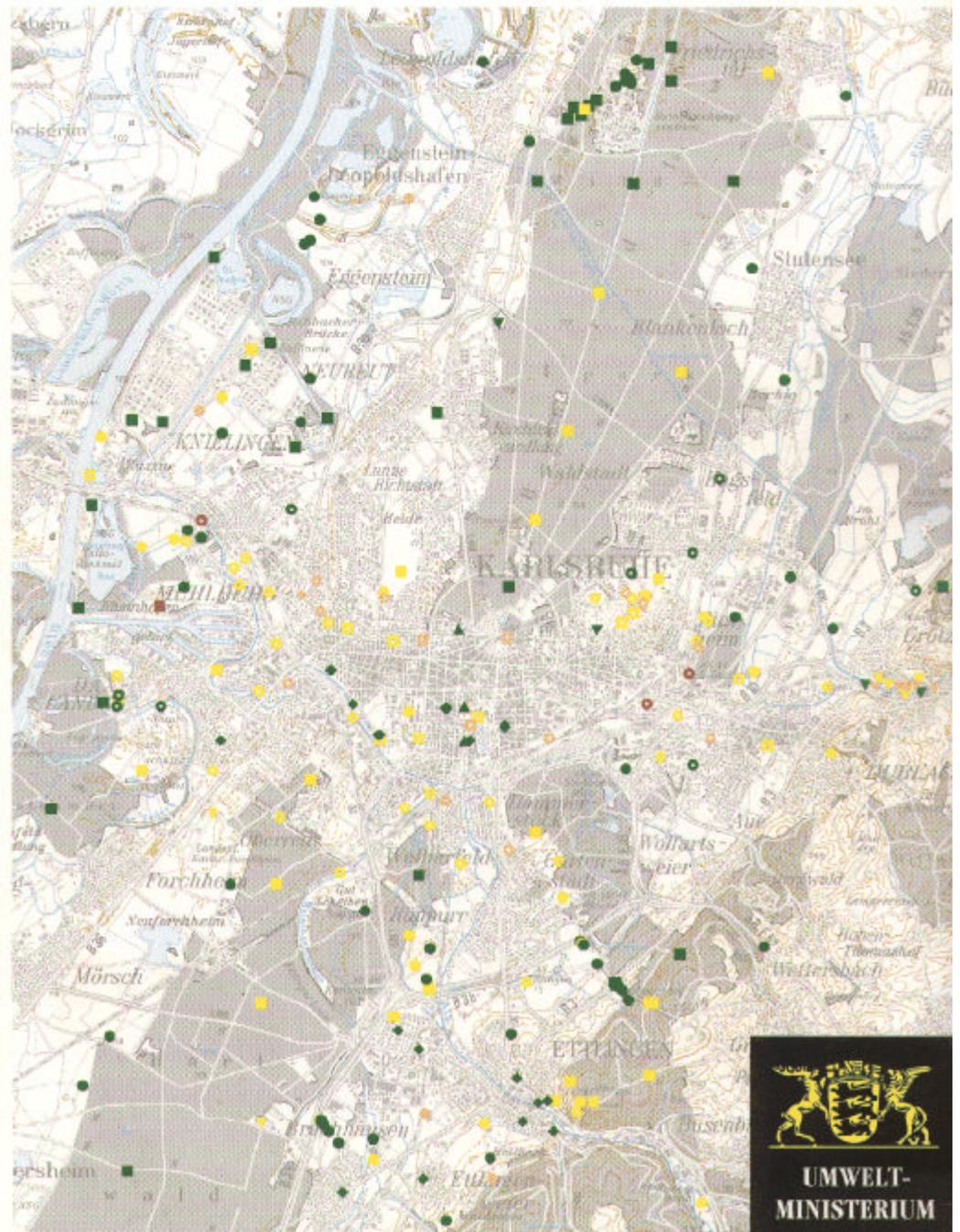


Bodenzustandsbericht Karlsruhe Schadstoffgehalte der Böden



UMEG

LU



UMWELT-
MINISTERIUM



Bodenschutzfachinformation im WWW

Impressum

Herausgeber:

Umweltministerium Baden-Württemberg

70029 Stuttgart

Auftraggeber:

LfU Landesanstalt für Umweltschutz

76185 Karlsruhe

Verfasser:

UMEG Gesellschaft für Umweltmessungen

und Umwelterhebungen mbH

76185 Karlsruhe

Kartengrundlage: Digitale Rasterdaten der

Topographischen Karte 1:100 000, Bl. C7411

des Landesvermessungsamtes Baden-Württemberg,

Genehmigung unter Az.: 5.13-D/247

Thematische Ergänzung der Karten,

Satz und Grafiken: UMEG

Bezug über Fax 0721/983-1456 (LfU, Referat 15),

Preis DM 15,- zuzgl. Porto und Verpackung

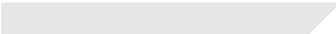
UM-Bericht Nr.: UM-14-95

Druckdatum: August 1995

Bei diesem Ausdruck handelt es sich um eine Adobe Acrobat Druckvorlage.

Abweichungen im Layout vom Original sind rein technisch bedingt.

Der Ausdruck sowie Veröffentlichungen sind - auch auszugsweise- nur für eigene Zwecke und unter Quellenangabe des Herausgebers gestattet.



BODENZUSTANDSBERICHT
KARLSRUHE
– Schadstoffgehalte der Böden

HERAUSGEBER

*Umweltministerium Baden-Württemberg
70182 Stuttgart*

AUFTRAGGEBER

*Landesanstalt für Umweltschutz
Baden-Württemberg
76185 Karlsruhe*

VERFASSER

*UMEG Gesellschaft für Umweltmessungen
und Umwelterhebungen mbH
76185 Karlsruhe*

Vorwort

In Siedlungsräumen mit hohem Anteil an Industrie- und Gewerbegebieten kam es in den zurückliegenden Jahrzehnten teilweise zu erheblichen Schadstoffanreicherungen in den Böden, die durch Emissionen von Industrie, Gewerbe und Verkehr aber auch durch den Hausbrand über die Luft großräumig auch auf die Böden verteilt wurden.

Um einen Überblick über Art und Ausmaß der Kontaminationen von Böden in diesen Gebieten zu bekommen, hat das Umweltministerium über die Landesanstalt für Umweltschutz Untersuchungen in Auftrag gegeben.

Einige dieser Erhebungsuntersuchungen sind abgeschlossen. Die Ergebnisse werden mit dieser Veröffentlichung den betroffenen Städten und Gemeinden sowie den Umweltämtern der unteren Verwaltungsbehörde (insbesondere untere Wasserbehörde, untere Bodenschutzbehörde) zur Verfügung gestellt. Sie sollen darüber hinaus den interessierten Bürgern ein Bild von der tatsächlichen Situation der Böden in ihrem Lebensumfeld vermitteln.

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, daß sich die Schadstoffgehalte der Böden in den untersuchten Siedlungsräumen je nach regionaler Lage, Größe, siedlungsstruktureller und industrieller Prägung untereinander ebenso wie vom landesweiten Hintergrund weitgehend unkontaminierter Böden deutlich unterscheiden.

Schwermetalle und organische Schadstoffe sind in höheren Konzentrationen und bei entsprechend hoher Verfügbarkeit Umweltgifte, die über das Wasser und über Pflanzen und Tiere in die Nahrungskette gelangen und auf diese Weise, jedoch auch durch direkte Aufnahme, den Menschen gefährden können. Bisher sind Gesundheitsbeeinträchtigungen bei Menschen und Tieren aufgrund der großräumig in die Böden von Siedlungsräumen

gelangenden Schadstoffe nicht bekannt geworden.

Dennoch ergeben sich immer wieder räumlich begrenzte Fälle, in denen die stoffliche Beschaffenheit der Böden bereits soweit beeinträchtigt ist, daß bestimmte besonders empfindlich genutzte Bereiche (z. B. Kinderspielplätze) saniert werden müssen. Deshalb dürfen wir heute, nachdem wir über weitreichende Kenntnisse der möglichen Gefährdungen verfügen, dieses Risiko nicht vernachlässigen.

Das Umweltministerium hat sich des Problems der großräumigen Belastung der Böden in den Siedlungsräumen des Landes und ihrer möglichen Folgen mit besonderem Nachdruck angenommen. Es wird weitere Untersuchungen in anderen stark besiedelten und industrialisierten Räumen durchführen lassen.

Die Bodenzustandsberichte dokumentieren die aktuelle stoffliche Beschaffenheit der Böden in Siedlungsräumen und leisten damit einen wichtigen Beitrag zur Vorsorge im Bodenschutz. Den zuständigen Behörden vor Ort werden so wichtige Erkenntnisse an die Hand gegeben, um mögliche Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung und des Umweltgutes Boden ergreifen zu können.

Die Bodenzustandsberichte können darüber hinaus den Städten und Gemeinden als Planungsträger eine wichtige Entscheidungs- und Abwägungshilfe bieten.

Die bisherigen Untersuchungsergebnisse werden in den folgenden Heften veröffentlicht:

- Bodenzustandsbericht Karlsruhe [UM-14-95]
- Bodenzustandsbericht Pforzheim [UM-15-95]
- Bodenzustandsbericht Kehl [UM-16-95].

Harald B. Schäfer
Umweltminister
Baden-Württemberg

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	III
Zusammenfassung	1
1 Einleitung	2
1.1 Ziel des Bodenzustandsberichts	2
1.2 (Schad-) Stoffe in Böden	3
1.3 Beurteilungsgrundlagen	4
2 Das Untersuchungsgebiet	6
2.1 Bodengesellschaften	6
2.2 Bodennutzungen	7
2.3 Kontaminationsquellen	7
3 Methodik	9
3.1 Datenerhebung	9
3.2 Ergänzende Messungen 1993	10
3.3 Datenauswertung	12
3.3.1 Datengruppierung	12
3.3.2 Kartographische Darstellung	12
3.3.3 Aggregierung der Gesamtstichprobe	13
3.3.4 Beschreibende Statistik	13
4 Schadstoffgehalte der Böden	15
4.1 Arsen	18
4.2 Cadmium	21
4.3 Chrom	26
4.4 Kupfer	28
4.5 Quecksilber	30
4.6 Nickel	32
4.7 Blei	34
4.8 Thallium	39
4.9 Zink	41
4.10 Weitere Spurenelemente	45
4.11 Nitrat	46
4.12 Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe	47
4.13 Polychlorierte Biphenyle	51

4.14	Polychlorierte Dibenzo-p-dioxine und Dibenzofurane	54
4.15	Hexachlorbenzol	57
5	Schlußfolgerungen	58
5.1	Aktuelle Beeinträchtigung der Schutzgüter	58
5.1.1	Direktpfad Boden-Mensch	58
5.1.2	Pfad Boden-Pflanze-Mensch/Tier	58
5.1.3	Pfad Boden(-Pflanze)-Tier-Mensch	58
5.1.4	Pfad Boden-Pflanze	59
5.1.5	Pfad Boden(-Pflanze)-Tier	59
5.1.6	Pfad Boden-Sickerwasser	59
5.2	Nutzungsänderung und Verwertung von Bodenaushub	60
5.3	Karlsruhe im Vergleich	61
6	Abkürzungen	63
7	Literaturverzeichnis	64

Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht stellt eine erste Bestandsaufnahme und Auswertung der Schadstoffgehalte der Böden im Raum Karlsruhe dar.

Für die Zusammenstellung des Berichts wurden neben der Erhebung vorhandener Analysedaten im Jahr 1993 ergänzende Messungen durchgeführt. Sowohl bei den früheren als auch bei den ergänzenden Messungen wurden Böden im Nahbereich von (z. T. ehemaligen) Emittenten einbezogen. Es muß deshalb in Betracht gezogen werden, daß mit der vorliegenden Dokumentation der Schadstoffgehalte der Böden des Untersuchungsgebiets die tatsächlichen Hintergrundgehalte ggf. etwas überschätzt werden.

(1) Karlsruher Siedlungsgebiet

In den Böden des Siedlungsgebiets Karlsruhe sind insbesondere polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), polychlorierte Dibenzop-dioxine und Dibenzofurane (PCDD/F) sowie Quecksilber, Blei und Zink über den landesweiten Hintergrundbereich angereichert. Die Anreicherungen sind typisch für Böden dicht besiedelter Räume. Eine aktuelle Beeinträchtigung von Schutzgütern wurde nur in wenigen Fällen festgestellt.

Im Siedlungsgebiet überschreitet jedoch nahezu jede zweite, bislang untersuchte Probe von Oberböden entweder den Prüfwert für Blei oder für PAK hinsichtlich der möglichen Nutzung als Spielfläche oder den PCDD/F-Prüfwert für die bodengebundene Nutztierhaltung.

Im Siedlungsgebiet sollten daher die Böden bei entsprechender Nutzungsänderung bzw. im Falle der Verwertung von Bodenaushub auf diese relevanten Schadstoffe untersucht werden.

(2) Karlsruher Außenbereich

Landwirtschaftlich und forstwirtschaftlich genutzte Böden des Außenbereiches von Karlsruhe weisen überwiegend Schadstoffgehalte im landesweiten Hintergrundbereich auf.

Die sandigen Böden im Hochgestade und *Buntsandstein*-Anstieg sind jedoch teilweise stark versauert und weisen daher häufig erhöhte Gehalte an mobilem Cadmium auf.

Landwirtschaftlich genutzte Böden benötigen hier regelmäßiger Kalkzufuhren, um Cadmium im Boden zu demobilisieren.

Oberböden unter Forst weisen ebenfalls erhöhte Gehalte an mobilen Schwermetallen auf. Ein Tiefenprofil im südlichen Hardwald ergab Hinweise auf eine tiefgreifende Bodenversauerung. Die noch mobilisierbaren Element-Gesamtgehalte sind jedoch im Hinblick auf eine Grundwassergefährdung gering. Diese von Natur aus pufferarmen Böden des Hochgestades und *Buntsandstein*-Anstiegs sollten – soweit möglich – vor weiteren Schadstoff-Einträgen und weiterer Versauerung besonders geschützt werden.

In Böden des Trinkwasserschutzgebietes Durlach wurden in den Jahren 1989 bis 1992 bei Untersuchungen nach der Schutzgebietsausgleichsverordnung hohe Nitratgehalte festgestellt.

1 Einleitung

Neben der Luft und dem Wasser stehen auch die Böden im Blickfeld der Umweltüberwachung. Ziel des Bodenschutzes ist die langfristige Erhaltung der Bodenfunktionen als wichtige Steuergröße natürlicher Stoffkreisläufe. In Siedlungsräumen mit hohem Anteil an Industrie- und Gewerbegebieten werden Böden seit Jahrzehnten intensiv genutzt. Der Stoffbestand dieser Böden ist ein Spiegel der Siedlungsgeschichte. Dies gilt insbesondere für Schadstoffe, wie Schwermetalle, polychlorierte Dibenzop-dioxine und Dibenzofurane sowie polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe, da diese Stoffe i.d.R. im Boden nicht abgebaut oder kaum verlagert werden.

In Abhängigkeit von der aktuellen Bodennutzung können Schadstoffe vom Boden in andere Schutzgüter gelangen (Abbildung 1.0-1). Bei Änderungen der Bodennutzung werden ggf. andere Schutzgüter betroffen.

Bodenbelastungen können im Einwirkungsbereich von Altstandorten oder defekten Kanalisationsnetzen lokal begrenzt sein oder infolge von Emissionen aus Hausbrand, Gewerbe und Verkehr großflächig auftreten. Beim Umgang mit belasteten Böden gewinnen Nutzungsänderungen zunehmend an Bedeutung.

1.1 Ziel des Bodenzustandsberichts

Der Bodenzustandsbericht – Schadstoffgehalte der Böden – dokumentiert die stoffliche Beschaffenheit der Böden hinsichtlich der Bodenfunktion als Filter und Puffer für Schadstoffe für die Schutzgüter Menschen, Tiere, Pflanzen und Bodenorganismen sowie Wasser. Bodenbelastungen, die von Bodenversiegelungen oder -verdichtungen oder dem Abtrag von Böden ausgehen, sind nicht Gegenstand dieses Berichts. Datengrundlage für diesen Bericht sind die Ergebnisse bisheriger, stichprobenartiger Untersuchungen sowie

ergänzender Messungen aus dem Jahr 1993. Aus der ermittelten Schadstoffverteilung werden Schlußfolgerungen hinsichtlich folgender Fragen gezogen:

- Werden Schutzgüter aktuell beeinträchtigt?
- Welche Schadstoffe sind im Untersuchungsgebiet im Hinblick auf Nutzungsänderungen und die Verwertung von Bodenaushub besonders kritisch?
- Wie sind die Schadstoffgehalte im Vergleich zum ländlichen Raum und zu anderen dicht besiedelten Räumen zu beurteilen?

Der Bodenzustandsbericht leistet damit einen Beitrag zum vorsorgenden Bodenschutz; er ist eine Planungshilfe beim Umgang und bei der Verwertung von Bodenaushub, bei künfti-

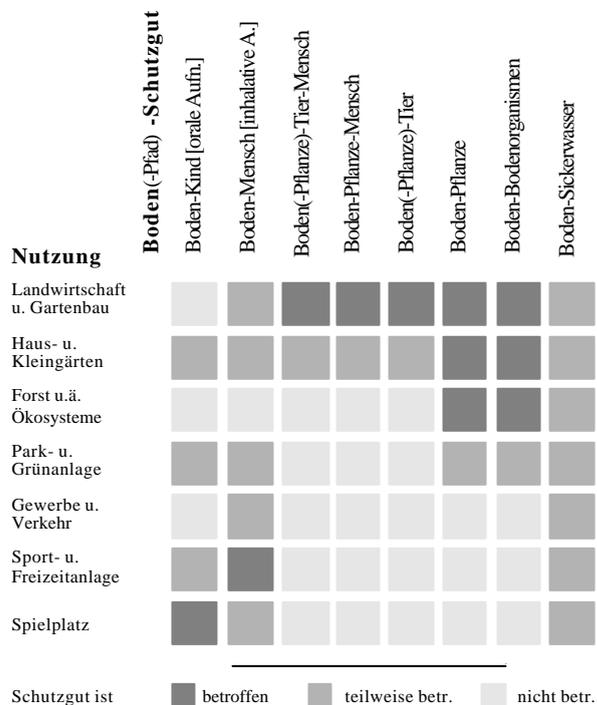


Abbildung 1.0-1: Betroffene Schutzgüter in Abhängigkeit von der Bodennutzung

gen Nutzungsänderungen von Flächen und soll zur Information der Öffentlichkeit dienen. Eine Fortschreibung des Bodenzustandsberichtes könnte künftig erforderlich werden, wenn der Bestand an (teils gesetzlich geforderten) Bodenuntersuchungen ein dichteres Abbild der flächenhaften Bodenbeschaffenheit ermöglicht.

1.2 (Schad-) Stoffe in Böden

Zur Dokumentation der Schadstoffgehalte in Böden von Siedlungsräumen des Landes mit hohem Anteil an Industrie- und Gewerbegebieten werden ausgewählte Stoffe und Stoffgruppen behandelt, die heute großflächig in die Böden eingetragen sind [vgl. SCHACHTSCHABEL et al. 1992 und BLUME 1992].

(1) Anorganische Stoffe und ihre Verbindungen

(1.1) Schwefeldioxid und Stickstoffverbindungen (Bodenacidität)

Schwefeldioxid- (SO_2) und Stickoxid-Immisionen (NO_x) können die natürliche Bodenversauerung beschleunigen. Die emittierten Gase reagieren mit atmosphärischem Wasser zu Säuren. SO_2 und NO_x unterliegen jedoch einem beträchtlichen Ferntransport, so daß räumliche Zusammenhänge zwischen Emittenten und der Bodenversauerung nur selten erkennbar sind.

(1.2) Schwermetalle und andere potentiell toxische Spurenelemente

Spurenelemente (Schwermetalle, Halbmetalle und Radionuklide) sind natürliche Bestandteile von Böden. Durch die Metallgewinnung und die industrielle Weiterverarbeitung werden Schwermetalle in die Umwelt eingetragen und gelangen über den Luftpfad, den Wasserpfad oder durch die Verwertung von Abfällen und Reststoffen letztendlich auf Böden. Für die Beurteilung des Transfers von Schwermetallen aus Böden in andere Schutzgüter werden neben den Gesamtgehalten auch die mobilen

Anteile herangezogen. Mobile Schwermetalle können von Pflanzen aufgenommen oder mit dem Sickerwasser verlagert werden. Schwermetalle können aber auch durch die Bodenversauerung, durch Überstauung oder durch Mineralisierung der organischen Substanz gelöst werden. Daneben können Schwermetalle bei oraler oder inhalativer Aufnahme von Boden in den Organismus von Menschen und Tieren gelangen.

(1.3) Nitrat

Nitrat ist ein Bestandteil des natürlichen Stickstoffkreislaufes. Die Verteilung von Nitrat in Böden hängt von den Umsetzungsprozessen durch Mineralisierung und Immobilisierung sowie Nitrifikation und Denitrifikation ab. Hinsichtlich der Trinkwasserqualität wird Nitrat als bedenklich für die menschliche Gesundheit eingestuft.

(2) Organische Verbindungen

(2.1) Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) bestehen aus zwei oder mehr kondensierten Ringen. PAK entstehen bei unvollständigen Verbrennungsprozessen. Sie gehören zu den am weitesten verbreiteten Schadstoffen. Die Löslichkeit und Verlagerbarkeit von PAK in Böden ist gering, kann jedoch durch Tenside oder hohe mobile Anteile natürlicher Huminsäuren erhöht werden. Unter den weit über 100 bekannten PAK werden einige, wie z. B. das Benzo[a]pyren und das Dibenz[a,h]anthracen, als krebserregend eingestuft.

(2.2) Polychlorierte Biphenyle

Polychlorierte Biphenyle (PCB) sind chemisch hergestellte polykondensierte, chlorierte aromatische Kohlenwasserstoffe. Es gibt 209 Isomere. PCB sind ausschließlich anthropogen. Technische Gemische von PCB wurden als Isolier- und Kühlmittel oder als Hydraulikflüssigkeit in vielen Bereichen eingesetzt. Seit 1989 ist ihre Herstellung und das Inverkehrbringen in der Bundesrepublik Deutschland verboten.

PCB sind hydrophobe, wenig wasserlösliche Verbindungen, die im Boden insbesondere an Huminstoffe gebunden vorliegen. Die Bindungsstärke ist abhängig von der Wasserlöslichkeit und vom Chlorierungsgrad.

(2.3) Polychlorierte Dibenz-p-dioxine und Dibenzofurane

Es gibt 75 Isomere von polychlorierten Dibenz-p-dioxinen (PCDD) und 135 Isomere von polychlorierten Dibenzofuranen (PCDF). PCDD und PCDF sind Nebenprodukte, die bei industriellen Synthesen und Verbrennungsvorgängen entstehen. PCDD/F kommen ubiquitär in der Umwelt vor und werden im Boden stark an Humus gebunden und kaum verlagert. Zu

den giftigsten Einzelkomponenten gehört 2,3,7,8-Tetrachlordibenzodioxin.

1.3 Beurteilungsgrundlagen

Beurteilungsgrundlagen für anorganische Schadstoffe sind die Hintergrundwerte der dritten Verwaltungsvorschrift zum Bodenschutzgesetz Baden-Württemberg [UM 1993b]. Diese Hintergrundwerte entsprechen dem 90. Perzentil der landesweit in Böden des ländlichen Raums in Baden-Württemberg vorhandenen Gehalte (90.P-Hintergrundwerte, vgl. PRÜß 1992). Für organische Schadstoffe wurden Hintergrundwerte aus der Verwaltungsvorschrift "Orientierungswerte für die Bearbeitung von Altlasten und Schadensfällen" [UM/SM 1993] übernommen.

Für die Beurteilung der Funktionserfüllung von Böden werden schutzgutbezogene Prüfwerte der o.g. Vorschriften herangezogen (Tabelle 1.3-1). Nach der Dritten Verwaltungsvorschrift zum BodSchG ist bei Überschreitung eines Prüfwertes eine einzelfallbezogene Prüfung hinsichtlich des jeweiligen Schutzgutes vorzunehmen [UM 1993b].

Tabelle 1.3-1: Hintergrundwerte und Prüfwerte für ausgewählte Schadstoffe in Böden (Abkürzungen siehe Kap. 6; Quellen: UM [1992], UM/SM [1993], UM [1993b], in [-Klammern SCHULDT 1990])

		90.P-Hintergrundwert	Prüfwert gegenüber										
			Mensch			Tier	Pflanze			Bodenorg.	Sickerwasser		
			Spielfläche	Siedlungsfläche	Gewerbefläche	Beweidung	Nahrungspflanzen	Futterpflanzen	Pflanzenwachstum	Mikroorganismen	Bodentiere	Oberboden	Unterboden
As	ges. mg/kg	6...17	20	30	130	[45]	-----	20...40 (wenn pH 5)			-----		
	mob. µg/kg	40...60	-	-	-	-	140	140	800	-	-	140	70
Cd	ges. mg/kg	0,2...1,0	3	15	60	[25]	-----	1...1,5(wenn pH 5)			-----		
	mob. µg/kg	5...80	-	-	-	-	25	25	-	-	-	100	30
Cr	ges. mg/kg	20...90	100	500	-	-	-----	100 (wenn pH 5)			-----		
	mob. µg/kg	11...50	-	-	-	-	-	-	60	130	-	130	130
Cu	ges. mg/kg	10...60	-	-	-	[110]	-----	60 (wenn pH 5)			-----		
	mob. µg/kg	250...400	-	-	-	-	-	1.000	2.400	1.200	-	1.200	450
Hg	ges. mg/kg	0,05...0,2	2	10	40	-	-----	1 (wenn pH 5)			-----		
	mob. µg/kg	1	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	7 7
Ni	ges. mg/kg	15...100	100	100	300	[6.000	-----	50 (wenn pH 5)			-----		
	mob. µg/kg	200...1.000	-	-	-	-	-	-	1.200	-	-	1.200	700
Pb	ges. mg/kg	25...55	100	500	4.000	[700]	-----	100 (wenn pH 5)			-----		
	mob. µg/kg	4...3.000	-	-	-	-	400	400	-	-	-	3.500	250
Tl	ges. mg/kg	0,2...0,7	1	4	15	-	-----	0,5...1 (wenn pH>5)			-----		
	mob. µg/kg	11...50	-	-	-	-	40	40	-	-	-	-	-
Zn	ges. mg/kg	35...150	-	-	-	[6.000	-----	150...200 (wenn pH>5)			-----		
	mob. µg/kg	120...5.000	-	-	-	-	-	5.000	10.00	-	-	5.000	1.500
									0				
PAK ₁₆	mg/kg	1,0	5	25	100	-----	10			-----	-	-	-
BaP	mg/kg	0,07	0,5	2,5	10	-----	1			-----	-	-	-
PCB ₆	µg/kg	10	600	-	-	-----	300			-----	-	-	-
PCDD/F ₁ -TEq	ng/kg	2	100	1.000	-	5	40	40	-	[1.000	-	-	-

-: Prüfwert nicht relevant oder keine Prüfwert(vorschläge) verfügbar

...: Wert ist abhängig vom Substrattyp (Tongehalt, pH-Wert, Ausgangsgestein vgl. UM 1993b)

2 Das Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet (im folgenden Kurz als Raum Karlsruhe bezeichnet) liegt im Rheintal und wird im Westen durch den Rhein und im Osten durch den Aufstieg des Nord-Schwarzwalds und des Kraichgaus begrenzt. Das Bearbeitungsgebiet liegt zwischen den Gauß-Krüger-Koordinaten 3448 bis 3465 (Rechts-Wert) und 5419 bis 5442 (Hoch-Wert). Neben der Stadt Karlsruhe liegen folgende Städte und Gemeinden des Landkreises Karlsruhe ganz oder teilweise in dem Untersuchungsgebiet: Eggenstein-Leopoldshafen, Stutensee, Weingarten, Pfinztal, Karlsbad, Waldbronn, Stadt Ettlingen, Rheinstetten.

2.1 Bodengesellschaften

Die folgende Beschreibung der Bodengesellschaften wurde nach der Bodenkarte Ober-rheinebene Karlsruhe-Bruchsal (M 1:50.000), nach den Erläuterungen zu den geologischen Karten Nr. 6916 und 7016 [Hrsg. Geologisches Landesamt Baden-Württemberg] sowie nach Ett [1991] angefertigt.

(1) Niederterrasse

Die Niederterrasse reicht vom Rhein mit dem *Tiefgestade* bei 100 bis 110 m ü. NN bis zum *Hochgestade* auf 110 bis 120 m ü. NN.

Im Tiefgestade dominieren braune Auenböden aus sandig bis schluffigem Auelehm über fluviatilen Sand und Kies (vorwiegend kalkhaltig). Der Flurabstand des Grundwassers variiert stark, der mittlere natürliche Grundwasserstand liegt bei 1 bis 3 m unter Flur. Außerdem sind Gleye und Humusgleye, vereinzelt auch Anmoorgleye, mit Grundwasserständen von 0,4 bis 0,8 m anzutreffen. Stellenweise sind Niedermoore vorhanden.

Im nördlichen Hochgestade von Karlsruhe sind podsolige Bänderbraunerden und podso-

lige (Para)Braunerden aus Flugsand, Sand und Kies der Niederterrasse oder aus fluviatilen Sanden anzutreffen. Stellenweise haben sich auf über 1 m mächtigen Dünensanden (podsolige) Braunerden entwickelt. Südlich von Karlsruhe dominieren (podsolige) Bänderbraunerden aus kieshaltigem, sandreichen Auenlehm, vereinzelt auch aus Flugsanden oder Dünensanden.

Böden aus Kiesen, Flug- oder Dünensanden sind selten in landwirtschaftlicher Nutzung, da sie leicht austrocknen. Der Großteil des Hochgestades wird daher forstwirtschaftlich genutzt.

(2) Kinzig-Murg-Rinne

Die Niederterrasse wird im Osten von der Kinzig-Murg-Rinne durchzogen (107 bis 113 m ü. NN). In der Kinzig-Murg-Rinne findet sich eine ähnliche Bodenvergesellschaftung wie im Tiefgestade. Neben Gleyen, Humusgleyen und Anmoorgleyen haben sich Braune Auenböden entwickelt. Vereinzelt treten auch hier Niedermoore auf. Die Böden sind hier größtenteils noch kalkhaltig und damit gut landwirtschaftlich nutzbar. Stadtteile von Ettlingen und Durlach liegen im Bereich der Kinzig-Murg-Rinne.

(3) Taleinschnitte und Schwemmfächer

Auf den Auenschwemmfächern von Alb und Pfinz sowie zahlreicher kleinerer Flüsse haben sich Braune Auenböden, Gleye und Anmoorgleye entwickelt.

(4) Vorbergzone

Das "Vorgebirge" liegt auf 120 bis 180 m ü. NN und grenzt die Niederterrasse mit der Kinzig-Murg-Rinne vom Anstieg zum Buntsandstein-Hochplateau ab. Im Unterhangbereich finden sich Kolluvien, die durch Erosion vom Mittelhangbereich abgeschwemmt wurden. Diese Kolluvien überlagern die mächtigen Lößpakete des Unterhangbereichs. Darauf haben sich meist Braunerden und Parabraunerden entwickelt, die je nach vorherrschendem Grund-

wasserstand hydromorphe Merkmale aufweisen. Die Vorbergzone wurde früher intensiv landwirtschaftlich genutzt. Heute ist sie wegen ihrer klimatisch und topographisch begünstigten Lage bevorzugtes Wohngebiet.

(5) Anstieg zur Hochebene

Die Steilhänge zwischen Vorgebirge und Hochplateau reichen von 180 bis 300 m ü. NN. Der Mittelhangbereich besteht aus anstehendem Buntsandstein, auf dem sich nur flachgründige Regosole gebildet haben. Diese Böden werden durch fortschreitende Erosion ständig verjüngt. Im Oberhangbereich ist wieder Löß zu finden. In der Gegend um Durlach liegen auch Rendzinen aus Kalksteinen des Muschelkalkes vor, deren Steilhänge forstwirtschaftlich genutzt werden.

(6) Hochplateau

Das Hochplateau mit den nördlichen Ausläufern des Schwarzwaldes erreicht Höhenlagen bis ca. 350 m ü. NN. Auf dem Hochplateau sind neben Braunerden aus Buntsandstein auch dünne Lößdecken anzutreffen, die landwirtschaftlich genutzt werden. Die Fließerden und Schuttdecken des Buntsandsteinplateaus mit ihren sandig-lehmigen Böden bieten allgemein nur geringe landwirtschaftliche Nutzungsmöglichkeiten.

2.2 Bodennutzungen

Bis zum Beginn dieses Jahrhunderts war die natürliche Ausstattung der Naturräume wesentliches Kriterium für die Besiedelung. Die historisch bedingten Nutzungsformen wurden bereits für die verschiedenen Bodengesellschaften geschildert. Im Stadtkreis Karlsruhe dominieren heute Gebäudeflächen, gefolgt von Flächen mit forstwirtschaftlicher und landwirtschaftlicher Nutzung (Tabelle 2.2-1). Ein nicht unerheblicher Flächenanteil entfällt auf öffentliche Parks und Grünanlagen, Sport- und Spielplätze sowie Gartenland. Im Landkreis Karlsruhe überwiegt dagegen die landwirtschaftliche Nutzung.

Tabelle 2.2-1: Bodennutzungen im Ballungsraum Karlsruhe [LIS, 1993; KA, 1992]

Nutzungen	Stadt	Land
Gebäudeflächen	27%	9%
Verkehrsflächen	12%	5%
Öff. Parks/Grünanlagen	3%	-
Friedhöfe	<1%	-
Sport- und Spielplätze	2%	-
Gartenland	3%	-
Landwirtschaft	22%	49%
Forst	26%	34%
Gewässer	4%	1%
sonstige	<1%	12%

Trinkwassergewinnung

Einzugsgebiet für das Karlsruher Trinkwasser ist vor allem das Hochplateau, der nördliche Ausläufer des Schwarzwaldes. Die Grundwasserströmung verläuft gegen Nordwesten. Der Rhein ist der Sammelkanal für das Grundwasser. Die Trinkwasserschutzgebiete Nr. 10 nördlich, 15 östlich sowie 16 südlich von Karlsruhe sind mit ihren Galeriebrunnen von besonderer Bedeutung für die Wasserversorgung. Die mittleren Grundwasserhöchststände betragen auf der Niederterrasse nördlich von Karlsruhe 3 bis 4 m, in der Kinzig-Murg-Rinne 0,6 m und im Pfinschwemmfächer 1,5 m. Durch die kiesig-sandige Bodenart ist das mechanische Filterpotential auf der Niederterrasse sehr gering. Im Bereich der Kinzig-Murg-Rinne mit tonig-schluffigen Bodenarten ist hingegen ein hohes Filterpotential vorhanden [KALTENBACH 1988].

2.3 Kontaminationsquellen

Neben lokalen Kontaminationen an Altstandorten, Altablagerungen, Schadensfällen oder defekten Kanalisationen werden Schadstoffe in die Böden ubiquitär durch Emissionen aus Industrie und Gewerbe, Hausbrand, Verkehr

sowie durch Düngemittel, Pestizide und Klärschlämme eingetragen.

(1) Industrie und Gewerbe, Hausbrand, Verkehr

Im Stadtkreis Karlsruhe stammen 95% der Schwefeldioxid-Emissionen aus Großfeuerungsanlagen, die sich fast ausschließlich im Westen befinden. In den vergangenen 20 Jahren konnten deren Emissionen um etwa 70% gesenkt werden [UM, 1990]. Der Großteil der Schwefeldioxid-Immissionen wird außerhalb des Raumes Karlsruhe niedergeschlagen.

Im Stadtzentrum trug die Verbrennung von Holz und Kohle noch vor wenigen Jahren wesentlich zur Staubemission bei. Die dadurch und durch andere frühere Emissionen freigesetzten Schadstoffe sind im Hinblick auf die großflächige Bodenbeschaffenheit bedeutsamer als die heutigen Emissionen.

12% der Stadt Karlsruhe werden durch Verkehrsflächen genutzt. An Straßenrändern sind die Böden in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen und dem Alter der Fahrbahnen mit Blei, Cadmium, Zink, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe, polychlorierte Biphenyle sowie polychlorierte Dibenzop-dioxine und Dibenzofurane kontaminiert. Nach Angaben im Emissionskataster der Quellengruppe Verkehr erreichten die Blei-Emissionen des Verkehrs im gesamten Stadtgebiet Karlsruhe noch vor 10 Jahren 16 Tonnen Blei/Jahr (durchschnittlich 0,9 kg/ha und Jahr, im Stadtzentrum bis 4,7 kg/ha und Jahr) [EM 1986].

Im Bereich des Rheinhafens (Stadtteil Mühlburg) wurden bei Immissionsmessungen gegenüber dem Stadtgebiet deutlich erhöhte Staubniederschlagswerte für Blei gefunden. In den Jahren 1985/86 wurden Blei-Depositionen bis 0,5 kg/ha und Jahr im Gebiet des Rheinhafens und bis 0,3 kg/ha und Jahr im Stadtzentrum gemessen. Die Cadmium-Depositionen erreichten im Staubniederschlag bis 15 g/ha und Jahr [UM 1990]. Angaben über flächenhafte Emissionen und Immissionen an persistenten, organischen Schadstoffen (PAK, PCB, PCDD/F) fehlen bislang.

Tabelle 2.3-1: 90. Perzentile der Schwermetallgehalte der Klärschlämme im Landkreis Karlsruhe in mg/kg TS [LU-FA 1993]

Element	1984	1992	Grenzwert AbfKlarV'92
Blei	290	160	900
Cadmium	7,8	2,7	5-10
Chrom	110	70	900
Kupfer	770	690	800
Nickel	67	37	200
Quecks.	5,8	3,0	8
Zink	2900	1800	2000-2500

(2) Düngemittel und Pestizide

Nördlich von Karlsruhe sind infolge intensiver Stickstoffdüngung im Spargelanbau Grundwasserkontaminationen durch Nitrat bekannt geworden. An diesen Standorten zeigte sich auch, daß der Umbruch von stark humosen Böden vor 10-20 Jahren eine wesentliche Quelle für die heute erhöhten Nitrat-Gehalte im Grundwasser darstellt [UM 1988]. An einer Grundwasser-Meßstelle im Stadtgebiete Karlsruhe wurden erhöhte Atrazin-Gehalte (> 1 µg/l) gemessen [LfU, 1992a, b]. Der Rebanbau ist im Untersuchungsgebiet auf ca. 10 ha beschränkt (KA-Turmberg). Hier sind erhöhte Kupfer-Gehalte in Böden infolge langjähriger Anwendung kupferhaltiger Pflanzenbehandlungsmitteln zu erwarten.

(3) Klärschlämme

Im Landkreis Karlsruhe werden zur Zeit 40% der Klärschlämme landwirtschaftlich verwertet [UM 1993]. Die Cadmium-Gehalte in landwirtschaftlich genutzten Klärschlämmen gingen im Zeitraum 1984 bis 1992 von im Mittel 4,6 auf 1,9 mg/kg zurück. Bei Zink war die Abnahme weniger deutlich (vgl. Tabelle 2.3-1). Cadmium, Zink und Kupfer sind im Hinblick auf die landwirtschaftliche Verwertung der Klärschlämme problematisch.

3 Methodik

3.1 Datenerhebung

Die Tabellen 3.1-1 und 3.1-2 geben die bis 1992 durchgeführten und hier berücksichtigten Projekte nach Anzahl der Proben und untersuchten Schadstoffe wieder. Darüberhinaus wurden Nitrat-Untersuchungen nach der

SchAIvo ausgewertet [Quelle: LUFA]. In den Projekten 5 bis 54, 104 und 107 wurden meist Böden im Nahbereich von Emittenten untersucht. An einzelnen Standorten ist nicht auszuschließen, daß die Nutzung zwischenzeitlich geändert oder die untersuchten Böden überdeckt oder umgelagert wurden. In der Auswertung zum vorliegenden Bericht wird die Nutzung zum Zeitpunkt der Probennahme zugrunde gelegt. Im Projekt 108 wurden Bö-

Tabelle 3.1-1: Projekte aus dem Raum Karlsruhe, in denen Böden auf persistente Schadstoffe untersucht wurden (Abk. siehe Kap. 6)

Projektnummer	Projektname	Komponenten	Quelle
1	Bodenmeßnetz	SE, PSM	LfU
7	Überschwemmungsgebiete	SE	LfU
16	PCB in Böden	PSM, PCB	LfU
5,19,28,29,41,42,54	PCDD/F in Böden	PCDD/F (SE)	LfU
101	Bodenkataster Ettlingen '91	Cd, Pb (PCDD/F, PAK)	[Ett, 1991]
104	KfK-Projekt Schwermetalle '91	Cs, Pu, SE	[KfK, 1991]
107	Herrmann Präzisionsdruckg. '84, '90	SE	Stadt-KA
108	Gewann Schleher '89	SE	Stadt-KA
109	Spielplätze '90	SE, PAK	Stadt-KA
110	Kleingärten '88	Cd, Pb, Cu	Stadt-KA
112	Raumordnungsverfahren MHKW	SE, PCB, PAK, PCDD/F	MHKW GmbH

Tabelle 3.1-2: Bis 1993 untersuchte Bodenkomponenten im Raum Karlsruhe, gruppiert nach Untersuchungsprojekten (Abk. siehe Kap. 6)

Projekt	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Tl	Zn	SM _m	PAK	PCB	PCDD, HCB PCDF
1	-	2	2	-	1	-	2	1	2	-	-	-	-
7	-	1	1	-	1	-	1	-	1	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-
5,19,28,29, 41,42,54	-	25	22	17	25	22	25	22	22	-	-	-	79
101	-	80	-	-	-	-	80	-	-	-	80*	80*	5
104	-	32	32	32	-	32	32	-	32	-	-	-	-
107	3	7	19	-	7	7	19	-	19	-	-	-	-
108*	8	8	8	-	8	8	8	-	8	-	-	-	-
109	-	23	23	-	23	-	23	-	22	-	(BaP)	-	-
110**	-	351/48	-	351/48	-	-	351/48	-	-	-	-	-	-
112	11	11	11	11	11	11	11	11	11	-	11	11	11

*: Daten wurden für die statistische Auswertung eliminiert (vgl. Kap. 3.3)

** : 351 Einzelstandorte, in 48 Kleingartenanlagen

den untersucht, die mit Flotationsrückständen der Flußspatproduktion beaufschlagt wurden.

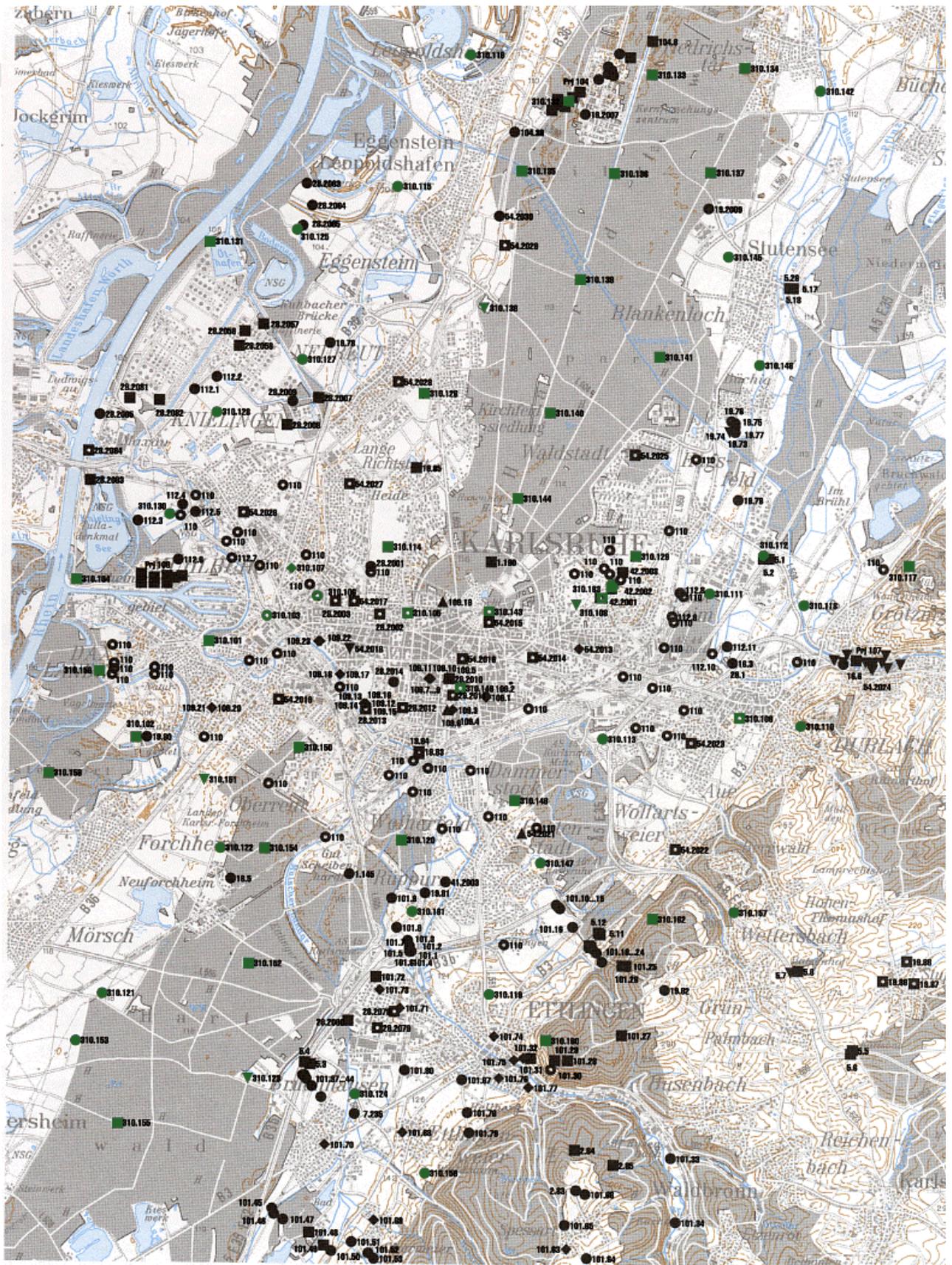
3.2 Ergänzende Messungen 1993

Ziel der Meßplanung war die weitere Verdichtung des bisherigen stichprobenartigen Abbilds der Schadstoffgehalte. Bei der Meßplanung wurden die natürlichen Bodengesellschaften, die typischen Bodennutzungen und die Lage von Emittenten berücksichtigt. Die Probennahmestandorte wurden zunächst nach einem Raster ausgerichtet. Der zu beprobende Standort wurde innerhalb der Rasterfläche in das Umfeld eines Emittenten oder auf eine repräsentative Bodennutzung gelegt. Standorte, an denen bereits Kontaminationen bekannt waren (z.B. Nahbereich von Straßen, Altlasten), wurden dabei ausgeschlossen. Nach dieser Meßplanung ist davon auszugehen, daß die in dieser Auswertung ermittelten Schadstoffgehalte die tatsächlichen Hintergrundgehalte ggf. etwas überschätzen. Karte 3.2-1 zeigt die bei der Meßplanung ausgewählten Standorte (Prj. 310) gemeinsam mit den erhobenen Standorten.

An 62 Standorten wurden Oberböden auf folgende Komponenten untersucht: As, Be, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Pt, Sb, Tl und Zn (Gesamtgehalt und mobiler Anteil), polychlorierte Biphenyle, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe und Hexachlorbenzol. Daneben wurden an den Profilen 140 (nördlicher Hardwald) und 155 (südlicher Hardwald) Bodenproben bis in 2 m Tiefe auf mobile (NH_4NO_3) Spurenelemente untersucht.

Die Bodenprobennahme, -vorbereitung und -analyse erfolgte nach der zweiten und dritten VwV zum BodSchG [UM 1993a,b]. Die Probennahmetiefe betrug in Abhängigkeit von der Bodennutzung, der Bearbeitungstiefe und dem Bodentyp 0 - max. 30 cm bei Äckern und Gärten, 0 - max. 10 cm bei Grünland, Ödland, Park- und Grünanlagen sowie Forst und 0 - 2 cm bei Spielflächen. Die Probennahmefläche betrug i.d.R. 100 m².

Die Extraktion der Spurenelemente wurde nach DIN 38414, Teil 7 (Königswasseraufschluß) und E DIN 19730 (Ammoniumnitratextraktion), die Messung mittels Massenspektrometer mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-MS) und Hydrid-AAS durchgeführt. Die Ergebnisse werden in mg/kg (Gesamtgehalt) bzw. in µg/kg (mobiler Anteil) angegeben. Die PAK-Extraktion wurde nach einer Empfehlung der LfU [1992] mit Aceton/Cyclohexan-Gemisch durchgeführt und die Komponenten mittels HPLC mit DAD- und FLD-Detektor gemessen. Die Vorbereitung der Proben für die PCB-Bestimmung erfolgte mit Soxhlet-Extraktion in Toluol. Zur Analyse wurde ein GC mit ECD-Detektor eingesetzt.



Karte 3.2-1: Verteilung der Probennahmestandorte im Raum Karlsruhe

3.3 Datenauswertung

3.3.1 Datengruppierung

Für die Beurteilung der anorganischen Schadstoffe werden die Böden zunächst nach Tongehaltsgruppen (für den Gesamtgehalt) oder dem pH-Wert (für die mobilen Anteile) differenziert.

Eine Bezugsgröße für die Beurteilung anorganischer und organischer Schadstoffe ist die Bodennutzung nach Tabelle 3.3-1. Die Bodennutzung ist für die Beurteilung einer aktuellen Beeinträchtigung der Schutzgüter maßgeblich. Desweiteren werden siedlungsstrukturelle Kategorien unterschieden. Im Raum Karlsruhe wird zwischen Siedlungsbereich (einschließlich Spiel-, Siedlungs- und Gewerbeflächen) und Außenbereich differenziert. Ein Standort wurde in die Kategorie Außenbereich eingestuft, wenn die Nutzungen Landwirtschaft und Gartenbau oder Forst u. ä. Ökosysteme und keine Verdachtsmomente für eine lokale Anreicherung vorlagen (vgl. UM 1994).

3.3.2 Kartographische Darstellung

Die Schadstoffgehalte werden in den kartographischen Darstellungen in den Farben grün, gelb oder rot abgebildet. Die Farbgebung orientiert sich an den bestehenden Hintergrund- und Prüfwerten aus Tabelle 1.3-1:

grün: 90.P-Hintergrundwert unterschritten

gelb: 90.P-Hintergrundwert überschritten

hellrot: niedrigster Prüfwert überschritten

rot: nächsthöherer Prüfwert überschritten

Die Prüfwerte werden somit unabhängig von der aktuellen Nutzung angewendet, die in den Karten jedoch als Symbol hinterlegt ist. Der anhand der aktuellen Nutzung der Standorte jeweils zutreffende Prüfwert kann der Tabelle 1.3-1 entnommen werden.

Tabelle 3.3-1: Kategorien für Bodennutzungen

Kategorie	Nutzung nach VwV (Schlüssel)
Landwirtschaft u. Gartenbau	Acker (10), Grünland (20), Weide (21), Mähweide (22), Wiese (23), Streuwiese (24), Hutung (41), Sonderkulturanbau (60), Baumschulen (61), Hopfen (62), Weinbau (63), Spargel (64), Gemüsebau (65), Obstbau (66), Zierpflanzenbau (67)
Haus- u. Kleingärten	Hausgärten/Kleingärten (150), Rasen (151), Ziergarten (152), Gemüsebeete (153), Dauerkulturen (154)
Forst u. ä. Ökosysteme	Forst (50), Laubwald (51), Nadelwald (52), Mischwald (53), Kahlschlag (54), Naturschutzgebiet (101), Ödland (naturnah) (40), Krautvegetation (42), Buschvegetation (43), Gewässergrund (114)
Park u. Grünanlage	Park/Grünfläche (105), Friedhof (110)
Gewerbe u. Verkehr	Gewerbefläche (80), Grünfläche (81), Lagerplatz/Umschlagplatz (82), Brachfläche (83), Verkehrsfläche (102), Deponien (90), Mülldeponie (91), Erdaushub (92), Sondermüll (93), Sonstige Nutzungen (100), Überbaute Fläche (103), Hoffläche (104), Sand-/Kiesgrube (111), Ton-/Mergelgrube (112), Steinbruch (113)
Sport- u. Freizeitanlage	Sportplatz (106), Freizeitanlage (107), Schulgelände (109)
Kinderspielplatz	Kinderspielplatz (108)

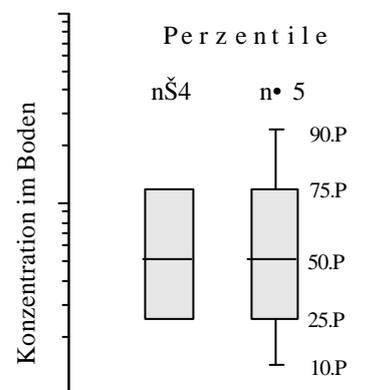


Abbildung 3.3-1: Darstellung der Häufigkeitsverteilung von Schadstoffen im Boden

3.3.3 Aggregation der Gesamtstichprobe

Für die statistische Beschreibung des "Hintergrundbereiches" wurden die bereits vorhandenen Analysenergebnisse (Meßzeitraum vor 1993) auf Plausibilität und die jeweilige Fragestellung der Projekte im Hinblick auf die Berechnung der "Hintergrundgehalte" überprüft, um ein möglichst repräsentatives Gesamtkollektiv zu erhalten.

Für die statistische Auswertung wurden die Daten der organischen Schadstoffe (PAK, PCB, PCDD/F) des Projekts 101 ausgeschlossen, da insbesondere die ermittelten PAK-Gehalte des Projekts unterhalb der landesweiten Hintergrundgehalte liegen. Die Ursache für die Abweichung konnte nicht ermittelt werden, jedoch wurde berücksichtigt, daß die Normierung der Analytik organischer Schadstoffe in Böden erst vor wenigen Jahren eingesetzt hat.

Die Schwermetall-Daten des Projektes 108 (Gewann Schleher) wurden aus dem Gesamtkollektiv ebenfalls herausgenommen, da hier eine bekannte Kontamination gezielt untersucht wurde.

Bei Projekt 110 (Kleingartenprogramm) wurden mittlere Gehalte für die verschiedenen Kleingartenanlagen berechnet und in die Gesamtauswertung einbezogen.

In Tabelle 3.3-2 ist der für die statistische Auswertung genutzte Gesamt-Datenbestand nach Bodennutzung und dem Siedlungstyp getrennt dargestellt. In den Karten sind alle erhobenen Daten dargestellt.

3.3.4 Beschreibende Statistik

Anschließend wurde die aggregierte Gesamtstichprobe durch das 50. und das 90. Perzentil charakterisiert (50.P bzw. 90.P).

In einem zweiten Schritt wurde die Gesamtstichprobe nach dem Substrattyp (Tongehalt,

Tabelle 3.3-2: Anzahl untersuchter Komponenten im Raum Karlsruhe, die für die statistische Auswertung herangezogen werden, gruppiert nach Bodennutzung und Siedlungsstruktur

Nutzung	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Tl	Zn	PAK	PCB	PCDD/F	*
Summe	76	291	172	170	130	134	303	96	171	76	76	90	62
nach Nutzung													
Landw. u. Gartenbau	31	106	54	51	40	52	106	39	54	31	34	28	23
Haus- u. Kleingärten	5	54	5	53	5	5	54	5	5	5	5	4	2
Forst u. ä. Ökosysteme	28	71	55	54	37	54	71	36	55	28	28	21	28
Park- u. Grünanlagen	4	13	11	7	13	11	13	11	11	7	4	30	4
Gewerbe u. Verkehr	7	11	23	4	11	11	23	4	23	4	4	5	4
Sport- u. Freizeitanl.	-	3	3	-	3	-	3	-	3	-	-	1	-
Spielplätze	1	33	21	1	21	1	33	1	20	1	1	1	1
nach Siedlungstyp													
Außenbereich	44	129	82	79	49	79	129	48	82	44	45	15	39
Siedlungs- und Gewerbebereich	32	162	90	91	81	55	174	48	89	32	31	75	23

*: Sb, Be, Pt, mobile Schwermetalle, HCB (Messung 1993)

pH-Wert), der Bodennutzung und/oder dem Siedlungstyp aufgeteilt. Für jede der sich daraus ergebenden Teilstichproben wird die Häufigkeitsverteilung der Schadstoffe als *Boxplot* dargestellt (Abbildung 3.3-1). Auf die Darstellung der Abbildung wurde in einigen Fällen verzichtet, wenn die Differenzierung der Gehalte gering war.

Die Perzentile sind nach folgender linearer Interpolation berechnet:

$$p. \text{ Perzentil} = (1-f) x_k + f x_{k+1} \text{ und} \\ v = np/100 + 0,5$$

p : Perzentil

k : Rangplatz in der vom kleinsten zum größten Wert sortierten Datenreihe, ganzzahliger Teil von v

f : Dezimalanteil von v

n : Probenanzahl

Die Teilstichproben lassen sich mit Hilfe der Boxplots einfach vergleichen, jedoch ist zu beachten, daß die ermittelten Perzentile von den tatsächlichen Perzentilen der Grundgesamtheit ("wahre Hintergrundgehalte") abweichen können. Die Größe der Abweichung hängt von der Repräsentativität der untersuchten Standorte (Meßplanung), dem Verteilungstyp (vgl. Boxplot) und dem Stichprobenumfang ab. Das 50.P ist gegen Ausreißer unempfindlich und zur Charakterisierung kleiner Teilstichproben besser geeignet als das 90.P. Der Maximalwert hat nach der linearen Interpolation ab einem Stichprobenumfang von $n = 15$ keinen Einfluß auf das 90.P, ab $n = 26$ haben die zwei höchsten Meßwerte keinen Einfluß.

4 Schadstoffgehalte der Böden

Für die Beurteilung des Verhaltens von Schadstoffen im Boden sind der Boden-pH, der Tongehalt und der Gehalt an organischer Substanz wesentliche Grundparameter.

In Abbildung 4.0-1 ist die Häufigkeit der Boden-pH-Werte und in Abbildung 4.0-2 die Häufigkeit der Tongehalte bzw. Tongehaltsgruppen der Böden aufgetragen. Um eine annähernd räumliche Gleichverteilung der Daten zu erhalten, wurden in diesen Darstellungen ausschließlich Böden der Messung 1993 berücksichtigt.

Im Raum Karlsruhe herrschen stark saure (pH < 4,0), sandige (T1: Sand, T2: lehmiger bis schluffiger Sand und Schluff) Böden vor. Stark versauerte Böden befinden sich vor allem im Hardwald, nördlich und südlich von Karlsruhe sowie am Buntsandstein-Anstieg bei Ettlingen (Karte 4.0-1).

Böden der Tongehaltsgruppen T1 und T2 (Sande, lehmig bis schluffige Sande) befinden sich überwiegend im Hochgestade und im Buntsandstein-Anstieg zum Hochplateau (Karte 4.0-2).

Böden mit erhöhten Gehalten an organischer Substanz befinden sich dort wo die Bedingungen für die Mineralisierung schlecht sind. Dazu gehören Böden mit fehlender Bodenbearbeitung (Grünland, Parkanlagen u.a.), versauerte Böden (unter Forst) sowie stau-nasse Böden (Tiefgestade, Kinzig-Murg-Rinne).

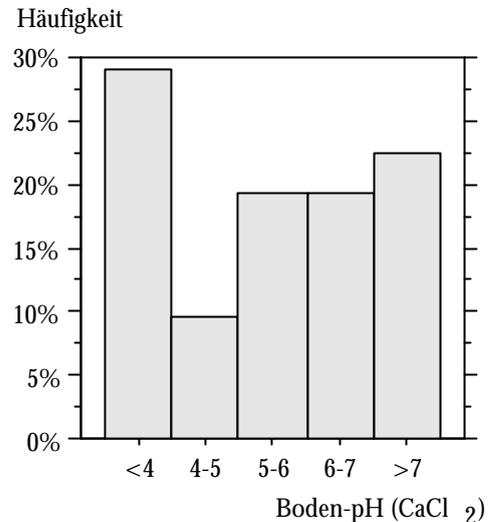


Abbildung 4.0-1: Häufigkeitsverteilung des Boden-pH in Böden des Raumes Karlsruhe

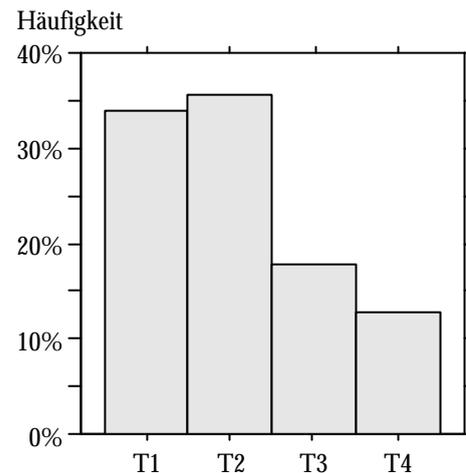
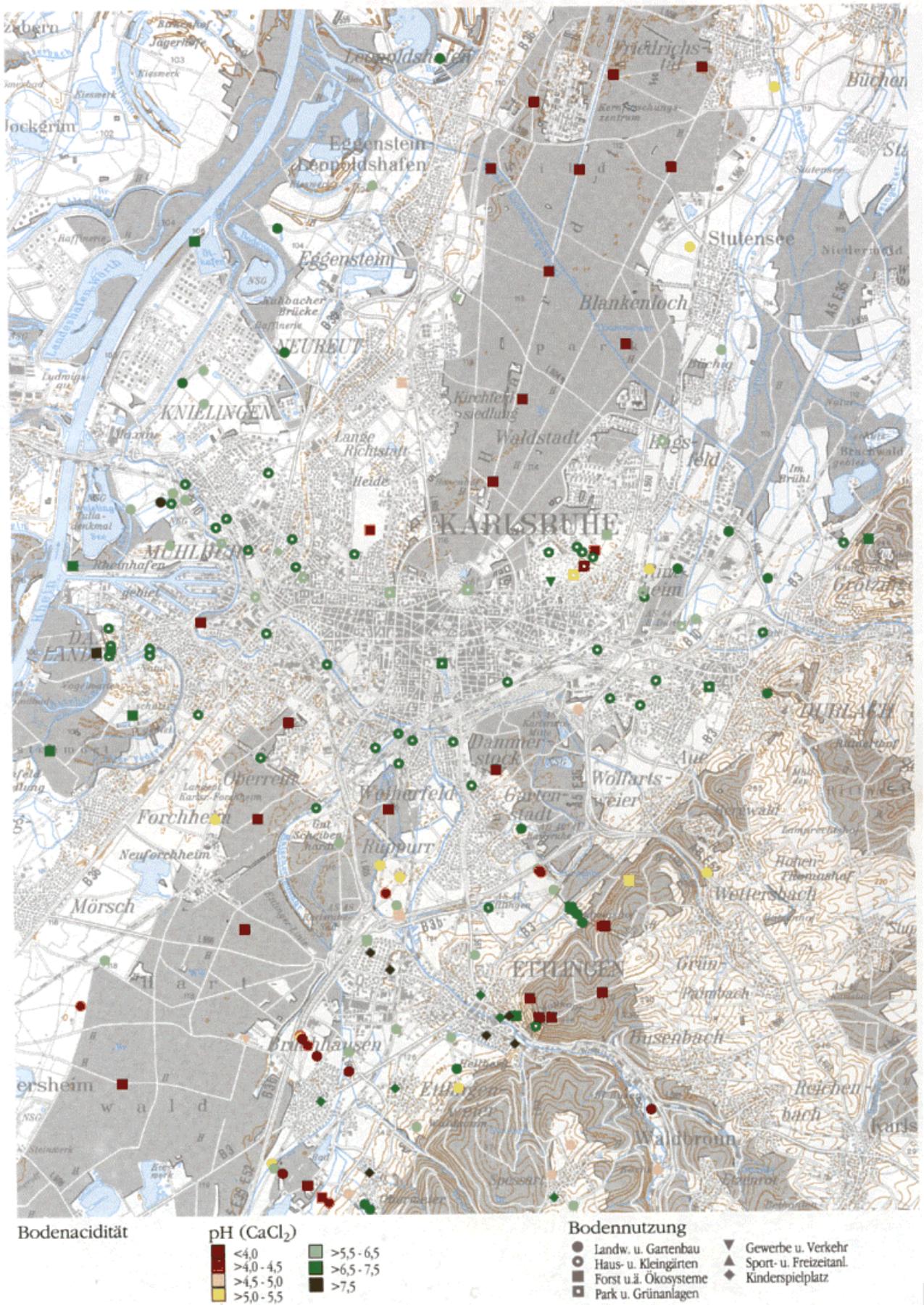
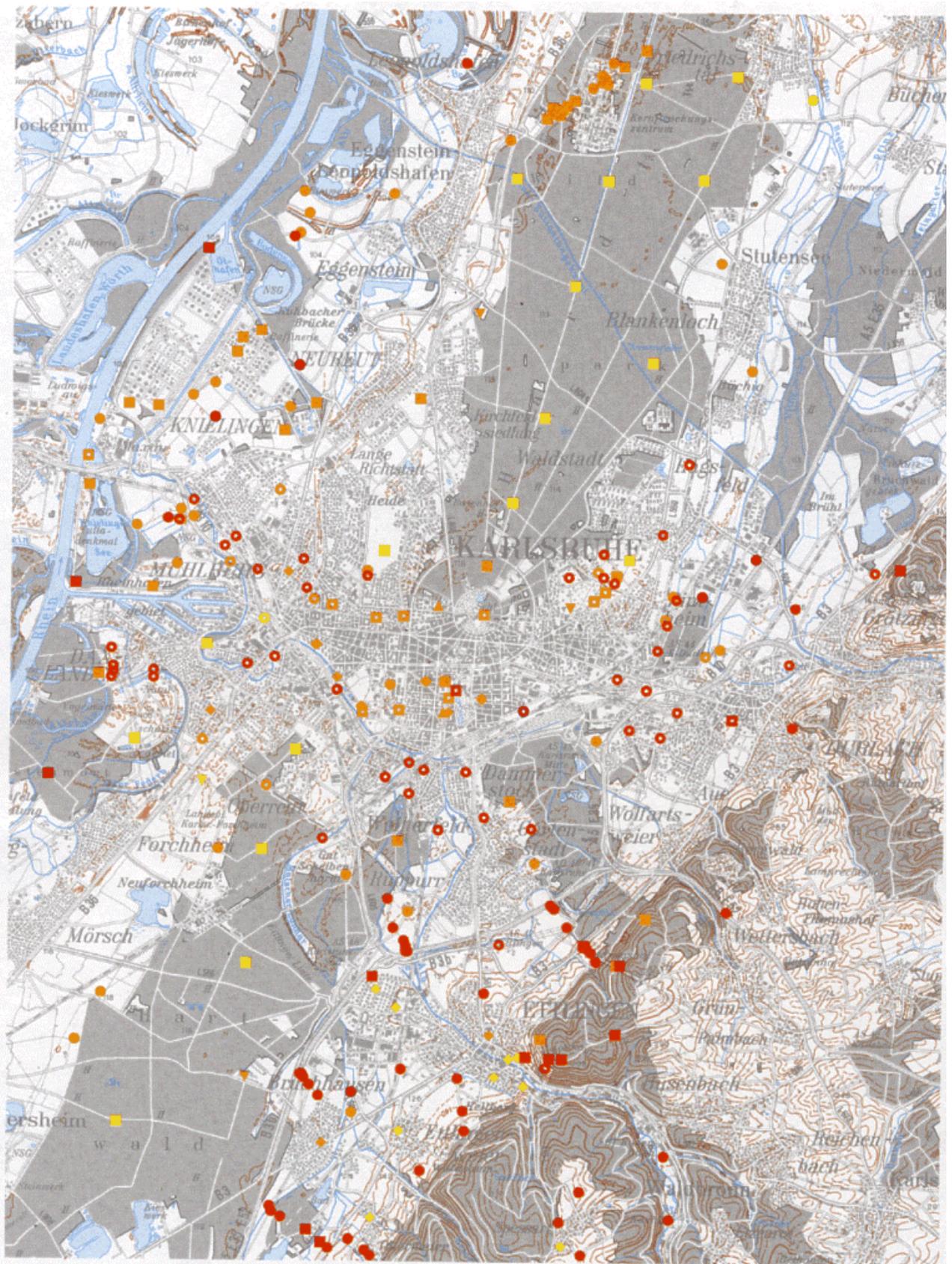


Abbildung 4.0-2: Häufigkeitsverteilung der Tongehaltsgruppen in Böden des Raumes Karlsruhe



Karte 4.0-1: Bodenacidität im Raum Karlsruhe



Tongehalt
der Böden

Tongehaltsgruppe (%Ton)

- | | |
|-------------|-------------|
| ■ T1 (<8%) | ■ T4 (-45%) |
| ■ T2 (-17%) | ■ T5 (-65%) |
| ■ T3 (-25%) | ■ T6 (>65%) |

Bodennutzung

- | | |
|-------------------------|---------------------------|
| ● Landw. u. Gartenbau | ▼ Gewerbe u. Verkehr |
| ○ Haus- u. Kleingärten | ▲ Sport- u. Freizeit anl. |
| ■ Forst u.ä. Ökosysteme | ◆ Kinderspielplatz |
| ■ Park u. Grünanlagen | |

Karte 4.0-2: Tongehalte der Böden im Raum Karlsruhe

4.1 Arsen

90% der untersuchten Böden weisen Arsen-Gesamtgehalte unter 15 mg/kg und mobile Anteile unter 45 µg/kg auf (Tabelle 4.1-1).

Die Medianwerte der Arsen-Gesamtgehalte steigen – wie es bei natürlichen Böden zu erwarten ist – mit steigendem Tongehalt der Böden kontinuierlich an (Abbildung 4.1-1). Die Gehalte an mobilem Arsen werden vom Boden-pH beeinflusst und sind in pH-neutralen Böden am niedrigsten (Abbildung 4.1-2).

Die Arsengehalte der Böden des Untersuchungsraumes liegen im landesweiten Hintergrundbereich (vgl. Tabelle 1.3-1).

Die Karten 4.1-1 und 4.1-2 ermöglichen eine räumlich differenzierte Darstellung. Geringfügig erhöhte Arsen-Gesamtgehalte sind im Umfeld der Gewerbegebiete KA-Hagsfeld und KA-Rheinhafen erkennbar.

Im Bereich des Gewanns Schleher (Karlsruher Rheinhafen) wurden mit über 130 mg/kg (Prüfwert hinsichtlich des Aufenthalts von Menschen in Gewerbegebieten) hohe Gesamtgehalte vorgefunden. Hier wurden früher die Flotationsrückstände der Flußspatproduktion abgelagert. Es ist geplant, die betreffenden Flächen künftig als Gewerbegebiet zu nutzen und die kontaminierte Fläche zu überdecken. Der Direktpfad Boden-Mensch wird dadurch unterbrochen und eine unbedenkliche, jedoch künftig zu überwachende Nutzung ermöglicht.

Tabelle 4.1-1: Statistische Kenndaten der Arsen-Gehalte in Karlsruher Böden

	Gesamt		Außenb.		Siedlungsb.		
	n	50.P	90.P	50.P	90.P	50.P	90.P
gesmg/kg	76	6,4	15	5,7	15	6,9	16
mobµg/kg	62	18	45	19	46	17	37

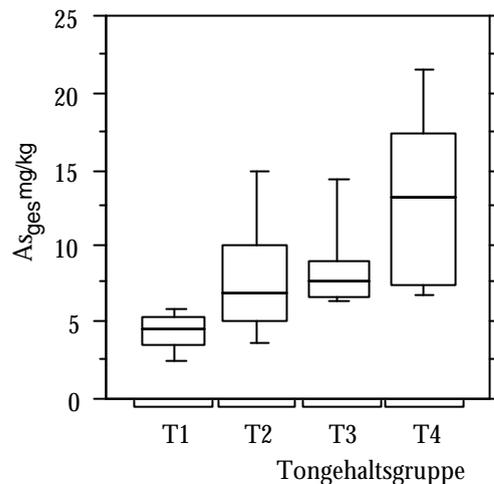


Abbildung 4.1-1: Arsen-Gesamtgehalte in Karlsruher Böden, gestuft nach Tongehaltsgruppen

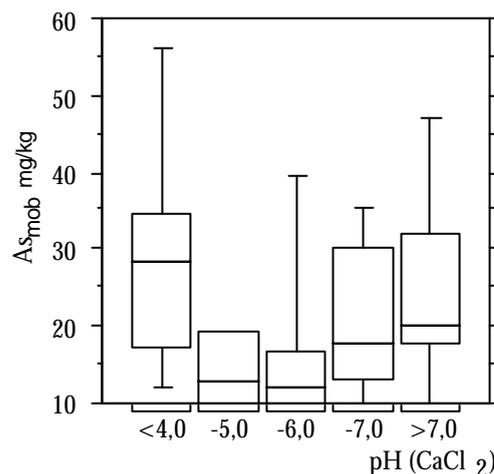
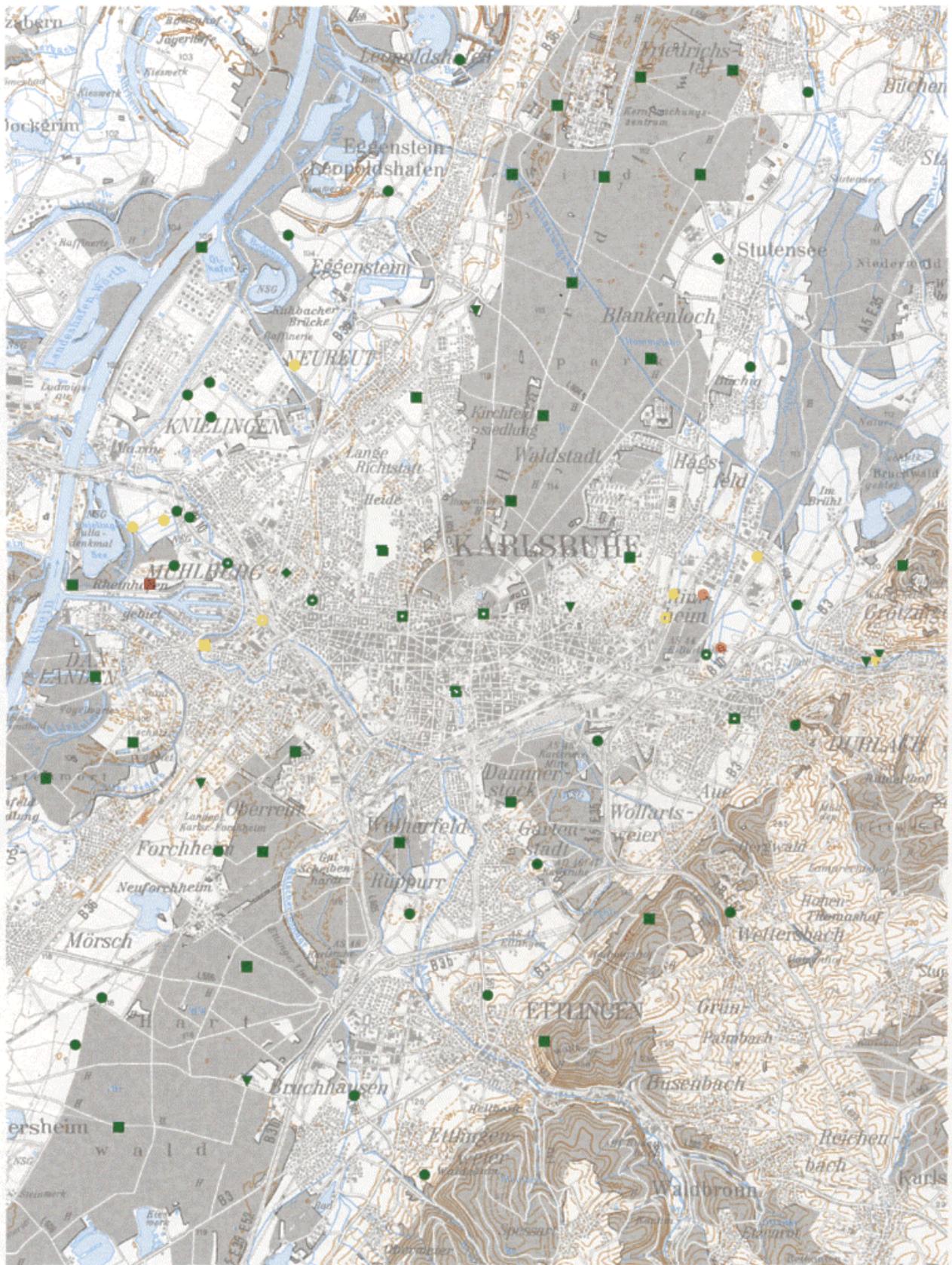
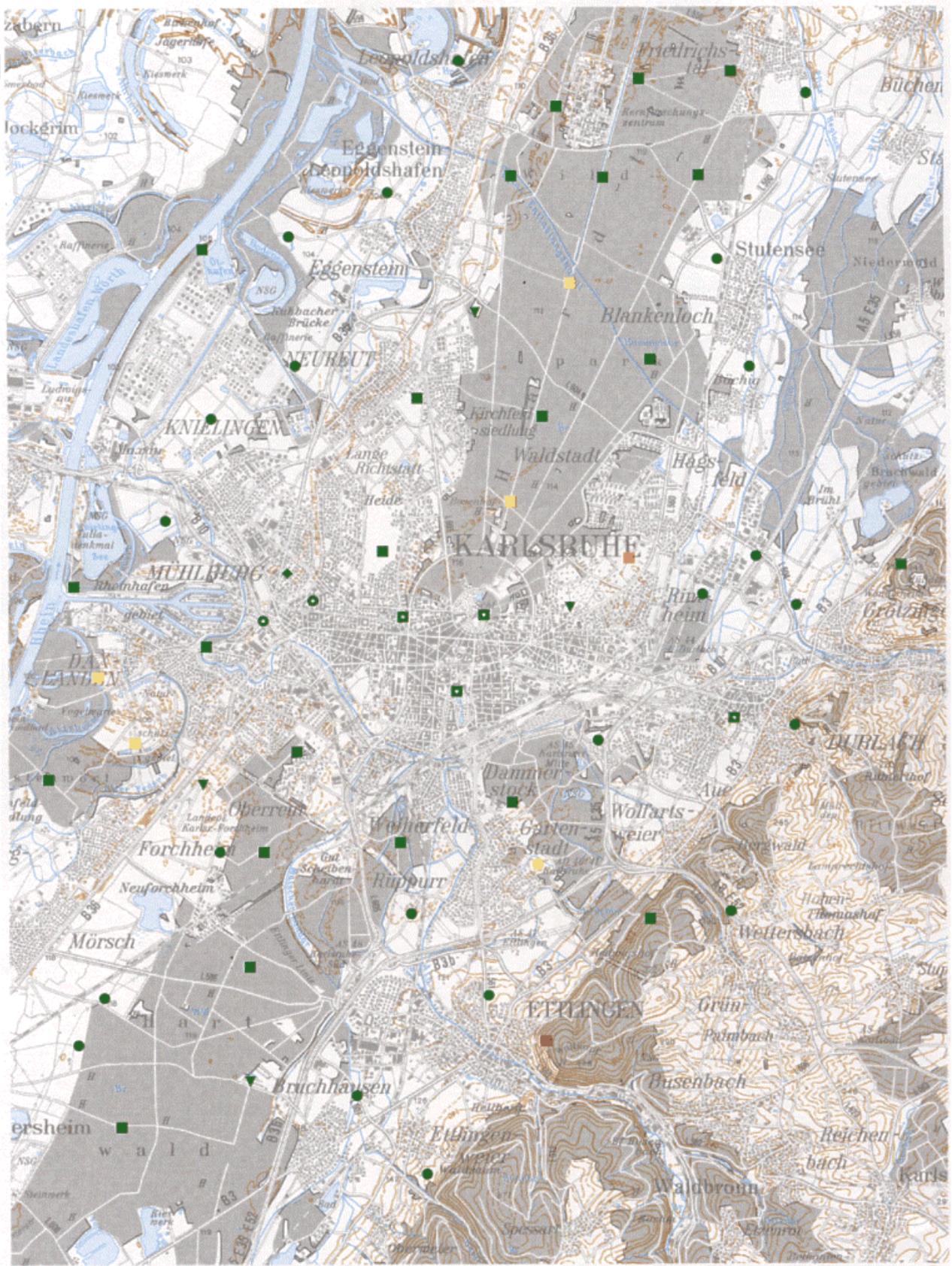


Abbildung 4.1-2: Mobiles Arsen in Karlsruher Böden, gestuft nach dem Boden-pH



Karte 4.1-1: Arsen-Gesamtgehalte in Karlsruher Böden



Karte 4.1-2: Gebalte an mobilem Arsen in Karlsruher Böden

4.2 Cadmium

Die Böden des Raumes Karlsruhe weisen – wie auch die anderer Siedlungsgebiete – gegenüber den landesweiten Hintergrundgehalten erhöhte Cadmiumgehalte auf; 10% der Gesamtgehalte überschreiten 1,0 mg/kg (Tabelle 4.2-1).

Die Mediane der Cadmium-Gesamtgehalte steigen mit steigendem Tongehalt der Böden geringfügig an (Abbildung 4.2-1). Die 90.P-Werte liegen jedoch insgesamt 0,3 bis 0,7 mg/kg über dem landesweiten Hintergrundbereich.

Cadmium wird mit sinkendem Boden-pH mobilisiert. Die natürlichen Gehalte an mobilem Cadmium werden daher in Abhängigkeit von den pH-Werten der Böden angegeben (Tabelle 1.3-1). Auch in Abbildung 4.2-1 sind die in den Böden des Raumes Karlsruhe vorgefundenen Gehalte gestuft nach dem Boden-pH dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, daß saure Böden Gehalte an mobilem Cadmium oberhalb des Prüfwertes für die Pflanzenqualität aufweisen (> 25 µg/kg).

Im Raum Karlsruhe ist in der Regel forstwirtschaftliche Nutzung betroffen, vereinzelt liegen jedoch auch in schwach sauren Böden unter landwirtschaftlicher Nutzung erhöhte Gehalte vor (Karte 4.2-2).

Auf der Buntsandstein-Hochebene (SO-Ettligen) liegen geringfügig erhöhte Cadmium-Gesamtgehalte vor (Karte 4.2-1).

Tabelle 4.2-1: Statistische Kenndaten der Cadmiumgehalte in Karlsruher Böden

	Gesamt		Außenb.		Siedlungs- b.		
	n	50.P	90.P	50.P	90.P	50.P	90.P
gesmg/kg	291	0,3	1,0	0,2	0,6	0,4	1,0
mobµg/kg	62	9	46	10	43	8	62

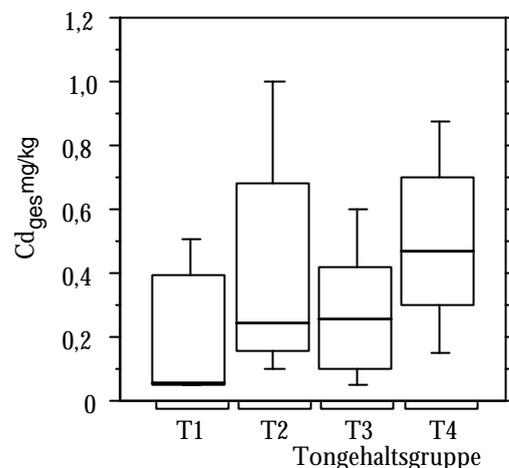


Abbildung 4.2-1: Cadmium-Gesamtgehalte in Karlsruher Böden, gestuft nach Tongehalt

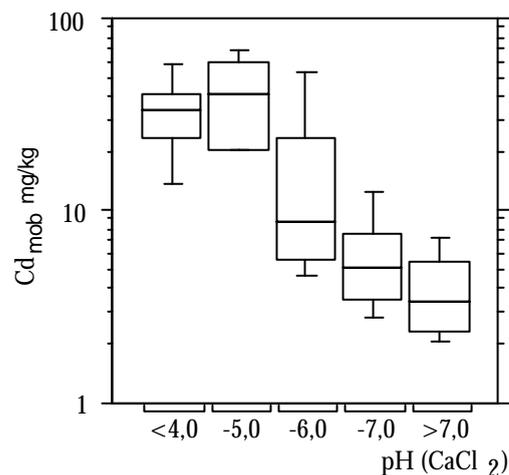


Abbildung 4.2-2: Mobiles Cadmium in Karlsruher Böden, gestuft nach Boden-pH

Sowohl auf der Hochebene als auch im Rheintal herrschen sandige Böden der Tongehaltsgruppen T1 und T2 vor. Die erhöhten Gehalte sind demnach nicht mit dem Tongehalt der Böden erklärbar. Dennoch ist davon auszugehen, daß die unterschiedlichen Cadmiumgehalte geogen sind. Während die im Rheintal bodenbildenden *quartären* Sedimente nur sehr geringe Cadmiumgehalte aufweisen, kann dieses Schwermetall in den eisen- und schwermineralführenden Schichten des Buntsandsteins im Bereich der Hochebene etwas angereichert sein.

In den Böden des Siedlungsgebiets sind die Gehalte gegenüber dem Außenbereich insgesamt höher (Abbildung 4.2-3).

Die Cadmium-Gesamtgehalte sind in Haus- und Kleingärten sowie Park- und Grünanlagen gegenüber landwirtschaftlich oder forstwirtschaftlich genutzten Böden erhöht (Abbildung 4.2-4).

Abbildung 4.2-5 gibt die Häufigkeitsverteilung der Cadmium-Gehalte in Böden von Kleingartenanlagen wieder. In einigen Anlagen weisen die Böden Einzelwerte oberhalb 1 mg/kg auf. Da einige Anlagen im Rahmen der Erkundung von Altablagerungen bereits weiter untersucht und teilweise auch saniert wurden, ist nicht auszuschließen, daß inzwischen manche Oberböden überdeckt, in den Untergrund eingemischt oder abgetragen wurden.

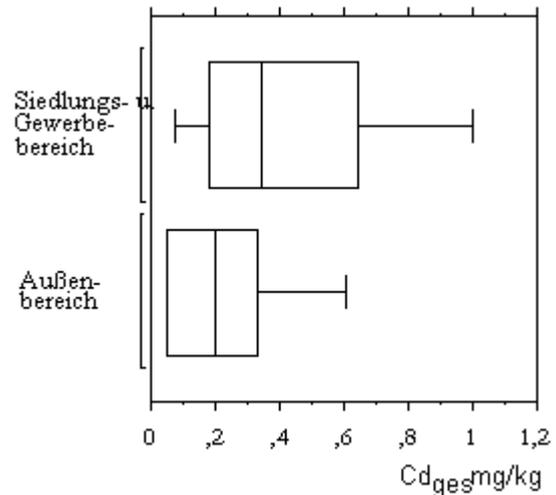


Abbildung 4.2-3: Cadmium-Gesamtgehalte in Karlsruher Böden, gestuft nach Bodenumfeld

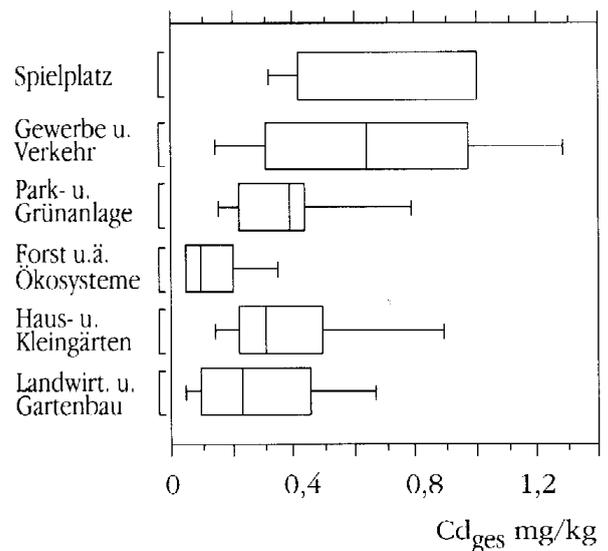


Abbildung 4.2-4: Cadmium-Gesamtgehalte in Karlsruher Böden, gestuft nach Bodennutzung

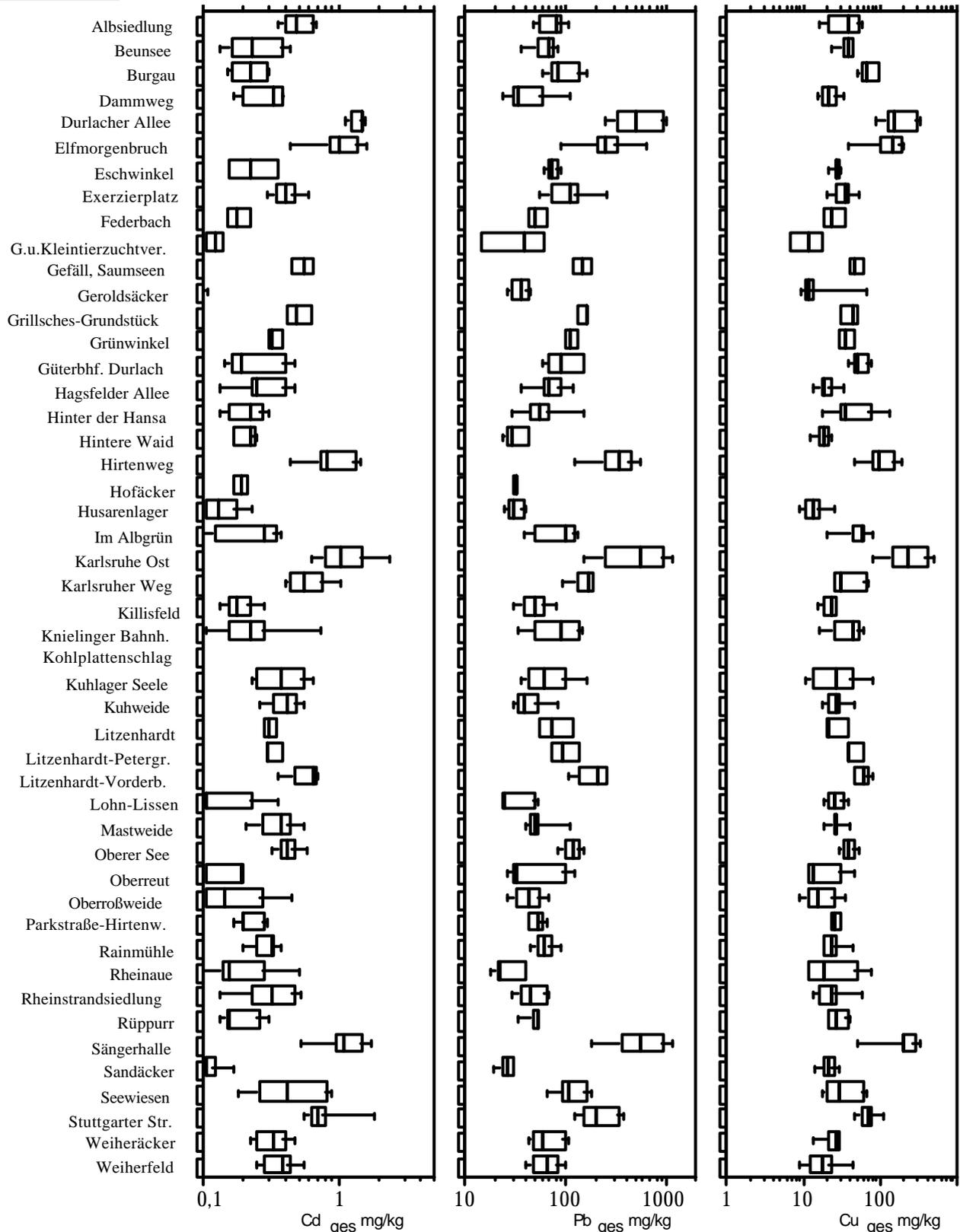
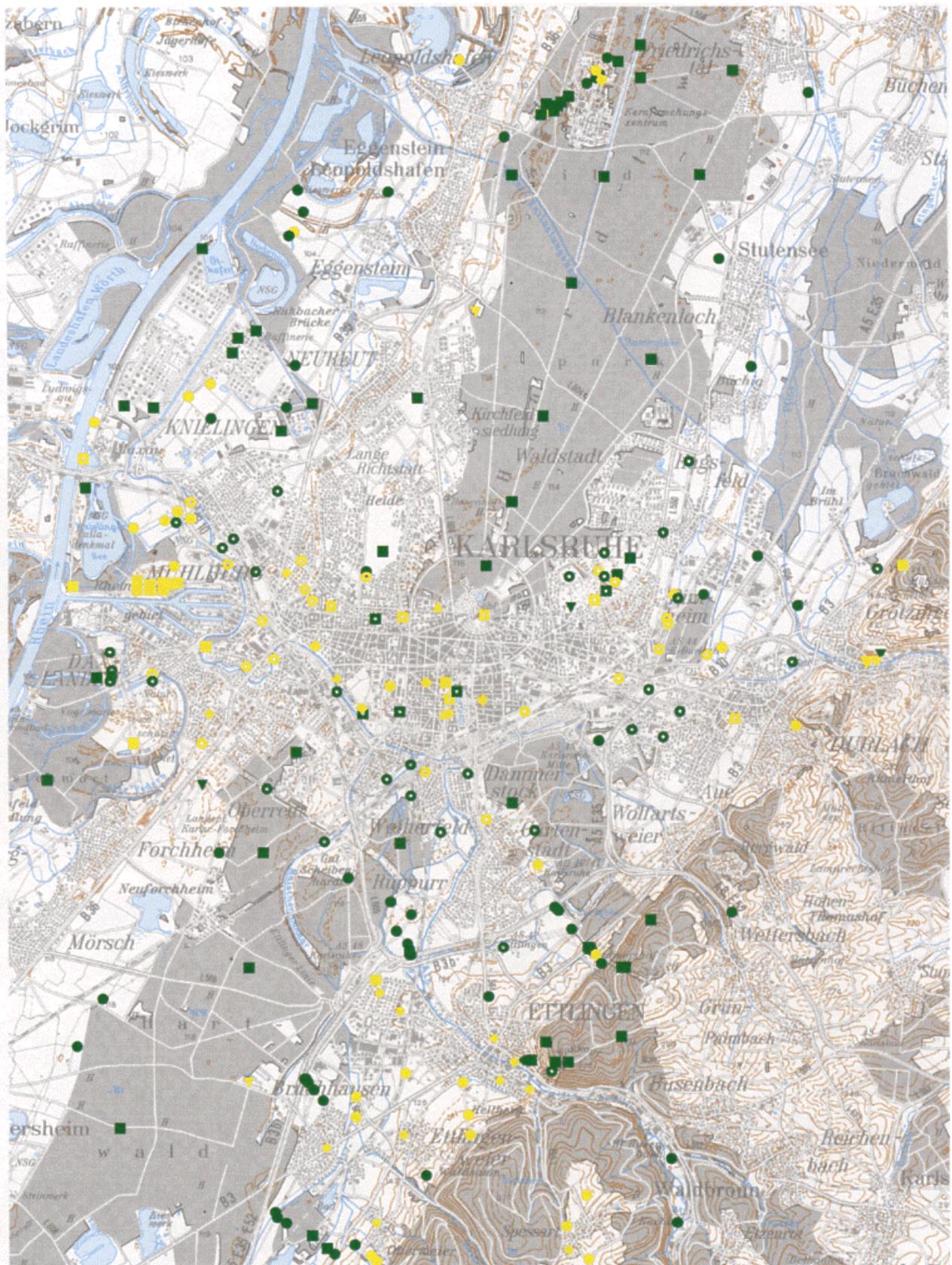
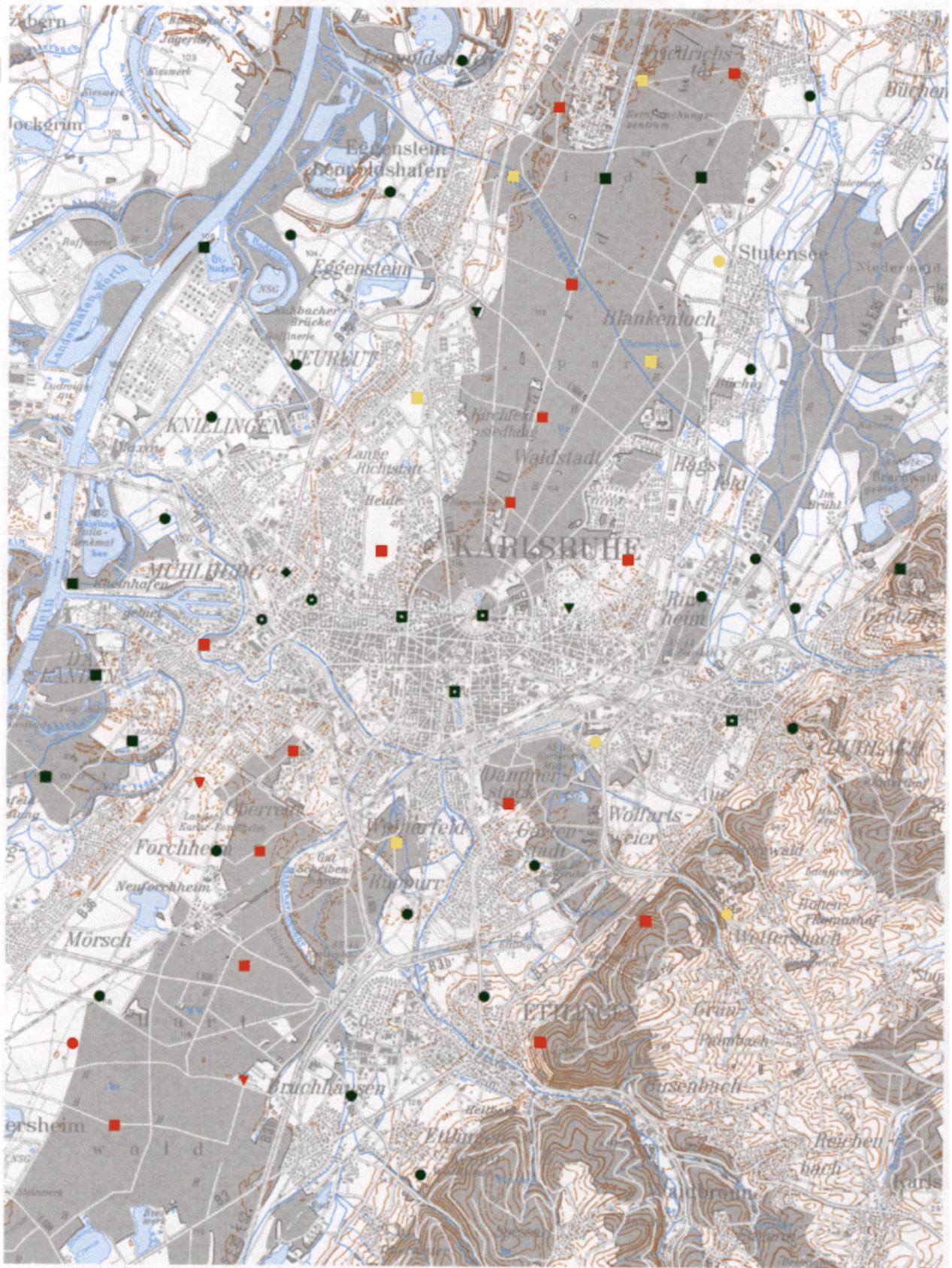


Abbildung 4.2-5: Häufigkeitsverteilung der Cadmium-, Blei- und Kupfer-Gesamtgehalte in Karlsruher Böden verschiedener Kleingartenanlagen (Projekt 110)



Karte 4.2-1: Cadmium-Gesamtgehalte in Karlsruher Böden



Karte 4.2-2: Gebalte an mobilem Cadmium in Karlsruher Böden

4.3 Chrom

90% der vorhandenen Chromgehalte liegen unterhalb 65 mg/kg (Gesamtgehalt) bzw. 36 µg/kg (mobile Anteile).

Die Chrom-Gesamtgehalte steigen mit zunehmendem Tongehalt der Böden kontinuierlich an (Abbildung 4.3-1). Dies weist darauf hin, daß es sich hierbei überwiegend um natürliche Chromgehalte handelt.

Die Gehalte an mobilem Chrom steigen sowohl bei niedrigen als auch – weniger ausgeprägt – bei hohen pH-Werten an (Abbildung 4.3-2).

Chromgehalte über dem landesweiten 90.P-Hintergrundwerten (vgl. Karte 4.3-1) treten unregelmäßig verteilt und in Böden aller Nutzungen auf.

Tabelle 4.3-1: Statistische Kenndaten der Chromgehalte in Karlsruher Böden

	Gesamt		Außenb.		Siedlungsb.		
	n	50.P	90.P	50.P	90.P	50.P	90.P
gesmg/kg	172	27	65	30	55	24	70
mobµg/kg	62	13	36	14	38	13	24

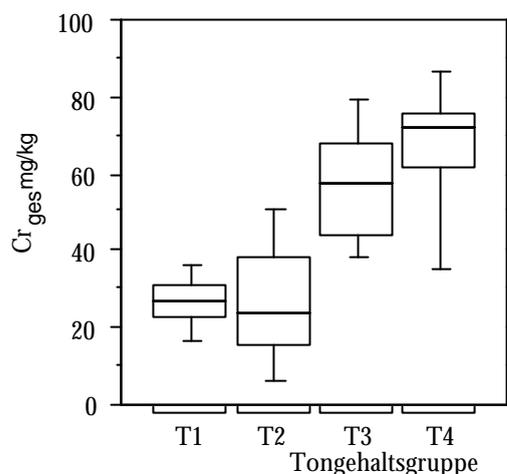


Abbildung 4.3-1: Chrom-Gesamtgehalte in Karlsruher Böden, gestuft nach Tongehaltsgruppen

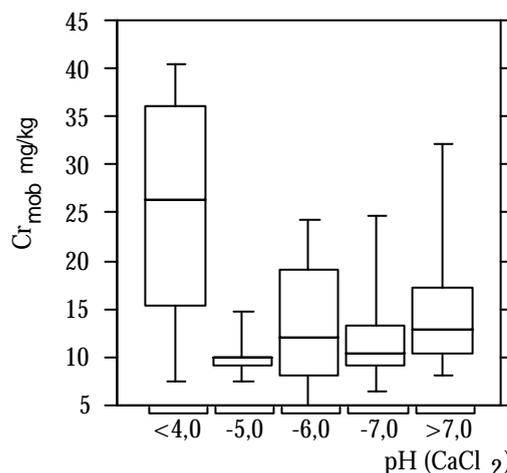
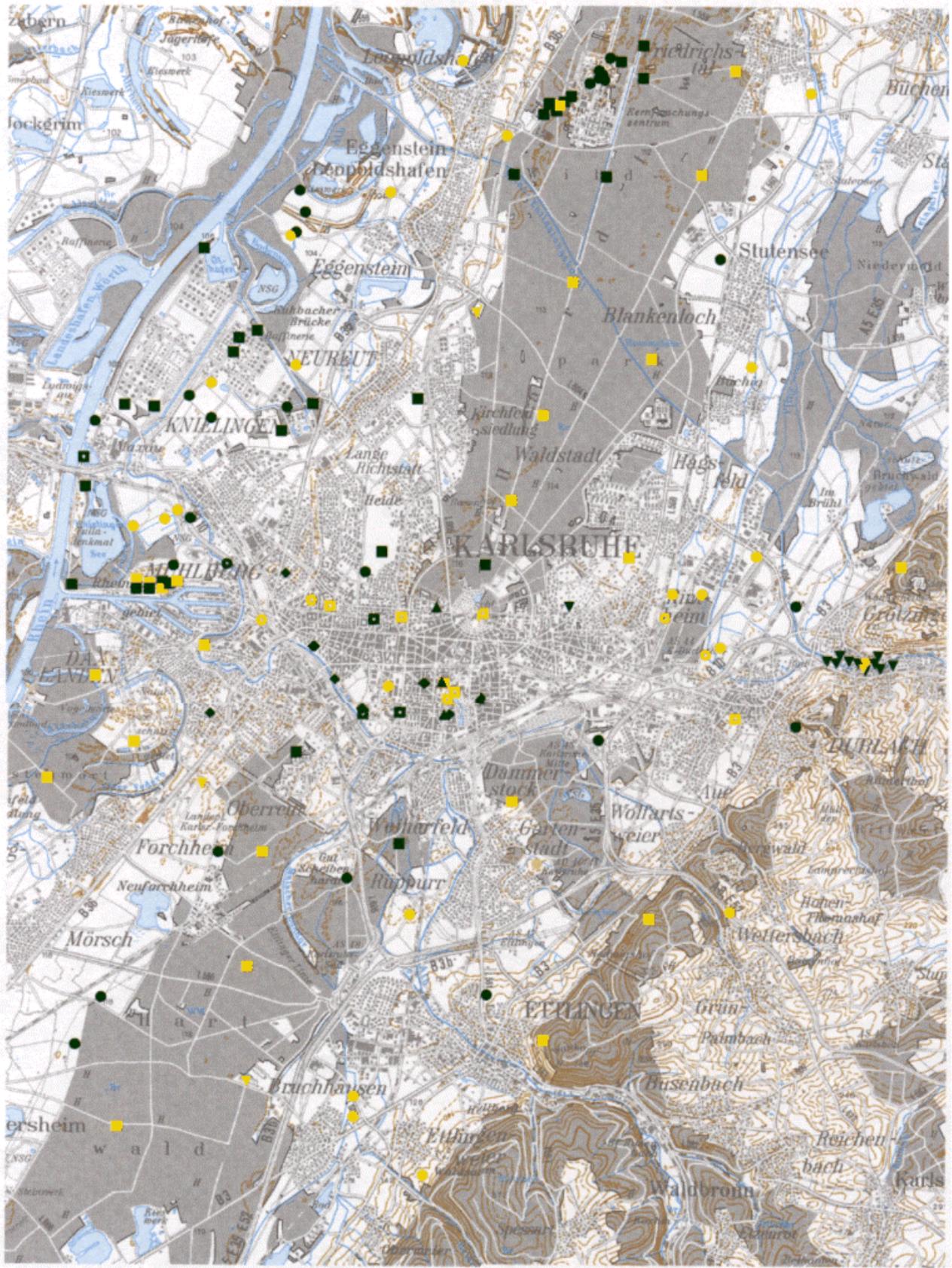


Abbildung 4.3-2: Mobiles Chrom in Karlsruher Böden, gestuft nach Boden-pH



Karte 4.3-1: Chrom-Gesamtgehalte in Karlsruher Böden

4.4 Kupfer

Die Karlsruher Böden weisen erhöhte Kupfergesamtgehalte auf, in 10% der Böden werden 51 mg/kg überschritten (Tabelle 4.4-1). Die Gehalte an mobilem Kupfer liegen hingegen durchweg im landesweiten Hintergrundbereich.

Die Differenzierung der Kupfergesamtgehalte nach Tongehaltsgruppen ist wenig ausgeprägt.

Etwa 10% der Böden von Haus- und Kleingärten sowie Park- und Grünanlagen weisen Kupfergehalte oberhalb des Pflanzen-Prüfwerts von 60 mg/kg auf (Abbildung 4.4-1 und 4.4-2, Karte 4.4-1). Hohe Kupfer-Gehalte über 110 mg/kg (vgl. Tabelle 1.3-1) sind in Böden von drei Kleingartenanlagen vorhanden (Abbildung 4.2-5).

Außerdem weisen Böden unter Sonderkulturen (z.B. Rebanlagen bei KA-Durlach, Spargelanbau bei Friedrichstal) infolge der Anwendung kupferhaltiger Pflanzenbehandlungsmittel teilweise hohe Kupfergehalte über 110 mg/kg auf.

Die Böden im Siedlungsgebiet weisen gegenüber den Böden des Außenbereichs insgesamt höhere Kupfergehalte auf (Abbildung 4.4-2).

Kupfer gehört in den Böden des Raums Karlsruhe sowohl im Siedlungsgebiet, als auch unter Sonderkulturnutzungen zu den Schadstoffen, deren Gehalte Bodenfunktionen beeinträchtigen können. Die erhöhten Gehalte sind insbesondere bei Nutzungen dieser Böden als Schafweide, im Hinblick auf das Pflanzenwachstum und für die Bodenorganismen bedenklich. Eine Beeinträchtigung der menschliche Gesundheit besteht dadurch nicht.

Tabelle 4.4-1: Statistische Kenndaten der Kupfergehalte in Karlsruher Böden

	Gesamt		Außenb.		Siedlungsb.		
	n	50.P	90.P	50.P	90.P	50.P	90.P
gesmg/kg	170	17	51	9	29	25	59
mobµg/kg	62	-	<40	-	<40	-	<40
			0		0		0

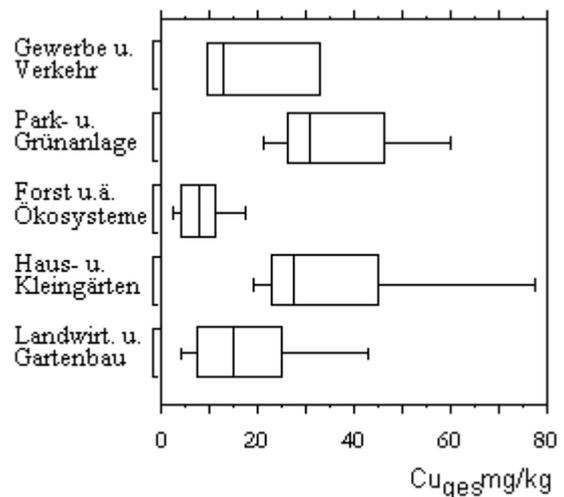


Abbildung 4.4-1: Kupfer-Gesamtgehalte in Karlsruher Böden, gestuft nach Bodennutzung

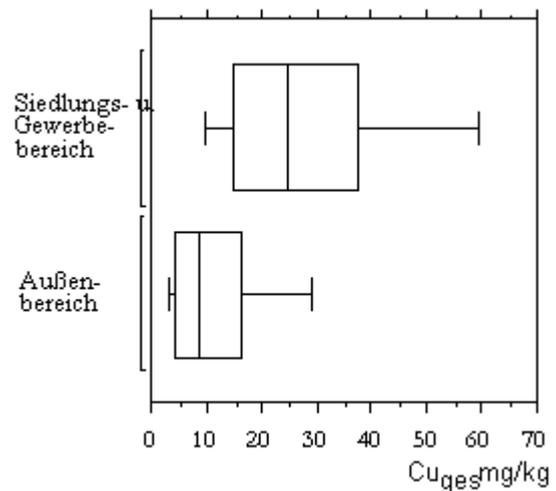
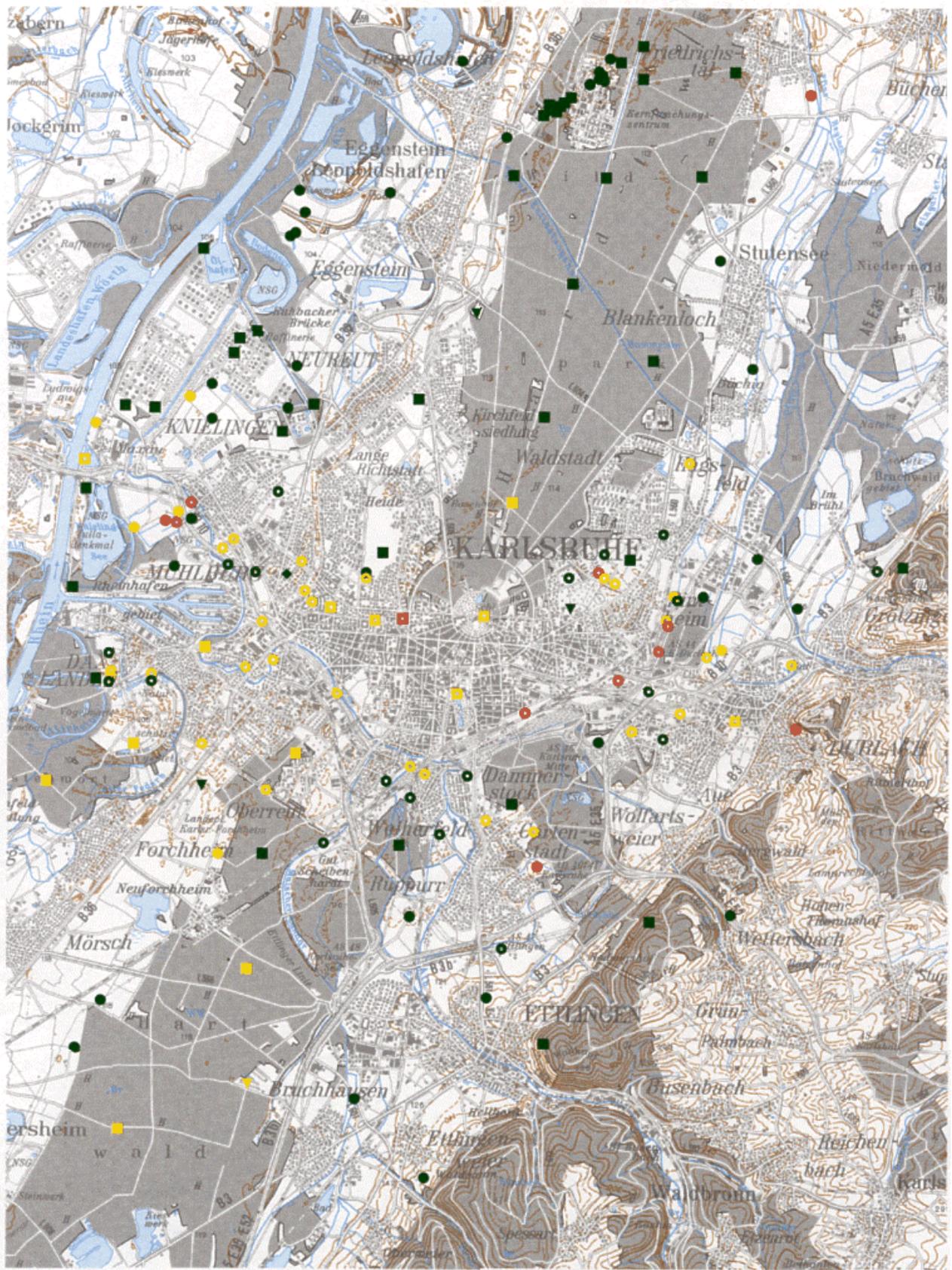


Abbildung 4.4-2: Kupfer-Gesamtgehalte in Karlsruher Böden, gestuft nach Bodenumfeld



Karte 4.4-1: Kupfer-Gesamtgehalte in Karlsruher Böden

4.5 Quecksilber

Die Karlsruher Böden weisen geringfügig erhöhte Quecksilbergehalte oberhalb des landesweiten Hintergrundbereichs auf. In 10% der untersuchten Böden werden 0,35 mg/kg überschritten (Tabelle 4.5-1). Die Gehalte an mobilem Quecksilber liegen im landesweiten Hintergrundbereich ($< 1,0 \mu\text{g}/\text{kg}$).

Die Differenzierung der Quecksilbergehalte nach Tongehaltsgruppen ist wenig ausgeprägt.

Quecksilber-Anreicherungen sind häufig in Böden von Haus- und Kleingärten, Park- und Grünanlagen sowie im Bereich Gewerbe und Verkehr zu finden (Abbildungen 4.5-1 und 4.5-2).

Eine größer-räumliche Differenzierung ist dagegen nicht erkennbar (Karte 4.4-1).

Die Quecksilbergehalte der Böden im Raum Karlsruhe liegen deutlich unterhalb des Quecksilber-Prüfwerts für Pflanzen und Bodenorganismen ($1 \text{ mg}/\text{kg}$) und sind im Hinblick auf die Beeinträchtigung von Bodenfunktionen zu vernachlässigen.

Anreicherungen gegenüber dem landesweiten Hintergrundbereich sind jedoch deutlich erkennbar. Weitere Anreicherungen sollten wegen der eventuell schädlichen Wirkungen auch geringfügig erhöhter Gehalte auf die Bodenflora und Bodenfauna vorsorglich vermieden werden.

Tabelle 4.5-1: Statistische Kenndaten der Quecksilbergehalte in Karlsruher Böden

	Gesamt		Außenb.		Siedlungsb.		
	n	50.P	90.P	50.P	90.P	50.P	90.P
gesmg/kg	130	0,09	0,35	0,06	0,29	0,09	0,50
mob $\mu\text{g}/\text{kg}$	62	-	$<1,0$	-	$<1,0$	-	$<1,0$

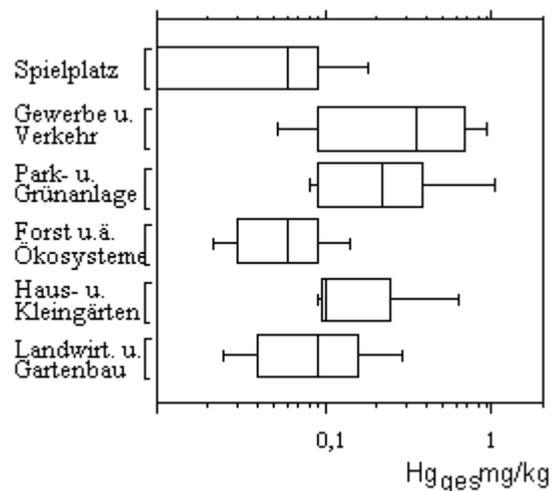


Abbildung 4.5-1: Quecksilber-Gesamtgehalte in Karlsruher Böden, gestuft nach Bodennutzung

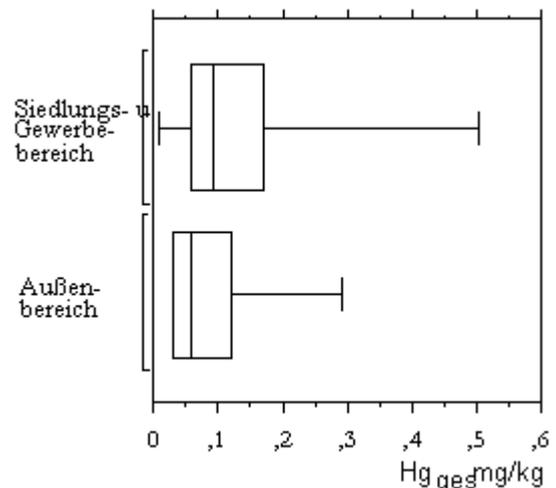
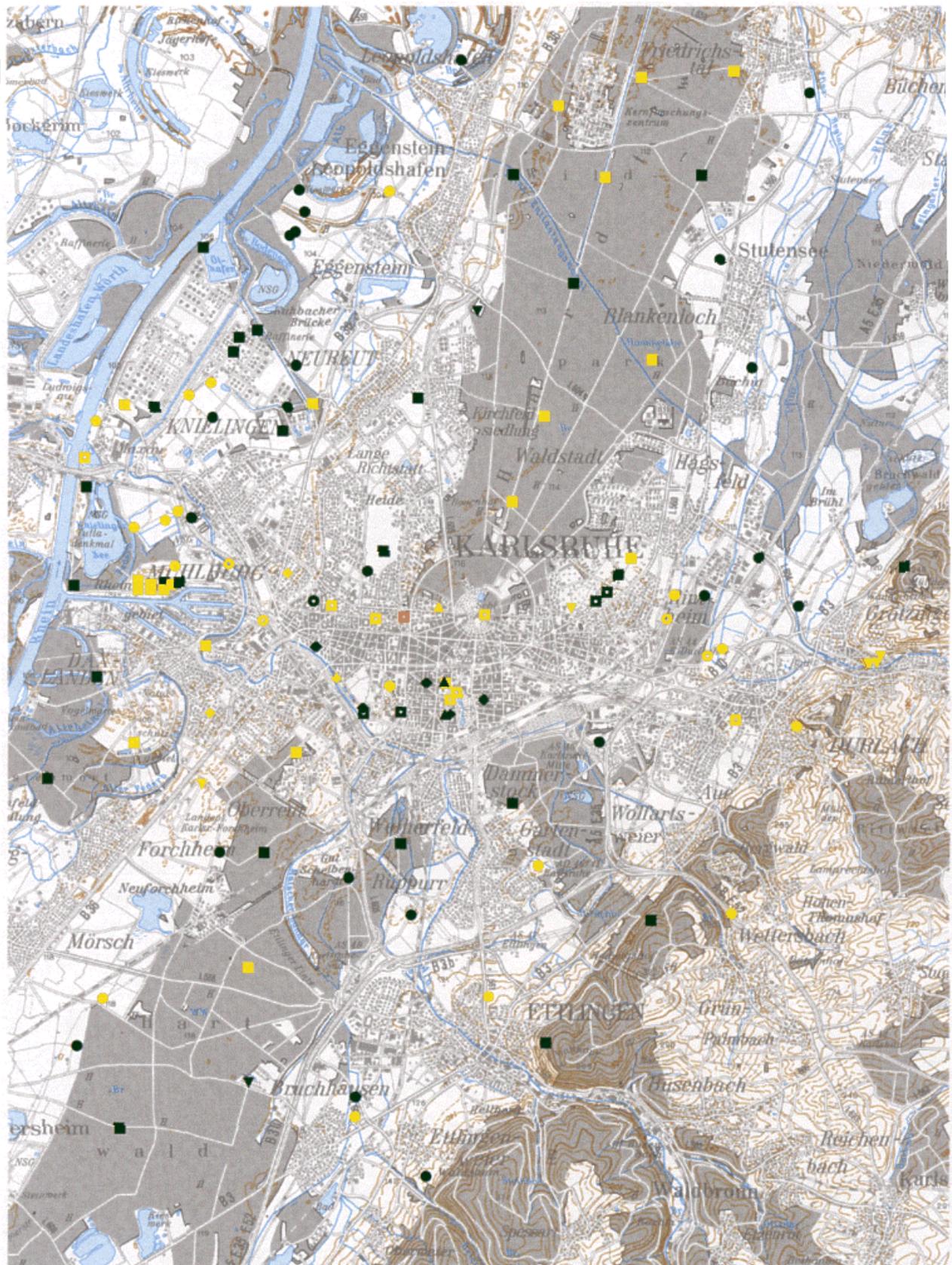


Abbildung 4.5-2: Quecksilber-Gesamtgehalte in Karlsruher Böden, gestuft nach Bodenumfeld



Karte 4.5-1: Quecksilber-Gesamtgehalte in Karlsruher Böden

4.6 Nickel

Die Karlsruher Böden weisen sowohl geringe Nickel-Gesamtgehalte als auch geringe Gehalte an mobilem Nickel auf (Tabelle 4.6-1, Karte 4.6-1 und 4.6-2).

Variierende Gesamtgehalte sind eindeutig durch den Tongehalt der Böden erklärbar (Abbildung 4.6-1) und somit geogen.

Nickel gehört zu den Schwermetallen, die mit zunehmender Bodenversauerung leicht mobilisiert werden. In versauerten Böden des Hardwaldes wurden zwar relativ geringe Gehalte an mobilem Nickel vorgefunden. Dies ist allerdings durch teilweise Auswaschung der von Natur aus nickelarmen Sandböden erklärbar.

Im Bereich des Buntsandstein-Anstiegs wurde bei einem Profil (Nr. 310.160) ein erhöhter Gehalt an mobilem Nickel oberhalb des Prüfwertes für Sickerwässer von Oberböden gemessen (1.600 µg/kg, vgl. Tabelle 1.3-1). Der erhöhte Gehalte ist durch den sauren pH-Wert des Bodens bedingt.

Tabelle 4.6-1: Statistische Kenndaten der Nickelgehalte in Karlsruher Böden

	Gesamt		Außenb.		Siedlungsb.		
	n	50.P	90.P	50.P	90.P	50.P	90.P
gesmg/kg	134	13	30	9	31	16	28
mobµg/kg	62	120	400	210	510	80	260

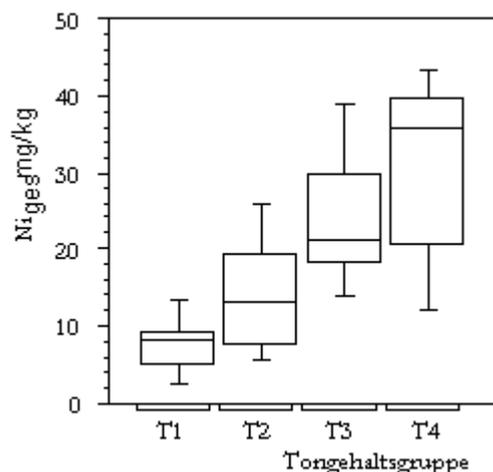
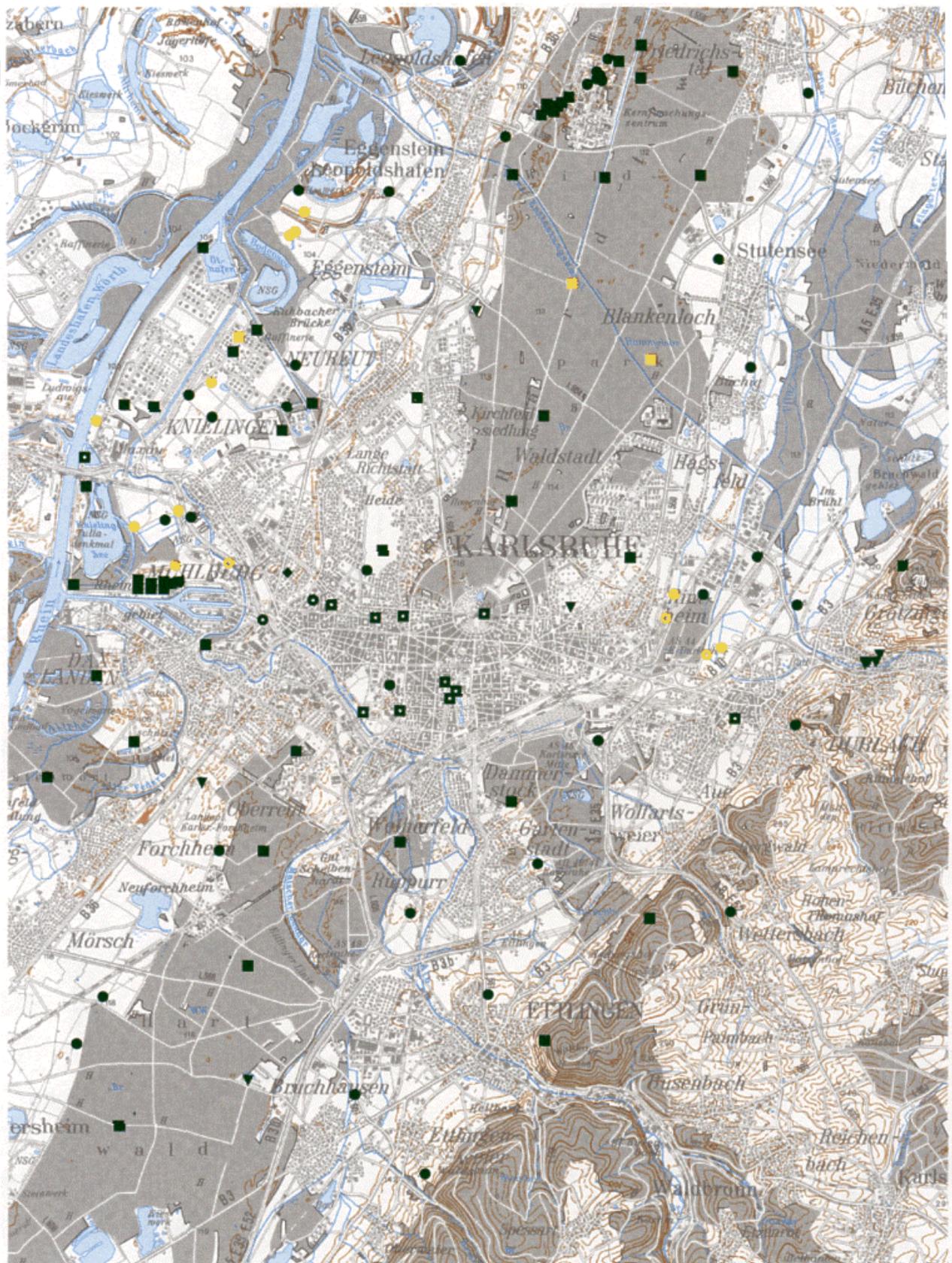


Abbildung 4.6-1: Nickel-Gesamtgehalte in Karlsruher Böden, gestuft nach Tongehaltsgruppen



Karte 4.6-1: Nickel-Gesamtgehalte in Karlsruher Böden

4.7 Blei

10% der bislang untersuchten Oberböden im Raum Karlsruhe weisen Bleigehalte oberhalb 110 mg/kg (Gesamtgehalte) bzw. 2.400 µg/kg (mobile Anteile) auf (Tabelle 4.7-1).

Die Blei-Gesamtgehalte nehmen mit steigendem Tongehalt der Böden geringfügig zu (Abbildung 4.7-1). Der Prüfwert für mobiles Blei hinsichtlich der Qualität von Nahrungspflanzen (400 µg/kg) wird in sauren Böden häufig überschritten (Abbildung 4.7-2).

Bleianreicherungen sind in Böden von Haus- und Kleingärten, Park- und Grünanlagen sowie im Bereich Gewerbe und Verkehr häufig vorhanden (Abbildung 4.7-3). Mehr als 25% der Böden dieser Nutzungen weisen Gehalte oberhalb 100 mg/kg auf. Hohe Gehalte in Böden von Kleingartenanlagen können mit darunter befindlichen Altablagerungen zusammentreffen (vgl. Cadmium).

Erhöhte Blei-Gesamtgehalte finden sich damit insbesondere in Böden des Siedlungsgebietes (vgl. auch Abbildung 4.7-4), wobei die räumliche Verteilung der Bleigehalte weitgehend deckungsgleich mit den Blei-Emissionen der Quellengruppe Verkehr ist.

50% der Böden der Innenstadt weisen Bleigehalte von über 100 mg/kg auf.

Tabelle 4.7-1: Statistische Kenndaten der Bleigehalte in Karlsruher Böden

	Gesamt		Außenb.		Siedlungsgeb.		
	n	50.P	90.P	50.P	90.P	50.P	90.P
gesmg/kg	303	35	110	30	60	47	140
mobµg/kg	62	<20	2.40	140	2.50	<20	1.10
			0		0		0

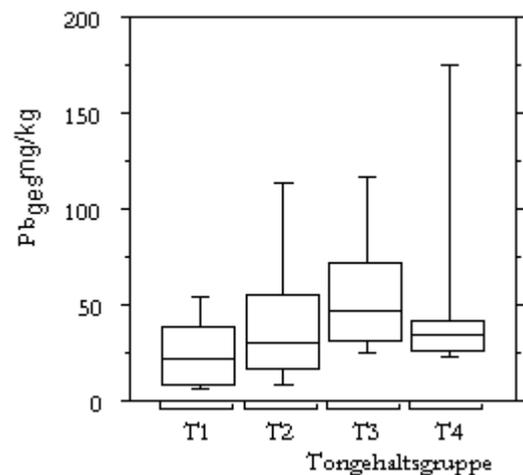


Abbildung 4.7-1: Blei-Gesamtgehalte in Karlsruher Böden, gestuft nach Tongehaltsgruppen

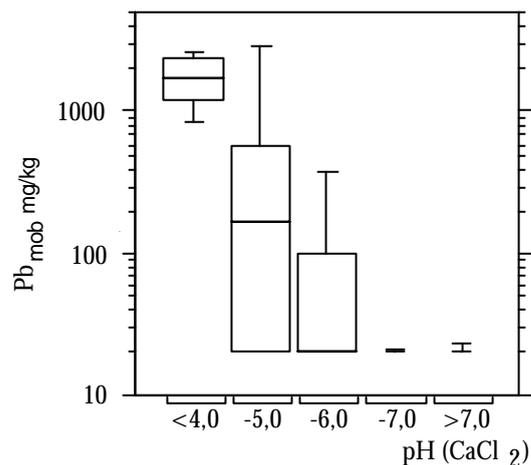


Abbildung 4.7-2: Mobiles Blei in Karlsruher Böden, gestuft nach Boden-pH

Nach Angaben des Emissionskatasters der Quellengruppe Verkehr aus dem Jahre 1986 wurden im Stadtzentrum von Karlsruhe bis über 4 kg Blei/ha und Jahr emittiert [EM 1986]. Unter der Annahme einer 50%-igen Beaufschlagung dieser Emissionen auf die Oberböden des Stadtgebiets führt dies (z. B. bei der Nutzung als Kinderspielplatz) in der obersten Bodenschicht (0-5 cm, bei einer Rohdichte von 0,8 kg/dm³) zu einer jährlichen Bleianreicherung von 5 mg/kg. Bei einem Hintergrundgehalt von 50 mg/kg würde durch diese Emissionen innerhalb von 10 Jahren der Spielplatz-Prüfwert (100 mg/kg) erreicht.

Die bislang vorliegenden Daten von Spielplätzen weisen jedoch eher auf geringe Bleigehalte hin. Es ist jedoch nicht auszuschließen, daß hierbei auch Spielsand, der ohnehin regelmäßig ausgetauscht wird, in die Untersuchungen einbezogen wurde.

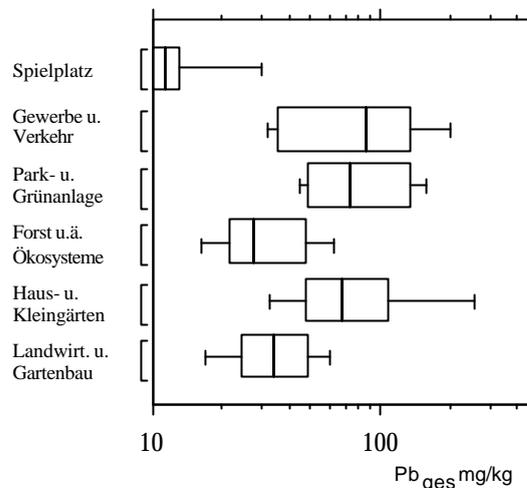


Abbildung 4.7-3: Blei-Gesamtgehalte in Karlsruher Böden, gestuft nach Bodennutzung

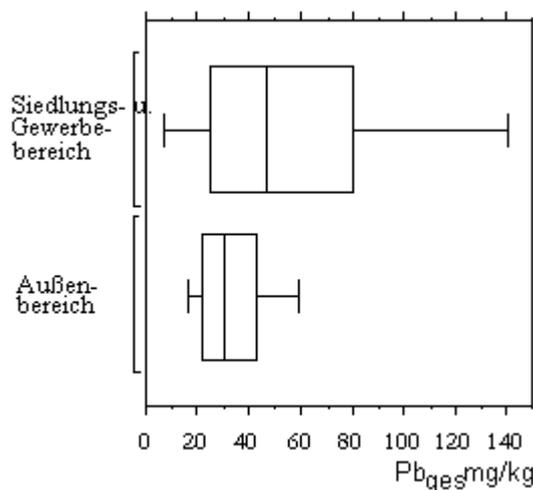


Abbildung 4.7-4: Blei-Gesamtgehalte in Karlsruher Böden, gestuft nach Bodenumfeld

Die Oberböden unter Forst weisen ähnliche Blei-Anreicherungen wie Böden unter landwirtschaftlicher Nutzung auf. Dies überrascht, da die Waldvegetation den Staubbiederschlag auskämmt und damit die Anreicherung von luftbürtigen Schadstoffen im Boden begünstigt. Anreicherungen von Blei in Oberböden unter Forst (Karte 4.7-1) werden im Hardwald vermutlich aufgrund der starken Versauerung dieser Böden und damit verbundenen Verluste durch Auswaschung ausgeglichen.

In Abbildung 4.7-5 und 4.7-6 sind die Gehalte an mobilem Blei an zwei Standorten des Hardwaldes in Abhängigkeit von der Bodentiefe (Tiefenfunktion) dargestellt. Das Profil 155 (südlicher Hardwald) ist bis in über 200 cm Tiefe versauert und weist bis in diese Tiefe erhöhte, jedoch mit der Tiefe deutlich abnehmende Gehalte an mobilem Blei und Zink auf. Im Profil 140 (nördlicher Hardwald) reicht die Versauerungsfront bis in 75 cm Tiefe. Hier konnte unterhalb von ca. 1 Meter Tiefe kein mobiles Blei (und Zink) nachgewiesen werden.

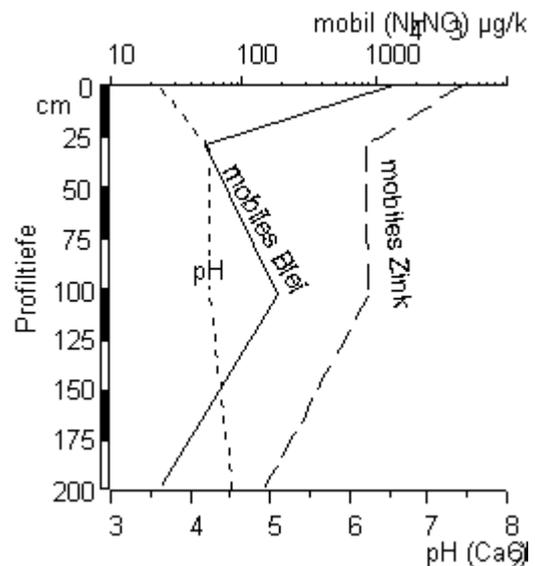


Abbildung 4.7-5: Tiefenfunktion der Gehalte an mobilem Blei und Zink am Profil 155 (südlicher Hardwald)

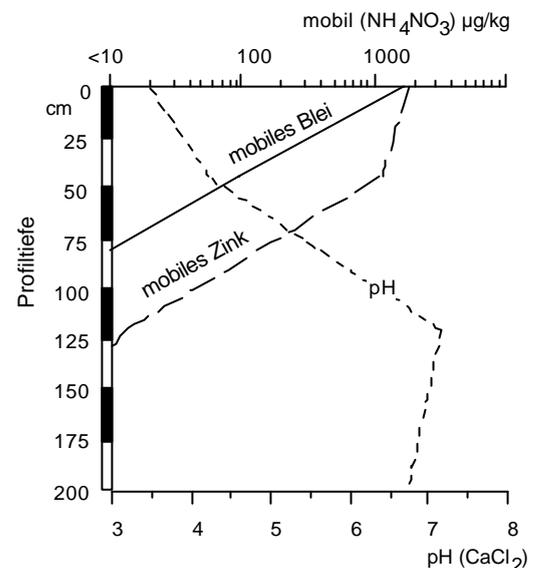
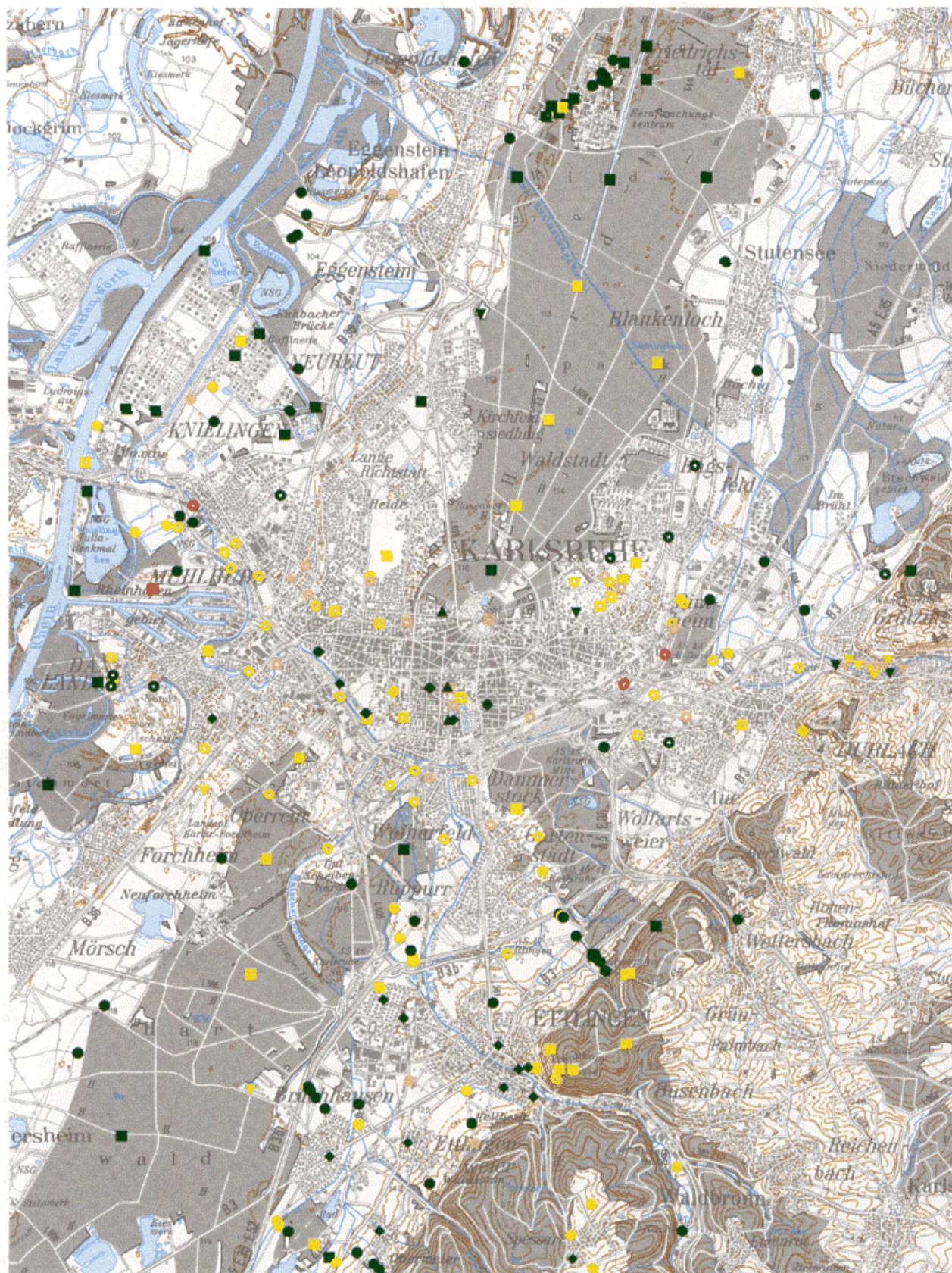
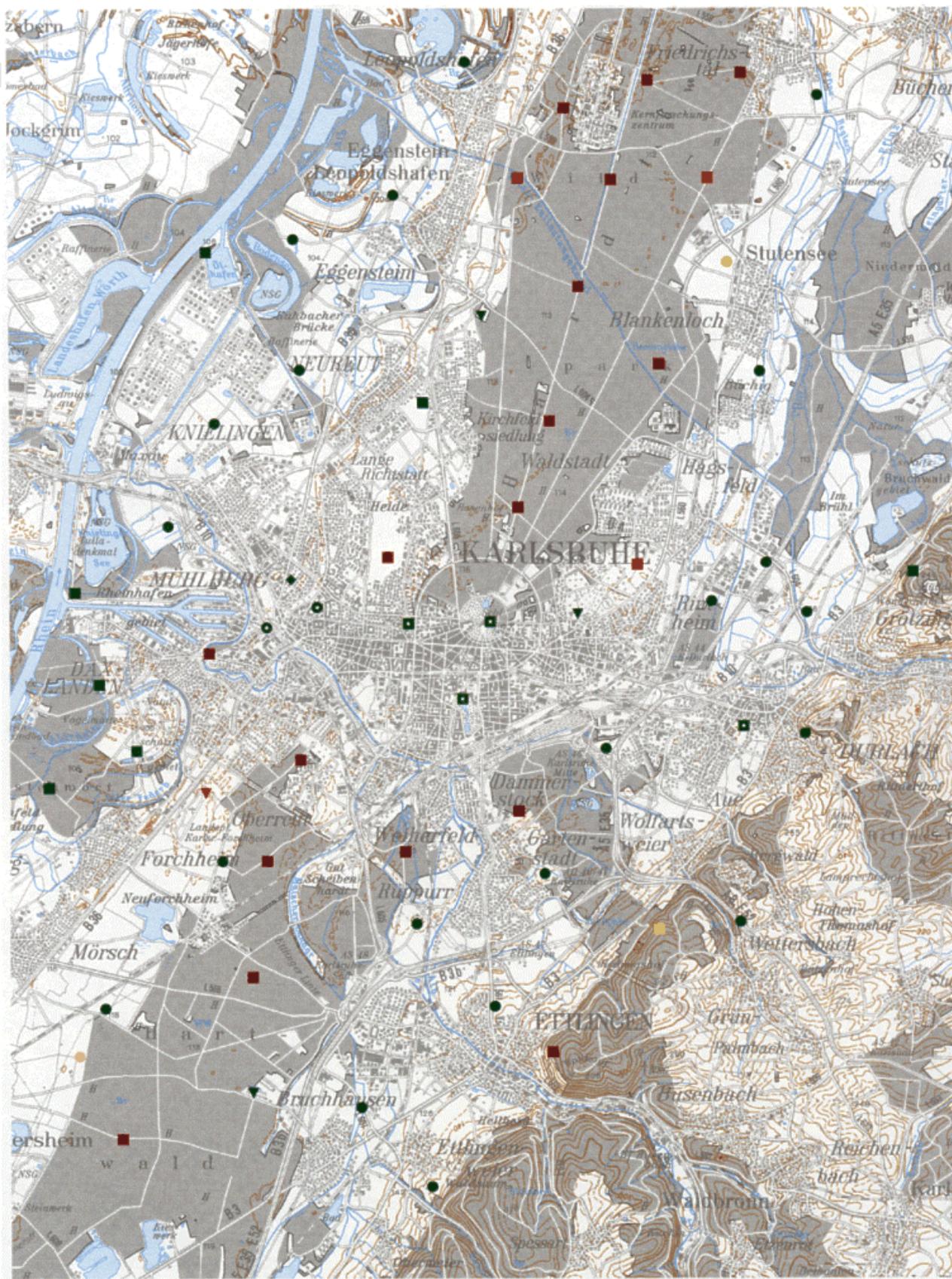


Abbildung 4.7-6: Tiefenfunktion der Gehalte an mobilem Blei und Zink am Profil 140 (nördlicher Hardwald)



Karte 4.7-1: Blei-Gesamtgehalte in Karlsruher Böden



Karte 4.7-2: Gebalte an mobilem Blei in Karlsruher Böden

4.8 Thallium

Die Thallium-Gesamtgehalte steigen mit zunehmendem Tongehalt der Böden kontinuierlich an und erreichen in Sanden (T1) bis 0,2 mg/kg, in sandigen Lehmen (T2) bis 0,4 mg/kg (vgl. Tabelle 4.8-1, Abbildung 4.8-1).

Die Gehalte an mobilem Thallium liegen ebenfalls auf einem niedrigen Niveau (vgl. Tabelle 1.3-1 und Abbildung 4.8-2). Die Gehalte an mobilem Thallium steigen mit sinkendem Boden-pH, jedoch weisen stark versauerte Böden sehr geringe Gehalte auf. Ebenso wie bei Nickel und Blei, ist dies auch bei Thallium durch Auswaschungsverluste der geogen thalliumarmen Sande erklärbar.

Insgesamt ist zu folgern, daß die Thalliumgehalte der Böden im Raum Karlsruhe überwiegend natürlichen Ursprungs sind. Im Regelfall besteht hier kein weiterer Untersuchungsbedarf der TI-Gehalte.

Tabelle 4.8-1: Statistische Kenndaten der Thalliumgehalte in Karlsruher Böden

	Gesamt		Außenb.		Siedlungsb.		
	n	50.P	90.P	50.P	90.P	50.P	90.P
gesmg/kg	96	0,16	0,41	0,16	0,42	0,14	0,33
mobµg/kg	62	3	9	3	8	4	12

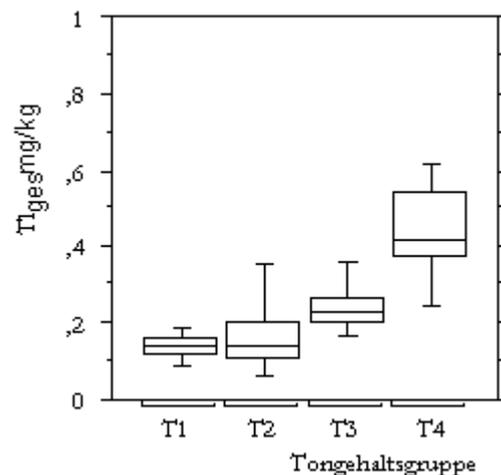


Abbildung 4.8-1: Thallium-Gesamtgehalte in Karlsruher Böden, gestuft nach Tongehaltsgruppen

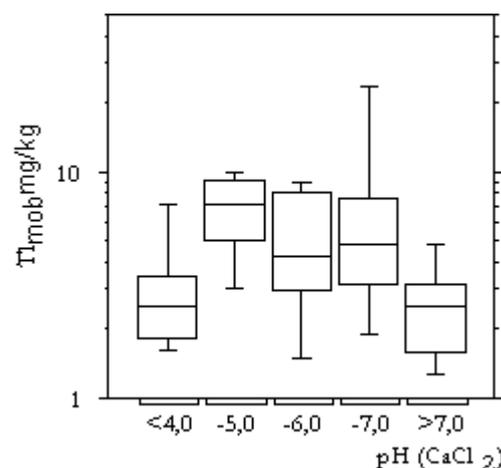
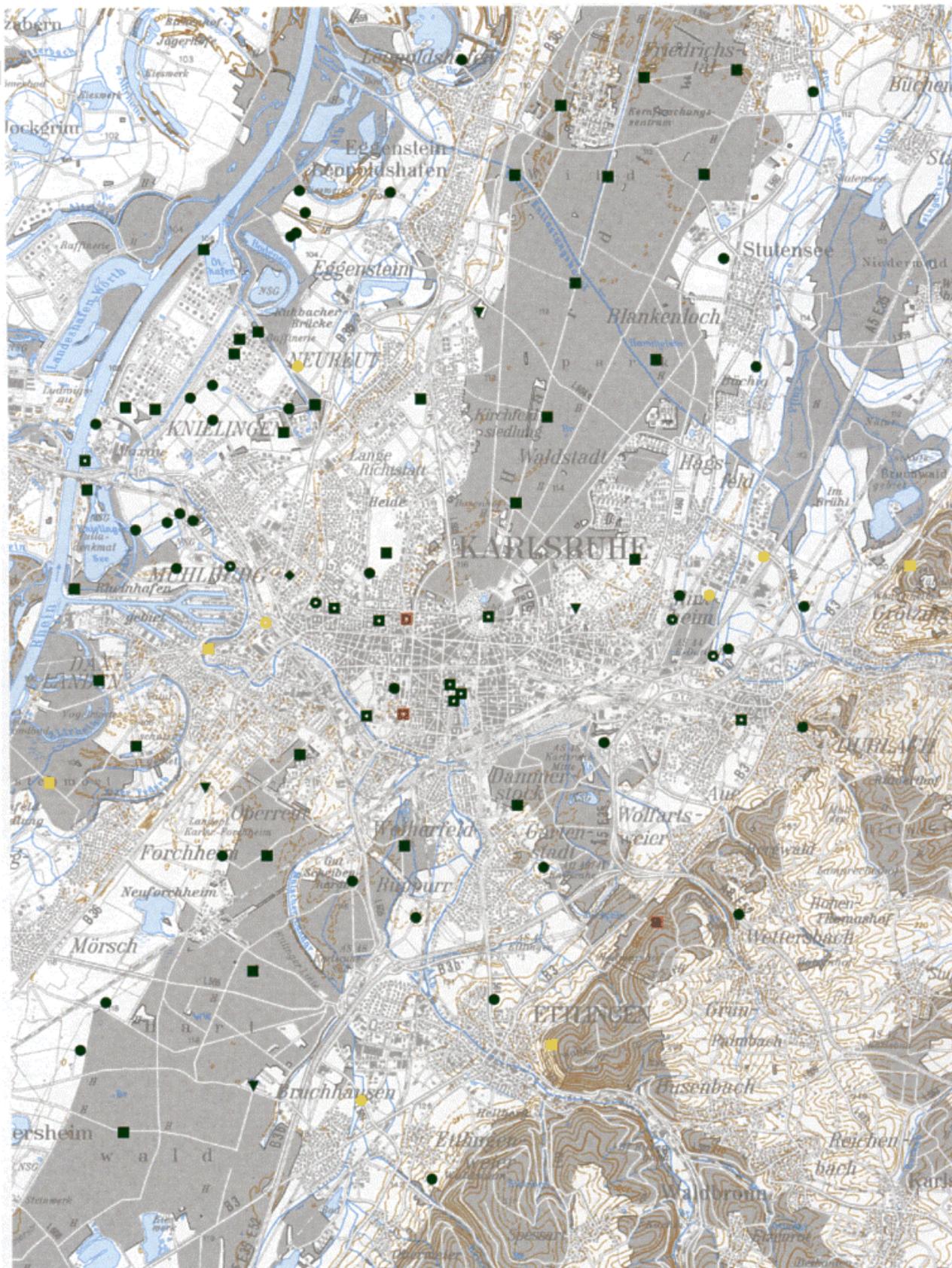


Abbildung 4.8-2: Mobiles Thallium in Karlsruher Böden, gestuft nach Boden-pH



Thallium-Gesamtgehalt mg/kg

■ <math><0,2...0,7</math>	■ >1-4
■ >0,2...0,7-0,5...1	■ >4
■ >0,5...1-1	...: gestuft nach Tongeh.

Bodennutzung

- Landw. u. Gartenbau
- Haus- u. Kleingärten
- Forst u.ä. Ökosysteme
- Park u. Grünanlagen
- ▼ Gewerbe u. Verkehr
- ▲ Sport- u. Freizeitanz.
- ◆ Kinderspielplatz

Karte 4.8-1: Thallium-Gesamtgehalte in Karlsruher Böden

4.9 Zink

Die Böden im Raum Karlsruhe weisen sowohl erhöhte Gesamtgehalte (90.Perzentil: 170 mg/kg) als auch erhöhte mobile Anteile an Zink (90.Perzentil: 5.400 µg/kg) auf (Tabelle 4.9-1). Die Zink-Gesamtgehalte steigen mit zunehmendem Tongehalt bis zur Tongehaltsgruppe T3 geringfügig an (Abbildung 4.9-1). Die 90. Perzentil-Werte der Zinkgehalte sind jedoch um ca. 100 mg/kg gegenüber dem landesweiten Hintergrundbereich erhöht.

Böden mit pH > 6,0 weisen überwiegend mobile Anteile unterhalb 100 µg/kg auf. Sehr hohe Gehalte an mobilem Zink bis 10.000 µg/kg sind im Raum Karlsruhe ausschließlich in sauren Böden vorhanden (Abbildung 4.9-2, Karte 4.9-2).

Die Abbildungen 4.9-3 und 4.9-4 sowie die Karten 4.9-1 und 4.9-2 lassen die folgende räumliche Differenzierung der Gehalte erkennen.

Erhöhte Zink-Gesamtgehalte liegen in Böden von Haus- und Kleingärten, Park- und Grünanlagen sowie im Bereich Gewerbe und Verkehr vor. Insbesondere in Parkanlagen sind Gesamtgehalte bis über 500 mg/kg anzutreffen.

Landwirtschaftlich genutzte Böden weisen im Vergleich dazu geringe Gehalte auf, die jedoch oberhalb der Gehalte forstwirtschaftlich genutzter Böden liegen.

Tabelle 4.9-1: Statistische Kenndaten der Zink-Gehalte in Karlsruher Böden

	Gesamt		Außenb.		Siedlungsb.		
	n	50.P	90.P	50.P	90.P	50.P	90.P
gesmg/kg	171	50	170	38	130	71	200
mobµg/kg	62	<10	540	<10	480	<10	690
		0	0	0	0	0	0

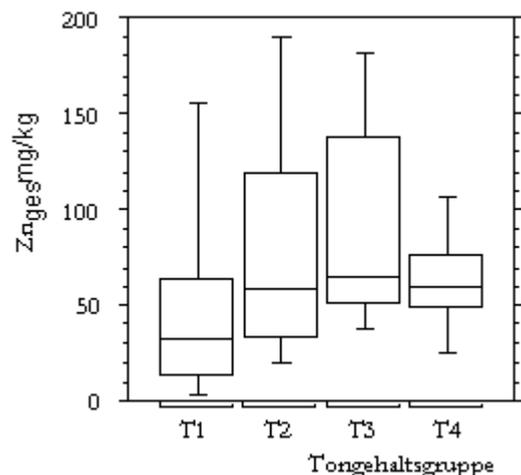


Abbildung 4.9-1: Zink-Gesamtgehalte in Karlsruher Böden, gestuft nach Tongehalt

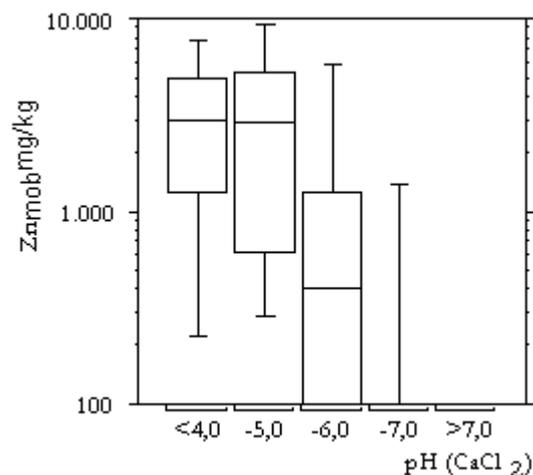


Abbildung 4.9-2: Mobiles Zink in Karlsruher Böden, gestuft nach Boden-pH

Die Böden des Siedlungsgebietes weisen insgesamt deutlich höhere Gehalte auf, als die Böden des Außenbereiches.

Im Siedlungsgebiet wurden und werden aktuell Zink-Anreicherungen in Böden durch Immissionen wesentlich mitverursacht. Zink wurde in den bisherigen Luftmessungen auf Schadstoffe vernachlässigt.

Neben Cadmium, Kupfer, Quecksilber und Blei gehört auch Zink zu den in Böden urbaner Gebiete häufig angereicherten anorganischen Schadstoffen. Zink ist insbesondere im Hinblick auf die Beeinträchtigung des Pflanzenwachstums empfindlicher Kulturpflanzen (z.B. Zuckerrüben) kritisch zu beurteilen.

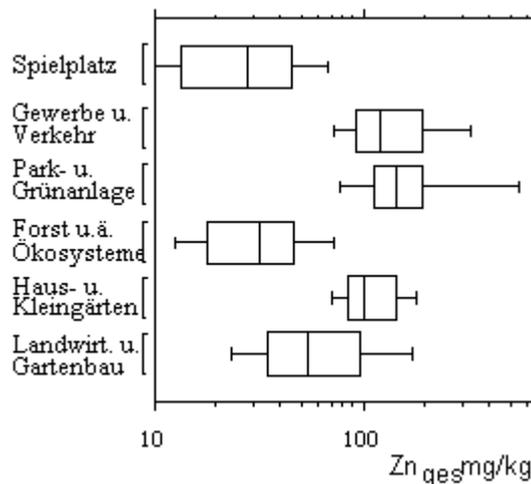


Abbildung 4.9-3: Zink-Gesamtgehalte in Karlsruher Böden, gestuft nach Bodennutzung

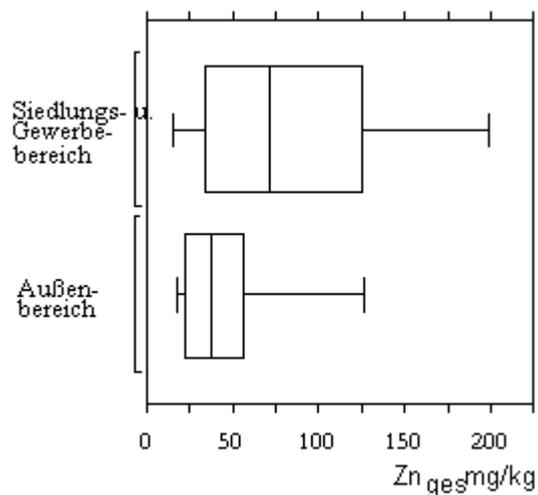
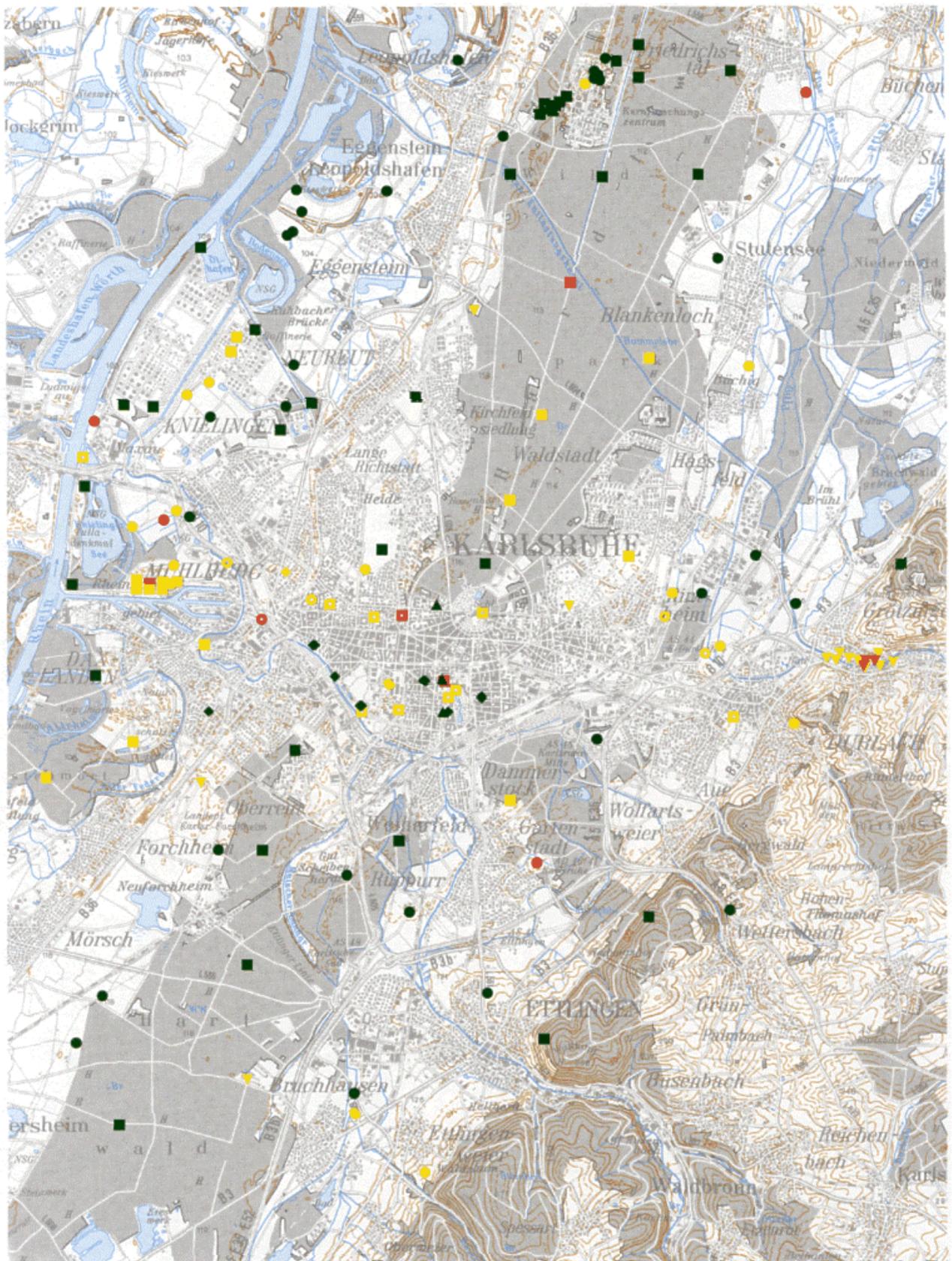
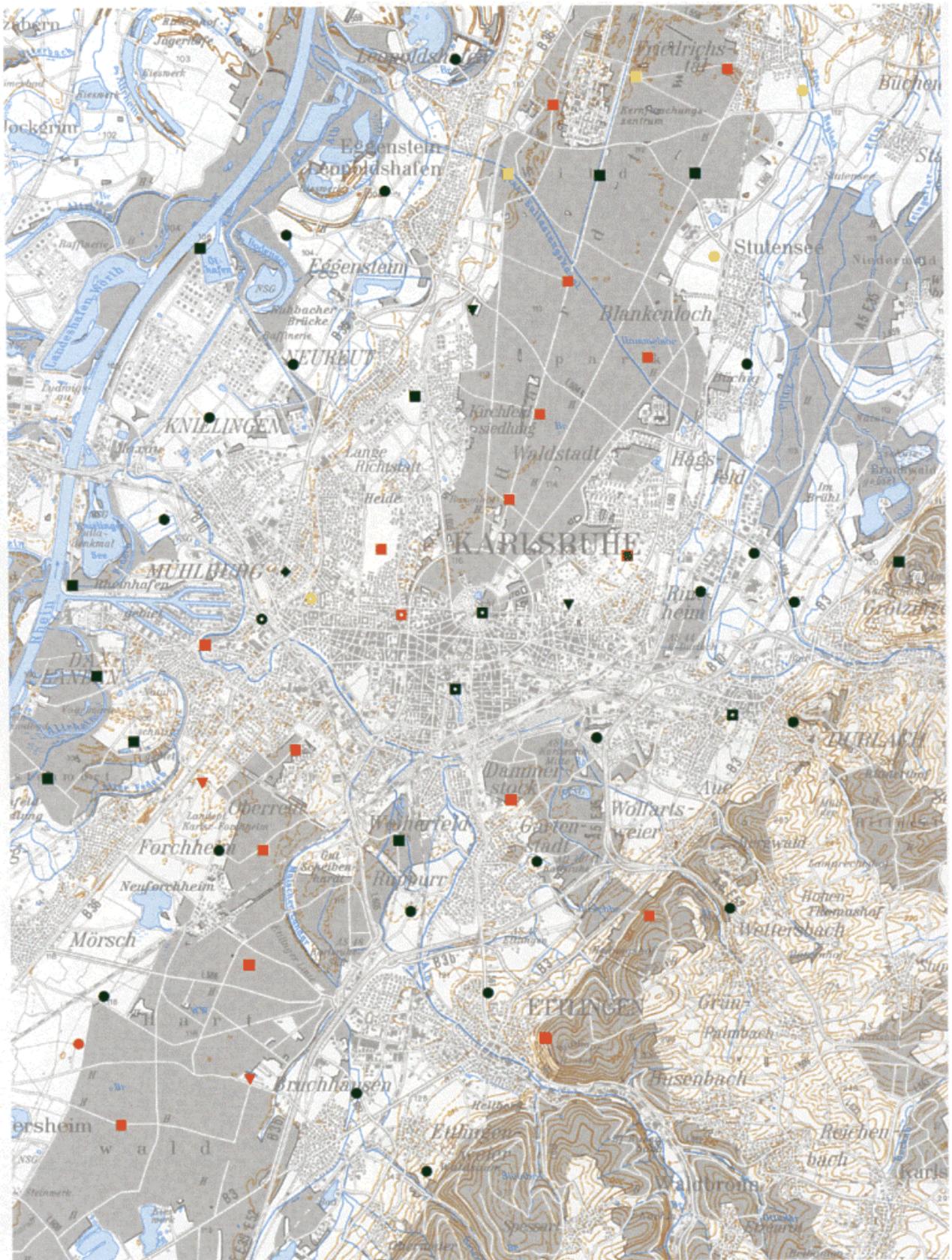


Abbildung 4.9-4: Zink-Gesamtgehalte in Karlsruher Böden, gestuft nach Bodenumfeld



Karte 4.9-1: Zink-Gesamtgehalte in Karlsruher Böden



Karte 4.9-2: Gebalte an mobilem Zink in Karlsruher Böden

4.10 Weitere Spurenelemente

Neben den in der 3. VwV zum BodSchG Baden-Württemberg aufgeführten anorganischen Schadstoffen wurden die Böden im Raum Karlsruhe auf Antimon (Sb), Beryllium (Be) und Platin (Pt) untersucht (Tabelle 4.10-1). Die Antimon- und Berylliumgehalte liegen sowohl bei den Gesamtgehalten als auch bei den mobilen Anteilen weitgehend im Hintergrundbereich [vgl. PRÜß 1994]. Die Beryllium-Gesamtgehalte steigen mit zunehmendem Tongehalt der Böden deutlich an (Abbildung 4.10-1).

Cäsium- und Plutonium-Aktivitäten wurden im Projekt 104 im Umfeld des Kernforschungszentrums Karlsruhe untersucht. Nach dieser Untersuchung waren 1990 im Nahbereich der Verbrennungsanlage der HDB (Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe) geringfügig erhöhte Cäsium-Aktivitäten (140 Bq/kg Cs 137) und Plutonium-Aktivitäten (2,8 Bq/kg Pu 283 und 5,1 Bq/kg Pu 239+240) in Oberböden meßbar, jedoch liegen die gemessenen Konzentrationen im heutigen ubiquitären Hintergrundbereich, der durch Kernwaffentests und den Reaktorunfall von Tschernobyl verursacht wurde [KfK 1991]. Oberböden unter Forst wiesen gegenüber Böden unter Grünlandnutzung geringfügig höhere Aktivitäten auf.

Tabelle 4.10-1: Statistische Kenndaten weiterer Spurenelemente in Karlsruher Böden (n = 62: Be, Pt, Sb; n = 31: Cs; n = 16: Pu)

		Gesamt		Außenb.		Siedlungsb.	
		50.P	90.P	50.P	90.P	50.P	90.P
Be	gesmg/kg	0,5	1,6	0,5	1,6	0,5	1,4
	mobµg/kg	2	29	3	28	<1	29
Pt	gesmg/kg	-	<0,0	<0,0	0,01	<0,0	0,02
	mobµg/kg	-	1	1	<1,0	1	<1,0
Sb	gesmg/kg	0,5	1,9	0,3	1,5	0,6	3,1
	mobµg/kg	6	25	6	17	7	39
Cs	134Bq/kg	-	-	2,9	5,0	-	-
	137Bq/kg	-	-	34	62	-	-
Pu	283Bq/kg	-	-	-	<1,0	-	-
	239+240 Bq/kg	-	-	-	<1,0	-	-

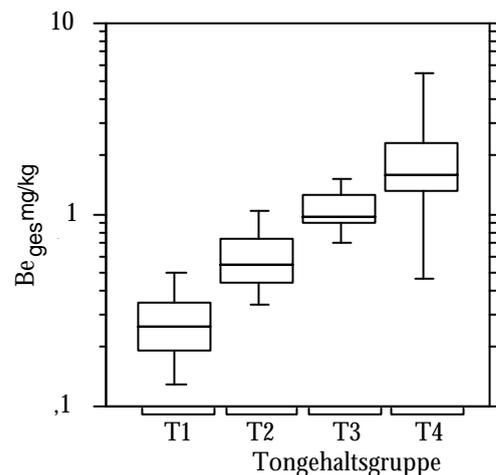


Abbildung 4.10-1: Häufigkeitsverteilung der Beryllium-Gesamtgehalte, gestuft nach Tongehalt

4.11 Nitrat

Im Rahmen der Schutzgebiets- und Ausgleichsverordnung werden jährlich in den Wasserschutzgebieten im Herbst Bodenproben auf Nitrat-N untersucht und ausgewertet [MLR 1990, 1991]. Für den Landkreis und die Stadt Karlsruhe wurden Nitratanalysen der Jahre 1989 bis 1992 herangezogen (17.341 Standorte, Datengrundlage: LUFA). Die Auswertung der Daten wird auf die drei größten Trinkwasserschutzgebiete Karlsruhe-Nord (Nr. 10), Karlsruhe-Ost (Nr. 15), Karlsruhe-Süd (Nr. 16) beschränkt.

In Abbildung 4.11-1 ist zu erkennen, daß sich der Jahresgang der Nitratgehalte in Böden der Trinkwasserschutzgebiete Karlsruhe-Nord und Karlsruhe-Süd dem landesweiten Durchschnitt angleicht. Die Nitratgehalte variieren von Jahr zu Jahr unabhängig vom Untersuchungsgebiet ähnlich.

Im Gebiet Karlsruhe-Ost sind deutlich erhöhte Gehalte zu erkennen. 50 kg N/ha werden lediglich in 10 bis 30% der Standorte unterschritten. Im Trinkwasserschutzgebiet Karlsruhe-Ost entfielen im Jahr 1992 63% der 240 untersuchten Standorte auf Garten- und Gemüsebau.

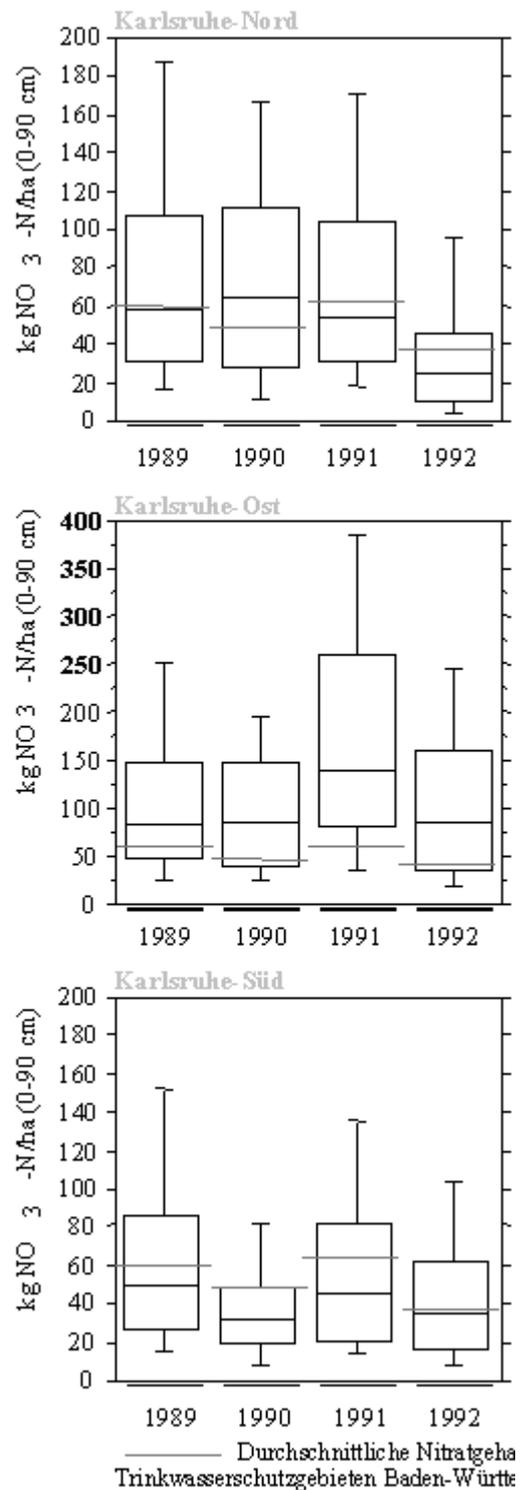


Abbildung 4.11-1: Nitratgehalte in Böden (0-90cm) von Trinkwasserschutzgebieten (Datengrundlage: LUFA)

4.12 Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe

Abbildung 4.12-1 gibt die Häufigkeitsverteilung der einzelnen PAK-Komponenten wieder. Die Komponenten sind nach steigender Anzahl der kondensierten Ringe geordnet (Naphthalin 2 Ringe; Indeno[1,2,3-cd]pyren 6 Ringe). 90% der untersuchten Böden weisen weniger als 0,1 mg/kg Naphthalin, Acenaphthylen, Acenaphthen und Fluoren auf. Bei den übrigen Komponenten liegen, mit Ausnahme von Anthracen und Dibenz[a,h]anthracen, ca. 50% der Proben im Bereich 0,1 bis 1 mg/kg. Die toxikologische Bewertung der Einzelkomponenten (wie in Abbildung 4.12-1 beispielhaft dargestellt) ist bislang nicht abschließend geklärt. Die Bewertung der PAK-Gehalte erfolgt daher anhand der Summe von 16 Komponenten nach der EPA (PAK₁₆, Liste 610) sowie der Gehalte des als krebserregend eingestuftes Benzo[a]pyren (BaP).

Die Auswertung der Daten ergab einen sehr engen Zusammenhang zwischen den PAK₁₆-Gehalten und den Benzo[a]pyren-Gehalten ($r^2 = 0,9$). Im Mittel beträgt der Anteil von BaP etwa 10 % des PAK₁₆-Gesamtgehalts.

Für die statistische Auswertung der PAK-Verteilung wird daher auf eine getrennte Abbildung der PAK₁₆- und der BaP-Gehalte verzichtet.

90% der bislang in Böden des Raumes Karlsruhe untersuchten PAK₁₆-Gehalte liegen unterhalb 9,8 mg/kg (Tabelle 4.12-1).

Tabelle 4.12-1: Statistische Kenndaten der PAK-Gehalte in Karlsruher Böden (n = 76)

	Gesamt		Außenb.		Siedlungsb.	
	50.P	90.P	50.P	90.P	50.P	90.P
PAK ₁₆ mg/kg	1,3	9,8	0,9	2,6	3,5	15
Benzo[a]pyren	0,08	1,0	0,07	0,3	0,15	1,6
"						

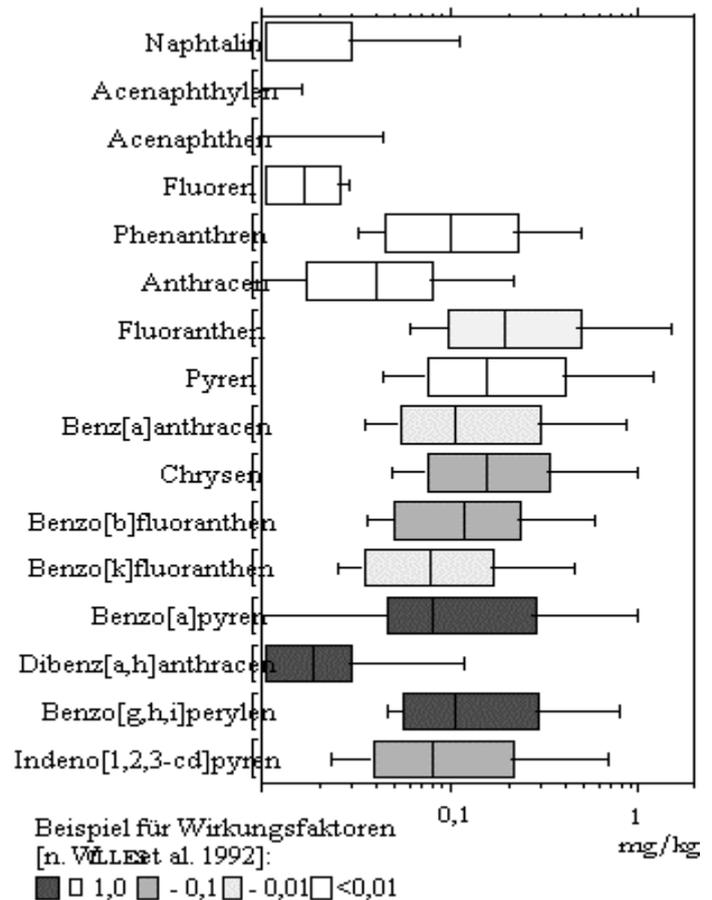


Abbildung 4.12-1: Häufigkeitsverteilung der PAK-Komponenten in Karlsruher Böden

Abbildung 4.12-2 zeigt das Ergebnis der nach Bodennutzung differenzierten Auswertung. Es ist zu erkennen, daß insbesondere in Park- und Grünanlagen, gefolgt von Haus- und Kleingärten PAK in Oberböden angereichert sind. Böden unter Landwirtschaft und Gartenbau weisen die geringsten Gehalte auf.

Ein ähnliches Verteilungsmuster zeigt auch BaP. 50% der Haus- und Kleingärten weisen weniger als 0,6 mg BaP/kg, 50% der Park- und Grünanlagen weniger als 1,2 mg BaP/kg auf.

Im Raum Karlsruhe sind insbesondere die Böden im Innenstadtbereich mit PAK kontaminiert (Abbildung 4.13-3, Karte 4.13-1). 10% der untersuchten Standorte weisen hier Gehalte oberhalb 24 mg/kg auf – bezogen auf das gesamte Siedlungsgebiet sind dies noch 15 mg/kg.

Die kartographische Darstellung der PAK-Gehalte verdeutlicht diese Tendenz (Karte 4.12-1 und 4.12-2). Böden mit PAK₁₆-Gehalten oberhalb 5 mg/kg (Prüfwert für Kinderspielfläche) sind im Kernbereich von Karlsruhe am häufigsten.

Neben Blei sind demnach auch PAK zu den für städtische Spielflächen relevanten Schadstoffen zu rechnen.

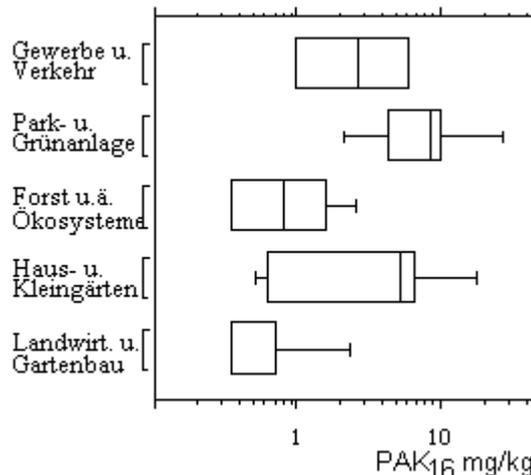


Abbildung 4.12-2: Häufigkeitsverteilung der PAK-Gehalte in Karlsruher Böden, gruppiert nach der Bodennutzung

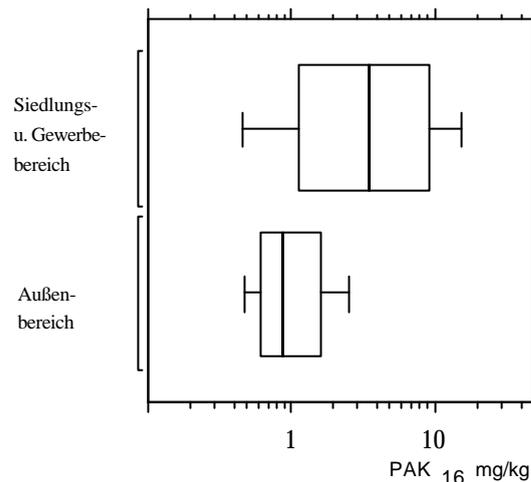
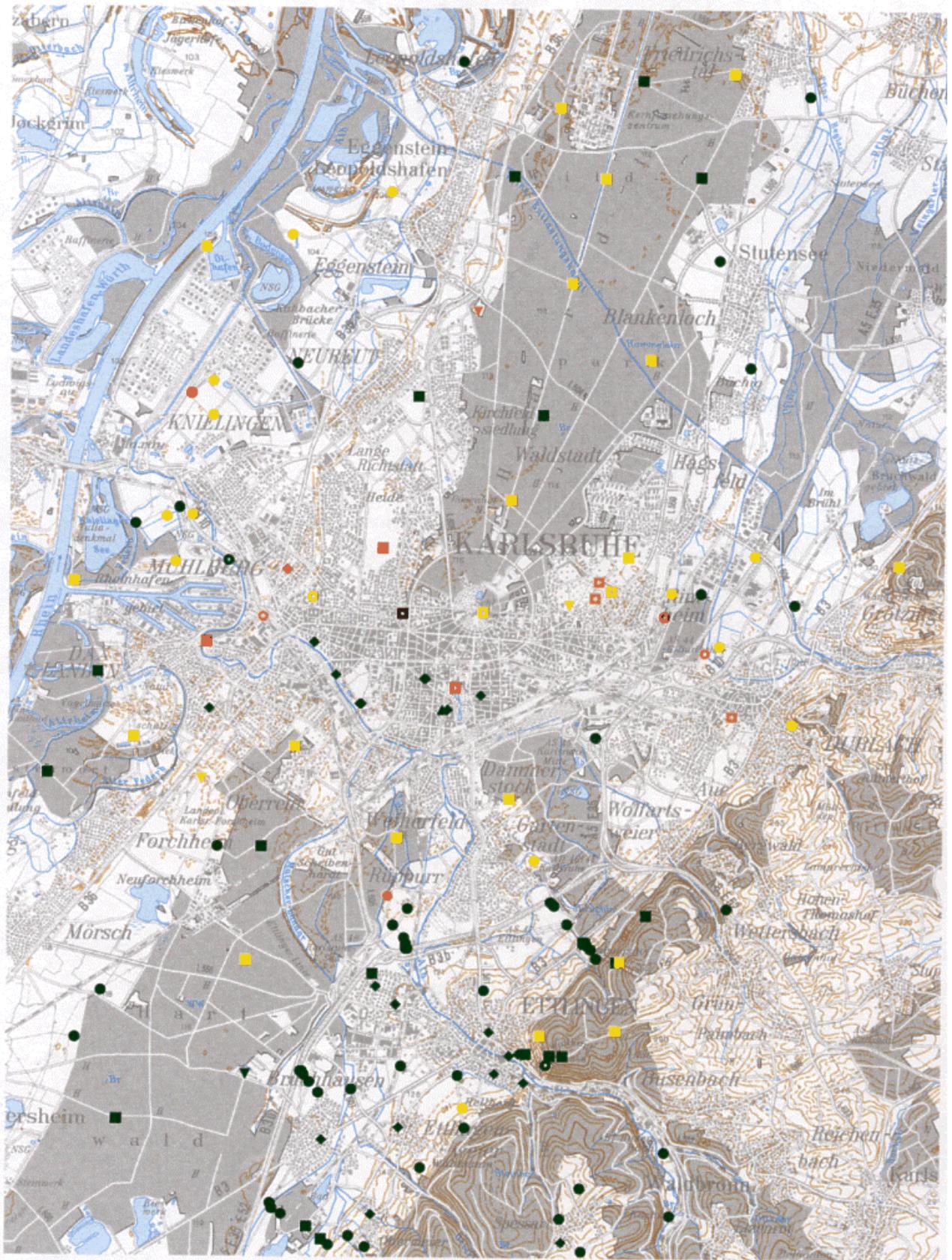
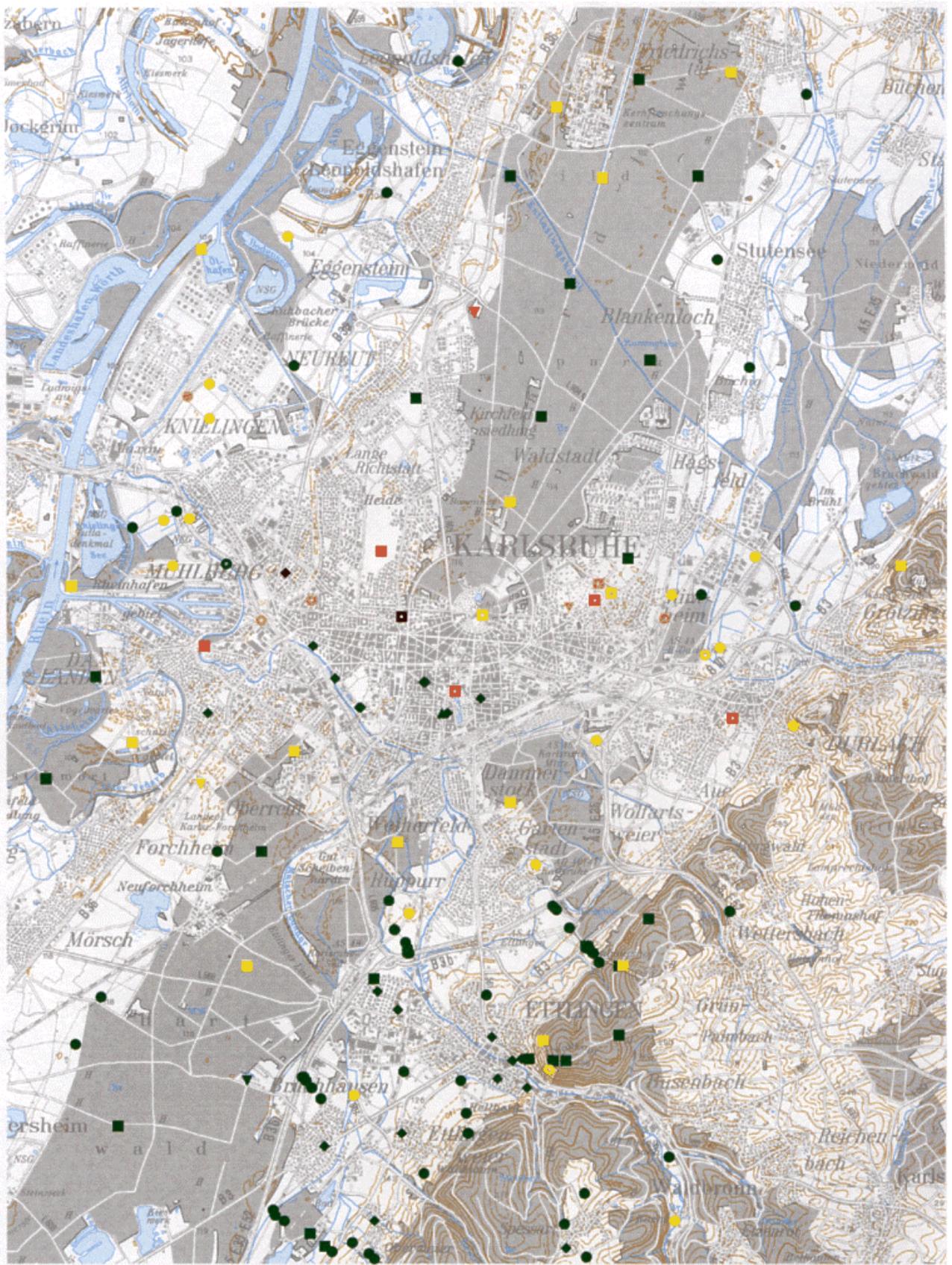


Abbildung 4.12-3: Häufigkeitsverteilung der PAK-Gehalte in Karlsruher Böden, gruppiert nach dem Boden-Umfeld



Karte 4.12-1: Gebalte an polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen in Karlsruher Böden



Karte 4.12-2: Gebalte an Benzol[pyren] in Karlsruher Böden

4.13 Polychlorierte Biphenyle

In Abbildung 4.13-1 sind die Häufigkeitsverteilungen von sechs PCB-Kongeneren in Böden des Raumes Karlsruhe dargestellt. Die Einzelkomponenten sind nach steigendem Chlorierungsgrad geordnet. Die Gehalte nehmen in der Reihenfolge PCB28 < PCB52 < PCB101 < PCB138 < PCB153 kontinuierlich zu, mit einem geringfügigen Rückgang der PCB180-Gehalte.

Das durchschnittliche PCB-Profil setzt sich aus 4% PCB28, 5% PCB52, 10% PCB101, 26% PCB138, 33% PCB153 und 22% PCB180 zusammen. Es ist zu erkennen, daß die Tri- und Tetrachlorbiphenyle (PCB28, PCB52) gegenüber den Penta- bis Heptachlorbiphenylen in diffus kontaminierten Böden abgereichert sind.

Das Muster der PCB-Kongeneren ist in Abbildung 4.13-2 für Standorte mit erhöhten Gehalten aufgetragen (Projekt 310, Messung 1993). An den Profilen 109, 147 und 151 ergibt sich die o. g. Verteilung. Lediglich am Profil 108, in der Nachbarschaft der ehemaligen, Fabrik Singer, liegt eine andere Verteilung der PCB-Kongeneren vor. Dies deutet an diesem Standort auf einen PCB-Eintrag in junger Zeit und/oder auf eine Emissionsquelle mit hohen Anteilen niederchlorierter Biphenyle.

Da die akute und chronische Toxizität der Kongeneren bislang nicht abschließend geklärt ist, wird die Beurteilung der PCB-Gehalte an der Summe der genannten sechs Einzelkomponenten vorgenommen (PCB₆).

Tabelle 4.13-1: Statistische Kenndaten der PCB-Gehalte in Karlsruher Böden (n = 76)

	Gesamt		Außenb.		Siedlungsb.	
	50.P	90.P	50.P	90.P	50.P	90.P
PCB ₆ in µg/kg	4,7	23	3,6	14	7,9	110

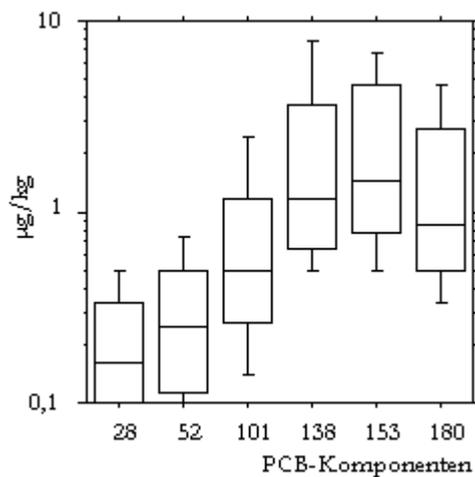


Abbildung 4.13-1: Häufigkeitsverteilung der PCB-Komponenten in Karlsruher Böden

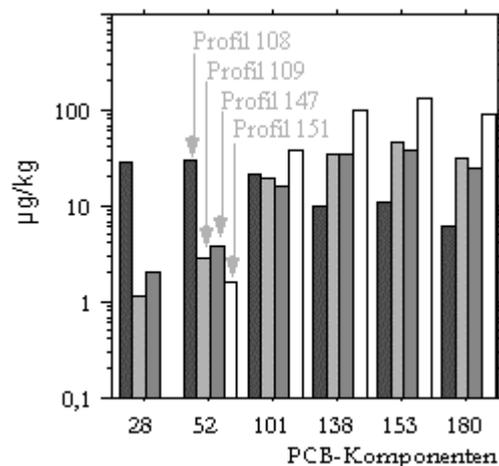


Abbildung 4.13-2: Gehalte von sechs PCB-Kongeneren an vier ausgewählten Standorten

90% der bislang gemessenen PCB₆-Gehalte liegen unterhalb 23 µg/kg (Tabelle 4.13-1). Böden unter Landwirtschaft und Gartenbau weisen die geringsten PCB Gehalte auf, während in Böden unter Park- oder Grünanlagen und im Bereich Gewerbe und Verkehr deutlich erhöhte Gehalte zu erkennen sind (Abbildung 4.13-3, Karte 4.13-1).

Im Außenbereich von Karlsruhe liegen die PCB₆-Gehalte weitgehend im landesweiten Hintergrundbereich (Abbildung 4.13-4).

In der Innenstadt von Karlsruhe weist nahezu jeder zweite untersuchte Boden Gehalte oberhalb 10 µg/kg auf.

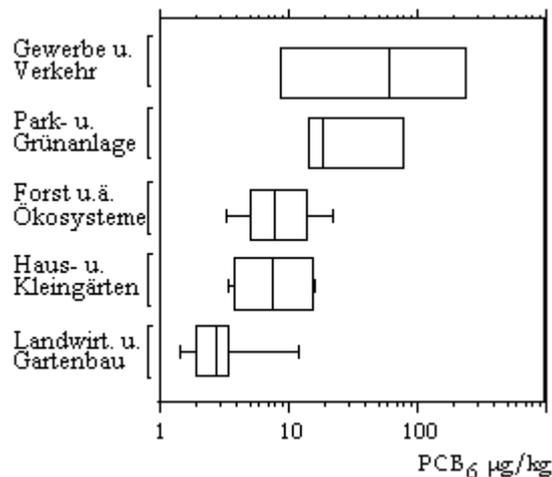


Abbildung 4.13-3: Häufigkeitsverteilung der PCB-Gehalte in Karlsruher Böden, gruppiert nach Bodennutzungen

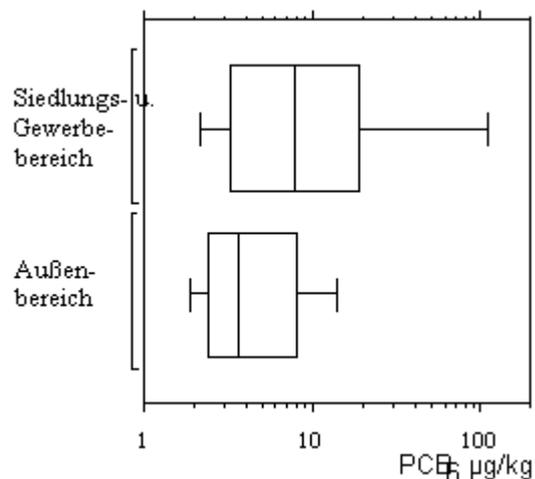
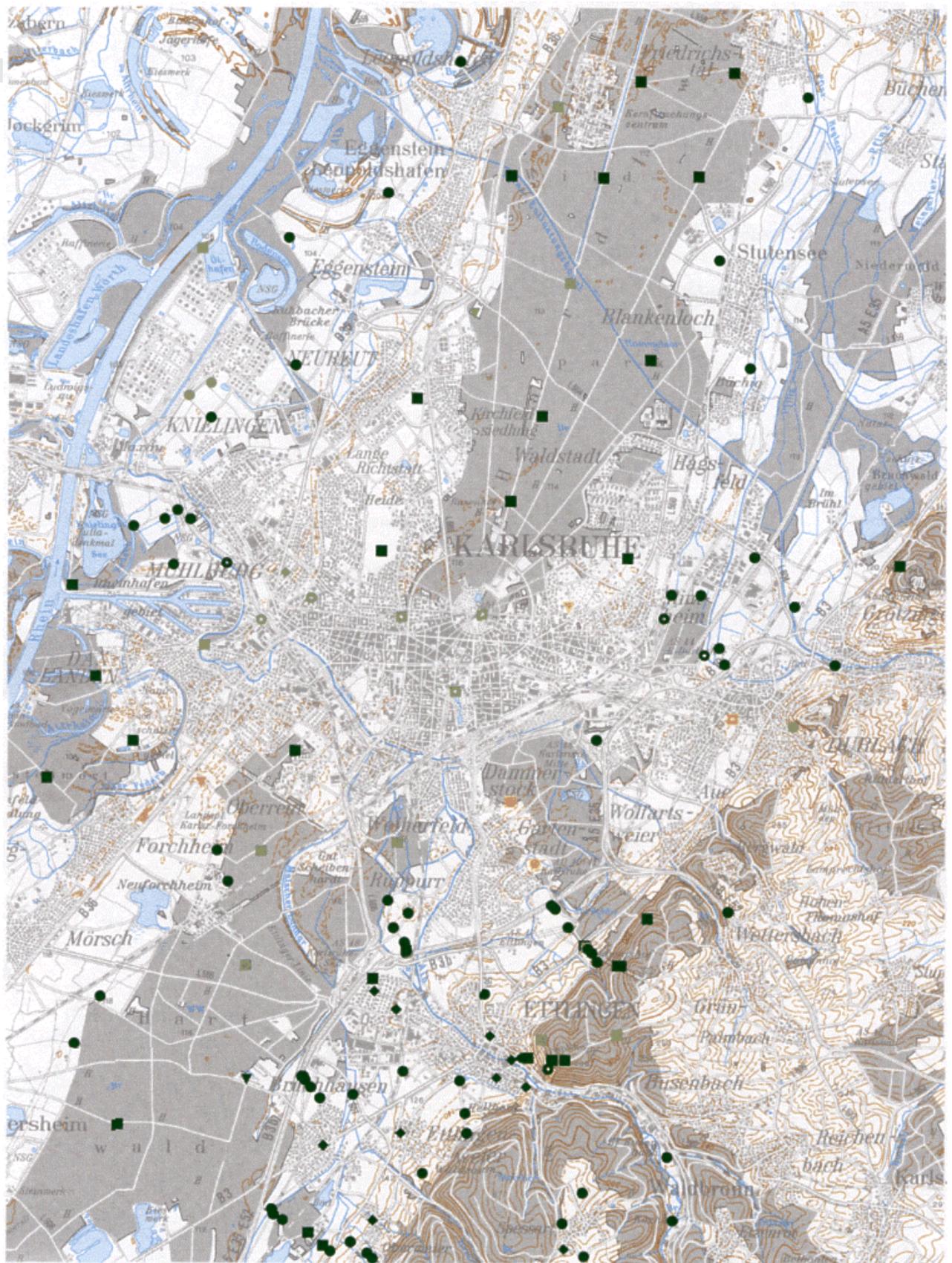


Abbildung 4.13-4: Häufigkeitsverteilung der PCB-Gehalte in Karlsruher Böden, gruppiert nach dem Bodenumfeld



Karte 4.13-1: Gebalte an polychlorierten Biphenylen in Karlsruher Böden

4.14 Polychlorierte Dibenzo-p-dioxine und Dibenzofurane

Abbildung 4.14-1 zeigt die Häufigkeitsverteilung der PCDD/F-Kongenere. Am häufigsten sind die Hepta- und Oktachlordibenzo-p-dioxine (HpCDD, OCDD) sowie die Dibenzofurane (HpCDF, OCDF) mit Gehalten im Bereich 5 bis 1000 ng/kg.

Aufgrund der unterschiedlichen Toxizität der PCDD/F-Kongenere wird die Bewertung anhand der internationalen toxischen Äquivalente vorgenommen. Die Gehalte werden in der entsprechenden Dimension (I-TEq in ng/kg) angegeben.

90% der bislang untersuchten Böden im Raum Karlsruhe weisen Gehalte bis 19 ng/kg als I-TEq auf (Tabelle 4.14-1).

PCDD/F sind somit in Böden des Raumes Karlsruhe – wie auch in Böden anderer Städte – deutlich über den landesweiten Hintergrundbereich angereichert [vgl. LfU 1993].

Die Anreicherungen sind nach Nutzungen sowie räumlich unterschiedlich. Böden von Park- und Grünanlage sowie Böden im Bereich Gewerbe und Verkehr sind deutlich kontaminiert (Abbildung 4.14-2, 4.14-3).

Im Gegensatz zur Verteilung der Schwermetalle sind in Oberböden unter Forst ebenfalls vereinzelt erhöhte Gehalte erkennbar; 90% dieser Böden weisen Gehalte bis 20 ng I-TEq/kg auf. Die Mobilität der PCDD/F ist in Böden jedoch i.d.R. gering. Sie werden bevorzugt an die organische Substanz im Boden gebunden.

Tabelle 4.14-1: Statistische Kenndaten der PCDD/F-Gehalte in Karlsruher Böden (n = 90)

	Gesamt		Außenb.		Siedlungsb.	
	50.P	90.P	50.P	90.P	50.P	90.P
I-TEq in ng/kg	2,3	19	0,5	2,3	3,0	20

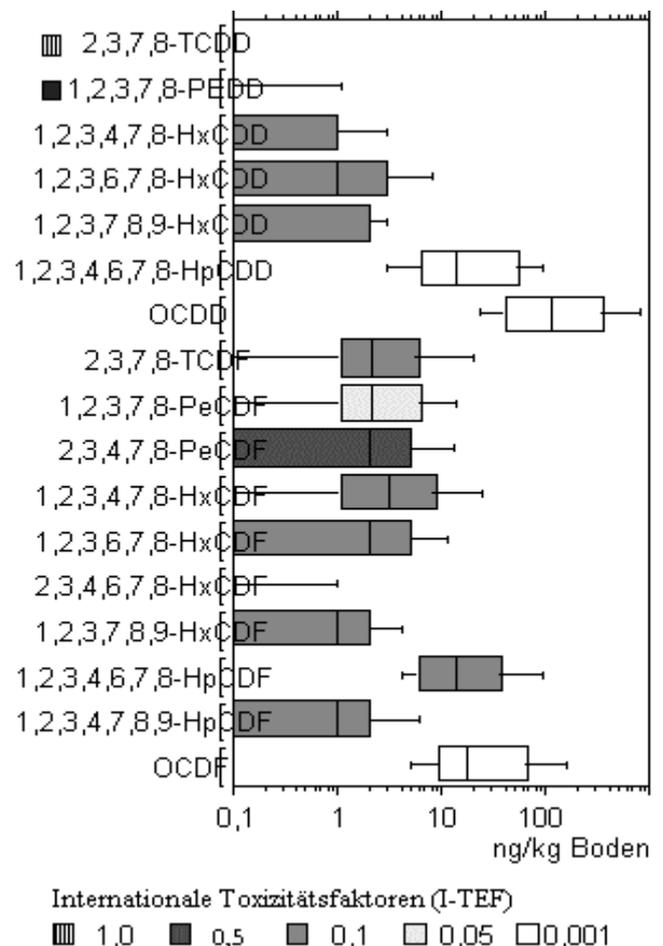


Abbildung 4.14-1: Häufigkeitsverteilung verschiedener PCDD/F-Kongenere in Karlsruher Böden

Die Böden des Außenbereichs von Karlsruhe weisen insgesamt geringere PCDD/F-Gehalte als die Böden des Siedlungsgebietes auf (Abbildung 4.14-3). Die Karte 4.14-1 gibt die räumliche Verteilung der PCDD/F-Gehalte wieder. Es ist zu erkennen, daß PCDD/F-Gehalte über 5 ng I-TEq/kg (Prüfwert für die Beweidung) im Bereich der Innenstadt von Karlsruhe am häufigsten sind.

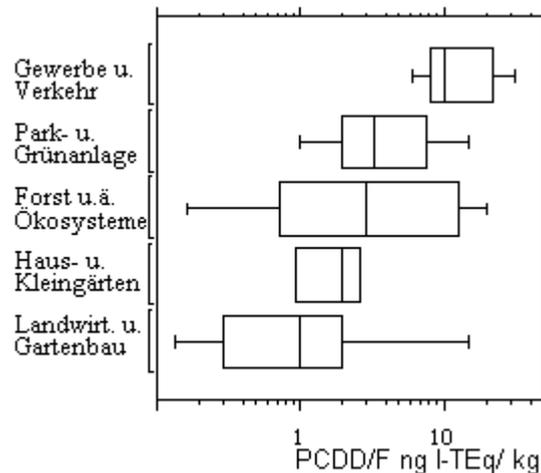


Abbildung 4.14-2: Häufigkeitsverteilung der PCDD/F-Gehalte in Karlsruher Böden, gestuft nach Boden-nutzungen

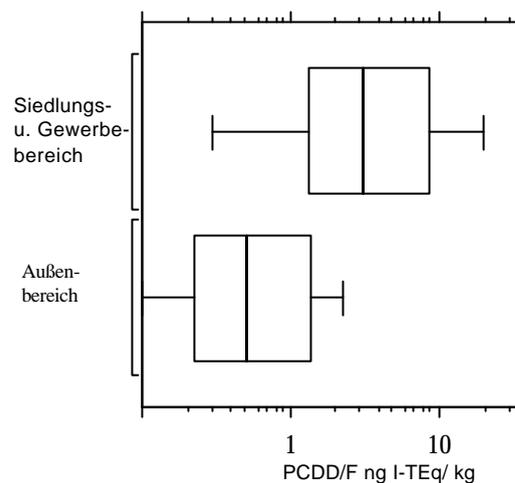
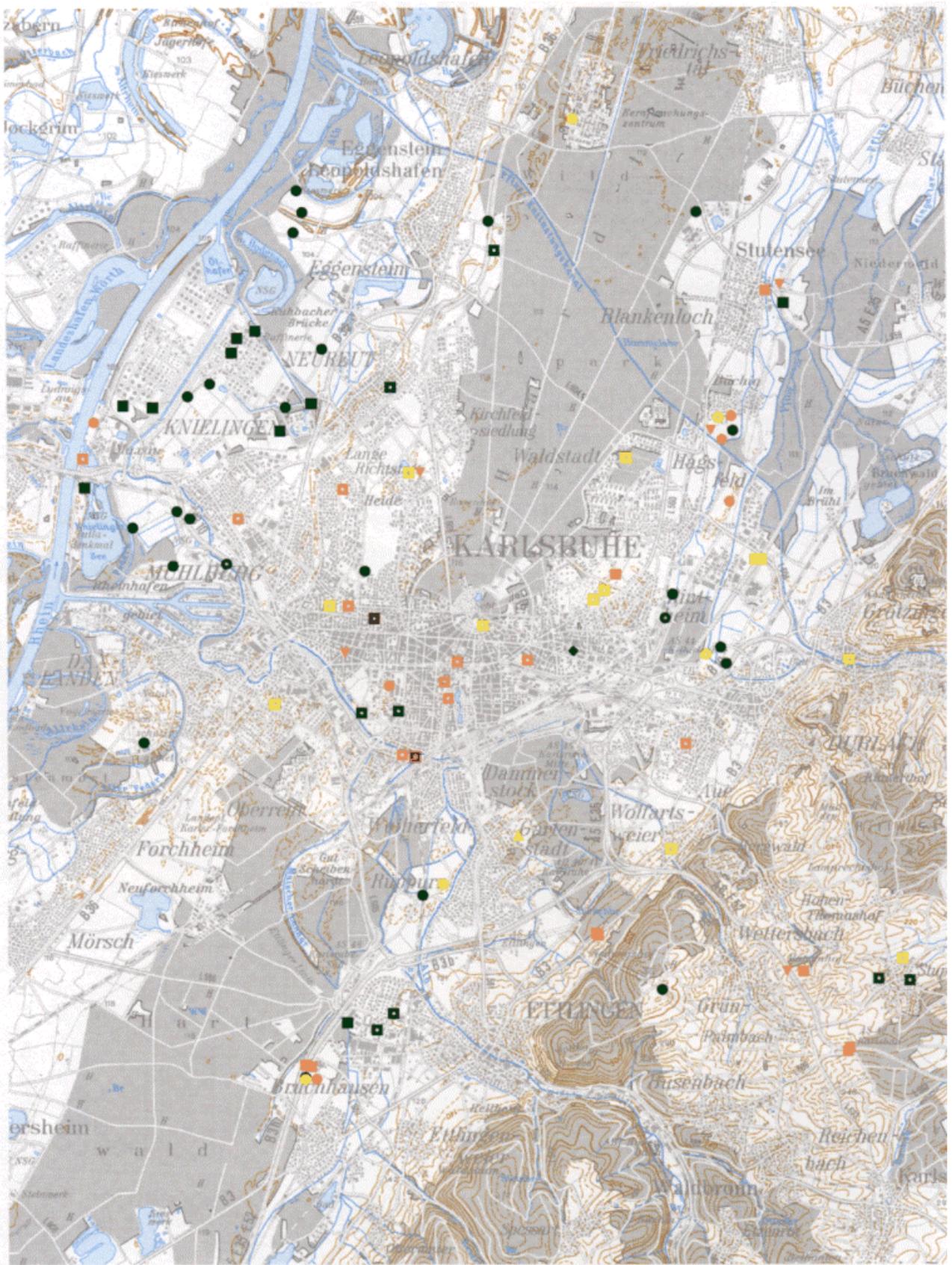


Abbildung 4.14-3: Häufigkeitsverteilung der PCDD/F-Gehalte in Karlsruher Böden, gestuft nach dem Boden-umfeld



Karte 4.14-1: Gebalte an polychlor. Dibenzo-p-dioxinen und Dibenzofuranen in Karlsruher Böden

4.15 Hexachlorbenzol

Aus der Gruppe der Organochlorverbindungen wurde im Raum Karlsruhe zusätzlich Hexachlorbenzol (HCB) in 62 Oberböden analysiert. HCB war in der Bundesrepublik Deutschland bis 1977 als Pflanzenschutzmittel zugelassen.

90% der HCB-Gehalte liegen unterhalb 2,6 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (Tabelle 4.15-1). Wie Abbildung 4.15-1 zeigt, liegen die HCB-Gehalte überwiegend unterhalb 1 $\mu\text{g}/\text{kg}$, in Böden unter Landwirtschaft und Gartenbau sind allerdings leicht erhöhte Gehalte erkennbar. Das 90. Perzentil der Gehalte beträgt hier 4,5 $\mu\text{g}/\text{kg}$. HCB-Gehalte oberhalb 3 $\mu\text{g}/\text{kg}$ treten an Einzelstandorten im Bereich der Niederterrasse nördlich von Karlsruhe, an einem intensiv gartenbaulich genutzten Standort (Profil 310.147) und an einem Niedermoor (Profil 310.124) auf.

Tabelle 4.15-1: Statistische Kenndaten der HCB-Gehalte in Karlsruher Böden (n = 62)

	Gesamt		Außenb.		Siedlungs-	
	50.P	90.P	50.P	90.P	50.P	90.P
HCB in $\mu\text{g}/\text{kg}$	0,7	2,6	0,7	1,8	0,7	3,8

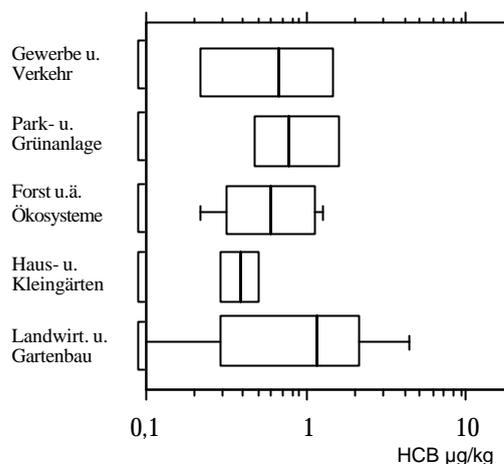


Abbildung 4.15-1: Häufigkeitsverteilung der HCB-Gehalte in Karlsruher Böden, gestuft nach Bodennutzungen

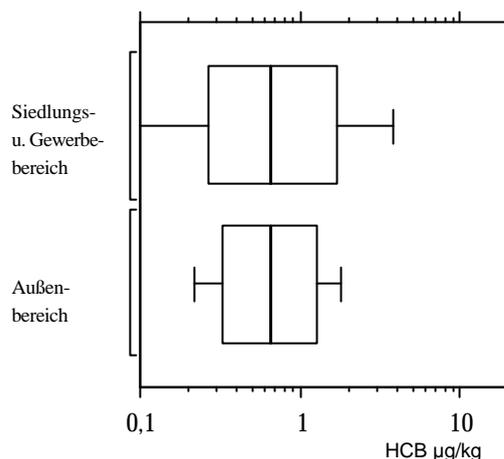


Abbildung 4.15-2: Häufigkeitsverteilung der HCB-Gehalte in Karlsruher Böden, gestuft nach dem Bodenumfeld

5 Schlußfolgerungen

5.1 Aktuelle Beeinträchtigung der Schutzgüter

Für die Beurteilung der Funktionserfüllung von Böden wurden schutzgutbezogene Prüfwerte festgelegt (Tabelle 1.3-1). Für die folgende Beurteilung der aktuellen Beeinträchtigung der Schutzgüter werden die jeweilig zutreffenden Prüfwerte herangezogen. So wird z.B. der Prüfwert hinsichtlich der Pflanzenqualität nur für Äcker und Kleingärten, nicht jedoch bei einer Parkanlage berücksichtigt.

5.1.1 Direktpfad Boden-Mensch

Die Prüfwerte für den Aufenthalt von Kindern auf **Spielflächen** basieren auf der Annahme, daß dort spielende Kinder durchschnittlich 0,5 g Boden / Tag aufnehmen (orale Aufnahme durch Hand-zu-Mund-Aktivität). Diese Prüfwerte wurden auf einem Spielplatz (Profil 310.107) bei Blei und Benzo[a]pyren überschritten. Der Spielplatz wurde inzwischen von der Stadt Karlsruhe saniert.

Die Prüfwerte für den Aufenthalt von Menschen in **Siedlungsflächen** basieren auf der Annahme, daß dort spielende Kinder durchschnittlich 0,1 g Boden / Tag aufnehmen. Diese Prüfwerte bieten nach UM/SM [1993] auch für erwachsene Menschen ausreichend Schutz. Im Siedlungsgebiet Karlsruhe werden diese Prüfwerte hinsichtlich des Aufenthalts von Menschen bei Benzo[a]pyren an einer Parkanlage (Profil 310.105) und bei Blei an drei Kleingartenanlagen überschritten. Die betreffenden Kleingartenanlagen werden derzeit im Rahmen der Erkundung von Altablagerungen weiter untersucht.

Wegen des möglichen Eintrags von Blei und Benzo[a]pyren über die Luft – insbesondere im unmittelbaren Einwirkungsbereich von Emissionen des Straßenverkehrs – sollten im Siedlungsgebiet vegetationslose Oberböden von Spielflächen, die langjährig nicht bearbeitet bzw. nicht mit unbelasteten Böden überdeckt wurden, untersucht und ggf. überwacht werden.

5.1.2 Pfad Boden-Pflanze-Mensch/Tier

An den landwirtschaftlich genutzten Böden 310.153 (Acker) und 310.157 (Grünland) wird der Prüfwert für mobiles Cadmium hinsichtlich der Pflanzenqualität überschritten. In beiden Fällen liegen die Cadmium-Gesamtgehalte nahezu im Hintergrundbereich und die hohe Mobilität des Cadmiums ist ausschließlich auf die Bodenversauerung zurückzuführen. Hier wird eine Demobilisierung des Cadmiums durch Kalkung empfohlen.

Im Stadtkreis Karlsruhe befinden sich 108 Kleingartenanlagen. Einige Anlagen wurden auf Altablagerungen angelegt [KA 1993]. Die Beschaffenheit der Oberböden muß daher standortspezifisch beurteilt werden. Blei, Cadmium und PAK sind dort im Hinblick auf die Qualität von Nahrungspflanzen vordringlich kritisch, während Kupfer und Zink eher unbedenklich sind.

Sandige Böden des Hochgestades und der Buntsandstein-Hochebene neigen leicht zur Bodenversauerung. Mit dem Absinken des Boden-pHs wird Cadmium zunehmend mobilisiert. Bei Cadmium-Gesamtgehalten unterhalb der landesweiten 90.P-Hintergrundwerte reicht eine Demobilisierung des mobilen Cadmiums durch Kalkung. In städtischen bzw. verkehrsnahen Kleingärten sind zusätzlich Blei und PAK relevante Schadstoffe. Von bodennah wachsenden Nahrungspflanzen sollten hier – wegen des Eintrags von Schadstoffen über die Luft und über Spritzwasser aus dem Boden – die äußeren Pflanzenteile vor dem Verzehr entfernt werden.

5.1.3 Pfad Boden(-Pflanze)-Tier-Mensch

Bereits geringfügig erhöhte PCDD/F-Gehalte in Oberböden über 5 ng I-TEq/kg sind über den Pfad Boden(-Pflanze)-Tier-Mensch für die menschliche Gesundheit bedenklich. Im Raum Karlsruhe wurde an fünf Standorten mit Grünlandnutzung der Prüfwert überschritten (Profile: 19.74, 19.75, 19.79, 28.2085, 101.37).

Im Siedlungsgebiet Karlsruhe weisen langjährig nicht bearbeitete Oberböden häufig PCDD/F-Gehalte über 5 ng I-TEq/kg auf. Diese Böden sollten nur eingeschränkt - wenn auch hier selten üblich - für die bodenbegundene Tierhaltung genutzt werden [vgl. UM 1992].

5.1.4 Pfad Boden-Pflanze

Prüfwerte hinsichtlich des Pflanzenwachstums werden an zwei Forst-Standorten überschritten (Profil 310.160 bzgl. Nickel und am Profil 310.129 bzgl. Zink). Ursache der hier erhöhten Gehalte an mobilen Spurenelementen ist die Bodenversauerung. Neben den Schwermetallen wird Aluminium mobilisiert und basisch wirkende Kationen werden ausgewaschen. Das gelöste Aluminium kann in erhöhten Konzentrationen das Wachstum der Bäume beeinträchtigen. Die Basensättigung dieser Böden erreicht vereinzelt bereits kritische Werte unterhalb 10% [FVA 1992]. Damit besteht im Hinblick auf die forstwirtschaftliche Nutzung Kalkungsbedarf. Neben der natürlichen Ausstattung der Böden (pufferarm, sandig) und den darauf einwirkenden sauren Depositionen führt lokal auch die aktuelle Nutzung zu Beeinträchtigungen des Bodenzustands. Fichten- und Kiefernreinbestände bewirken nach REHFUESS [1990] auf schwach gepufferten Böden eine Degradation des pH-Werts, der Humusform und des Angebots an verfügbaren Nährstoffen.

5.1.5 Pfad Boden(-Pflanze)-Tier

Im Raum Karlsruhe weisen Böden unter Sonderkulturnutzungen (z. B. Spargelanbau, Rebanbau) vereinzelt erhöhte Kupfergehalte oberhalb des vorgeschlagenen Prüfwertes für Kupfer-Gesamtgehalte hinsichtlich des Direktpfads Boden-Tier (110 mg/kg) bzw. für mobiles Kupfer hinsichtlich des Pfads Boden-Pflanze-Tier (1.000 µg/kg) auf.

Bei der Folgenutzung solcher Flächen sollte im Hinblick auf gesundheitliche Beeinträchtigungen von Schafen keine Weidehaltung von Schafen bzw. keine Futtergewinnung für Schafe stattfinden.

5.1.6 Pfad Boden-Sickerwasser

Durch punktuelle Quellen (defekte Kanäle, Unfälle, Altablagerungen, Altstandorte) tragen belastete Sickerwässer zur Kontamination

des Grundwassers bei. Langfristig wirkt sich auch die Bodenversauerung im Bereich des Hochgestades und Buntsandsteinanstiegs nachteilig auf die Filter- und Pufferfunktion der Böden gegenüber dem Grundwasser aus. An sieben Standorten wurde der Prüfwert für mobiles Zink hinsichtlich der Qualität des Sickerwassers in Oberböden (5.000 µg/kg) überschritten. Wie das Tiefenprofil 155 im südlichen Hardwald zeigt (Abbildung 4.7-6), nehmen die Gehalte an mobilem Zink dort bis in mehr als 2 Meter Tiefe deutlich ab. Die Zink-Gesamtgehalte im Oberboden sind mit weniger als 100 mg/kg gering. Eine tiefgehende Verlagerung von Zink ist zwar nicht auszuschließen, jedoch sind die noch mobilisierbaren Zn-Gesamtgehalte des Bodens gering. Ähnliche Tendenzen zeigen auch Blei und Cadmium (hohe Mobilität bei geringen, potentiell verlagerbaren Gesamtgehalten). Im Bereich des Buntsandstein-Anstiegs bei Ettlingen (Profil 310.160) liegen erhöhte Gehalte an mobilem Arsen, Nickel und Zink vor.

Erhöhte Nitrat-Gehalte wurden in Böden des Durlacher Trinkwasserschutzgebietes in den Jahren 1989 bis 1992 ermittelt. Die Böden werden überwiegend durch Garten- und Gemüsebau genutzt. Es wird empfohlen, in den Betrieben auf eine bedarfsgerechte Stickstoffdüngung zu achten, um eine mögliche Kontamination des Grundwassers zu vermeiden.

5.2 Nutzungsänderung und Verwertung von Bodenaushub

Böden, die heute forstwirtschaftlich oder landwirtschaftlich genutzt werden, könnten künftig anderen Nutzungen zugeführt werden (z.B. Gewerbe-, Siedlungs- oder Spielflächen). Die Schadstoffgehalte müssen daher im Rahmen des im Bodenschutzgesetz Baden-Württemberg enthaltenen Vorsorgeaspektes auch unabhängig von der aktuellen Nutzung betrachtet werden.

Tabelle 5.2-1 gibt die Häufigkeit von Prüfwert-Überschreitungen hinsichtlich der Schutzgüter Menschen, Tiere und Pflanzen wieder. Für diese Berechnung wurden alle bislang untersuchten Oberböden zugrunde gelegt. Im Raum Karlsruhe sind demnach – wie auch in anderen Siedlungsgebieten – Blei und PAK Problemschadstoffe im Hinblick auf die orale Aufnahme von Boden durch Kinder. Beeinträchtigungen der Pflanzenqualität sind im Raum Karlsruhe überwiegend durch mobiles Cadmium oder durch Kontaminationen mit Blei oder PAK bedingt. Bei der boden-

gebundenen Nutztierhaltung sind die z. T. großflächig erhöhten Gehalte an PCDD/F der Böden im Siedlungsbereich zu beachten. Im Siedlungsgebiet überschreiten 17% der untersuchten Böden den Blei-Prüfwert für Spielflächen, 38% den PAK-Prüfwert für Spielflächen und 40% den PCDD/F-Prüfwert für die bodengebundene Nutztierhaltung.

Um die Verbringung belasteter Böden aus der Innenstadt in den weitgehend unbelasteten Außenbereich auszuschließen, sollte dort entstehender Bodenaushub mindestens auf Cadmium, Blei- und Benzo[a]pyren untersucht und in Abhängigkeit vom Schadstoffgehalt einer entsprechenden Verwertung zugeführt werden. Ausführliche Hinweise zum Umgang mit Bodenaushub sind in UM [1994] enthalten.

Tabelle 5.2-1: Häufigkeit für Prüfwertüberschreitungen im Raum Karlsruhe im Hinblick auf die Schutzgüter Menschen (Aufenthalt auf Spielflächen, Siedlungsflächen, Gewerbeflächen), Nahrungspflanzen, Futterpflanzen, Pflanzenwachstum und Beweidung (Pfad Boden-Tier-Mensch) – unabhängig von der derzeitigen Nutzung (Spielflächenprüfwert wird z. B. im Forst angewendet)

	Spiel- flächen	Sied- lungs- fläche	Gewerbe- fläche	Nahrungs- pflanzen	Futter- pflanzen	Pflanzen- wachstum	Beweidung
As	3%	0%	0%	2%	2%	0%	-
Cd	<1%	0%	0%	23%	23%	-	-
Cr	1%	0%	0%	-	-	-	-
Cu	-	-	-	-	0%	0%	-
Hg	0%	0%	0%	-	-	-	-
Ni	0%	0%	0%	-	-	2%	-
Pb	11%	1%	0%	33%	33%	-	-
Tl	3%	0%	0%	0%	0%	-	-
Zn	-	-	-	-	11%	2%	-
PAK	17%	1%	0%	----- 9%-----			
PCB	0%	0%	0%	----- 2%-----			
PCDD/F	3%	0%	0%	0%	0%	-	34%

5.3 Karlsruhe im Vergleich

Für die Beurteilung der Schadstoffgehalte ist ein Vergleich der Daten sowohl mit den Hintergrundwerten des ländlichen Raums in Baden-Württemberg als auch mit anderen dicht besiedelten Räumen hilfreich. In Abbildung 5.3-1 ist die Häufigkeit dargestellt, mit der die 90.P-Hintergrundwerte, die die Schadstoffgehalte im ländlichen Raum Baden-Württembergs repräsentieren, überschritten werden. Am häufigsten sind in Böden des Raums Karlsruhe somit Kontaminationen durch PAK, PCDD/F und Blei zu erwarten. Die Karlsruher Böden weisen weitgehend natürliche As-, Ti- und Ni-Gehalte auf.

Die Karlsruher Böden weisen mit Pforzheim und Kehl vergleichbare PAK-, PCB- und PCDD/F-Gehalte auf (Tabelle 5.3-1). Damit wird deutlich, daß Bodenbelastungen durch organische Schadstoffe eng verknüpft sind mit Emissionen des Hausbrands und des Straßenverkehrs.

Im Raum Karlsruhe folgt die Verteilung der Schwermetallgehalte – mit Ausnahme intensiv genutzter Böden im Stadtgebiet – den naturräumlichen Gegebenheiten. Bedingt durch die überwiegend sandigen Böden im Bereich des Karlsruher Hochgestades und Buntsandsteinanstiegs sind deren Gesamtgehalte an Schwermetallen gering. Die in diesen Bereichen pufferarmen Böden weisen jedoch hohe Gehalte an mobilen Schwermetallen auf.

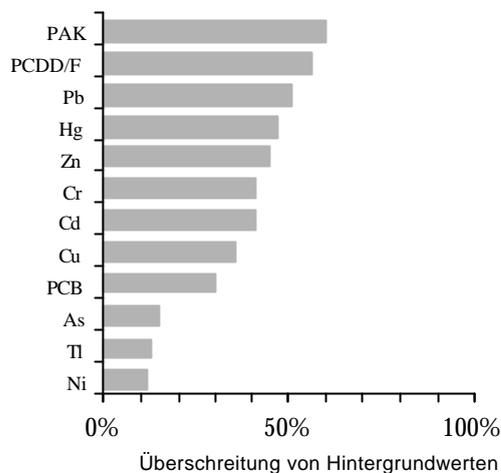


Abbildung 5.3-1: Häufigkeit der Überschreitung der landesweiten 90.P-Hintergrundwerte im Raum Karlsruhe, getrennt nach Komponenten

Tabelle 5.3-1: Schadstoffgehalte in Böden baden-württembergischer Siedlungsräume [UM 1995a, b]

		Karlsruhe				Kehl				Pforzheim				
		Außenb.		Siedl.be		Außenb.		Siedl.ber.		Außenb.		Siedl.ber.*		
				r.*				*						
		50.P	90.P	50.P	90.P	50.P	90.P	50.P	90.P	50.P	90.P	50.P	90.P	
As	Arsen gesamt	mg/kg	5,7	15	6,9	16	4,9	10	7,4	15	9	20	14	29
	mobil	µg/kg	19	46	17	37	-	-	-	-	26	44	28	49
Be	Berylliumgesar	mg/kg	0,5	1,6	0,5	1,4	-	-	-	-	1,5	2,9	1,7	2,8
	mobil	µg/kg	3	28	<1	29	-	-	-	-	6,9	64	5,8	15
Cd	Cadmiumgesar	mg/kg	0,2	0,6	0,4	1,0	<0,1	0,3	0,3	1,0	0,4	2,2	0,6	7,2
	mobil	µg/kg	10	43	8	62	6,4	19	3,4	16	49	360	15	220
Co	Kobalt gesamt	mg/kg	-	-	-	-	7,0	9,8	6,8	8,9	-	-	-	-
	mobil	µg/kg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cr	Chrom gesamt	mg/kg	30	55	24	70	54	86	48	69	57	130	31	100
	mobil	µg/kg	14	38	13	24	-	-	-	-	31	53	36	51
Cu	Kupfer gesamt	mg/kg	9	29	25	59	20	32	27	59	19	76	61	290
	mobil	µg/kg	-	<400	-	<400	-	-	-	-	<400	430	<400	720
Hg	Quecksilberges	mg/kg	0,06	0,29	0,09	0,50	0,14	0,28	0,20	0,94	0,06	0,21	0,23	0,90
	mobil	µg/kg	-	<1,0	-	<1,0	-	-	-	-	-	<1,0	-	<1,0
Ni	Nickel gesamt	mg/kg	9	31	16	28	21	29	20	25	31	78	27	47
	mobil	µg/kg	210	510	80	260	-	-	-	-	210	680	170	790
Pb	Blei gesamt	mg/kg	30	60	47	140	41	93	62	140	34	60	51	180
	mobil	µg/kg	140	2500	<20	1100	-	-	-	-	<20	920	<20	86
Pt	Platin gesamt	mg/kg	<0,0	0,01	<0,0	0,02	-	-	-	-	-	<0,01	<0,01	0,04
	mobil	µg/kg	1		1									
Sb	Antimongesam	mg/kg	0,3	1,5	0,6	3,1	-	-	-	-	0,5	1,2	1,0	1,9
	mobil	µg/kg	6	17	7	39	-	-	-	-	5	12	7	34
Tl	Thalliumgesam	mg/kg	0,2	0,4	0,1	0,3	-	-	-	-	0,4	0,8	0,4	0,6
	mobil	µg/kg	3	8	4	12	-	-	-	-	4,1	6,4	4,6	6,3
V	Vanadi.gesamt	mg/kg	-	-	-	-	46	82	40	57	-	-	-	-
	mobil	µg/kg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zn	Zink gesamt	mg/kg	38	130	71	200	83	130	160	450	69	160	110	400
	mobil	µg/kg	<100	4800	<100	6900	-	-	-	-	930	5900	110	5300
Cs	Cäsium 134	Bq/kg	2,9	5,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	137	Bq/kg	34	62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pu	Plutonium 283	Bq/kg	-	<1,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	239+240	Bq/kg	-	<1,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NO ₃ ⁻	Nitrat 1992	kg ₀₋₉₀ /ha	-	180	-	-	-	120	-	-	-	120	-	-
PAK ₁₆		mg/kg	0,9	2,6	3,5	15	-	-	-	-	1,1	2,1	1,8	17
BaP	Benzo[a]pyren	mg/kg	0,07	0,3	0,15	1,6	0,05	0,10	0,10	1,2	0,1	0,2	0,3	1,9
PCB ₆		µg/kg	3,6	14	7,9	110	-	<30	<30	130	7,2	27	9,3	160
PCDD/F	I-TEq	ng/kg	0,5	2,3	3,0	20	1,6	2,9	2,6	31	-	-	4,2	21
HCB		µg/kg	0,7	1,8	0,7	3,8	-	-	-	-	0,6	5,0	1,0	17

*: einschl. Spielflächen, Siedlungsflächen und Gewerbeflächen

6 Abkürzungen

50.P	50. Perzentil (Median)	PCB ₆	Summe folgender 6 PCB's:
90.P	90. Perzentil	PCB 28	2,4,4'-Trichlorbiphenyl
AbfKlärV	Klärschlammverordnung	PCB 52	2,2',5,5'-Tetrachlorbiphenyl
As	Arsen	PCB 101	2,2',4,5,5'-Pentachlorbiphenyl
BaP	Benzo[a]pyren	PCB 138	2,2',3,4,4',5'-Hexachlorbiphenyl
Be	Beryllium	PCB 153	2,2',4,4',5,5'-Hexachlorbiphenyl
BMU	Bundes-Umweltministerium	PCB 180	2,2',3,4,4',5,5'-Heptachlorbiphenyl
BodSchG	Bodenschutzgesetz Baden-Württemberg	PCDD	Polychlorierte Dibenzo-p-dioxine
Bq	Becquerel	PCDD/F	Polychlorierte Dibenzo-p-dioxine und Dibenzofurane
Cd	Cadmium	PCDF	Polychlorierte Dibenzofurane
Cr	Chrom	pH(CaCl ₂)	Boden-pH in CaCl ₂ -Lösung
Cs	Cäsium	Pt	Platin
Cu	Kupfer	Pu	Plutonium
EPA	US-Amerikanische Umweltbehörde	Sb	Antimon
FVA	Forstwirtschaftliche Versuchsanstalt	SchAIV	Schutzgebietsausgleichsverordnung
HCB	Hexachlorbenzol	SM	Sozialministerium
Hg	Quecksilber	SO ₂	Schwefeldioxid
I-TEq	Internationale Toxizitätsäquivalente nach NATO/CCMS	ges	Gesamtgehalt eines Elementes im Boden (Königswasseraufschluß)
KfK	Kernforschungszentrum	T1...T6	Tongehaltsgruppen nach 3.VwV (mit der Fingerprobe zu ermitteln)
LABfG	Landesabfallgesetz	T1	0-8 % Ton
LfU	Landesanstalt für Umweltschutz	T2	>8 - 17 % Ton
LUFA	Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Versuchsanstalt	T3	>17 - 27 % Ton
mob	mobiler Anteil eines Elementes im Boden (Ammoniumnitrat-Extraktion)	T4	>27 - 45 % Ton
mg/kg	10 ⁻⁶	T5	>45 - 65 % Ton
n	Anzahl	T6	>65 % Ton
ng/kg	10 ⁻¹²	TCDD	2,3,7,8-Tetrachlordibenzodioxin
Ni	Nickel	Tl	Thallium
NO ₃	Nitrat	TrinkwV	Trinkwasserverordnung
NO _x	Stickstoffoxide	UM	Umweltministerium
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe	V	Vanadium
PAK ₁₆	Summe 16 PAK nach EPA	VwV	Verwaltungsvorschrift (zum BodSchG)
Pb	Blei	WBA	Amt für Wasserw. und Bodenschutz
PCB	Polychlorierte Biphenyle	Zn	Zink
		µg/kg	10 ⁻⁹

7 Literaturverzeichnis

- Blume H.-P. (Hrsg.) (1992): Handbuch des Bodenschutzes - Bodenökologie und -belastung Vorbeugende und abwehrende Schutzmaßnahmen.- Ecomed-Verlag, 2. Auflage: 794 S.; Landsberg.
- EM [Ministerium für Ernährung Landwirtschaft Umwelt und Forsten Baden-Württemberg, Hrsg.] (1986): Emissionskataster Karlsruhe - Quellengruppe Verkehr.- Bericht, EM-21-86: 56 S.; Stuttgart.
- Ett [Stadt Ettlingen, Hrsg.] (1991): Bodenbelastungskataster der Stadt Ettlingen.- Studie im Auftrag der Stadt Ettlingen, [unveröffentlichter Bericht]: 39 S.; Ettlingen.
- FVA [Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg] (1992): Analysendaten im Rahmen der Düngeberatung.- Schreiben des FVA an das Forstamt Karlsruhe vom 3. 11.1993, Az.: 3-8634.23 Hi/Vö: 12 Tabellen; Freiburg.
- KA [Stadt Karlsruhe, Hrsg.] (1992): Statistisches Jahrbuch der Stadt Karlsruhe.- Stadt Karlsruhe: 300 S.; Karlsruhe.
- KA [Stadt Karlsruhe, Hrsg.] (1993): Altstandorte und Altablagerungen 1:10 000.- Stadt Karlsruhe, Umweltamt: 30 S.; Karlsruhe.
- Kaltenbach D. (1988): Eigenschaften und Nutzung von Böden in der Rheinebene nördlich von Karlsruhe.- Diplomarbeit an der Westfälischen Wilhelms Universität Münster, Studienrichtung Landschaftsökologie, Studiengang Geographie: 136 S.; Münster.
- KfK [Pimpl M., Yordanova I., Allers S. & Hiller J.] (1991): Radionukleide und Schwermetalle in Bodenproben aus der Hauptausbreitungssektoren der Verbrennungsanlage der HDB.- Kernforschungszentrum Karlsruhe, Jahresbericht 1990 der Hauptabteilung Sicherheit, KfK 4830: 106-112; Karlsruhe.
- LfU [Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Hrsg.] (1992): Abfrage der Datenbank des Grundwassermeßnetzes Baden-Württemberg vom 4.2.1992.- Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Ref. Grundwasser, [unveröffentlicht]; Karlsruhe.
- LfU [Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Hrsg.] (1992): Grundwasserüberwachungsprogramm - Ergebnisse der Beprobung 1991.- Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Ref. Grundwasser: 40; Karlsruhe.
- LfU [Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Hrsg.] (1992): Grundwasserüberwachungsprogramm - Pilotprojekt Karlsruhe.- Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Ref. Grundwasser: 153 S.; Karlsruhe.
- LfU [Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg Hrsg.] (1992): Richtlinie zur Bestimmung von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen in Boden-, Abfall- und Altlastenproben - Bearbeitung Dr. I. Blankenhorn und Dr. C. Hornung.- LfU , PAK 7/92: 8 S.; Karlsruhe.
- LfU [Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg Hrsg.] (1993): Dioxine in Böden Baden-Württembergs.- Materialien zum Bodenschutz, Band 1: 60; Karlsruhe.
- LfU [Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Hrsg.] (1993): Grundwasserüberwachungsprogramm - Ergebnisse der Beprobung 1992.- Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Ref. Grundwasser: 49 S.; Karlsruhe.
- LfU [Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg Hrsg.] (1993): Bodendauerbeobachtung in Baden-Württemberg, Schwermetalle, Arsen, Organochlorverbindungen.- Materialien zum Bodenschutz, Band 2: 33 S.; Karlsruhe.
- LIS [Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, Hrsg.] (1993): Bildschirmtabellen des Landesinformationssystems (LIS).- Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, Stand 18.1.1993: 10 S.; Stuttgart.
- LUFÄ [Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt Augustenberg] (1993): Auswertung des Schwermetallkatasters vom 1.3.1993.- LUFÄ, IuK-SMKAT: 5 S.; Karlsruhe.

- MLR [Ministerium Ländlicher Raum Baden-Württemberg, Hrsg.] (1990): Informationen für die Pflanzenproduktion - Ergebnisse der Nitratuntersuchungen in den Böden der Wasserschutzgebiete Baden-Württembergs zu Vegetationsende 1989.- Ministerium Ländlicher Raum Baden-Württemberg, 1/1990: 192 S.; Stuttgart.
- MLR [Ministerium Ländlicher Raum Baden-Württemberg, Hrsg.] (1991): Nitrat-Bericht 1990 - Pflanzenbeuliche Auswertungen der Nitratuntersuchungen der Böden im Rahmen der SchAIVO-Kontrolle zu Vegetationsende 1990.- Ministerium Ländlicher Raum Baden-Württemberg, : 184 S.; Stuttgart.
- Prüß A. (1992): Vorsorgewerte und Prüfwerte für mobile und mobilisierbare, potentiell öko-toxische Spurenelemente in Böden.- Verlag Ulrich E. Grauer: 145 S.; Wendlingen, Stuttgart.
- Prüß A. (1994): Einstufung mobiler Spurenelemente in Böden.- In: Rosenkranz, Bachmann, Einsele & Harreß [Hrsg.], Kennziffer 3600: 59 S.; Berlin.
- Rehfuess K. E. (1990): Waldböden-Entwicklung.- Pareys Studentexte, 29: 192 S.; Hamburg, Berlin.
- Rosenkranz D., Bachmann G., Einsele G. & H.-M. Harreß [Hrsg.] (1994): Bodenschutz.- E.Schmidt Verlag, Ergänzbares Handbuch; Berlin.
- Schachtschabel P., Blume H.-P., Brümmer G., Hartge K.-H., Schwertmann U., Fischer W.R., Renger M. & O. Strebel (1992): Lehrbuch der Bodenkunde.- Ferdinand Enke Verlag, 13. Auflage: 491 S.; Stuttgart.
- UM [Ministerium für Umwelt Baden-Württemberg, Hrsg.] (1990): Luftreinhalteplan Karlsruhe 1990.- Bericht, UM-7-90: 266 S.; Stuttgart.
- UM [Umweltministerium Baden-Württemberg Hrsg.] (1992): Richtwerte für dioxinbelastete Böden.- Erlaß vom 21.1.1992, Az.: 44-8810.30/80: 9 S.; Stuttgart.
- UM [Umweltministerium Baden-Württemberg Hrsg.] (1993a): Zweite Verwaltungsvorschrift des Umweltministeriums zum Bodenschutzgesetz über die Probennahme und -aufbereitung (VwV Bodenproben).- Gemeinsames Amtsblatt des Landes Baden-Württemberg (GABL), Heft 30: 1017-1028; Stuttgart.
- UM [Umweltministerium Baden-Württemberg Hrsg.] (1993b): Dritte Verwaltungsvorschrift des Umweltministeriums zum Bodenschutzgesetz über die Ermittlung und Einstufung von Gehalten anorganischer Schadstoffe im Boden (VwV Anorganische Schadstoffe).- Gemeinsames Amtsblatt des Landes Baden-Württemberg (GABL), Heft 30: 1029-1036; Stuttgart.
- UM [Umweltministerium Baden-Württemberg Hrsg.] (1993c): Stellungnahme des Umweltministeriums: Klärschlammverwertung.- Landtag von Baden-Württemberg, Drucksache 11/1351: 13; Stuttgart.
- UM [Umweltministerium Baden-Württemberg Hrsg.] (1994): Leitfaden zum Schutz der Böden beim Auftrag von kultivierbarem Bodenaushub.- Luft, Boden, Abfall, Heft 28: 29 S.; Stuttgart.
- UM [Umweltministerium Baden-Württemberg Hrsg.] (1995a): Bodenzustandsbericht Pforzheim.- Reihe Umweltschutz in Baden-Württemberg, Heft UM-15-95: 61 S., Stuttgart.
- UM [Umweltministerium Baden-Württemberg Hrsg.] (1995b): Bodenzustandsbericht Kehl.- Reihe Umweltschutz in Baden-Württemberg, Heft UM-16-95: 59 S., Stuttgart.
- UM/SM [Umweltministerium Baden-Württemberg, Ministerium für Arbeit, Gesundheit und Sozialordnung Baden-Württemberg, Hrsg.] (1993): Orientierungswerte für die Bearbeitung von Altlasten und Schadensfällen.- Az.: 57-8490.1.40.: 22 S.; Stuttgart.
- Willes R.F., S. Friar, J. Orr, B. Lynch & B. Lynch (1992): Application to point sources of polycyclic aromatic hydrocarbons.- 5th Colloque sur les substances toxiques, Montreal les 1 et 2 Avril 1992: 75 - 100; Montreal.