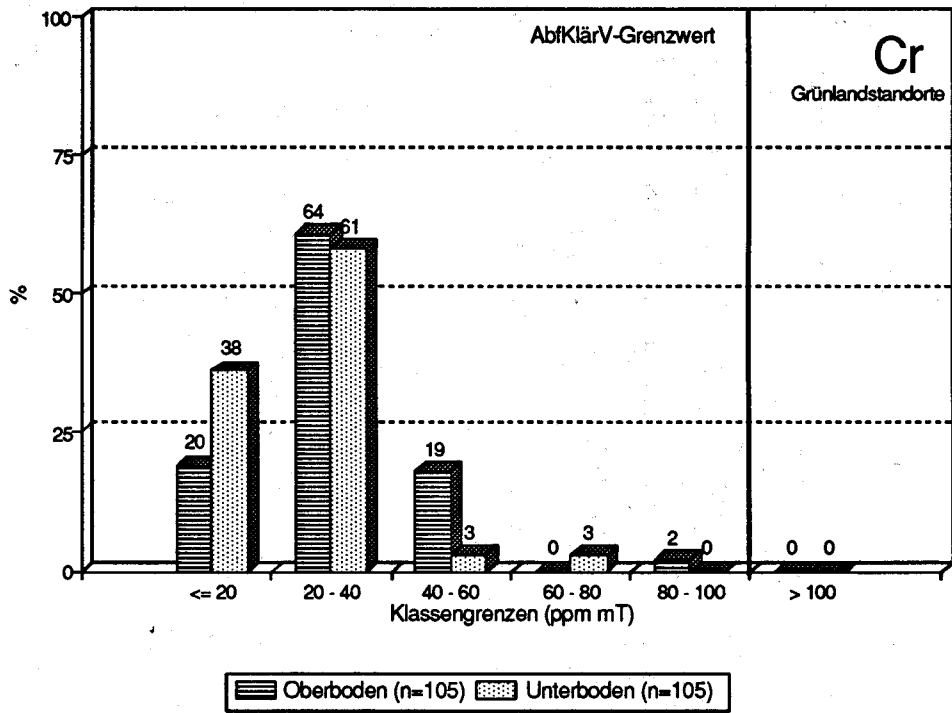


Abbildung 2: Häufigkeitsverteilung der Chrom- und Nickelgesamtgehalte in Ober- und Unterböden von Grünlandstandorten;

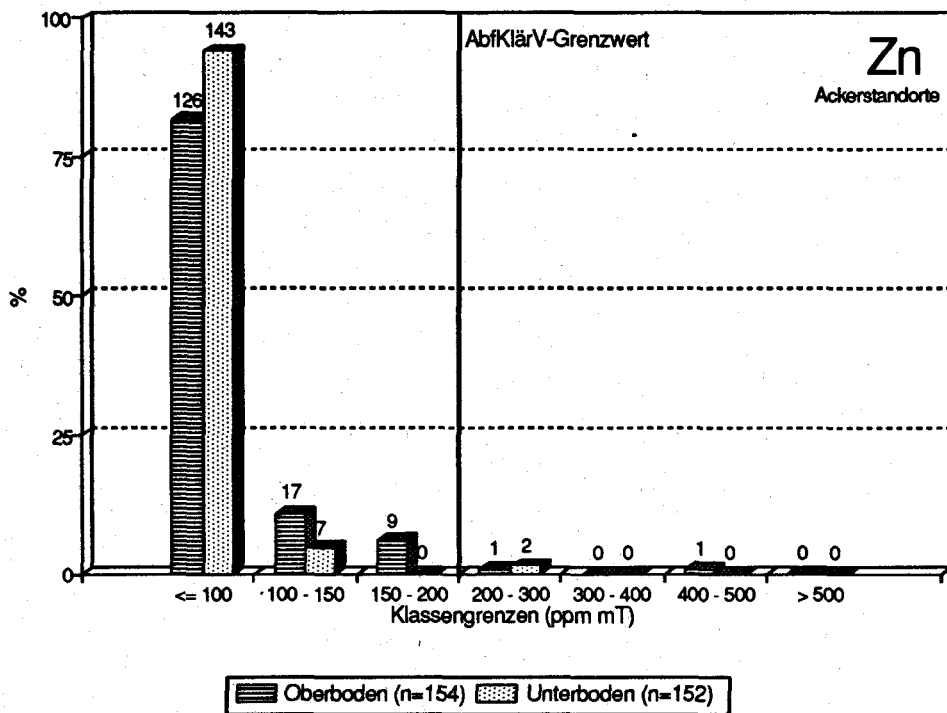
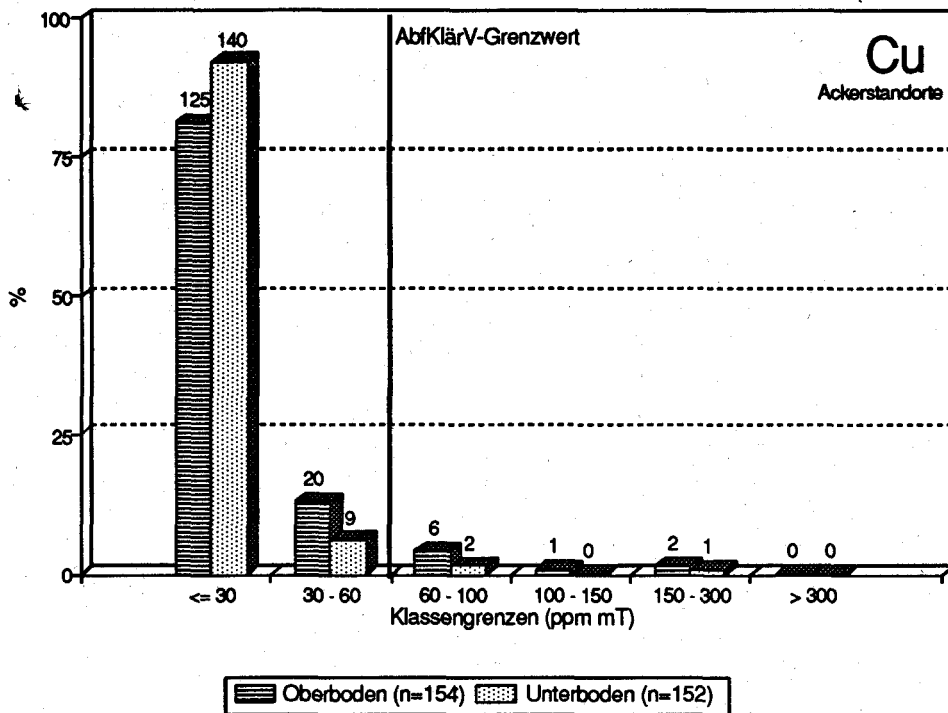


Abbildung 3: Häufigkeitsverteilung der Kupfer- und Zinkgesamtgehalte in Ober- und Unterböden von Ackerstandorten;

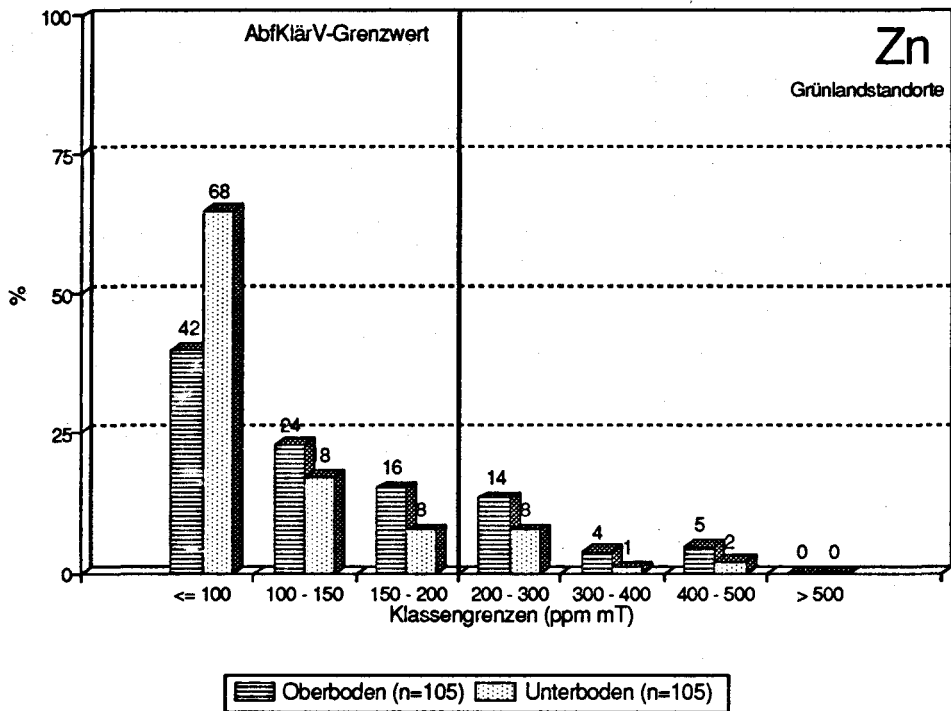
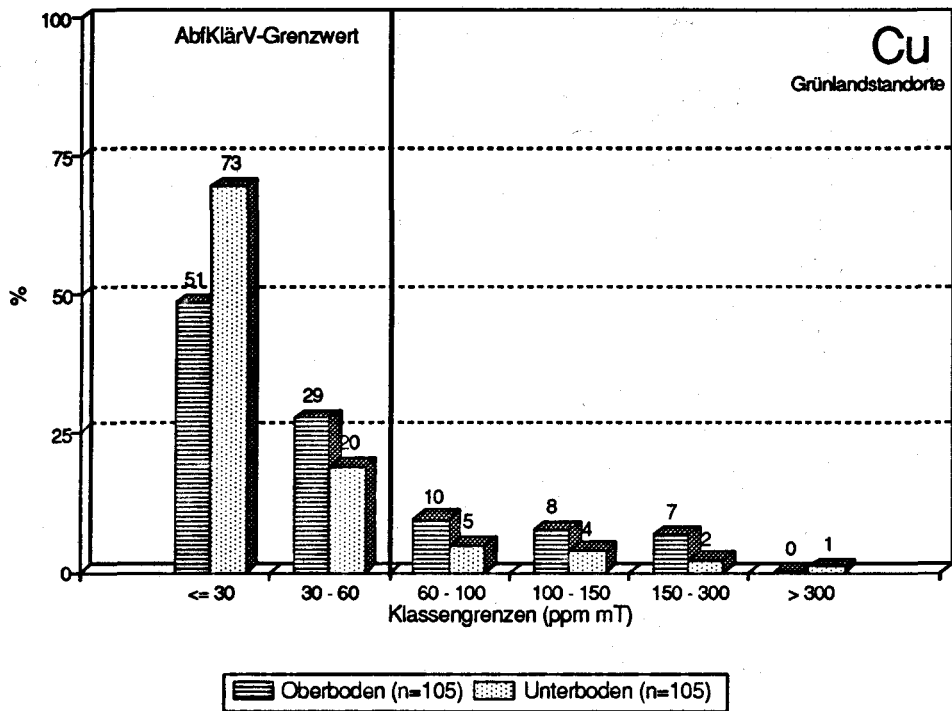


Abbildung 4:

Häufigkeitsverteilung der Kupfer- und Zinkgesamtgehalt in Ober- und Unterböden von Grünlandstandorten;

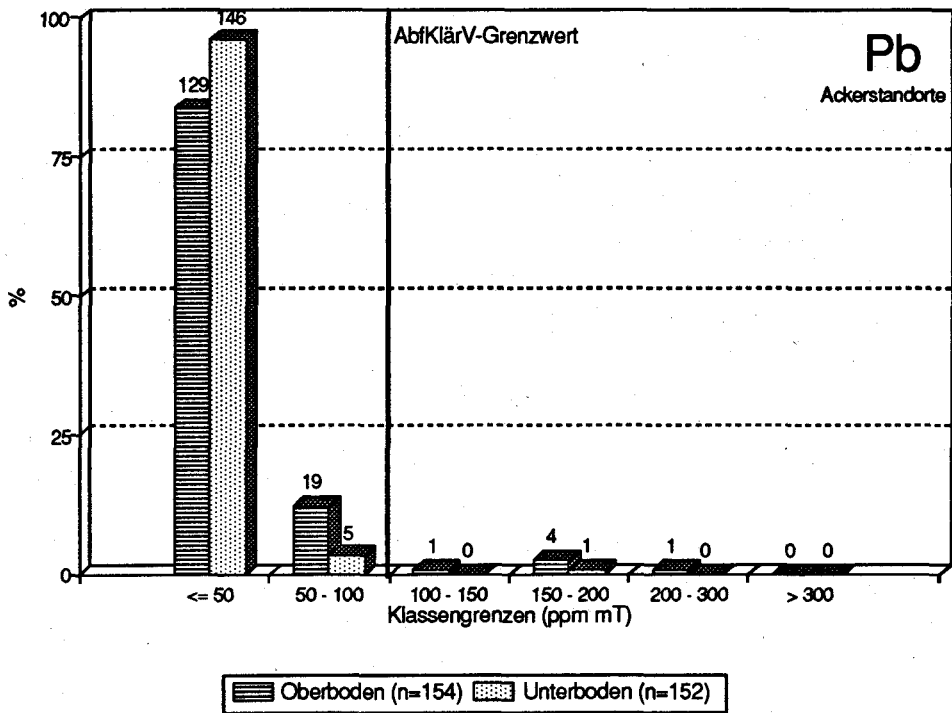
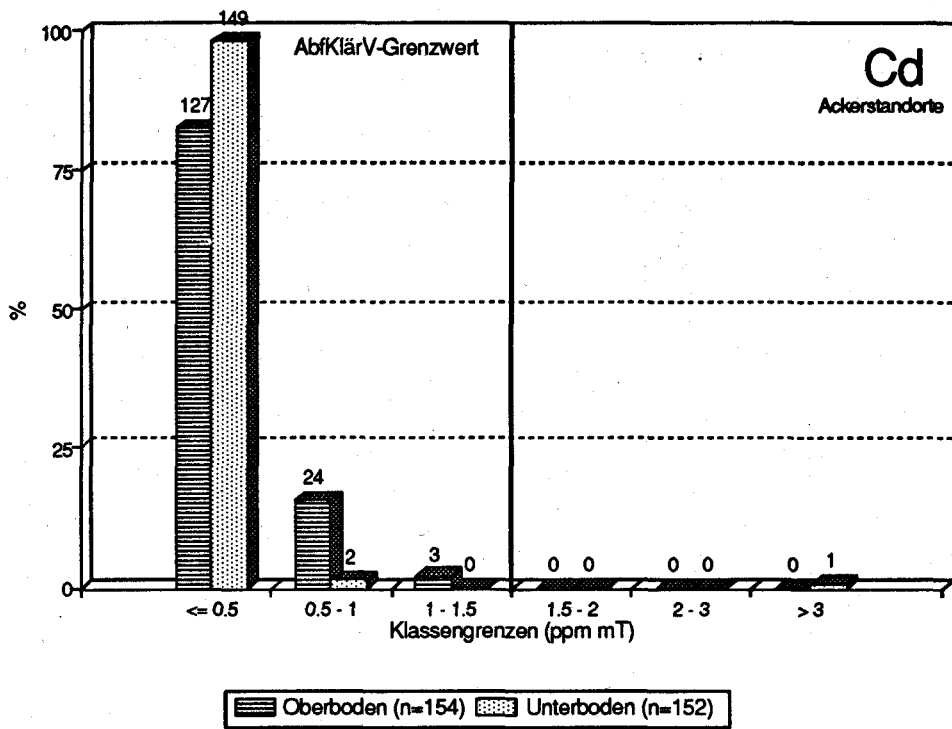


Abbildung 5: Häufigkeitsverteilung der Cadmium- und Bleigesamtgehalte in Ober- und Unterböden von Ackerstandorten;

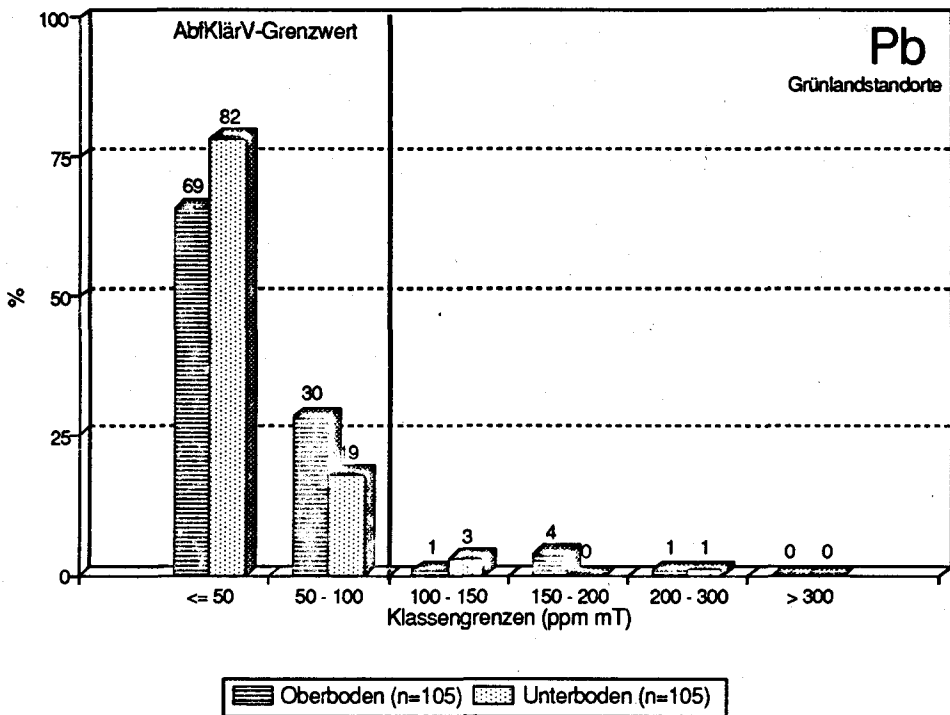
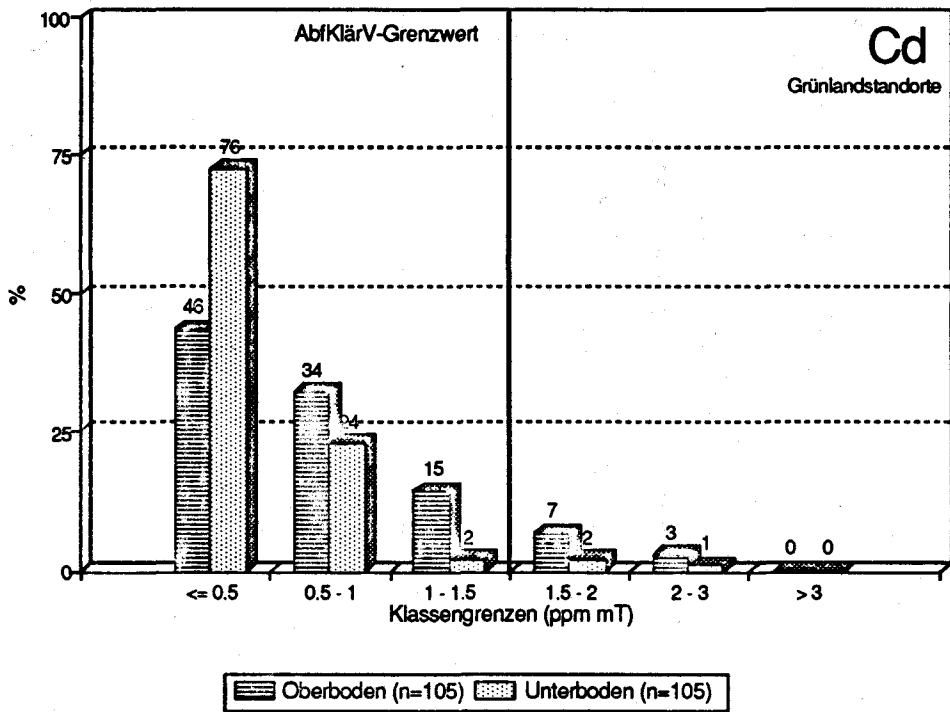


Abbildung 6: Häufigkeitsverteilung der Cadmium- und Bleigesamtgehalte in Ober- und Unterböden von Grünlandstandorten;

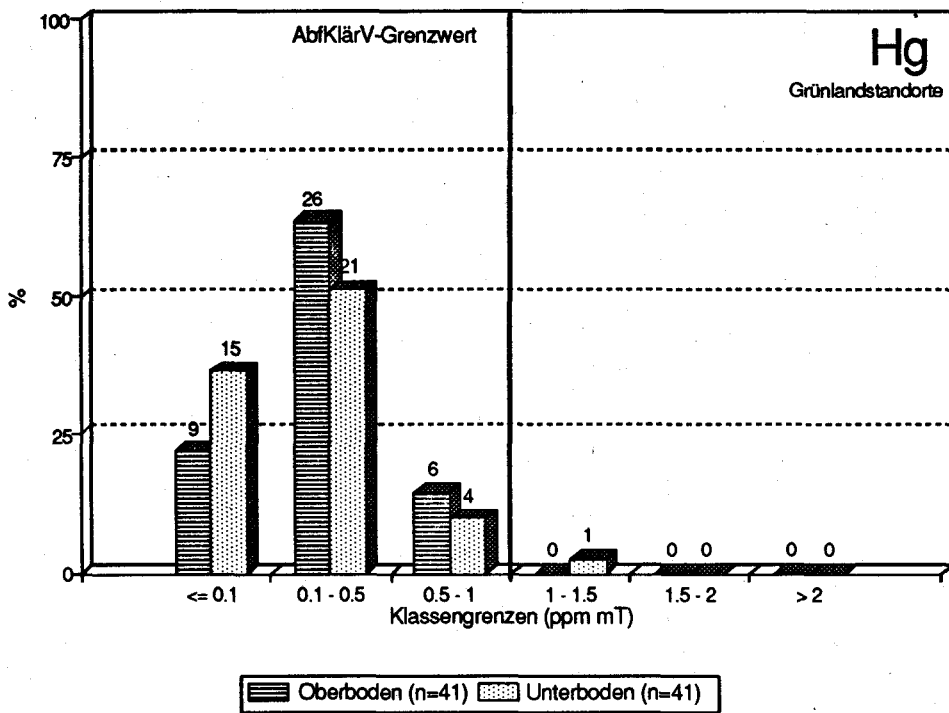
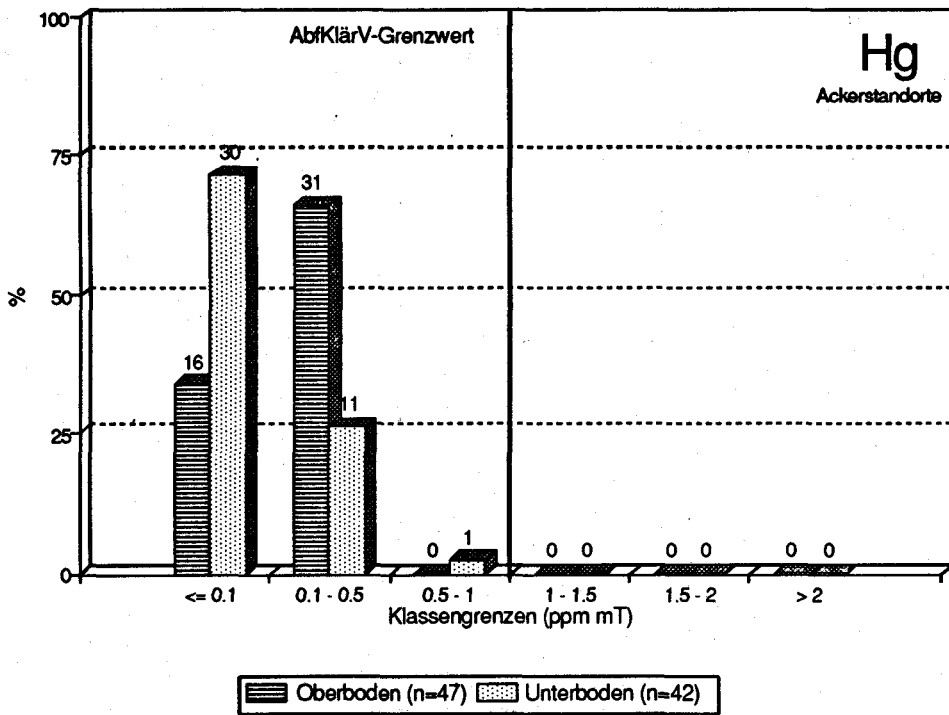


Abbildung 7: Häufigkeitsverteilung der Quecksilbergesamthalte in Ober- und Unterböden von Acker- und Grünlandstandorten;

Es fällt auf, daß mit Ausnahme von Chrom und Nickel für alle anderen Schwermetalle der Prozentsatz an Grünlandunterböden (keine Verdünnungseffekt in Folge der Pflugtätigkeit) in höheren Konzentrationsklassen deutlich über dem Anteil für Ackerunterboden liegt. Der für die Oberböden bereits angesprochene Verdünnungseffekt in Folge der Pflugtätigkeit kann diesen Sachverhalt nicht erklären. Nach unserer Ansicht ließen sich die beschriebenen Unterschiede auf eine Kombination folgender Punkte zurückführen:

- 1) unterschiedliche Ausgangssubstrate (Alter, Zusammensetzung)
- 2) unterschiedliche Standorteigenschaften (z.B. Wasser-, Stoffhaushalt)

Grünlandstandorte werden auch dort noch landwirtschaftlich genutzt, wo aufgrund des Wasserhaushaltes eine Befahrung mit Landwirtschaftsmaschinen nicht ganzjährig gewährleistet werden kann. Deshalb werden Flächen des rezenten Überschwemmungsbereiches i.d.R. als Grünland genutzt. Für die Wahl der Nutzungsart spielt somit ein "übergeordnetes" Auswahlkriterium nämlich die "Befahrbarkeit" eine entscheidende Rolle. Eine derartige Standortselektion bedeutet zwangsläufig eine Häufung bestimmter Merkmale bzw. Merkmalskombinationen unter Grünland die den Stoffeintrag und die Stoffverteilung im Bodenprofil (vor allem in den Unterböden) entscheidend beeinflussen (z.B. jüngstes Substrat, hohe vertikale Wasser- und Stoffverlagerung, Zusatzeinträge über ascendierendes oberflächennahes Grundwasser) und somit entsprechende Unterschiede hervorrufen können.

Außerdem wird die Stoffverlagerung in Ackerböden insofern gehemmt, da durch die jährliche Durchmischung das einmal ausgebildete Porensystem zerstört und anschließend wieder ein neues aufgebaut wird. Infolge diese "Dynamik" des Porensystem erhöht sich im Vergleich zum Grünland auch der Anteil der erreichbaren adsorptiven Oberflächen unter Acker, d.h. die Adsorptionskapazitäten werden dort erhöht.

- forstwirtschaftlich genutzte Standorte

In den Abbildungen 8 - 11 sind die relativen Häufigkeiten der Schwermetallgesamtgehalte in Auflagen, Ober- und Unterböden unter Forst aufgeführt. Die Zahlen über den Balken kennzeichnen den Absolutwert. Obwohl sich der Geltungsbereich der AbfKlärV-Grenzwerte auf landwirtschaftliche Nutzflächen beschränkt ist, wurden die entsprechenden Grenzkonzentrationen im Sinne eines "Orientierungsmaßstabes" in den Abbildungen gekennzeichnet.

Für **Chrom** und **Nickel** liegen weit über 85% der Auflagen in den Konzentrationsklassen $\leq 20 \text{ mg kg}^{-1} m_T$ bzw. $\leq 10 \text{ mg kg}^{-1} m_T$ (Abbildung 8). Ihr Anteil übersteigt damit bei weitem den Anteil der Ober- und Unterbodenhorizonte in den gleichen Konzentrationsklassen. Überschreitungen der AbfKlärV-Grenzwerte wurden ausschließlich für Nickel an zwei Unterbodenhorizonten registriert.

In den niedrigsten Konzentrationsklassen von **Kupfer** ($\leq 30 \text{ mg kg}^{-1} m_T$) und **Zink** ($\leq 100 \text{ mg kg}^{-1} m_T$) nimmt der prozentuale Probenanteil von den Auflagehorizonten über die Oberböden bis zu den Unterböden zu (siehe Abbildung 9). In allen weiteren Konzentrationsklassen kehrt sich diese Reihenfolge um. In der Regel liegen dann die Prozentanteile der Auflagehorizonte über denen der Ober- und Unterböden. Für Kupfer wurden in 18, für Zink in 14 Bodenproben grenzwertüberschreitende Schwermetallgehalte registriert.

Für **Cadmium** und **Blei** (siehe Abbildung 10) ergibt sich ein ähnliches Bild wie für Kupfer und Zink. Die oben beschriebenen Unterschiede zwischen den organischen Auflagehorizonten und den mineralischen Ober- bzw. Unterböden treten hier sehr deutlich hervor. Der Prozentsatz von Auflagehorizonten die die AbfKlärV-Grenzwerte überschreiten liegen mit über 20% für Blei deutlich höher als für die anderen Schwermetalle. Während für Cadmium in 13 Proben (davon 10 Auflagen) der Grenzwert überschritten wird, sind es für Blei 36 Proben (davon 34 Auflagen).

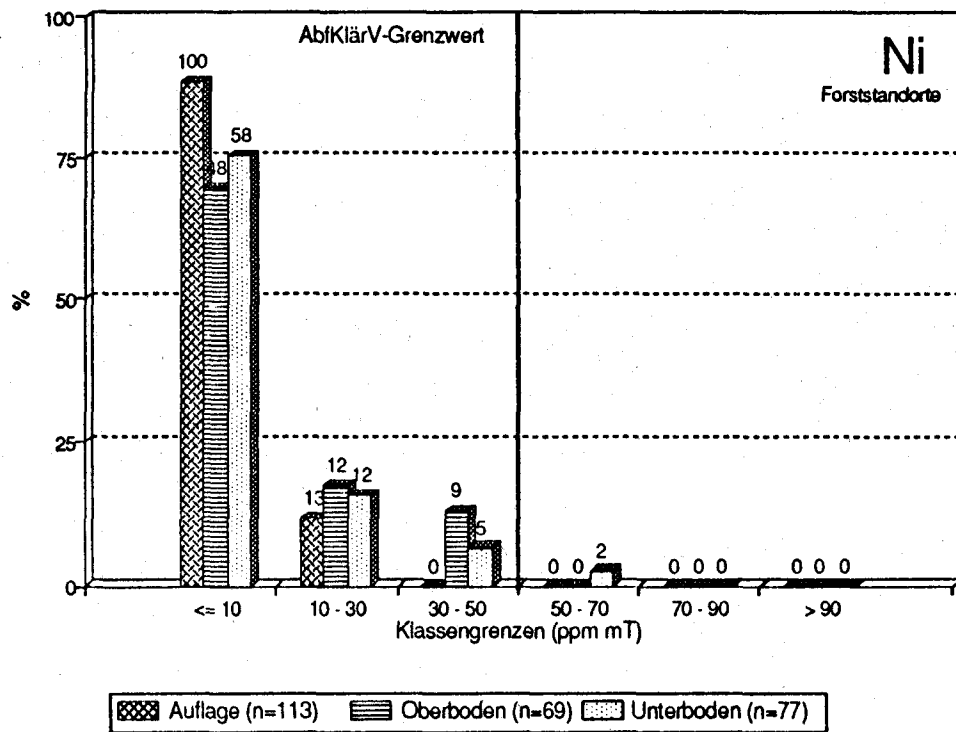
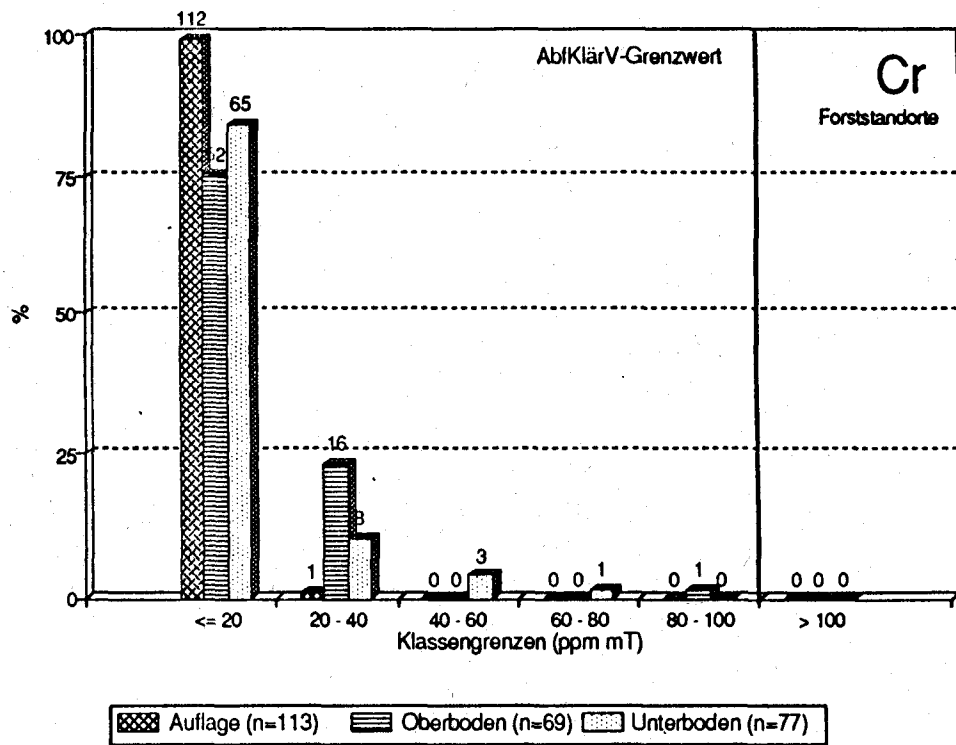


Abbildung 8: Häufigkeitsverteilung der Chrom- und Nickelgesamtgehalte in Auflagen, Ober- und Unterböden von Forststandorten;

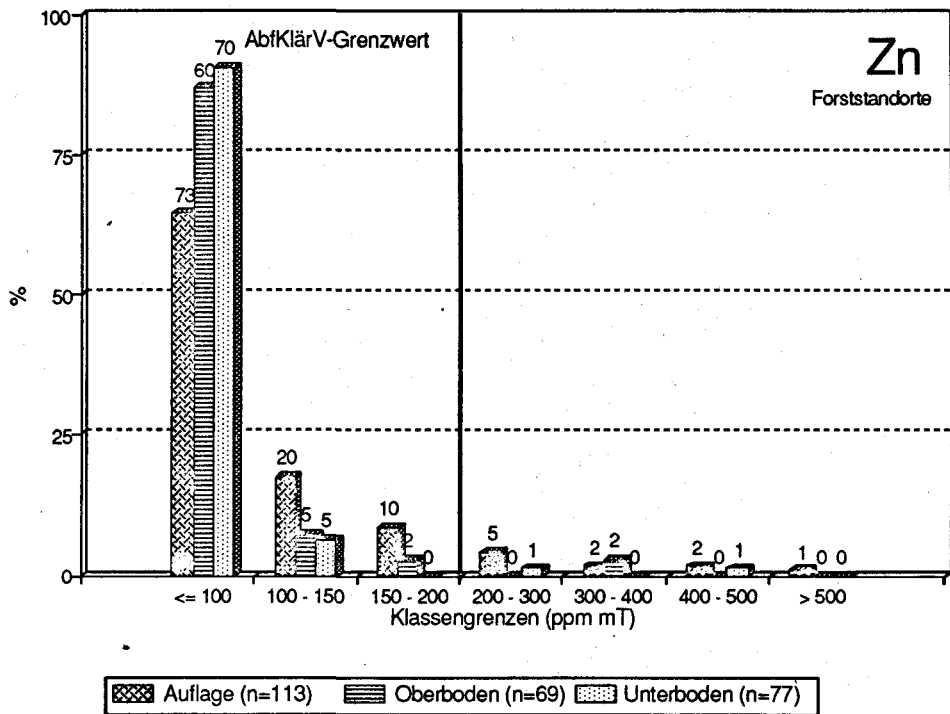
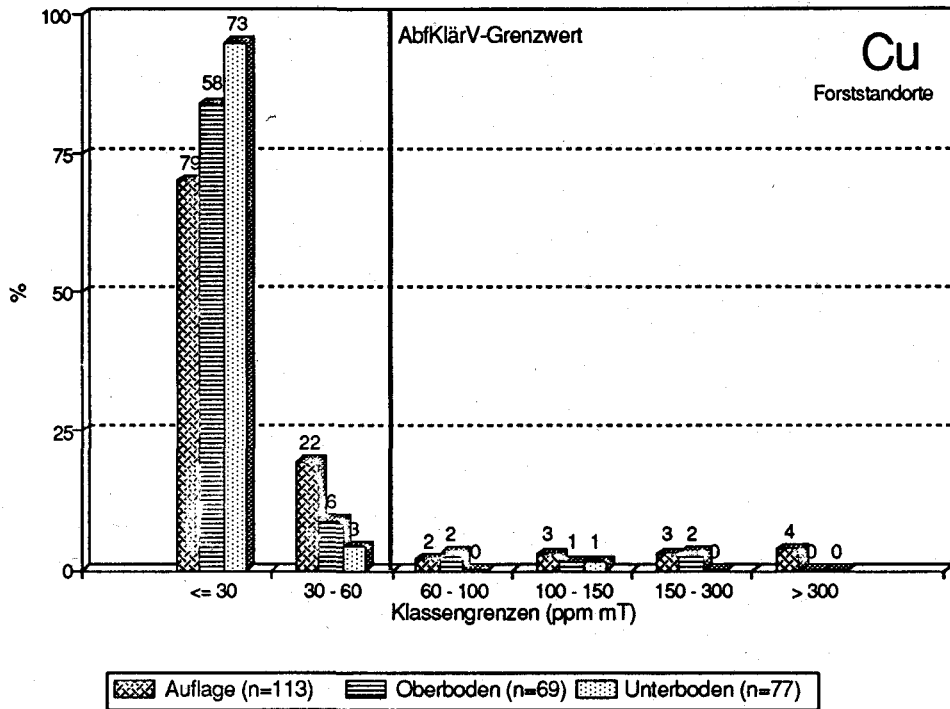


Abbildung 9: Häufigkeitsverteilung der Kupfer- und Zinkgesamtgehalte in Auflagen, Ober- und Unterböden von Forststandorten;

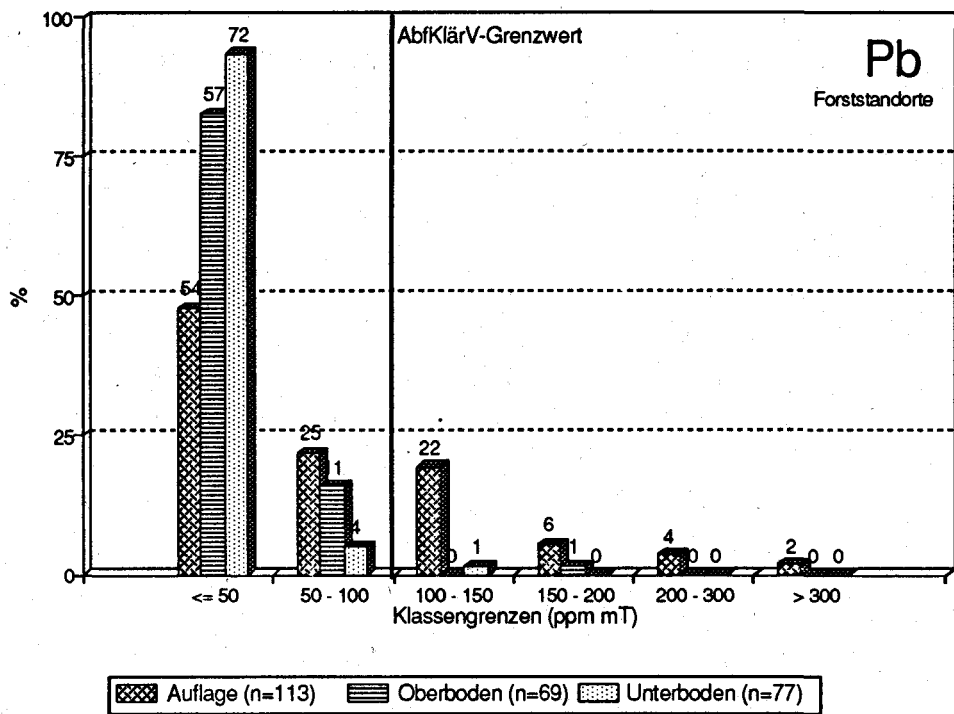
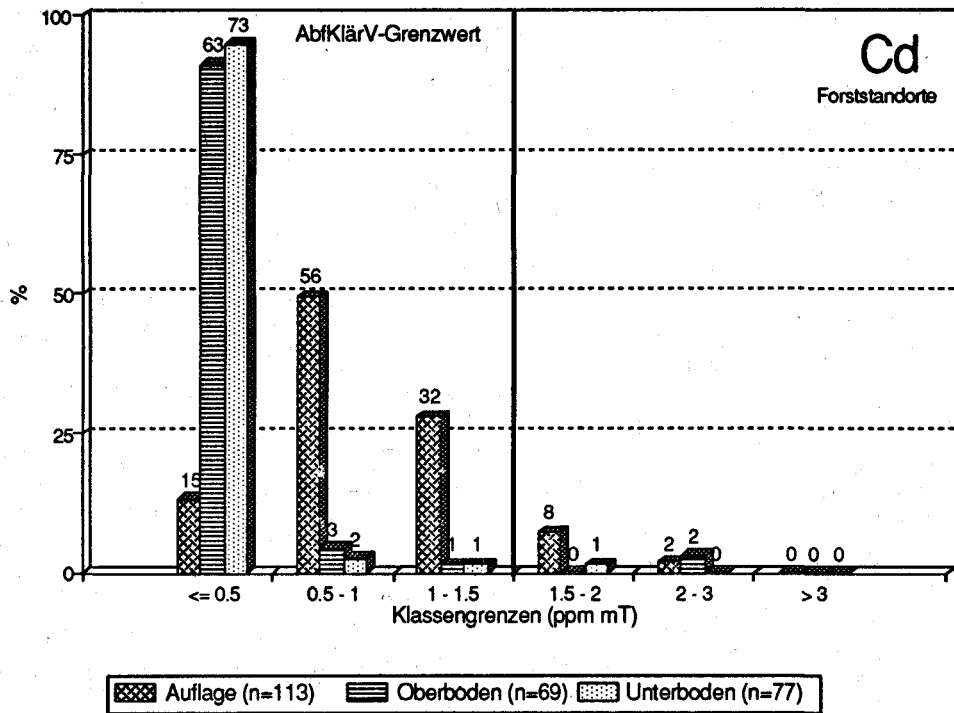


Abbildung 10: Häufigkeitsverteilung der Cadmium- und Bleigesamtgehalte in Auflagen, Ober- und Unterböden von Forststandorten;

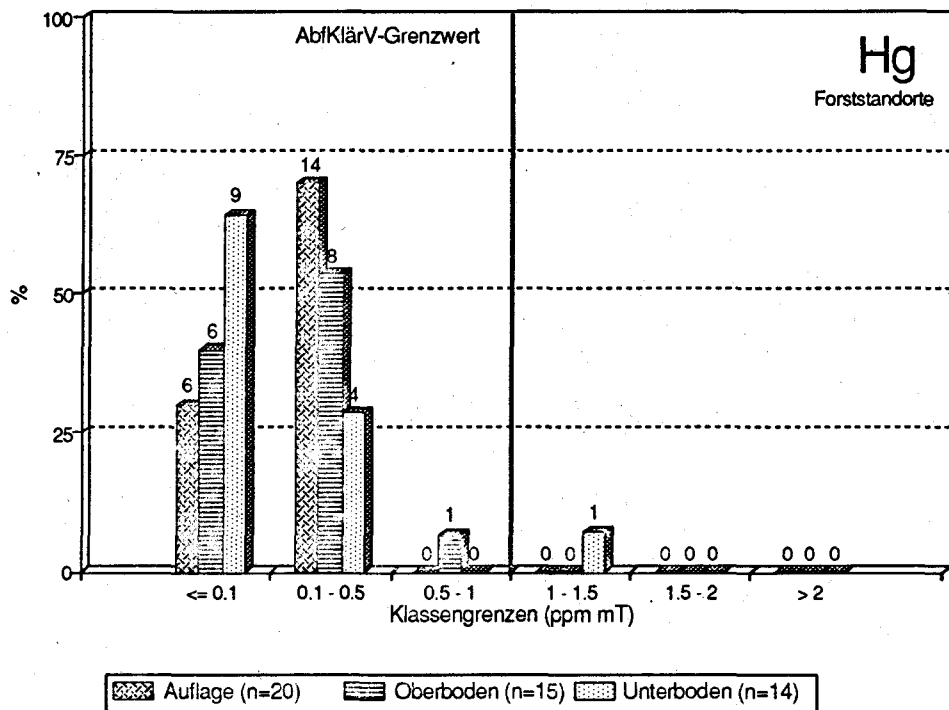


Abbildung 11: Häufigkeitsverteilung der Quecksilbergesamtgehalte in Auflagen, Ober- und Unterböden von Forststandorten;

Aufgrund der geringen Stichprobenumfänge soll auf die Häufigkeitsverteilungen der **Quecksilberkonzentrationen** (Abbildung 11) nicht näher eingegangen werden. Eine Unterbodenprobe überschreitet den AbfklärV-Grenzwert.

Auf einen Aspekt, der sich aufgrund der Zusammenschau dieser Daten ergibt, soll im folgenden hingewiesen werden. Auffällig ist, daß für Nickel und Chrom, im Gegensatz zu allen anderen Schwermetallen, die Mehrzahl der organischen Auflagen in den jeweils niedrigsten Konzentrationsklassen liegen. In den höheren Gehaltsklassen überschreiten die mineralischen Bodenhorizonte den Anteil der organischen Auflagen.

Dieses Ergebnis ist insofern überraschend, da i.d.R. in organischen Auflagen höhere Schwermetallkonzentrationen registriert werden als in den korrespondierenden mineralischen Bodenhorizonten (vgl. RUPPERT, 1987). Sie eignen sich damit nach RUPPERT (1987) zur Charakterisierung der relativen Immissionsituation. Aufgrund dieses Sachverhaltes wäre die Mehrzahl der Auflagenproben in den höheren Gehaltsklassen zu erwarten. An Hand unserer Daten verhalten sich Nickel und Chrom entgegen diesem Trend, alle übrigen Schwermetalle entsprechen diesem.

Die Untersuchungsergebnisse von MARTIN et al. (1991) und SCHMIDT et al. (1992) belegen diesen beobachteten Sachverhalt. Für Nickel und Chrom wurden dort ebenfalls deutlich niedrigere Gesamtgehalte in den Auflagen registriert, als in den Ober- und Unterböden. Für Kupfer, Zink, Cadmium und Blei nehmen dagegen auch dort die Gehalte in der Reihenfolge Auflage > Oberboden > Unterboden ab.

Erklären ließen sich diese übereinstimmenden Ergebnisse wie folgt:

Die luftgetragenen Nickel- und Chrom-Immissionen sind im Vergleich zu denen der "typischen" Schwermetalle anthropogenen Ursprungs (wie Blei, Zink, Kupfer, Cadmium, Quecksilber) deutlich niedriger (vgl. KORTE et al., 1987). Sie spiegeln sich daher nicht in entsprechender Weise in den Schwermetallkonzentrationen der Auflagen wider. Läßt man unterschiedliche pflanzenphysiologisch bedingte Schwermetallanreicherungen in vegetativen Organen außer Betracht, werden die Nickel- und Chrom-Gehalte in den organischen Auflagen in erster Linie durch die bodenbürtigen Schwermetallgrundgehalte (über den Transfer Boden-Wurzel-Pflanze) und nicht durch den Auskämmeffekt luftgetragener Problemstoffe bestimmt.

2) Beurteilung der Schwermetall-Immissionssituation

Als Vergleichsmaßstab für die Beurteilung der Immissionen in den untersuchten Tallandschaften werden im folgenden die mittleren Schwermetallgehalte der Of-Lagen des industriiefernen, ländlichen Tertiärhügellandes herangezogen (vgl. RUPPERT & JONECK, 1988). In Tabelle 25 sind die durchschnittlichen Schwermetallgesamtgehalte der Of-Lagen aufgeführt. Aufgrund der geringen Stichprobenumfänge können die vorgestellten Bewertungen allenfalls als Hinweise gewertet werden. Wie im vorangegangenen Kapitel erläutert, kennzeichnen nach unserer Auffassung die Nickel- und Chromgehalte der organischen Auflagen nicht die Immissionsituation. Sie bleiben daher im folgenden unberücksichtigt.

Tabelle 25: Vergleich mittlerer Schwermetallgesamtgehalte (mg kg ⁻¹ m _T) der Of-Lagen in den Tälern von Main, Regnitz, Pegnitz und Rednitz mit denen des industriiefernen Tertiärhügellandes;							
Kennzeichnung	n ¹	Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
Maintal	15	5 - 11 ² x̄: 6,9 s: 1,6	4 - 15 x̄: 9,3 s: 3,5	15 - 31 x̄: 22 s: 4,1	50 - 119 x̄: 81 s: 22	0,50-1,40 x̄: 0,91 s: 0,27	20 - 134 x̄: 72 s: 29
Regnitztal	17	4 - 23 x̄: 8,4 s: 5,4	4 - 11 x̄: 7,3 s: 1,7	12 - 277 x̄: 45 s: 67	51 - 195 x̄: 87 s: 36	0,39-1,35 x̄: 0,85 s: 0,3	30 - 195 x̄: 92 s: 50
Pegnitztal	12	6 - 14 x̄: 8,8 s: 2,1	5 - 23 x̄: 9 s: 5,2	36-5.170 x̄: 677 s: 1.483	95-1.050 x̄: 274 s: 266	0,73-3,0 x̄: 1,46 s: 0,7	93 - 498 x̄: 197 s: 119
Rednitztal	3	8 - 10	5 - 9	37 - 44	75 - 105	0,85-1,72	126 -246
industriiefernes Tertiärhügelland ³	k.A.	x̄: 10	x̄: 10	x̄: 15	x̄: 60	x̄: 0,6	x̄: 70
Anmerkungen: n ¹ : Stichprobenumfang; ² : Schwermetallkonzentrationsbereich; x̄: arithmetischer Mittelwert; s: Standardabweichung des arithmetischen Mittelwertes; ³ : entnommen aus RUPPERT & JONECK (1988); k.A.: keine Angaben;							

Die durchschnittlichen Schwermetallgehalte in den Auflagen des **Maintales** sind gegenüber den mittleren Gehalten des Tertiärhügellandes nicht deutlich erhöht. Die Standardabweichungen bzw. Konzentrationsmaxima legen die Vermutung für erhöhte Immissionen (vor allem für Blei, Cadmium und Zink) auf lokaler Maßstabsebene nahe.

Entsprechendes gilt für das **Regnitztal**. Die hohen Standardabweichungen der Mittelwerte sowie die Konzentrationsmaxima für Kupfer, Zink, Cadmium und Blei weisen ebenfalls auf lokale Immissionsbelastungen hin.

Im Vergleich zum Tertiärhügelland sind die durchschnittlichen Schwermetallgesamtgehalte im **Pegnitztal** für Kupfer um Faktor 45, für Zink um Faktor 4,5, für Cadmium um Faktor 2 und für Blei um Faktor 2,8 erhöht. Für sich allein betrachtet würde dies auf erhöhte Immissionen im Pegnitztal hinweisen. In Verbindung mit den Standardabweichungen und den sehr weiten Konzentrationsspannen muß dieser Befund insofern relativiert werden, da die Konzentrationsmaxima in einen lokal abgrenzbaren Raum ermittelt wurden (vgl. Kapitel 7). Die Schwermetallkonzentrationen in den Of-Lagen dieses lokal eingrenzbaeren Raumes weisen dort auf eine erhebliche Immissionsbelastung hin, die aber nicht auf den gesamten untersuchten Bereich des Pegnitztales übertragen werden kann.

Die Evaluierung der einzelnen Standorte nach ihrer Bindungsstärke für Schwermetalle bzw. nach der Gefährdung für das Grundwasser entsprechend DVWK (1988) würde bei 329 Standorten den Rahmen dieser Arbeit sprengen. In der Regel kann bei den meist hohen pH-Werten und Humusgehalten, den z.T. ausgeprägten Hydromorphiemerkmalen (hohe Eisen-, Mangangehalte) und den bindigen Bodenarten von einer mittleren bis starken, z.T. sehr starken Schwermetallimmobilisierung ausgegangen werden. Die Beurteilung der Grundwassergefährdung hängt neben der Grundwasserneubildungsrate vor allem vom Stand des Grundwasser unter der Geländeoberkante ab. Hoch anstehendes Grundwasser mit hoher Neubildungsrate ist dabei in jedem Falle kritischer zu bewerten als niedrig liegendes Grundwasser bei geringer Neubildungsrate.

8 Zusammenfassung

Die Arbeiten zum vorliegenden Fachbericht wurden im Auftrag und mit Mitteln des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen durchgeführt. Er befaßt sich mit der Inventur der Schwermetallgesamtgehalte in den Böden des Maintales und angrenzender Nebentäler, einem wichtigen Teilaspekt des Bodenkatasters Bayern. Bei der Bodenprobennahme stand die repräsentative Auswahl der Standorte im Vordergrund. Unterschiedliche Flußabschnitte, Talbereiche und Nebenflüsse fanden dabei ebenso Beachtung wie die unterschiedlichen Nutzungen und die große Vielfalt der Böden. Insgesamt wurden 329 Standorte ausgewählt und 773 Bodenproben gezogen. In 52 Tabellen werden sowohl die Schwermetallgesamtgehalte einzelner Bodentypen als auch von Standortkollektiven, die nach nutzungsspezifischen und räumlichen Gesichtspunkten zusammengefaßt wurden, dargestellt.

Die Schwermetallgesamtgehalte der Oberbodenhorizonte liegen i.d.R. über denen der Unterböden. Dies spricht für eine Schwermetallanreicherung in den Oberböden. Für Kupfer, Zink, Cadmium, Blei und in gewissem Maße auch für Quecksilber konnte dies an Hand der vorliegenden Daten gezeigt werden, nicht aber für Chrom und Nickel.

Im Vergleich zu den Ackerstandorten weisen die Oberböden der Grünlandstandorte erhöhte Schwermetallgehalte auf. Dieser Unterschied dürfte vor allem auf die durchmischende und damit verdünnend wirkende Pflugtätigkeit unter Ackernutzung zurückzuführen sein. An 47 von 249 Oberbodenhorizonten landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzter Standorte, dies entspricht ca. 19 %, wurde zumindest ein Schwerme-

tallgrenzwert der AbfklärV überschritten. Auf den ubiquitären Schwermetalleintrag allein lassen sich diese erhöhten Gehalte größtenteils nicht zurückführen. Vielmehr dürften dafür räumlich begrenzte anthropogene Zusatzeinträge verantwortlich sein.

Die räumliche Differenzierung durch Gegenüberstellung der Untersuchungsergebnisse unterschiedlicher Talabschnitte ergab nur für den Abschnitt zwischen Erlangen und Nürnberg (Regnitz, Pegnitz) leicht erhöhte Kupfer-, Zink-, Cadmium-, und Bleikonzentrationsniveaus unter Acker- und Grünlandnutzung.

Werden als Vergleichsmaßstab für die Beurteilung der Immissionen in den untersuchten Tallandschaften die mittleren Schwermetallgehalte der Of-Lagen des industriefernen, ländlichen Tertiärhügellandes herangezogen, scheint sich die oben beschriebene Situation für den Raum im Nordosten Nürnbergs zu bestätigen. Im Pegnitztal liegen die durchschnittlichen Schwermetallgesamtgehalte für Kupfer, Zink, Cadmium und Blei deutlich über den Konzentrationen in den Of-Lagen des Tertiärhügellandes. In Verbindung mit den hohen Standardabweichungen und den sehr weiten Konzentrationsspannen muß berücksichtigt werden, daß die Konzentrationsmaxima in einem lokal abgrenzbaren Raum ermittelt wurden.

Im Main- und Regnitztal sind die durchschnittlichen Schwermetallgehalte in den Auflagen nicht gegenüber denen des Tertiärhügellandes erhöht.

Für Nickel und Chrom konnte im Gegensatz zu allen anderen Schwermetallen unter forstwirtschaftlicher Nutzung gezeigt werden, daß die Mehrzahl der organischen Auflagen niedrigere Gehalte aufweisen als die Oberbodenhorizonte. Dies ist insofern überraschend, da i.d.R. in organischen Auflagen höhere Schwermetallkonzentrationen registriert werden als in den korrespondierenden mineralischen Bodenhorizonten (vgl. RUPPERT, 1987; MARTIN et al., 1992).

Erklärt werden kann dies dadurch, daß die luftgetragenen Nickel- und Chrom-Immissionen deutlich niedriger sind als diejenigen der "typischen" Schwermetalle anthropogenen Ursprungs wie z.B. Blei und Zink. Sie spiegeln sich daher nicht in entsprechender Weise in den Schwermetallkonzentrationen der Auflagen wider. Läßt man unterschiedliche pflanzenphysiologisch bedingte Schwermetallanreicherungen in vegetativen Organen außer Betracht, werden die Nickel- und Chrom-Gehalte in den organischen Auflagen in erster Linie durch die bodenbürtigen Schwermetallgrundgehalte (über den Transfer Boden-Wurzel-Pflanze) und nicht durch den Auskämmeffekt luftgetragener Problemstoffe bestimmt.

Aufgrund der Pedogenese von Auenböden und ihrer Sonderstellung im Rahmen des Wasser- und Stoffhaushaltes ist unserer Auffassung nach eine Trennung geogener und pedogener/anthropogener Schwermetallanteile in diesen Böden allein mit Hilfe der Schwermetallgesamtgehalte nicht möglich. Insofern kann der vorliegende Bericht dazu keinen Beitrag liefern. In Verbindung mit dem GLA-Fachbericht 4 "Schwermetallgehalte in Böden des Donautales" liegt nun jedoch erstmals ein ausführliche Dokumentation über die Schwermetallgesamtgehalte der Böden in den beiden größten Entwässerungssystemen Bayerns vor.

9 Danksagung

Dem Bayerischen Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen sowie der Amts- und Abteilungsleitung danken wir für die uneingeschränkte Unterstützung bei der Bearbeitung des Vorhabens. Die Dipl.-Ingenieure (FH) haben mit großer Umsicht und Sorgfalt die Probennahme, Standort- und Profilbeschreibung durchgeführt und damit ganz wesentlich zum Gelingen der Arbeit beigetragen. Die Schwermetallanalysen wurden von unseren Kollegen in der GLA-Außenstelle in Bamberg durchgeführt. Ihnen danken wir ebenso wie unserem Kollegen R. Schmidt für die Erstellung der Graphiken und unseren Kollegen Dr. F. Schmidt und Dr. Th. Suttner für die Durchsicht des Manuskriptes.

10 Literaturverzeichnis

ARBEITSGRUPPE BODENKUNDE (1982): Bodenkundliche Kartierung. - 3. verbesserte und erweiterte Auflage, 331 S., Hannover;

BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (Hrsg.)(1980): Wasserwirtschaftliche Rahmenuntersuchungen Donau und Main. Bayerisches Geologisches Landesamt, München;

BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM DES INNEREN, BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDESENTWICKLUNG UND UMWELTFRAGEN (Hrsg.)(1991): Leitfaden für die Behandlung von Altablagerungen und kontaminierten Standorten in Bayern RB-Nr. 40/90/12, München;

BERGER, K. (1978): Geologische Karte von Bayern 1 : 50 000. Erläuterungen zur geologischen Karte Nürnberg-Fürth-Erlangen und Umgebung. Bayerisches Geologisches Landesamt (Hrsg.), München;

BMI (Hrsg.)(1975): Uferfiltration. Bericht des BMI-Fachausschusses "Wasserversorgung und Uferfiltrat", Bonn;

BMU (1991): Klärschlammverordnung (AbfKlärV) vom 15. April 1992. Bundesgesetzblatt, Teil I, S. 912-934;

BOR, J., J. KRZYZANOWSKI (1987): Rechenmodelle zur Schwermetallbilanzierung in Böden. Mainzer geowiss. Berichte 16, S. 307-326;

BRÜMMER, G., J. GERTH, U. HERMS (1986): Heavy metal species, mobility and availability in soils. Z. Pflanzenern. u. Bodenkunde 149, S. 382-398;

BRUNNACKER, K. et al. (1978): Flußgeschichte - In: Das Mainprojekt - Hydrogeologische Studien zum Grundwasserhaushalt und zur Stoffbilanz im Main Einzugsgebiet.- Schriftenreihe Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft, Heft 7, München;

DÜRETH-JONECK, S. (1993): Entwicklung eines naturnahen, praxisorientierten Mobilitätstests für Schwermetalle und Arsen in kontaminierten Böden. Schriftenreihe des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft, Universität Karlsruhe (TH), Band 66, 127 S., Karlsruhe;

DVWK (1988): Filtereigenschaften des Bodens gegenüber Schadstoffen. Teil I: Beurteilung der Fähigkeit von Böden, zugeführte Schwermetalle zu immobilisieren. Merkblätter zur Wasserwirtschaft 212/1988, Verlag Paul Parey, Hamburg, Berlin;

FÖRSTNER, U. (1983): Bindungsformen von Schwermetallen in Sedimenten und Schlämmen: Sorption/Mobilisierung, chemische Extraktion und Bioverfügbarkeit. Fresenius Z. Anal. Chemie 316, S. 604-611;

FREYBERG, B. von (1955): Die Entstehung des Bamberger Kessels.- Geol. Bl. NO-Bayern, 5: S. 155-164; Erlangen;

FUGMANN, L. (1976): Untersuchungen in der Talaue des Mains zwischen Bamberg und Marktbreit.- unveröff. Dipl.-Arb. Univ. Würzburg;

HORNBERG, V. (1991): Untersuchungen zur Mobilität und Verfügbarkeit von Cadmium, Zink, Mangan, Blei und Kupfer in Böden. Bonner Bodenkundl. Abh. 2, 228 S., Bonn;

- HILLER, D.A. (1991): Elektronenmikrostrahlanalysen zur Erfassung der Schwermetallbindungsformen in Böden unterschiedlicher Schwermetallbelastung. Bonner Bodenkundl. Abh., 4, 172 S., Bonn;
- JERZ, H. (1986): Zur Flußgeschichte des Mains.- In: Haunschild, H. (1986): Geologische Karte von Bayern 1 : 25 000, Erläuterungen zum Blatt-Nr. 6326 Ochsenfurt, Bayerisches Geologisches Landesamt (Hrsg.), München;
- JONECK, M. (1987): Untersuchungen zur Wasser- und Stoffdynamik in einem hängigen Einzugsgebiet des Rotmains. Bayreuther Bodenkundliche Berichte 2, 130 S., Bayreuth;
- JONECK, M. , R. PRINZ (1993): Inventur organischer Schadstoffe in Böden Bayerns. Chlorierte Kohlenwasserstoffe, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe und N-Herbizide in Böden unterschiedlicher Nutzung und Immissionssituation. GLA-Fachbericht 9, 155 S., Bayerisches Geologisches Landesamt (Hrsg.), München;
- KORTE, F., P. SPITZAUER, U. DÖRFLER, M. SPITZAUER (1987): Wirkungsuntersuchungen für die Belastungsgebiete Erlangen-Fürth-Nürnberg und Ingolstadt-Neustadt-Kelheim. Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (Hrsg.), Materialien 48 (Band I: Ergebnisse, Band II: Monographien, Literatur), München;
- KÖRBER, H. (1962): Die Entwicklung des Maintales.- Würzburger Geograph. Arb., 10: 170 S.; Würzburg;
- KOSCHEL, R. (1970): Erläuterung zur Geologischen Karte von Bayern 1 : 25 000 Blatt Nr. 6031 Bamberg Nord.- 167 S.; Bayerisches Geologisches Landesamt (Hrsg.), München;
- LANG, M. (1970): Geologische Karte von Bayern 1 : 25 000. Erläuterungen zum Blatt Nr. 6131 Bamberg Süd.- Bayerisches Geologisches Landesamt (Hrsg.), München;
- LANDESANSTALT FÜR ÖKOLOGIE, LANDSCHAFTSENTWICKLUNG UND FORSTPLANUNG NORDRHEIN-WESTFALEN (LÖLF) (1988): Mindestuntersuchungsprogramm Kulturböden zur Gefährdungsabschätzung von Altablagerungen und Altstandorten im Hinblick auf eine landwirtschaftliche und gärtnerische Nutzung. Recklinghausen;
- MARTIN, W., H. RUPPERT, G. FRIED (1991): Veränderung von Elementgehalten, pH-Wert und potentieller Kationenaustauschkapazität in ausgewählten Böden Bayerns. GLA-Fachbericht 6, 61 S., Bayerisches Geologisches Landesamt (Hrsg.), München;
- PRÜß, A., G. TURIAN, V. SCHWEIKLE (1991): Ableitung kritischer Gehalte an NH_4NO_3 -extrahierbaren, ökologisch relevanten Spurenelementen in Böden SW-Deutschlands. Mitteilungen Dt. Bodenkundl. Gesellsch., 66, S. 385-388;
- RUPPERT, H. (1987a): Natürliche Grundgehalte und anthropogene Anreicherungen von Schwermetallen in Böden Bayerns. GLA-Fachbericht 2, 97 S., Bayerisches Geologisches Landesamt (Hrsg.), München;
- RUPPERT, H. (1987b): Bestimmung von Schwermetallen im Boden sowie die ihr Verhalten beeinflussenden Bodeneigenschaften. Beilage zum GLA-Fachbericht 2, 97 S., Bayerisches Geologisches Landesamt (Hrsg.), München;
- RUPPERT, H. (1991): Zur Problematik der Abschätzung anthropogener Stoffgehalte in Böden am Beispiel von Schwermetallen. GLA-Fachbericht 6, S. 37-61, Bayerisches Geologisches Landesamt, München;

- RUPPERT, H., M. JONECK (1988): Anthropogene Schwermetallanreicherungen in bayerischen Böden vor dem Hintergrund der natürlichen Gehalte. *Materialien* 54, 60 S., Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (Hrsg.), München;
- RUPPERT, H., F. SCHMIDT, M. JONECK, H. JERZ, O. DREXLER (1988): Schwermetallgehalte in Böden des Donautales. *GLA-Fachbericht* 4, 51 S., Bayerisches Geologisches Landesamt (Hrsg.), München;
- SCHIRMER, W. (1973): The Holocene of the Former Periglacial Areas.- *Eiszeitalter und Gegenwart*, 23/24: S. 306-320; Öhringen/Württemberg;
- SCHMIDT, F., A. BÖHM, J. HAMMERL, B. HOFMANN, G. HOLZNER, R. JOCHUM, X. KELLER, C. MAHLER, W. MARTIN, A. PETSCHL, R. PRINZ, B. SCHILLING, E.-D. SPIES, G. STIMMELMEIER, O. WITTMANN (1992): Die Böden Bayerns. *Datenhandbuch für die Böden des Tertiärhügellandes, der Iller-Lech-Platte und des Donautales*. Bayerisches Geologisches Landesamt (Hrsg.), München;
- SCHNITZER, W.-A. (1978): Geologischer Aufbau.- In: *Das Mainprojekt - Hydrogeologische Studien zum Grundwasserhaushalt und zur Stoffbilanz im Main Einzugsgebiet*.- Schriftenreihe Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, Heft 7, München;
- SCHÖNFISCH, G. (1990): Schwermetallgehalte in Flußsedimenten des Mains und Oberrheins. *Inaugural-Dissertation an der Heinrich-Heine-Universität*, 168 S., Düsseldorf;
- SCHRÖDER, B. (1968): Geologische Karte von Bayern 1 : 25 000. Erläuterungen zu Blatt Nr. 6332 Erlangen Nord.- Bayerisches Geologisches Landesamt (Hrsg.), München;
- SCHWARZMEIER, J. (1977): Geologische Karte von Bayern 1 : 25 000. Erläuterungen zum Blatt Nr. 6024 Karlstadt und zum Blatt Nr. 6124 Remlingen.- Bayerisches Geologisches Landesamt (Hrsg.), München;
- SCHWARZMEIER, J. (1979): Geologische Karte von Bayern 1 : 25 000. Erläuterungen zum Blatt Nr. 6123 Marktheidenfeld. Bayerisches Geologisches Landesamt (Hrsg.), München (1980);
- SPÖCKER, R.G. (1973): Geologie im Mündungsgebiet der Urpegnitz.- *Geologica Bavarica*, 67: S. 253-277; München;
- TESSIER, A., P.G.L. CAMPELL, M. BISSON (1979): Sequential extraction procedure for the speciation of particle trace metals. *Anal. Chemistry* 51, pp. 844-851;
- WEICKEN, H.-M. (1982): Untersuchungen zur mittel- und jungpleistozänen Talgeschichte der Rednitz.- *Mitt. Fränk. Geograph. Ges.*, 27/28: S. 1-122; Erlangen;

Tabelle A1: Räumliche Differenzierung der Schwermetallgesamtheite (mg kg⁻¹ m_T) in Böden landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzter sowie "Sonstiger"-Standorte des Maintales (Flußabschnitt: *Aschaffenburg - Markt Heidenfeld*);

Kennzeichnung	n ¹	Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	Hg
Acker - Oberböden	24	9 - 40 x̄: 24 s: 7,3	6 - 31 x̄: 16 s: 4,9	7 - 34 x̄: 18 s: 7,2	29 - 169 x̄: 68 s: 34	0,16 - 0,83 x̄: 0,33 s: 0,14	16 - 158 x̄: 37 s: 30	0,08 - 0,24 x̄: 0,13 s: 0,04 (n=17)
Acker - Unterböden	25	8 - 31 x̄: 19 s: 6,2	4 - 30 x̄: 15 s: 5,7	6 - 23 x̄: 12 s: 4,7	18 - 98 x̄: 43 s: 18	0,06 - 0,42 x̄: 0,17 s: 0,08	7 - 33 x̄: 20 s: 7,1	0,02 - 0,20 x̄: 0,09 s: 0,05 (n=17)
Grünland - Oberböden	21	18 - 45 x̄: 33 s: 7,8	14 - 36 x̄: 22 s: 5,8	13 - 48 x̄: 32 s: 11	57 - 279 x̄: 153 s: 68	0,15 - 1,16 x̄: 0,63 s: 0,34	27 - 69 x̄: 45 s: 11	0,09 - 0,55 x̄: 0,22 s: 0,11 (n=20)
Grünland - Unterböden	21	12 - 48 x̄: 26 s: 8,2	11 - 28 x̄: 18 s: 4,8	11 - 46 x̄: 23 s: 10	40 - 293 x̄: 107 s: 68	0,09 - 1,11 x̄: 0,42 s: 0,27	14 - 66 x̄: 36 s: 13	0,07 - 0,41 x̄: 0,19 s: 0,09 (n=20)
Gärten - Oberböden		n.b. ²	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Gärten - Unterböden		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Sonstige - Oberböden	2	11/50	8/29	13/60	103/135	0,35/1,16	35/54	0,1/0,42
Sonstige - Unterböden	1	45	30	63	258	0,74	68	0,77

Anmerkungen: n¹: Stichprobenumfang; n.b.²: nicht beprobt; x̄: arithmetischer Mittelwert;
s: Standardabweichung des arithmetischen Mittelwertes;

Tabelle A2: Räumliche Differenzierung der Schwermetallgesamtheite (mg kg ⁻¹ m _p) in Böden landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzter sowie "Sonstiger"-Standorte des Maintales (Flußabschnitt: Markt Heidenfeld - Karlstadt);									
Kennzeichnung	n ¹	Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	Hg	
Acker - Oberböden	5	13 - 32 x̄: 20 s: 7,4	10 - 21 x̄: 15 s: 4,2	11 - 21 x̄: 15 s: 3,9	37 - 67 x̄: 53 s: 12	0,14 - 0,36 x̄: 0,3 s: 0,09	13 - 33 x̄: 23 s: 7,9	0,04 - 0,19 x̄: 0,11 s: 0,06 (n=5)	
Acker - Unterböden	3	10 - 20	9 - 14	7 - 13	24 - 42	0,12 - 0,18	9 - 24	0,03 - 0,10 (n=3)	
Grünland - Oberböden	9	16 - 95 x̄: 43 s: 29	8 - 50 x̄: 25 s: 14	7 - 135 x̄: 52 s: 51	41 - 426 x̄: 173 s: 149	0,21 - 2,79 x̄: 1,18 s: 1,1	28 - 88 x̄: 51 s: 25	0,08 - 0,57 x̄: 0,31 s: 0,22 (n=8)	
Grünland - Unterböden	9	15 - 77 x̄: 35 s: 24	8 - 45 x̄: 21 s: 12	5 - 134 x̄: 40 s: 48	27 - 497 x̄: 138 s: 162	0,11 - 2,40 x̄: 0,67 s: 0,76	17 - 96 x̄: 42 s: 28	0,06 - 1,30 x̄: 0,38 s: 0,44 (n=8)	
Gärten - Oberböden		n.b. ²	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	
Gärten - Unterböden		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	
Sonstige - Oberböden	1	48	29	65	209	1,61	52	0,28	
Sonstige - Unterböden	1	70	38	120	316	3,09	62	0,45	

Anmerkungen: n¹: Stichprobenumfang; n.b.²: nicht beprobt; x̄: arithmetischer Mittelwert;
s: Standardabweichung des arithmetischen Mittelwertes;

Tabelle A3: Räumliche Differenzierung der Schwermetallgesamtheite (mg kg ⁻¹ m _T) in Böden landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzter sowie "Sonstiger"-Standorte des Maintales (Flußabschnitt: Karlstadt - Kitzingen);									
Kennzeichnung	n ¹	Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	Hg	
Acker - Oberböden	37	11 - 55 x̄: 29 s: 11	8 - 60 x̄: 24 s: 11	9 - 87 x̄: 21 s: 14	34 - 156 x̄: 65 s: 28	0,13 - 0,79 x̄: 0,29 s: 0,12	12 - 98 x̄: 32 s: 17	0,06 - 0,42 x̄: 0,16 s: 0,09 (n=20)	
Acker - Unterböden	35	10 - 48 x̄: 25 s: 9,6	6 - 44 x̄: 20 s: 8,8	4 - 70 x̄: 16 s: 12	20 - 118 x̄: 47 s: 20	0,05 - 0,50 x̄: 0,17 s: 0,09	6 - 59 x̄: 22 s: 13	0,02 - 0,60 x̄: 0,12 s: 0,14 (n=17)	
Grünland - Oberböden	7	15 - 52 x̄: 31 s: 11	13 - 30 x̄: 21 s: 5,5	16 - 85 x̄: 33 s: 24	54 - 269 x̄: 115 s: 79	0,24 - 1,29 x̄: 0,60 s: 0,37	23 - 90 x̄: 44 s: 24	0,11 - 0,74 x̄: 0,26 s: 0,24 (n=6)	
Grünland - Unterböden	7	9 - 67 x̄: 29 s: 18	11 - 41 x̄: 22 s: 9,4	9 - 94 x̄: 32 s: 32	27 - 346 x̄: 108 s: 115	0,08 - 1,81 x̄: 0,48 s: 0,61	13 - 82 x̄: 38 s: 29	0,07 - 0,90 x̄: 0,33 s: 0,31 (n=6)	
Gärten - Oberböden	1	5	4	6	29	0,13	14	n.a. ²	
Gärten - Unterböden	1	6	7	7	36	0,07	8	n.a.	
Sonstige - Oberböden	2	24/26	16/24	22/31	74/89	0,36/0,48	33/90	0,25/0,35	
Sonstige - Unterböden	1	32	27	28	74	0,24	30	0,15	
Anmerkungen: n ¹ : Stichprobenumfang; n.a. ² : nicht analysiert; x̄: arithmetischer Mittelwert; s: Standardabweichung des arithmetischen Mittelwertes;									

Tabelle A4: Räumliche Differenzierung der Schwermetallgesamtgehalte (mg kg ⁻¹ m _p) in Böden landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzter sowie "Sonstiger"-Standorte des Maintales (Flußabschnitt: <i>Kitzingen - Hassfurt</i>);									
Kennzeichnung	n ¹	Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	Hg	
Acker - Oberböden	24	11 - 47 x̄: 28 s: 11	6 - 43 x̄: 23 s: 11	6 - 35 x̄: 21 s: 7,2	22 - 111 x̄: 70 s: 24	0,17 - 0,71 x̄: 0,23 s: 0,11	11 - 59 x̄: 28 s: 9,6	0,08 - 0,13 x̄: 0,10 s: 0,02 (n=4)	
Acker - Unterböden	24	11 - 48 x̄: 28 s: 12	8 - 49 x̄: 25 s: 11	6 - 33 x̄: 19 s: 7,1	20 - 107 x̄: 65 s: 25	0,12 - 0,52 x̄: 0,23 s: 0,1	9 - 54 x̄: 23 s: 9,1	0,02 - 0,16 x̄: 0,08 s: 0,06 (n=4)	
Grünland - Oberböden	7	14 - 47 x̄: 29 s: 16	12 - 30 x̄: 19 s: 6,9	13 - 115 x̄: 44 s: 40	44 - 280 x̄: 119 s: 92	0,22 - 1,96 x̄: 0,78 s: 0,64	20 - 75 x̄: 41 s: 24	0,15/0,71 n=2	
Grünland - Unterböden	7	12 - 34 x̄: 21 s: 9,1	11 - 22 x̄: 17 s: 4,6	11 - 60 x̄: 32 s: 22	35 - 147 x̄: 81 s: 50	0,17 - 0,74 x̄: 0,37 s: 0,23	15 - 69 x̄: 33 s: 20	0,09/0,63 n=2	
Gärten - Oberböden		n.b. ²	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	
Gärten - Unterböden		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	
Sonstige - Oberböden	2	27/63	21/32	32/44	139/328	0,53/0,76	87/136	n.a. ³	
Sonstige - Unterböden		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	

Anmerkungen: n¹: Stichprobenumfang; ²: Schwermetallkonzentrationsbereich; n.b.³: nicht beprobt; n.a.³: nicht analysiert; x̄: arithmetischer Mittelwert; s: Standardabweichung des arithmetischen Mittelwertes;

Tabelle A5: Räumliche Differenzierung der Schwermetallgesamtheite (mg kg ⁻¹ m _p) in Böden landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzter sowie "Sonstiger"-Standorte des Maintales (Flußabschnitt: Hassfurt - Bamberg);								
Kennzeichnung	n ¹	Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	Hg
Acker - Oberböden	27	6 - 44 x̄: 20 s: 7,5	1 - 41 x̄: 20 s: 8,8	5 - 60 x̄: 20 s: 11	17 - 164 x̄: 72 s: 31	0,22 - 0,81 x̄: 0,36 s: 0,15	14 - 190 x̄: 35 s: 40	n.a. ²
Acker - Unterböden	27	3 - 44 x̄: 20 s: 9,7	1 - 47 x̄: 21 s: 12	2 - 62 x̄: 17 s: 11	4 - 279 x̄: 62 s: 49	0,04 - 3,04 x̄: 0,32 s: 0,55	2 - 68 x̄: 20 s: 12	n.a.
Grünland - Oberböden	15	17 - 38 x̄: 26 s: 7,4	14 - 40 x̄: 23 s: 7,7	13 - 63 x̄: 25 s: 15	46 - 238 x̄: 105 s: 61	0,21 - 1,86 x̄: 0,58 s: 0,45	14 - 66 x̄: 33 s: 15	n.a.
Grünland - Unterböden	15	4 - 37 x̄: 22 s: 8,9	5 - 34 x̄: 21 s: 8,2	7 - 42 x̄: 19 s: 9,8	22 - 215 x̄: 75 s: 55	0,07 - 1,08 x̄: 0,32 s: 0,25	12 - 52 x̄: 26 s: 13	n.a.
Gärten - Oberböden		n.b. ³	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Gärten - Unterböden		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Sonstige - Oberböden		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Sonstige - Unterböden		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

Anmerkungen: n¹: Stichprobenumfang; n.a.²: nicht analysiert; n.b.³: nicht beprobt; x̄: arithmetischer Mittelwert; s: Standardabweichung des arithmetischen Mittelwertes;

Tabelle A6: Räumliche Differenzierung der Schwermetallgesamtheite (mg kg ⁻¹ m _T) in Böden landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzter sowie "Sonstiger"-Standorte (Flußabschnitt: Bamberg - Erlangen);									
Kennzeichnung	n ¹	Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	Hg	
Acker - Oberböden	15	16 - 40 x̄: 25 s: 7,9	7 - 45 x̄: 24 s: 11	16 - 197 x̄: 38 s: 46	62 - 167 x̄: 97 s: 29	0,27 - 0,88 x̄: 0,54 s: 0,21	21 - 80 x̄: 39 s: 16	n.a. ²	
Acker - Unterböden	15	9 - 40 x̄: 23 s: 10	6 - 47 x̄: 24 s: 13	8 - 42 x̄: 18 s: 7,7	31 - 106 x̄: 72 s: 27	0,10 - 0,46 x̄: 0,29 s: 0,1	14 - 47 x̄: 24 s: 8,6	n.a.	
Grünland - Oberböden	9	18 - 58 x̄: 34 s: 13	14 - 51 x̄: 28 s: 13	17 - 233 x̄: 58 s: 70	50 - 465 x̄: 161 s: 130	0,31 - 1,98 x̄: 0,75 s: 0,52	22 - 141 x̄: 55 s: 37	n.a.	
Grünland - Unterböden	9	10 - 39 x̄: 24 s: 9,8	6 - 55 x̄: 26 s: 16	10 - 77 x̄: 31 s: 25	33 - 176 x̄: 90 s: 50	0,15 - 0,55 x̄: 0,36 s: 0,16	12 - 68 x̄: 35 s: 20	n.a.	
Gärten - Oberböden	1	47	21	31	166	0,87	76	n.a.	
Gärten - Unterböden		n.b. ⁴	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	
Sonstige - Oberböden	3	7 - 115	3 - 42	7 - 299	26 - 668	0,16 - 4,72	23 - 141	n.a.	
Sonstige - Unterböden	3	8 - 63	8 - 37	6 - 253	23 - 701	0,17 - 2,46	16 - 134	n.a.	
Anmerkungen: n ¹ : Stichprobenumfang; n.a. ² : nicht analysiert; x̄: arithmetischer Mittelwert; s: Standardabweichung des arithmetischen Mittelwertes;									

Tabelle A7: Räumliche Differenzierung der Schwermetallgesamthalte (mg kg ⁻¹ m _T) in Böden landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzter sowie "Sonstiger"-Standorte (Flußabschnitt: Erlangen - Nürnberg);									
Kennzeichnung	n ¹	Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	Hg	
Acker - Oberböden	20	7 - 31 x̄: 19 s: 7,5	3 - 24 x̄: 14 s: 6,4	17 - 243 x̄: 61 s: 51	39 - 414 x̄: 118 s: 86	0,14 - 1,10 x̄: 0,58 s: 0,31	29 - 239 x̄: 69 s: 55	n.a. ²	
Acker - Unterböden	20	1 - 29 x̄: 15 s: 8	1 - 34 x̄: 15 s: 9,7	7 - 167 x̄: 28 s: 35	20 - 265 x̄: 65 s: 54	0,04 - 0,67 x̄: 0,26 s: 0,17	8 - 164 x̄: 30 s: 34	n.a.	
Grünland - Oberböden	27	12 - 49 x̄: 30 s: 11	8 - 50 x̄: 28 s: 11	19 - 270 x̄: 91 s: 73	87 - 486 x̄: 195 s: 113	0,41 - 1,74 x̄: 0,88 s: 0,38	24 - 257 x̄: 75 s: 55	n.a.	
Grünland - Unterböden	27	9 - 41 x̄: 22 s: 8,9	9 - 56 x̄: 26 s: 13	13 - 439 x̄: 65 s: 95	45 - 458 x̄: 127 s: 87	0,17 - 1,00 x̄: 0,47 s: 0,21	17 - 244 x̄: 52 s: 47	n.a.	
Gärten - Oberböden	4	19 - 86 x̄: 45 s: 29	8 - 48 x̄: 25 s: 20	40 - 535 x̄: 215 s: 233	111 - 913 x̄: 425 s: 383	0,29 - 1,90 x̄: 0,99 s: 0,71	59 - 710 x̄: 249 s: 311	n.a.	
Gärten - Unterböden		n.b. ³	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	
Sonstige - Oberböden	2	12/46	6/58	9/142	27/434	0,17/1,71	22/151	n.a.	
Sonstige - Unterböden	2	8/43	4/58	3/120	11/274	0,05/0,78	6/103	n.a.	

Anmerkungen: n¹: Stichprobenumfang; n.a.²: nicht analysiert; n.b.³: nicht beprobt; x̄: arithmetischer Mittelwert; s: Standardabweichung des arithmetischen Mittelwertes;

Tabelle A8: Räumliche Differenzierung der Schwermetallgesamtgehalte (mg kg ⁻¹ m _T) in Böden landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzter sowie "Sonstiger"-Standorte des Maintales (Flußabschnitt: Bamberg - Lichtenfels);									
Kennzeichnung	n ¹	Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	Hg	
Acker - Oberböden	5	17 - 44 x̄: 27 s: 11	22 - 41 x̄: 27 s: 8	15 - 31 x̄: 21 s: 6,2	54 - 101 x̄: 75 s: 20	0,23 - 0,51 x̄: 0,34 s: 0,10	17 - 36 x̄: 25 s: 7,2	n.a. ²	
Acker - Unterböden	5	2 - 42 x̄: 24 s: 11	12 - 40 x̄: 25 s: 11	9 - 30 x̄: 17 s: 8,4	33 - 83 x̄: 56 s: 23	0,17 - 0,38 x̄: 0,23 s: 0,08	10 - 27 x̄: 17 s: 6,9	n.a.	
Grünland - Oberböden	6	17 - 38 x̄: 26 s: 8	16 - 40 x̄: 24 s: 8,6	13 - 50 x̄: 24 s: 15	52 - 238 x̄: 104 s: 75	0,26 - 1,86 x̄: 0,63 s: 0,63	22 - 66 x̄: 34 s: 18	n.a.	
Grünland - Unterböden	6	15 - 35 x̄: 24 s: 7,8	16 - 31 x̄: 23 s: 6,7	11 - 33 x̄: 19 s: 9	39 - 167 x̄: 72 s: 51	0,16 - 0,70 x̄: 0,29 s: 0,21	14 - 49 x̄: 25 s: 13	n.a.	
Gärten - Oberböden		n.b. ³	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	
Gärten - Unterböden		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	
Sonstige - Oberböden		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	
Sonstige - Unterböden		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	

Anmerkungen: n¹: Stichprobenumfang; n.a.²: nicht analysiert; n.b.³: nicht beprobt; x̄: arithmetischer Mittelwert; s: Standardabweichung des arithmetischen Mittelwertes;

Tabelle A9: Räumliche Differenzierung der Schwermetallgesamthalte (mg kg⁻¹ m_r) in Böden forstwirtschaftlich genutzter Standorte des Maintales (Flußabschnitt: Aschaffenburg - Markt Heidenfeld);

Kennzeichnung	n ¹	Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	Hg
organische Auflagen (L ₁ , O ₁ , O ₂ -Lage)	14	1 - 20 x̄: 5,5 s: 4,9	3 - 15 x̄: 7,9 s: 4,1	8 - 26 x̄: 17 s: 4,8	44 - 224 x̄: 85 s: 51	0,46 - 1,27 x̄: 0,91 s: 0,27	6 - 134 x̄: 63 s: 45	0,06 - 0,43 x̄: 0,22 s: 0,12
L-Lage	7	1 - 3 x̄: 2,1 s: 0,9	3 - 8 x̄: 5,4 s: 2,2	8 - 20 x̄: 15 s: 4,2	44 - 224 x̄: 102 s: 69	0,61 - 1,27 x̄: 0,96 s: 0,25	6 - 52 x̄: 26 s: 15	0,06 - 0,21 x̄: 0,11 s: 0,06
O ₁ -Lage	5	6 - 8 x̄: 6,8 s: 0,8	5 - 15 x̄: 10 s: 3,9	15 - 26 x̄: 21 s: 4,3	53 - 96 x̄: 73 s: 18	0,69 - 1,27 x̄: 0,98 s: 0,26	60 - 134 x̄: 91 s: 30	0,23 - 0,43 x̄: 0,32 s: 0,07
O ₂ -Lage	2	8/20	6/15	14/17	54/55	0,46/0,68	121/126	0,33/0,36
Forst-Oberböden	7	5 - 32 x̄: 16 s: 9,6	5 - 27 x̄: 12 s: 7,6	4 - 30 x̄: 14 s: 9,7	15 - 151 x̄: 63 s: 57	0,05 - 0,60 x̄: 0,25 s: 0,21	25 - 86 x̄: 52 s: 26	0,05 - 0,24 x̄: 0,13 s: 0,06
Forst-Unterböden	9	1 - 33 x̄: 13 s: 9,7	4 - 26 x̄: 10 s: 7,1	3 - 29 x̄: 9,8 s: 8,5	13 - 114 x̄: 45 s: 39	0,02 - 0,81 x̄: 0,21 s: 0,28	11 - 95 x̄: 24 s: 27	0,03 - 0,19 x̄: 0,12 s: 0,05
Anmerkungen: n ¹ : Stichprobenumfang; x̄: arithmetischer Mittelwert; s: Standardabweichung des arithmetischen Mittelwertes;								

Tabelle A10: Räumliche Differenzierung der Schwermetallgesamthalte ($\text{mg kg}^{-1} \text{m}_r$) in Böden forstwirtschaftlich genutzter Standorte des Maintales (Flußabschnitt: Karstadt - Kitzingen);									
Kennzeichnung	n ¹	Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	Hg	
organische Auflagen (L-, O _r -Lage)	8	1 - 8 \bar{x} : 3,4 s: 2,1	3 - 15 \bar{x} : 7,5 s: 4,1	13 - 26 \bar{x} : 19 s: 4,9	45 - 194 \bar{x} : 84 s: 50	0,39 - 1,90 \bar{x} : 0,86 s: 0,52	3 - 59 \bar{x} : 28 s: 16	0,04 - 0,25 \bar{x} : 0,13 s: 0,06	
L-Lage	7	1 - 4 \bar{x} : 2,7 s: 1,1	3 - 11 \bar{x} : 6,4 s: 3	13 - 26 \bar{x} : 19 s: 5,2	45 - 194 \bar{x} : 79 s: 52	0,39 - 1,90 \bar{x} : 0,78 s: 0,51	3 - 33 \bar{x} : 24 s: 11	0,04 - 0,19 \bar{x} : 0,11 s: 0,05	
O _r -Lage	1	8	15	21	119	1,40	59	0,25	
Forst-Oberböden	8	22 - 86 \bar{x} : 39 s: 20	17 - 48 \bar{x} : 31 s: 11	10 - 137 \bar{x} : 32 s: 43	38 - 392 \bar{x} : 98 s: 119	0,13 - 2,26 \bar{x} : 0,28 s: 0,71	23 - 82 \bar{x} : 44 s: 20	0,06 - 0,67 \bar{x} : 0,16 s: 0,21	
Forst-Unterböden	5	32 - 61 \bar{x} : 43 s: 12	30 - 67 \bar{x} : 40 s: 16	14 - 145 \bar{x} : 48 s: 55	40 - 431 \bar{x} : 123 s: 172	0,08 - 1,39 \bar{x} : 0,40 s: 0,56	16 - 105 \bar{x} : 42 s: 38	0,05 - 1,37 \bar{x} : 0,35 s: 0,57	
Anmerkungen: n ¹ : Stichprobenumfang; \bar{x} : arithmetischer Mittelwert; s: Standardabweichung des arithmetischen Mittelwertes;									

Tabelle A11: Räumliche Differenzierung der Schwermetallgesamtheite (mg kg ⁻¹ m _p) in Böden forstwirtschaftlich genutzter Standorte des Maintales (Flußabschnitt: Kitzingen - Hassfurt);									
Kennzeichnung	n ¹	Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	Hg	
organische Auflagen (L-, O ₁ , O ₂ -Lage)	15	2 - 11 x̄: 5,2 s: 2,7	4 - 13 x̄: 7,4 s: 2,6	17 - 37 x̄: 24 s: 5,2	55 - 180 x̄: 88 s: 30	0,40 - 1,26 x̄: 0,82 s: 0,27	12 - 118 x̄: 44 s: 30	n.a. ²	
L-Lage	9	2 - 8 x̄: 3,8 s: 1,8	4 - 9 x̄: 6,1 s: 1,7	18 - 37 x̄: 25 s: 5,6	55 - 180 x̄: 88 s: 37	0,40 - 1,26 x̄: 0,72 s: 0,27	12 - 39 x̄: 26 s: 9,2	n.a.	
O ₁ -Lage	5	5 - 11 x̄: 6,8 s: 2,5	6 - 13 x̄: 9,4 s: 2,9	17 - 26 x̄: 22 s: 3,3	67 - 113 x̄: 90 s: 20	0,65 - 1,18 x̄: 0,95 s: 0,21	27 - 80 x̄: 62 s: 21	n.a.	
O ₂ -Lage	1	10	9	17	76	1,03	118	n.a.	
Forst-Oberböden	10	3 - 36 x̄: 19 s: 12	2 - 39 x̄: 16 s: 14	2 - 51 x̄: 20 s: 18	12 - 163 x̄: 70 s: 58	0,04 - 1,28 x̄: 0,54 s: 0,38	10 - 54 x̄: 31 s: 15	n=1 0,67	
Forst-Unterböden	10	2 - 39 x̄: 17 s: 13	2 - 43 x̄: 18 s: 14	2 - 39 x̄: 15 s: 13	9 - 130 x̄: 53 s: 45	0,03 - 0,36 x̄: 0,16 s: 0,13	7 - 44 x̄: 20 s: 13	n.a.	

Anmerkungen: n¹: Stichprobenumfang; n.a.²: nicht analysiert; x̄: arithmetischer Mittelwert; s: Standardabweichung des arithmetischen Mittelwertes;

Tabelle A.12: Räumliche Differenzierung der Schwermetallgesamtheite ($\text{mg kg}^{-1} \text{m}^{-1}$) in Böden forstwirtschaftlich genutzter Standorte des Maintales (Flußabschnitt: Hassfurt - Bamberg);

Kennzeichnung	n ¹	Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	Hg
organische Auflagen (L-, O _r -, O _t -Lage)	8	2 - 9 x̄: 5 s: 2,5	3 - 8 x̄: 5,5 s: 1,8	15 - 31 x̄: 21 s: 5,3	42 - 102 x̄: 60 s: 19	0,43 - 0,79 x̄: 0,64 s: 0,13	20 - 103 x̄: 55 s: 33	n.a. ²
L-Lage	3	2 - 3	3 - 5	15 - 25	46 - 64	0,60 - 0,77	21 - 46	n.a.
O _r -Lage	4	5 - 9	4 - 8	17 - 31	50 - 102	0,50 - 0,79	20 - 103	n.a.
O _t -Lage	1	6	6	18	42	0,43	93	n.a.
Forst-Oberböden	6	1 - 23 x̄: 5,3 s: 8,7	1 - 17 x̄: 4,3 s: 6,3	2 - 24 x̄: 6,7 s: 8,6	4 - 95 x̄: 22 s: 36	0,05 - 0,48 x̄: 0,19 s: 0,16	2 - 32 x̄: 11 s: 11	n.a.
Forst-Unterböden	6	1 - 21 x̄: 5,3 s: 7,8	1 - 19 x̄: 4,8 s: 7	1 - 20 x̄: 4,8 s: 7,5	4 - 77 x̄: 18 s: 29	0,05 - 0,36 x̄: 0,12 s: 0,12	3 - 26 x̄: 7,8 s: 9	n.a.

Anmerkungen: n¹: Stichprobenumfang; n.a.²: nicht analysiert; x̄: arithmetischer Mittelwert; s: Standardabweichung des arithmetischen Mittelwertes;

Tabelle A13: Räumliche Differenzierung der Schwermetallgesamtheite (mg kg ⁻¹ m _T) in Böden forstwirtschaftlich genutzter Standorte (Flußabschnitt: Bamberg - Erlangen);									
Kennzeichnung	n ¹	Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	Hg	
organische Auflagen (L-, O ₁ -, O ₂ -Lage)	19	1 - 10 x̄: 4,7 s: 2,6	2 - 11 x̄: 5,9 s: 2,6	11 - 41 x̄: 21 s: 7,4	49 - 106 x̄: 67 s: 15	0,41 - 1,22 x̄: 0,66 s: 0,2	16 - 141 x̄: 59 s: 41	n.a. ²	
L-Lage	9	1 - 4 x̄: 2,6 s: 1	2 - 10 x̄: 4,8 s: 2,9	11 - 29 x̄: 18 s: 6,3	49 - 78 x̄: 64 s: 9,6	0,49 - 0,84 x̄: 0,62 s: 0,12	16 - 34 x̄: 25 s: 5,7	n.a.	
O ₁ -Lage	8	4 - 10 x̄: 6,5 s: 2,1	6 - 11 x̄: 7,4 s: 1,7	12 - 28 x̄: 20 s: 5,3	51 - 106 x̄: 71 s: 20	0,44 - 1,22 x̄: 0,73 s: 0,27	33 - 111 x̄: 81 s: 32	n.a.	
O ₂ -Lage	2	6/8	3/7	23/41	56/58	0,41/0,74	100/141	n.a.	
Forst-Oberböden	8	2 - 15 x̄: 5,6 s: 4,5	1 - 12 x̄: 3,9 s: 3,8	2 - 9 x̄: 5,1 s: 3,1	6 - 118 x̄: 25 s: 38	0,02 - 0,27 x̄: 0,11 s: 0,08	7 - 70 x̄: 29 s: 24	n.a.	
Forst-Unterböden	11	2 - 16 x̄: 5 s: 4,4	1 - 12 x̄: 3,3 s: 3,5	1 - 8 x̄: 3,1 s: 2	5 - 32 x̄: 12 s: 7,6	0,04 - 0,12 x̄: 0,07 s: 0,03	3 - 73 x̄: 18 s: 21	n.a.	

Anmerkungen: n¹: Stichprobenumfang; n.a.²: nicht analysiert; x̄: arithmetischer Mittelwert; s: Standardabweichung des arithmetischen Mittelwertes;

Tabelle A14: Räumliche Differenzierung der Schwermetallgesamthalte (mg kg ⁻¹ m _p) in Böden forstwirtschaftlich genutzter Standorte (Flussabschnitt: Erlangen - Nürnberg);									
Kennzeichnung	n ¹	Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	Hg	
organische Auflagen (L-, O _r -, O _h -Lage)	55	1 - 23 x̄: 6,4 s: 4,6	1 - 25 x̄: 6,8 s: 4,3	8 - 5.170 x̄: 181 s: 721	19 - 1.050 x̄: 154 s: 153	0,39 - 3,00 x̄: 1,08 s: 0,50	21 - 498 x̄: 105 s: 89	n.a. ²	
L-Lage	24	1 - 5 x̄: 2,7 s: 0,9	1 - 25 x̄: 5,3 s: 4,7	14 - 184 x̄: 32 s: 34	62 - 461 x̄: 140 s: 98	0,46 - 1,86 x̄: 0,92 s: 0,41	22 - 144 x̄: 49 s: 30	n.a.	
O _r -Lage	24	4 - 23 x̄: 9,3 s: 4,4	4 - 23 x̄: 8 s: 3,9	12 - 5.170 x̄: 369 s: 1.074	51 - 1.050 x̄: 186 s: 206	0,39 - 3,00 x̄: 1,26 s: 0,58	30 - 498 x̄: 158 s: 103	n.a.	
O _h -Lage	7	4 - 14 x̄: 9,1 s: 3,4	3 - 10 x̄: 7,6 s: 2,3	8 - 185 x̄: 50 s: 61	19 - 155 x̄: 86 s: 42	0,72 - 1,35 x̄: 0,99 s: 0,25	21 - 201 x̄: 113 s: 54	n.a.	
Forst-Oberböden	30	1 - 36 x̄: 6,1 s: 7,5	1 - 43 x̄: 5,5 s: 10	1 - 185 x̄: 26 s: 45	2 - 389 x̄: 40 s: 72	0,04 - 2,13 x̄: 0,26 s: 0,38	2 - 167 x̄: 27 s: 31	n.a.	
Forst-Unterböden	36	1 - 41 x̄: 5,6 s: 7,3	1 - 54 x̄: 5,9 s: 12	1 - 25 x̄: 4,9 s: 5,3	3 - 224 x̄: 25 s: 39	0,01 - 1,77 x̄: 0,16 s: 0,29	3 - 86 x̄: 13 s: 14	n.a.	
Anmerkungen: n ¹ : Stichprobenumfang; n.a. ² : nicht analysiert; x̄: arithmetischer Mittelwert; s: Standardabweichung des arithmetischen Mittelwertes;									

Tabelle A15: Konzentrationsbereiche, arithmetische Mittelwerte und Standardabweichungen der Schwermetallgesamthalte (mg kg ⁻¹ m _r) und pH-Werte in Böden landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzter sowie "Sonstiger"-Standorte des Maintales;										
Kennzeichnung	n ¹	pH	Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	Hg	
Acker - Oberböden	118	4,1 - 7,5 x̄: 6,4 s: 0,9	6 - 55 x̄: 25 s: 10	1 - 60 x̄: 21 s: 9,5	5 - 197 x̄: 21 s: 19	17 - 169 x̄: 69 s: 30	0,13 - 0,83 x̄: 0,32 s: 0,13	11 - 190 x̄: 33 s: 26	0,04 - 0,42 x̄: 0,14 s: 0,07 (n=46)	
Acker - Unterböden	115	3,9 - 7,7 x̄: 6,6 s: 0,8	3 - 48 x̄: 23 s: 10	1 - 49 x̄: 20 s: 10	2 - 70 x̄: 16 s: 9,5	4 - 279 x̄: 53 s: 31	0,04 - 3,04 x̄: 0,22 s: 0,28	2 - 68 x̄: 21 s: 11	0,02 - 0,6 x̄: 0,1 s: 0,1 (n=41)	
Grünland - Oberböden	59	4,3 - 7,3 x̄: 6,5 s: 0,8	14 - 95 x̄: 32 s: 15	8 - 50 x̄: 22 s: 8,1	7 - 135 x̄: 35 s: 28	41 - 426 x̄: 135 s: 88	0,15 - 2,79 x̄: 0,72 s: 0,58	14 - 90 x̄: 42 s: 18	0,08 - 0,74 x̄: 0,26 s: 0,18 (n=36)	
Grünland - Unterböden	59	4,4 - 7,7 x̄: 6,6 s: 0,8	4 - 77 x̄: 26 s: 14	5 - 45 x̄: 20 s: 7,6	5 - 134 x̄: 27 s: 24	22 - 497 x̄: 101 s: 90	0,07 - 2,24 x̄: 0,43 s: 0,42	12 - 96 x̄: 34 s: 19	0,06 - 1,3 x̄: 0,27 s: 0,26 (n=36)	
Gärten - Oberböden	1	5,9	5	4	6	29	0,13	14	n.a. ²	
Gärten - Unterböden	1	6,1	6	7	7	36	0,07	8	n.a.	
Sonstige - Oberböden	7	6,1 - 7,2 x̄: 6,8 s: 0,4	11 - 63 x̄: 36 s: 18	8 - 32 x̄: 23 s: 8,5	13 - 65 x̄: 38 s: 19	74 - 328 x̄: 154 s: 89	0,35 - 1,61 x̄: 0,75 s: 0,47	33 - 136 x̄: 70 s: 37	0,1 - 0,4 x̄: 0,28 s: 0,12 (n=5)	
Sonstige - Unterböden	3	6,9 - 7,3	32 - 70	27 - 38	28 - 120	74 - 316	0,24 - 3,09	30 - 68	0,15 - 0,77 (n=3)	

Anmerkungen: n¹: Stichprobenumfang; n.a.²: nicht analysiert; x̄: arithmetischer Mittelwert; s: Standardabweichung des arithmetischen Mittelwertes;

Tabelle A16: Konzentrationsbereiche, arithmetische Mittelwerte und Standardabweichungen der Schwermetallgesamtgehalte (mg kg ⁻¹ m ⁻¹) und pH-Werte in Böden landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzter sowie "Sonstiger"-Standorte des Regnitztales;										
Kennzeichnung	n ¹	pH	Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	Hg	
Acker - Oberböden	24	5,1 - 7,4 x̄: 6,2 s: 0,6	7 - 30 x̄: 18 s: 6,7	3 - 28 x̄: 14 s: 6,8	6 - 99 x̄: 38 s: 23	30 - 174 x̄: 89 s: 40	0,14 - 1,1 x̄: 0,54 s: 0,29	18 - 167 x̄: 50 s: 30	n.a. ²	
Acker - Unterböden	24	5,1 - 7,4 x̄: 6,3 s: 0,6	1 - 30 x̄: 14 s: 6,9	4 - 34 x̄: 13 s: 9,2	3 - 51 x̄: 19 s: 12	16 - 106 x̄: 52 s: 30	0,04 - 0,46 x̄: 0,22 s: 0,13	8 - 47 x̄: 23 s: 12	n.a.	
Grünland - Oberböden	16	5,2 - 6,9 x̄: 6,2 s: 0,5	12 - 58 x̄: 28 s: 13	8 - 51 x̄: 23 s: 11	17 - 233 x̄: 70 s: 57	50 - 465 x̄: 159 s: 104	0,31 - 1,98 x̄: 0,76 s: 0,43	22 - 141 x̄: 57 s: 31	n.a.	
Grünland - Unterböden	16	5,4 - 7,2 x̄: 6,5 s: 0,4	9 - 39 x̄: 19 s: 8,8	6 - 55 x̄: 20 s: 13	10 - 143 x̄: 40 s: 34	33 - 176 x̄: 93 s: 45	0,15 - 0,56 x̄: 0,35 s: 0,15	12 - 68 x̄: 36 s: 17	n.a.	
Gärten - Oberböden	5	6,3 - 7,3 x̄: 6,8 s: 0,4	19 - 86 x̄: 45 s: 25	8 - 48 x̄: 24 s: 17	31 - 535 x̄: 178 s: 218	111 - 913 x̄: 373 s: 352	0,29 - 1,9 x̄: 0,97 s: 0,62	59 - 710 x̄: 214 s: 280	n.a.	
Gärten - Unterböden	n.b. ³	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	
Sonstige - Oberböden	4	3,7 - 7,1 x̄: 5,3 s: 1,7	7 - 115 x̄: 37 s: 52	3 - 42 x̄: 16 s: 18	7 - 299 x̄: 85 s: 143	26 - 668 x̄: 196 s: 315	0,16 - 4,72 x̄: 1,35 s: 2,25	22 - 141 x̄: 53 s: 59	n.a.	
Sonstige - Unterböden	4	3,8 - 7,2 x̄: 5,6 s: 1,9	8 - 63 x̄: 25 s: 26	4 - 37 x̄: 16 s: 15	3 - 253 x̄: 76 s: 119	11 - 701 x̄: 209 s: 330	0,05 - 2,46 x̄: 0,79 s: 1,13	6 - 134 x̄: 48 s: 59	n.a.	

Anmerkungen: n¹: Stichprobenumfang; n.a.²: nicht analysiert; n.b.³: nicht beprobt; x̄: arithmetischer Mittelwert; s: Standardabweichung des arithmetischen Mittelwertes;

Tabelle A17: Konzentrationsbereiche, arithmetische Mittelwerte und Standardabweichungen der Schwermetallgesamtheite (mg kg⁻¹ m_T) und pH-Werte in Böden landwirtschaftlich genutzter Standorte des Pegnitztales sowie die Schwermetallgehalte von zwei Grünlandstandorten des Rednitztales;

Kennzeichnung	n ¹	pH	Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	Hg
Acker - Oberböden	7	4,8 - 7,0 x̄: 6,2 s: 0,8	10 - 31 x̄: 22 s: 7,1	5 - 24 x̄: 17 s: 7,5	20 - 243 x̄: 86 s: 77	67 - 414 x̄: 160 s: 120	0,44 - 1,09 x̄: 0,67 s: 0,27	30 - 239 x̄: 83 s: 81	n.a. ²
Acker - Unterböden	8	4,7 - 7,1 x̄: 6,3 s: 0,8	12 - 27 x̄: 19 s: 8,4	1 - 30 x̄: 20 s: 10	10 - 167 x̄: 38 s: 54	27 - 265 x̄: 88 s: 74	0,24 - 0,67 x̄: 0,35 s: 0,17	14 - 164 x̄: 41 s: 51	n.a.
Grünland - Oberböden	17	5,5 - 7,3 x̄: 6,5 s: 0,5	16 - 49 x̄: 36 s: 9,1	10 - 58 x̄: 34 s: 11	19 - 270 x̄: 98 s: 79	90 - 486 x̄: 224 s: 136	0,41 - 1,71 x̄: 0,93 s: 0,4	34 - 257 x̄: 90 s: 67	n.a.
Grünland - Unterböden	17	5,8 - 7,5 x̄: 6,8 s: 0,5	13 - 43 x̄: 27 s: 9,1	12 - 58 x̄: 33 s: 14	13 - 277 x̄: 60 s: 70	50 - 458 x̄: 151 s: 105	0,23 - 1,0 x̄: 0,55 s: 0,22	21 - 244 x̄: 64 s: 58	n.a.
Grünland - Oberböden (Rednitztal)	2	5,7 6,4	17 32	18 38	158 226	299 309	1,19 1,74	67 98	n.a.
Grünland - Unterböden (Rednitztal)	2	6,2 6,4	17 18	19 23	43 439	96 217	0,32 0,53	38 70	n.a.

Anmerkungen: n¹: Stichprobenumfang; n.a.²: nicht analysiert; x̄: arithmetischer Mittelwert; s: Standardabweichung des arithmetischen Mittelwertes;

Tabelle A18: Konzentrationsbereiche, arithmetische Mittelwerte und Standardabweichungen der Schwermetallgesamtheiten (mg kg⁻¹ m⁻¹) und pH-Werte in Böden forstwirtschaftlich genutzter Standorte des Maintales;

Kennzeichnung	n ¹	pH	Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	Hg
organische Auflagen (L-, O _r , O _h -Lagen)	45	3,0 - 6,8 x̄: 4,7 s: 0,99	1 - 20 x̄: 4,9 s: 3,4	3 - 15 x̄: 7,2 s: 3,3	8 - 37 x̄: 20,4 s: 5,6	42 - 224 x̄: 81 s: 40	0,39 - 1,9 x̄: 0,82 s: 0,31	3 - 134 x̄: 49 s: 35	0,04 - 0,43 x̄: 0,19 s: 0,11 (n=22)
L-Lagen	26	3,8 - 6,8 x̄: 5,1 s: 0,8	1 - 8 x̄: 2,9 s: 1,4	3 - 11 x̄: 5,8 s: 2,2	8 - 37 x̄: 20 s: 6,4	44 - 224 x̄: 85 s: 49	0,39 - 1,9 x̄: 0,8 s: 0,33	3 - 52 x̄: 26 s: 11	0,04 - 0,21 x̄: 0,11 s: 0,05 (n=14)
O _r -Lagen	15	3,2 - 6,0 x̄: 4,4 s: 0,89	5 - 11 x̄: 6,9 s: 1,6	4 - 15 x̄: 9,3 s: 3,5	15 - 31 x̄: 22 s: 4,1	50 - 119 x̄: 81 s: 22	0,5 - 1,4 x̄: 0,91 s: 0,27	20 - 134 x̄: 72 s: 29	0,23 - 0,43 x̄: 0,31 s: 0,07 (n=6)
O _h -Lagen	4	3,0 - 3,6 x̄: 3,2 s: 0,3	6 - 20 x̄: 11 s: 6,2	6 - 15 x̄: 9 s: 4,2	14 - 18 x̄: 17 s: 1,7	42 - 76 x̄: 57 s: 14	0,43 - 1,03 x̄: 0,65 s: 0,28	93 - 126 x̄: 115 s: 15	0,33; 0,36 (n=2)
Forst-Oberböden	31	3,0 - 7,2 x̄: 4,8 s: 1,4	1 - 86 x̄: 21 s: 18	1 - 48 x̄: 17 s: 14	2 - 137 x̄: 19 s: 25	4 - 392 x̄: 66 s: 76	0,04 - 2,26 x̄: 0,35 s: 0,43	2 - 86 x̄: 35 s: 23	0,05 - 0,67 x̄: 0,15 s: 0,15 (n=15)
Forst-Unterböden	30	3,4 - 7,4 x̄: 4,9 s: 1,3	1 - 61 x̄: 18 s: 16	1 - 67 x̄: 17 s: 16	1 - 145 x̄: 17 s: 27	4 - 431 x̄: 55 s: 80	0,02 - 1,39 x̄: 0,21 s: 0,29	3 - 105 x̄: 23 s: 24	0,03 - 1,37 x̄: 0,17 s: 0,35 (n=14)

Anmerkungen: n¹: Stichprobenumfang; x̄: arithmetischer Mittelwert; s: Standardabweichung des arithmetischen Mittelwertes;

Tabelle A19: Konzentrationsbereiche, arithmetische Mittelwerte und Standardabweichungen der Schwermetallgesamtheite (mg kg ⁻¹ m _T) und pH-Werte in Böden forstwirtschaftlich genutzter Standorte des Regnitztales;										
Kennzeichnung	n ¹	pH	Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	Hg	
organische Auflagen (L-, O _r -, O _a -Lage)	40	2,9 - 5,4 x̄: 3,9 s: 0,7	1 - 23 x̄: 5,8 s: 4,7	2 - 11 x̄: 6,2 s: 2,3	11 - 277 x̄: 32 s: 45	49 - 195 x̄: 85 s: 35	0,39 - 1,58 x̄: 0,78 s: 0,27	16 - 198 x̄: 68 s: 49	n.a. ²	
L-Lage	18	3,6 - 5,3 x̄: 4,3 s: 0,6	1 - 4 x̄: 2,6 s: 0,9	2 - 10 x̄: 5,2 s: 2,4	11 - 57 x̄: 21 s: 11	49 - 174 x̄: 87 s: 38	0,47 - 1,58 x̄: 0,72 s: 0,25	16 - 58 x̄: 30 s: 11	n.a.	
O _r -Lage	17	3,0 - 5,4 x̄: 3,8 s: 0,7	4 - 23 x̄: 8,4 s: 5,4	4 - 11 x̄: 7,3 s: 1,7	12 - 277 x̄: 45 s: 67	51 - 195 x̄: 87 s: 36	0,39 - 1,35 x̄: 0,85 s: 0,3	30 - 195 x̄: 92 s: 50	n.a.	
O _a -Lage	5	2,9 - 3,1 x̄: 3,0 s: 0,07	6 - 14 x̄: 8,8 s: 3,4	3 - 8 x̄: 6,4 s: 1,9	16 - 41 x̄: 29 s: 9,6	56 - 94 x̄: 74 s: 14	0,41 - 1,03 x̄: 0,77 s: 0,25	100 - 141 x̄: 122 s: 18	n.a.	
Forst-Oberböden	19	3,0 - 6,0 x̄: 3,5 s: 0,7	1 - 36 x̄: 6,5 s: 8,2	1 - 43 x̄: 5,6 s: 9,5	1 - 87 x̄: 12 s: 20	2 - 142 x̄: 28 s: 39	0,02 - 0,76 x̄: 0,19 s: 0,18	4 - 70 x̄: 26 s: 20	n.a.	
Forst-Unterböden	26	3,4 - 6,7 x̄: 4,3 s: 0,7	2 - 41 x̄: 5,7 s: 7,9	1 - 54 x̄: 5,3 s: 10	1 - 25 x̄: 4,7 s: 5,6	5 - 116 x̄: 18 s: 21	0,01 - 0,55 x̄: 0,11 s: 0,11	3 - 73 x̄: 14 s: 14	n.a.	

Anmerkungen: n¹: Stichprobenumfang; n.a.²: nicht analysiert; x̄: arithmetischer Mittelwert; s: Standardabweichung des arithmetischen Mittelwertes;

Tabelle A20: Konzentrationsbereiche, arithmetische Mittelwerte und Standardabweichungen der Schwermetallgesamtheite (mg kg ⁻¹ m ⁻¹) und pH-Werte in Böden forstwirtschaftlich genutzter Standorte des Pegnitztales;										
Kennzeichnung	n ¹	pH	Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	Hg	
organische Auflagen (L-, O ₁ -, O ₂ -Lage)	25	3,0 - 5,6 x̄: 3,9 s: 0,6	1 - 14 x̄: 6,0 s: 3,7	1 - 25 x̄: 7,2 s: 6,0	14 - 5.170 x̄: 352 s: 1.054	72 - 1050 x̄: 224 s: 205	0,46 - 3,0 x̄: 1,2 s: 0,62	28 - 498 x̄: 127 s: 112	n.a. ²	
L-Lage	12	3,7 - 4,7 x̄: 4,0 s: 0,3	1 - 5 x̄: 2,6 s: 1,1	1 - 25 x̄: 5,3 s: 6,6	14 - 184 x̄: 40 s: 46	72 - 461 x̄: 179 s: 123	0,46 - 1,86 x̄: 0,95 s: 0,44	28 - 144 x̄: 51 s: 32	n.a.	
O ₁ -Lage	12	3,2 - 5,6 x̄: 3,9 s: 0,8	6 - 14 x̄: 8,8 s: 2,1	5 - 23 x̄: 9 s: 5,2	36 - 5.170 x̄: 677 s: 1.483	95 - 1050 x̄: 274 s: 266	0,73 - 3,0 x̄: 1,46 s: 0,7	93 - 498 x̄: 197 s: 119	n.a.	
O ₂ -Lage	1	3,0	12	9	185	155	0,89	201	n.a.	
Forst-Oberböden	16	2,9 - 4,7 x̄: 3,6 s: 0,6	1 - 19 x̄: 5,1 s: 5,7	1 - 39 x̄: 4,7 s: 9,6	1 - 185 x̄: 36 s: 56	4 - 389 x̄: 50 s: 93	0,04 - 2,13 x̄: 0,28 s: 0,5	2 - 167 x̄: 32 s: 40	n.a.	
Forst-Unterböden	17	3,4 - 4,9 x̄: 4,3 s: 0,4	1 - 17 x̄: 4,8 s: 4,6	1 - 48 x̄: 5,5 s: 11	1 - 15 x̄: 4,5 s: 3,7	4 - 224 x̄: 29 s: 51	0,05 - 1,77 x̄: 0,19 s: 0,41	3 - 86 x̄: 15 s: 20	n.a.	
Anmerkungen: n ¹ : Stichprobenumfang; n.a. ² : nicht analysiert; x̄: arithmetischer Mittelwert; s: Standardabweichung des arithmetischen Mittelwertes;										

Tabelle A21: Konzentrationsbereiche, arithmetische Mittelwerte und Standardabweichungen der Schwermetallgesamtgehalte (mg kg ⁻¹ m ⁻¹) und pH-Werte in Böden forstwirtschaftlich genutzter Standorte des Rednitztales;										
Kennzeichnung	n ¹	pH	Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	Hg	
organische Auflagen (L-, O _r -, O ₁ -Lage)	9	2,7 - 3,8 x̄: 3,1 s: 0,4	3 - 10 x̄: 6,3 s: 3	3 - 10 x̄: 6,1 s: 2,7	8 - 44 x̄: 31 s: 12	19 - 110 x̄: 78 s: 27	0,46 - 1,72 x̄: 1,18 s: 0,41	21 - 246 x̄: 109 s: 66	n.a. ²	
L-Lage	3	3,6 - 3,8	3	3 - 6	22 - 27	62 - 90	0,46 - 1,55	32 - 106	n.a.	
O _r -Lage	3	2,9 - 3,0	8 - 10	5 - 9	37 - 44	75 - 105	0,85 - 1,72	126 - 246	n.a.	
O ₁ -Lage	3	2,7 - 2,8	4 - 9	3 - 10	8 - 40	19 - 110	0,72 - 1,35	21 - 99	n.a.	
Forst-Oberböden	3	3,1 - 3,2	3 - 11	1 - 8	3 - 6	6 - 28	0,13 - 0,31	8 - 25	n.a.	
Forst-Unterböden	4	3,4 - 3,9	2 - 16	1 - 10	1 - 4	3 - 29	0,04 - 0,19	5 - 17	n.a.	

Anmerkungen: n¹: Stichprobenumfang; n.a.²: nicht analysiert; x̄: arithmetischer Mittelwert; s: Standardabweichung des arithmetischen Mittelwertes;

Tabelle A22: Grenzwertüberschreitungen (kursiv gedruckt) gemäß der AbfklärV vom 15.04.1992 in Acker-Oberböden (Angaben in mg kg ⁻¹ m _T);												
Schwermetalle		TK-Nr.*	Blattbezeichnung	Horizont	Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	Hg	pH
Schwermetallgrenzwerte nach AbfklärV					100	50	60	200	1,5	100	1	(CaCl ₂)
6532	Nürnberg		Ap	31	24	243	414	1,02	239	n.a.		6,9
6533	Röthenbach a.d.P.		Ap	25	23	78	161	0,50	30	n.a.		7,0
6431	Herzogenaurach		Ap	28	23	80	162	0,87	65	n.a.		6,8
6431	Herzogenaurach		Ap	30	20	76	174	0,97	66	n.a.		6,2
6131	Bamberg Süd		Ap	24	32	197	167	0,62	80	n.a.		6,7
6031	Bamberg Nord		RAP	11	8	46	150	0,77	190	n.a.		7,2
6031	Bamberg Nord		RAP	12	14	60	164	0,81	149	n.a.		7,2
6533	Röthenbach a.d.P.		Ap	23	17	66	146	0,46	38	n.a.		6,9
6532	Nürnberg		RAP	10	7	99	166	0,51	167	n.a.		6,4
6532	Nürnberg		RAP	16	9	120	203	1,09	154	n.a.		5,5
6225	Würzburg Süd		Ap	35	32	87	125	0,37	58	0,35		7,3
6225	Würzburg Süd		Ap	55	60	36	92	0,33	28	0,13		7,2

Anmerkungen: TK-Nr.: Nummer der Topographischen Karte; n.a.: nicht analysiert;

Tabelle A23: Grenzwertüberschreitungen (kursiv gedruckt) gemäß der AbfKlärV vom 15.04.1992 in Acker-Unterböden (Angaben in mg kg⁻¹ m_T);

Schwermetalle		Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	Hg	pH (CaCl ₂)
Schwermetallgrenzwerte nach AbfKlärV									
TK-Nr.	Blattbezeichnung	Horizont							
6532	Nürnberg	19	15	167	265	0,48	164	n.a.	7,0
6031	Bamberg Nord	44	44	62	279	3,04	68	n.a.	5,3
6225	Würzburg Süd	31	28	70	118	0,40	59	n.a.	7,3
5924	Gemünden a. Main	55	51	28	72	0,15	20	0,04	7,5

Anmerkung: TK-Nr.: Nummer der Topographischen Karte; n.a.: nicht analysiert;

Tabelle A24: Grenzwertüberschreitungen (kursiv gedruckt) gemäß der AbfklärV vom 15.04.1992 in Grünland-Oberböden (Angaben in mg kg ⁻¹ m _T);												
Schwermetalle		TK-Nr.:	Blattbezeichnung	Horizont	Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	Hg	pH
Schwermetallgrenzwerte nach AbfklärV					100	50	60	200	1,5	100	1	
6531	Fürth	Ah	15	12	105	115	1,25	46	n.a.	6,9		
6531	Fürth	Ah	16	18	82	111	0,61	36	n.a.	6,8		
6532	Nürnberg	Ah	17	18	158	309	1,19	67	n.a.	5,7		
6533	Röthenbach a.d. P.	Ah	16	10	76	150	0,47	34	n.a.	6,7		
6331	Röthenbach	Ah	58	24	233	465	1,98	141	n.a.	6,5		
6531	Fürth	Ah	45	33	239	437	1,37	183	n.a.	7,3		
5931	Ebensfeld	Ah	38	40	50	238	1,86	66	n.a.	6,5		
6030	Eltmann	Ah	25	19	63	188	0,64	52	n.a.	7,0		
6332	Erlangen Nord	Ah	29	27	68	173	0,72	68	n.a.	5,8		
6532	Nürnberg	Ah	31	30	270	486	1,27	257	n.a.	6,4		
6532	Nürnberg	Ah	30	27	120	262	1,07	48	n.a.	6,9		
6232	Forchheim	Ah	48	51	28	154	0,70	50	n.a.	6,3		
6533	Röthenbach a.d. P.	Ah	30	28	141	254	0,94	54	n.a.	6,7		
6434	Hersbruck	Ah	45	46	65	190	0,93	57	n.a.	7,0		
6332	Erlangen Nord	Ah	43	39	88	253	1,06	75	n.a.	6,0		

Anmerkung: TK-Nr.: Nummer der Topographischen Karte; n.a.: nicht analysiert;

Fortsetzung Tabelle A24: Grenzwertüberschreitungen (*kursiv gedruckt*) gemäß der AbfklärV vom 15.04.1992 in Grünland-Oberböden
(Angaben in mg kg⁻¹ m_T);

Schwermetalle		Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	Hg	pH (CaCl ₂)
Schwermetallgrenzwerte nach AbfklärV									
TK-Nr.:	Blattbezeichnung	Horizont							
6531	Fürth	35	34	140	223	0,98	88	n.a.	6,2
6531	Fürth	32	38	226	299	1,74	98	n.a.	6,4
6531	Fürth	44	36	167	393	1,66	157	n.a.	6,8
6532	Nürnberg	46	58	142	434	1,71	151	n.a.	6,6
6532	Nürnberg	49	31	159	335	1,26	173	n.a.	6,5
6027	Grettsstadt	36	24	65	187	0,82	53	0,71	7,0
6024	Karlstadt	52	30	85	269	1,29	90	0,74	6,9
5924	Gemünden a. Main	51	28	80	254	1,76	67	0,54	6,9
5924	Gemünden a. Main	88	45	127	390	2,75	88	0,57	7,0
5924	Gemünden a. Main	95	50	135	426	2,79	88	0,55	6,6
5924	Gemünden a. Main	41	31	30	143	2,41	36	0,15	6,9
6120	Obernburg a. Main	40	23	41	275	0,99	55	0,55	7,0
5920	Alzenau i. UFr.	41	26	47	222	1,03	51	0,30	7,0
5920	Alzenau i. UFr.	40	22	48	257	1,16	51	0,30	6,9
5919	Seligenstadt	35	22	38	214	0,83	46	0,23	6,9
5919	Seligenstadt	41	27	48	279	1,13	45	0,26	6,9
5927	Schweinfurt	57	30	115	280	1,96	67	n.a.	6,8
5927	Schweinfurt	39	23	70	160	1,12	75	n.a.	7,0

Anmerkungen: TK-Nr.: Nummer der Topographischen Karte; n.a.: nicht analysiert;

Tabelle A25: Grenzwertüberschreitungen (kursiv gedruckt) gemäß der AbfklärV vom 15.04.1992 in Grünland-Unterböden
(Angaben in mg kg⁻¹ m_T);

Schwermetalle		Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	Hg	pH (CaCl ₂)
Schwermetallgrenzwerte nach AbfklärV									
TK-Nr.*	Blattbezeichnung	Horizont							
6531	Fürth	11	14	143	109	0,56	38	n.a.	7,2
6532	Nürnberg	18	19	439	217	0,53	70	n.a.	6,2
6331	Röttenbach	15	12	77	129	0,55	55	n.a.	6,6
6531	Fürth	23	24	155	252	0,50	137	n.a.	7,5
6031	Bamberg Nord	32	31	42	215	1,08	52	n.a.	6,8
6434	Hersbruck	39	56	33	141	0,81	70	n.a.	6,4
6532	Nürnberg	26	29	277	458	1,00	244	n.a.	6,9
6232	Forchheim	39	55	22	112	0,46	35	n.a.	6,7
6531	Fürth	25	32	61	143	0,45	57	n.a.	6,5
6531	Fürth	31	41	109	231	0,65	103	n.a.	6,7
6532	Nürnberg	43	58	120	274	0,78	103	n.a.	6,8
6532	Nürnberg	18	24	78	149	0,34	69	n.a.	6,8
6024	Karlstadt	67	41	94	346	1,81	73	0,36	7,0
5924	Gemünden a. Main	73	45	134	497	1,65	96	1,30	7,1
5924	Gemünden a. Main	77	33	100	296	2,24	72	0,55	7,0
6120	Obernburg a. Main	48	28	46	293	1,11	55	0,31	6,8
5920	Alzenau i. UFr.	38	26	44	252	0,79	56	0,41	7,1

Anmerkung: TK-Nr.: Nummer der Topographischen Karte; n.a.: nicht analysiert;

Tabelle A26: Grenzwertüberschreitungen (kursiv gedruckt) gemäß der AbfklärV vom 15.04.1992 in Garten-Oberböden (Angaben in mg kg⁻¹ m_T);

Schwermetalle		Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	Hg	pH
Schwermetallgrenzwerte nach AbfklärV		100	50	60	200	1,5	100	1	(CaCl ₂)
TK-Nr.*	Blattbezeichnung	Horizont							
6532	Nürnberg	34	34	240	548	1,2	164	n.a.	6,9
6532	Nürnberg	40	48	535	913	1,9	710	n.a.	6,8

Anmerkung: TK-Nr.: Nummer der Topographischen Karte; n.a.: nicht analysiert;

Tabelle A27: Grenzwertüberschreitungen (kursiv gedruckt) gemäß der AbfklärV vom 15.04.1992 in Ober- und Unterböden sog. "leichter" Böden (Tongehalt < 5%) oder Böden mit pH-Werten zwischen pH 5 und pH 6 (Angaben in mg kg⁻¹ m_T);

Schwermetalle		Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	Hg	pH
Schwermetallgrenzwerte nach AbfklärV		100	50	60	150	1,0	100	1	(CaCl ₂)
TK-Nr.*	Blattbezeichnung	Horizont							
6532	Nürnberg	16	9	120	203	1,09	154	n.a.	5,5

Nutzung: Acker-Oberboden

Schwermetalle		Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	Hg	pH
Schwermetallgrenzwerte nach AbfklärV		100	50	60	150	1,0	100	1	(CaCl ₂)
TK-Nr.*	Blattbezeichnung	Horizont							
6031	Bamberg-Nord	44	44	62	279	3,04	68	n.a.	5,3

Nutzung: Grünland-Oberböden

Schwermetalle		Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	Hg	pH
Schwermetallgrenzwerte nach AbfklärV		100	50	60	150	1,0	100	1	(CaCl ₂)
TK-Nr.*	Blattbezeichnung	Horizont							
6532	Nürnberg	17	18	158	309	1,19	67	n.a.	5,7
5919	Seigenstadt	41	27	48	279	1,13	45	0,26	6,9

Anmerkung: TK-Nr.: Nummer der Topographischen Karte; n.a.: nicht analysiert;

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

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

