

# Bodenzustandsbericht Region Freiburg

Stadt Freiburg, Teilräume der Landkreise  
Breisgau-Hochschwarzwald und Emmendingen



# **Bodenzustandsbericht Region Freiburg**

Stadt Freiburg, Teilräume der Landkreise  
Breisgau-Hochschwarzwald und Emmendingen



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

Karlsruhe 2004

**IMPRESSUM**

<b>Herausgeber</b>	Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg 76157 Karlsruhe · Postfach 21 07 52, <a href="http://www.lfu.baden-wuerttemberg.de">http://www.lfu.baden-wuerttemberg.de</a>
<b>Bearbeitung</b>	Regioplus Ingenieurgesellschaft Stuttgart Rainer Gryschko, Dr. Bernd Murschel, Jörg Schneider
<b>Redaktion</b>	Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg Abteilung 2 – Ökologie, Boden- und Naturschutz Vertreter/innen der zuständigen Fachstellen der Stadt Freiburg i. Br. und der Landkreise Breisgau-Hochschwarzwald und Emmendingen sowie des Regierungspräsidiums Freiburg Carolin Callenius, Journalistin in Stuttgart
<b>Umschlaglayout</b>	Stephan May · Grafik-Design, 76227 Karlsruhe
<b>Titelbild</b>	Jutta Ruloff · Diplom-Designerin, 76275 Ettlingen
<b>Druck</b>	DruckWerk // ReproKopie System GmbH Karlsruhe, <a href="http://www.reprokopie.de">www.reprokopie.de</a>
<b>Umwelthinweis</b>	gedruckt auf Recyclingpapier aus 100 % Altpapier
<b>Bezug über</b>	Verlagsauslieferung der LfU bei der JVA Mannheim - Druckerei, Herzogenriedstr. 111, 68169 Mannheim, Telefax 0621/398-370
<b>Preis</b>	9,- €
<b>Nachdruck</b>	Nur mit Zustimmung des Herausgebers unter Quellenangabe und Überlassung von Belegexemplaren gestattet

# Inhalt

	<b>Inhalt</b> .....	<b>3</b>			
	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>5</b>			
<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>8</b>			
<b>2</b>	<b>Das Erhebungsgebiet</b> .....	<b>9</b>			
2.1	Geologie und landschaftliche Gliederung .....	9	4.2.2	Organische Stoffe .....	81
2.2	Böden und Bodennutzungen .....	12	4.2.2.1	Organochlorpestizide .....	81
2.3	Verbreitete Tongehalte der Böden .....	13	4.2.2.2	Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) .....	82
2.4	Schwermetallgehalte der Bodenausgangsgesteine .....	13	4.2.2.3	Polychlorierte Biphenyle (PCB) .....	88
2.5	Erzbergbau und -verarbeitung .....	14	4.2.2.4	Polychlorierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane (PCDD/F) .....	89
2.6	Das Rieselfeld der Stadt Freiburg .....	16	4.2.3	Zusammenfassung Stofflicher Bodenzustand .....	94
<b>3</b>	<b>Methodik</b> .....	<b>17</b>	4.2.3.1	Einfluss des alten Erzbergbaus .....	94
3.1	Schadstoffgehalte der Böden .....	17	4.2.3.1.1	Gesamte Region .....	94
3.1.1	Datenerhebung .....	17	4.2.3.1.2	Differenzierung nach Bergbaugebieten .....	95
3.1.2	Auswertung .....	17	4.2.3.1.3	Bergbau – beeinflusste Talauen und ihre Wassereinzugsgebiete .....	97
3.1.3	Einstufung nach BBodSchV .....	19	4.2.3.1.4	Vom Punkt zur Fläche .....	103
3.1.4	Auswertekarten .....	22	4.2.3.2	Freiburger Rieselfeld .....	107
<b>4</b>	<b>Ergebnisse</b> .....	<b>23</b>	4.2.3.3	Siedlungsgebiete .....	107
4.1	Bodenversauerung .....	23	4.2.3.3.1	Siedlungs- und Außenbereiche .....	107
4.2	Schadstoffe .....	28	4.2.3.3.2	Vergleich verschiedener Siedlungsräume .....	108
4.2.1	Anorganische Stoffe .....	28	4.2.3.3.3	Stadtgebiet von Freiburg .....	108
4.2.1.1	Arsen (As) .....	28	4.2.3.4	Landwirtschaftliche und gärtnerische Nutzung .....	113
4.2.1.2	Blei (Pb) .....	34	4.3	Bodenerosion .....	114
4.2.1.3	Cadmium (Cd) .....	40	4.4	Flächeninanspruchnahme .....	120
4.2.1.4	Chrom (Cr) .....	46	<b>5</b>	<b>Bodenschutz-Maßnahmen</b> .....	<b>123</b>
4.2.1.5	Kupfer (Cu) .....	52	5.1	Bodenversauerung .....	123
4.2.1.6	Nickel (Ni) .....	58	5.2	Schadstoffgehalte der Böden .....	124
4.2.1.7	Quecksilber (Hg) .....	64	5.3	Bodenerosion .....	127
4.2.1.8	Thallium (Tl) .....	68	5.4	Flächeninanspruchnahme .....	128
4.2.1.9	Zink (Zn) .....	74		Literatur .....	129
4.2.1.10	Weitere Spurenelemente .....	80			





# Zusammenfassung

Der Bodenzustandsbericht befasst sich mit

- der Bodenversauerung,
- den Schadstoffgehalten in Böden und Pflanzen,
- der Bodenerosion,
- der Flächeninanspruchnahme,
- der Risikoabschätzung und
- den Maßnahmen zum Schutz der Böden und seiner Funktionen.

Der Schwerpunkt liegt in der Übersicht über Gebiete, deren Böden großflächig erhöhte Schadstoffgehalte aufweisen. Dafür wurden erstmals alle vorhandenen Bodendaten unter Berücksichtigung der Siedlungsstruktur, der Bodennutzung und regionalspezifischer Aspekte ausgewertet. Gebiete mit empfindlichen und belasteten Böden werden identifiziert und den Nutzern und Eigentümern der Böden vorsorgende Verhaltensweisen empfohlen, um mögliche von Bodenbelastungen ausgehende Risiken und Gefahren nachhaltig abzuwehren.

## **Bodenversauerung**

Die Böden des Schwarzwalds haben sich überwiegend aus basenarmen, pufferschwachen Gesteinen (Kristallin, Buntsandstein) entwickelt. Wegen der geringen Pufferkapazität der Ausgangsgesteine und der vorwiegenden Nutzungen als Wald und Grünland sind diese Böden oft tiefgründig versauert. Saure Boden-pH-Werte begünstigen die Mobilisierung von Schwermetallen. In Ackerböden werden atmogene Säureeinträge durch Düngung ausgeglichen.

## **Schadstoffgehalte**

Der Bodenzustandsbericht soll eine Grundlage bilden, um kontaminierte Gebiete zu benennen und – soweit

erforderlich – Maßnahmen zur Gefahrbegrenzung darzustellen. Aus bisherigen Untersuchungen wurden 1853 Datensätze über Stoffgehalte in Oberböden ausgewertet. Sie wurden ergänzt um 144 weitere Proben, die gezielt erhoben worden sind, um vorhandene Datenlücken zu schließen.

Großflächige Schadstoffanreicherungen finden sich

- in den alten Erzbergbaugebieten,
- im ehemaligen Freiburger Rieselfeld,
- in Siedlungsräumen mit hohem Anteil von Industrie und Gewerbegebieten,
- z. T. in Weinbauböden.

Landwirtschaftliche Böden der Region – auch in der Umgebung von Siedlungs- und Verdichtungsräumen – sind im Vergleich mit dem landesweiten Durchschnitt hinsichtlich der Schadstoffgehalte überwiegend unauffällig.

## **Bergbau**

Die Böden in den alten Bergbaurevieren und in den Überschwemmungsaue der Schwarzwaldflüsse weisen oft hohe Schwermetall- und Arsengehalte auf. Maxima finden sich am Schauinsland und in den Tälern des Sulzbachs, des Wagensteig- und Höllenbachs (Münstertal), der Neumagen, Möhlin und Brugga. Im Dreisam-, Elz- und Brettenbachtal sind die Gehalte geringer. Art und Ausmaß der Bodenkontaminationen spiegeln die Mineralzusammensetzung der Erzgänge wider, die in den Wassereinzugsgebieten der Flüsse liegen.

Der Einfluss des historischen Bergbaus lässt sich in vielen Gebieten der Region anhand von lokal oder flächig erhöhten Blei- und Zinkgehalten der Böden erkennen.

Hohe Arsengehalte kennzeichnen die Böden im Sulzbach-, Untermünster-, Neumagen-, Möhlin- und Sug-

gental. Am Schauinsland sowie in den Talauen des Kappeler Talbachs, der Brugga, der Elz und des Brettenbachs entsprechen die Gehalte meist dem landesweiten Durchschnitt.

Cadmium ist in den Böden im Sulzbach-, Untermünster-, Neumagen- und Kappeler Tal erhöht. Am Schauinsland und im Möhlintal sind die Gehalte geringer. Unter den Vorsorgewerten der Bundesbodenschutz-Verordnung (BBodSchV) lagen die Cadmiumwerte im Glotter- und Elztal.

Die Auenböden der Schwarzwaldflüsse weisen meist niedrigere pH-Werte auf. Die Pflanzenverfügbarkeit der Schwermetalle ist hier in der Regel erhöht. Auch können die Stoffe leichter ins Grundwasser verlagert werden. In Gebieten mit Boden-pH-Werten unter 6,5 können Cadmium und Zink in Nahrungspflanzen bis zu kritischen Gehalten angereichert werden.

Bei Blei wird der Prüfwert der BBodSchV für den Schadstoffübergang Boden-Nutzpflanze im Hinblick auf die Pflanzenqualität seltener überschritten. Erhöhte Werte finden sich ebenfalls vor allem in sauren Böden mit pH-Werten unter 5,5 an den Oberläufen der Schwarzwaldflüsse und am Schauinsland.

### **Rieselfeld**

Im ehemaligen Freiburger Rieselfeld sind erhöhte Gehalte an Schwermetallen, Polyzyklischen Aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) und Polychlorierten Biphenylen (PCB) festgestellt worden. Auch die im Pfad Boden-Pflanze wirksamen (ammoniumnitrat-extrahierbaren) Gehalte an Blei und Cadmium überschreiten in Einzelfällen die Prüfwerte der BBodSchV im Hinblick auf die Pflanzenqualität.

### **Siedlungsgebiete**

Verglichen mit den ländlichen Bereichen enthalten die Böden der Verdichtungsräume – vor allem im Stadtgebiet von Freiburg - mehr Cadmium, Kupfer, Quecksilber, Blei, Zink und PAK. Zum Teil werden in „Stadtböden“ die Vorsorgewerte der BBodSchV überschritten. Die Schadstoffspektren und -gehalte ent-

sprechen weitgehend den aus anderen Siedlungszentren bekannten Verhältnissen. Mit Blick auf eine langfristige Bodenschutzvorsorge sollen weitere Schadstoffeinträge möglichst begrenzt werden.

### **Weinbau**

Die langjährige Anwendung von kupferhaltigen Pflanzenbehandlungsmitteln im Weinbau führte zu einer deutlichen Kupferanreicherung in vielen Böden. In der Vorbergzone und am Kaiserstuhl überschreiten mehr als 50 % der untersuchten Böden die Vorsorgewerte der BBodSchV. Nur am Tuniberg weisen Weinbergböden geringe Kupfergehalte auf. Vorsorglich sollte der Einsatz solcher Präparate künftig weiter verringert werden.

### **Risiken, Maßnahmen**

Mit einer vermehrten Aufnahme von Cadmium, Blei und Arsen können Gesundheitsrisiken verbunden sein. Hauptsächliche Aufnahmepfade bei Menschen sind die Direktaufnahme von Boden (Staub) und mit der Nahrung.

In Gebieten mit erhöhten Schadstoffgehalten der Böden wird empfohlen, Kinderspielflächen vorsorglich zu untersuchen und potenzielle Gesundheitsrisiken abzuschätzen. Durch dichte Begrünung oder Überdecken mit unbelastetem Bodenmaterial wird die Möglichkeit der Schadstoffaufnahme wesentlich verringert.

Die Anreicherung von Schwermetallen in Nahrungspflanzen wird durch Kalken (Anheben des Boden-pH-Werts) oder Eisenoxidzugabe (Schwermetall-Immobilisierung) minimiert. Zudem können die Schadstoffgehalte in Nahrungspflanzen durch Anbau von gering schwermetallanreichernden Pflanzenarten- und -sorten wirksam verringert werden.

Nutztiere nehmen Schadstoffe aus dem Boden mit an den Futterpflanzen haftenden Bodenpartikeln auf. Die Schadstoffaufnahme hängt vom Verschmutzungs-

grad der Pflanzen ab. Der Grenzwert der Futtermittelverordnung (FutMV) für Blei wird bei Futterpflanzen nur in wenigen Fällen überschritten.

Bei Grünlandnutzung oder im Futterpflanzenbau kommen Anbau- und Erntetechniken in Frage, die die Ernte von gering verschmutztem Viehfutter ermöglichen.

Bei Nahrungs- und Futterpflanzen tragen gründliches Reinigen von Nahrungspflanzen zur Minimierung der Belastung der Nahrungskette bei.

Schließlich kann es zweckmäßig sein oder notwendig werden, bestimmte Bodennutzungen zu beschränken bzw. auf geänderte, weniger sensible Nutzungen hinzuwirken.

### ***Bodenerosion***

Erosionsgefährdete Böden finden sich in acker- und weinbaulich genutzten Lagen mit stärkerer Hangneigung im Bereich der Vorbergzone, des Tunibergs und Kaiserstuhls. Die Schwarzwaldhänge sind wegen der Wald- und Grünlandnutzung weitgehend vor Bodenabtrag geschützt.

Bodenerosion wird durch angepasste Anbauverfahren und schonende Bodenbearbeitung effektiv verringert. Im Weinbau trägt Dauerbegrünung dazu bei, starken Bodenabtrag zu vermeiden.

### ***Flächeninanspruchnahme***

In den Gemeinden des Erhebungsgebiets liegt der Anteil der Verkehrs- und Siedlungsfläche an der Gesamtfläche zwischen knapp 10 % in ländlichen Regionen und über 40 % im Stadtgebiet von Freiburg.

Die absolute Flächeninanspruchnahme ist zwar in Gebieten mit hoher Siedlungsdichte am größten, doch wird in den kleineren Kommunen bezogen auf die Einwohnerzahl am meisten Fläche beansprucht.

In den Städten und Gemeinden in der Rheinebene und der Vorbergzone lag die Flächeninanspruchnahme in der Zeit von 1993 bis 2001 bei 0,5 bis 2 % der Gesamtfläche. Dies entspricht etwa dem Landesdurchschnitt. In einigen Gemeinden wurden mehr als 2 %, in den Kommunen im Schwarzwald meist weniger als 0,5 % Fläche beansprucht.

Bei gleichbleibender Zunahme würde sich der jetzige Siedlungs- und Verkehrsflächenanteil in 100 Jahren annähernd verdoppeln. Dies zeigt, dass die Belange des Bodenschutzes bei der Abwägung der Ziele von Raumplanung, Politik und Wirtschaft künftig noch stärker berücksichtigt werden müssen.



# 1 Einleitung

Der Bodenzustandsbericht will Planer, Planungsträger, Eigentümer und Nutzer der Böden sowie interessierte Bürger über die für den langfristigen Erhalt der Lebensgrundlage Boden notwendigen Maßnahmen informieren. Er will darüber hinaus den Fachbehörden als Planungsgrundlage für den Bodenschutz dienen.

Der Bericht behandelt den regionalen Bodenzustand. Er befasst sich insbesondere mit ihren Schadstoffgehalten, aber auch mit der Gefährdung durch Versauerung, Erosion und Flächeninanspruchnahme. Er analysiert Ursachen schädlicher Einwirkungen auf die Böden und schädlicher Bodenveränderungen. Daraus werden vorrangige Aufgaben des Bodenschutzes abgeleitet.

In dem Bericht werden Daten einer Vielzahl an Bodenuntersuchungen in der Region Freiburg ausgewertet. Dabei werden auch für Teilbereiche des Erhebungsgebiets oder für bestimmte Arten der Bodennutzung wichtige Bodeneigenschaften und charakteristische Bodenverhältnisse, beispielsweise gebietstypische Schadstoffsituationen, untersucht. Dazu werden repräsentative Datenbestände herangezogen. Lokale Bodenbelastungen durch Altablagerungen oder Altlasten stehen nicht im Vordergrund, können jedoch z. B. bei Untersuchungen von Kinderspielflächen eine Rolle spielen.

Anhand der Datenauswertungen werden Maßnahmen zum Schutz des Bodens empfohlen.

## 2 Das Erhebungsgebiet

Das Erhebungsgebiet umfasst die Stadt Freiburg und den Großteil der Landkreise Breisgau-Hochschwarzwald und Emmendingen. Es ist im Westen durch den Rhein, im Osten durch etwa die Linie Waldkirch – Kirchlitzarten sowie nördlich und südlich durch die Grenzen der Landkreise Emmendingen (Gemarkungen Rheinhausen – Niederhausen – Herbolzheim) und Breisgau-Hochschwarzwald (Gemarkungen Neuenburg – Steinmetz) umrissen.

### 2.1 Geologie und landschaftliche Gliederung

Die geologischen Einheiten des Gebiets werden in Karte 1 dargestellt. Die Landschaftseinheiten lassen sich nach *Schreiner (1996)* in Oberrheinebene mit Vorbergzone, Freiburger-, Staufener Bucht und Schwarzwald gliedern.

Durch die Heraushebung des Südschwarzwalds wurden präkambrische und paläozoische magmatische und metamorphe Kristallingesteine des Grundgebirges freigelegt (vor allem Granite und Gneise). Im Absenkungsbereich der Oberrheinebene wurden die Gesteine durch jüngere tertiäre und quartäre Sedimente überdeckt. Im Zusammenhang mit der Entstehung des Oberrheingrabens wurde durch vulkanische Aktivität auch der Kaiserstuhl gebildet.

In der Oberrheinebene wurden während der Eiszeit kiesigsandige Schotter abgelagert (Niederterrasse). Die heutigen Flusssysteme schnitten sich darin ein oder überdeckten sie mit nacheiszeitlichen Sedimenten. Während der Kaltzeiten wurde Löss aus den wenig bewachsenen Schotterfluren der Täler ausgeht und hauptsächlich im Bereich der Vorbergzone zwischen Rheinebene und Schwarzwaldrand abgelagert (Karte 1).

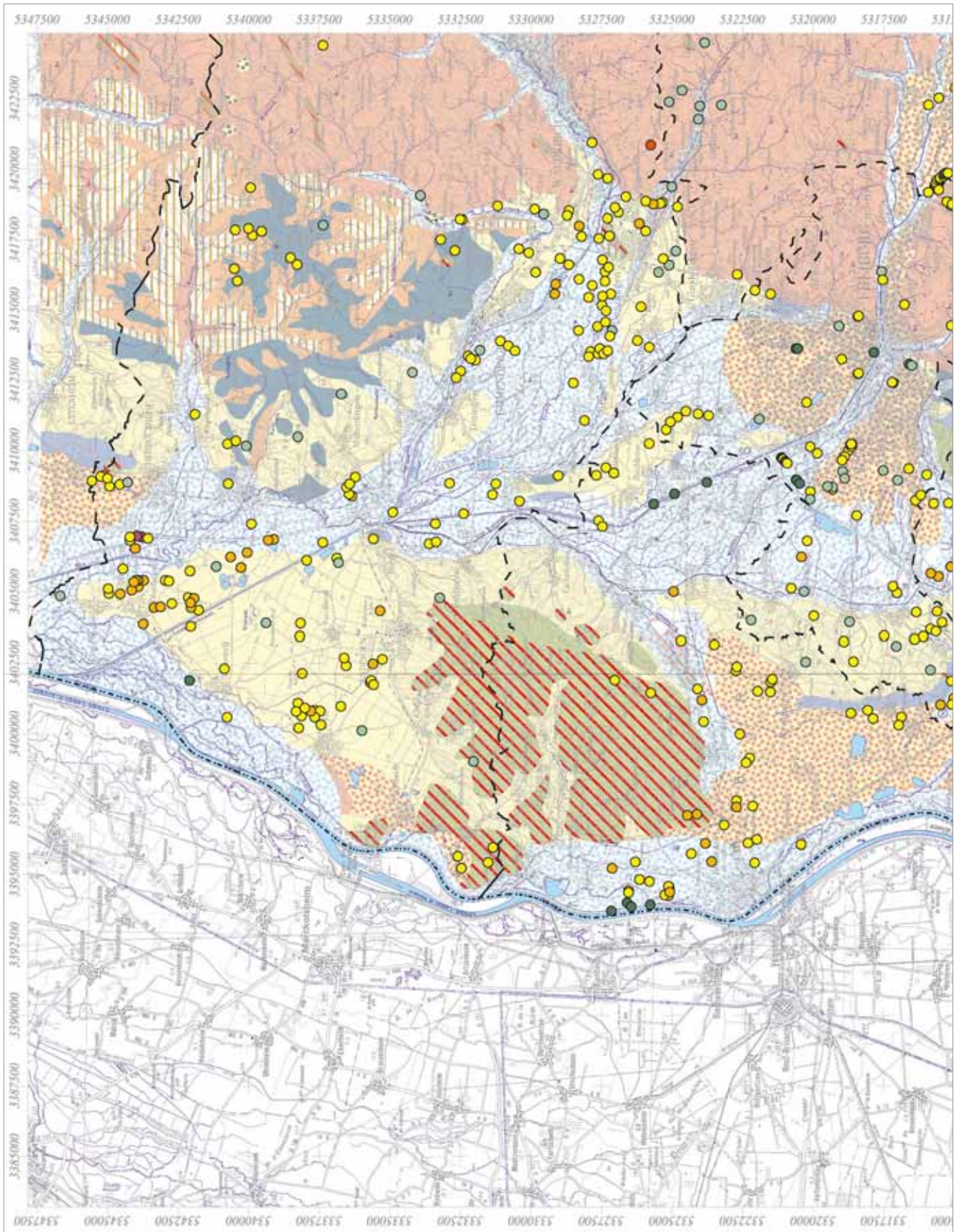
Die Vorbergzone wird in die tektonischen Einheiten der Grabenrandscholle mit Tuniberg und Kaiserstuhl und die sich am Schwarzwaldrand entlangziehende randliche Vorbergzone unterteilt.

Durch bei der Absenkung der Rheinebene an der Grabenrandverwerfung „hängengebliebene“ Gesteinspakete entstand die morphologisch hervortretende randliche Vorbergzone. Teils lößüberdeckte, tertiäre bis mesozoische Gesteine treten eng benachbart an die Oberfläche.

Im südlichen Teil der Vorbergzone herrschen in den Bereichen zwischen Kandern und Müllheim sowie Sulzburg und Staufener Gesteine des Tertiärs, Jura und Keupers vor, während in der weiter nördlichen Vorbergzone zwischen Lahr und Emmendingen Muschelkalk und Buntsandstein der Trias überwiegen.

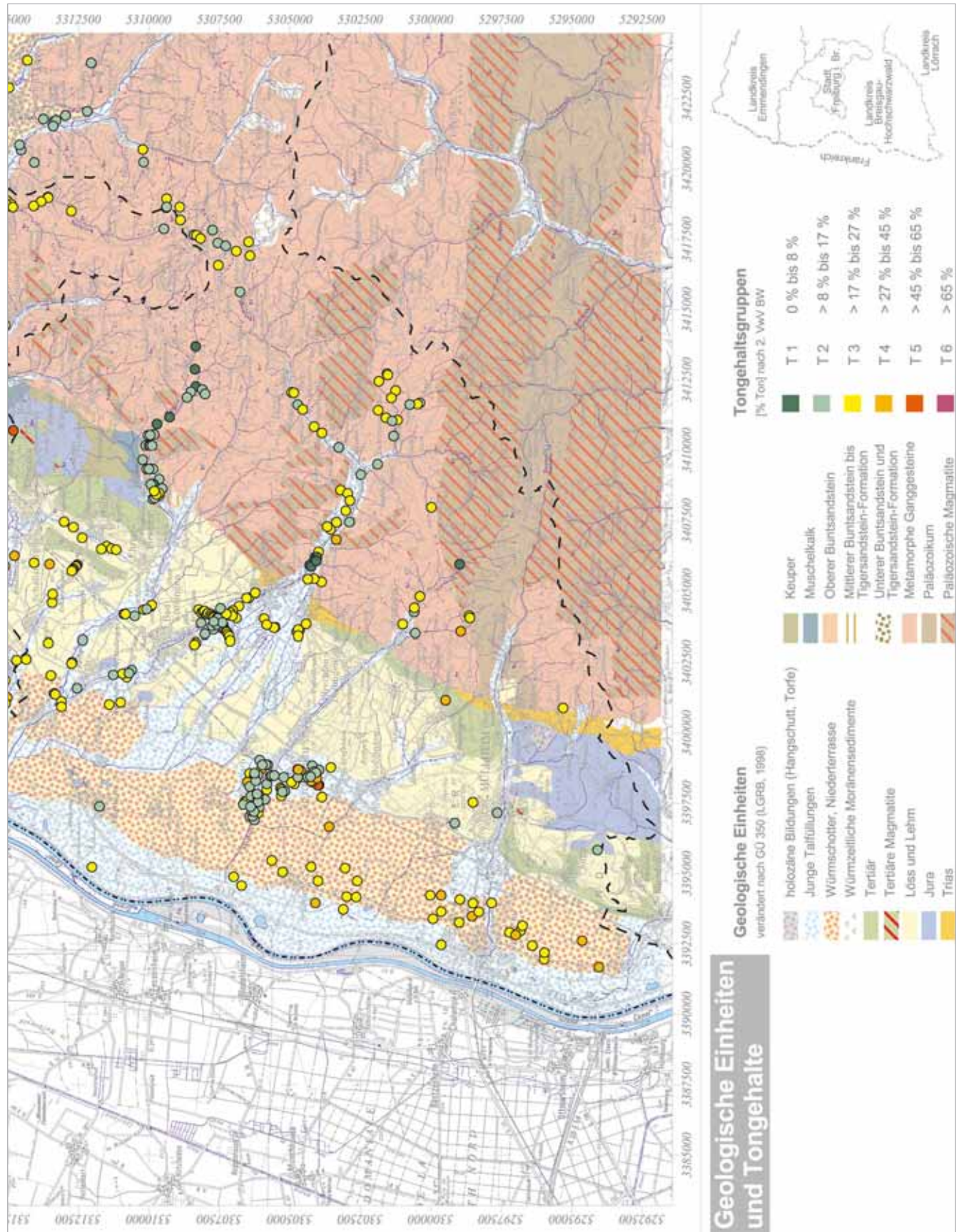
Die höheren Teile der Grabenrandscholle durchsetzen und begrenzen als isolierte Vorberge die Freiburger und Staufener Bucht zusammen mit Tuniberg, Nimberg, Kaiserstuhl und weiteren Erhebungen. Die Freiburger Bucht wird von Kaiserstuhl und Tuniberg im Westen, der Mengener Brücke im Süden, der randlichen Vorbergzone mit Schwarzwald im Osten und der Riegeler Pforte im Norden begrenzt. Zwischen den Krozinger Hügeln und dem Schwarzwald breitet sich die von Neumagen und Möhlin aufgeschotterte Staufener Bucht aus.

Die Erhebungen werden von lößüberdeckten mesozoischen und tertiären Gesteinen gebildet. Die tieferen Lagen der Freiburger und Staufener Bucht sind durch eiszeitliche Grabensenkung entstanden und wurden von Löss und jungeszeitlichen fluvialen Schottern des Schwarzwalds und im Verlauf der ehemaligen Ostrheinrinne entlang des Kaiserstuhls von alpinen Gesteinen bedeckt.



Karte 1: Geologischer Untergrund und Tongehalte der Böden.







**Tabelle 1: Anteilige Bodennutzung in den Gemeinden der Region Freiburg***(Daten des Statistischen Landesamts, 2001).*

	Fläche	Siedlung Verkehr	Landwirt- schaft	Acker	Grünland	Wein	Wald
Kreis	km <sup>2</sup>	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Freiburg im Breisgau	153	30,7	24,8	10,1	8,4	4,7	42,5
Breisgau-Hochschwarzwald	865	12,1	45,0	23,4	14,6	6,5	40,5
Emmendingen	508	12,2	48,0	26,5	14,0	5,6	36,4
<b>Gesamtfläche</b>	<b>1526</b>	<b>13,9</b>	<b>43,9</b>	<b>23,1</b>	<b>13,8</b>	<b>6,0</b>	<b>39,4</b>

## 2.2 Böden und Bodennutzungen

Die Gebiete um Freiburg und Emmendingen haben die größte Einwohnerdichte und sind im Landesentwicklungsplan als Verdichtungsräume ausgewiesen. Die Gemeinden in der Rheinebene und der Vorbergzone werden meist – mit Ausnahme derjenigen im nördlichen Teil des Erhebungsgebiets – als Randzonen um die Verdichtungsräume ausgewiesen. Bei den übrigen, insbesondere den im Schwarzwald gelegenen Gebieten, handelt es sich um ländlichen Raum im engeren Sinn (*WIRTSCHAFTSMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG, 2002*).

Die prozentuale Verteilung der Landnutzung ist in Tabelle 1 dargestellt. Es überwiegen die Flächen mit forst- (39 %) und landwirtschaftlicher (44 %) Nutzung. Der Siedlungsanteil liegt bei 13,9 %. Der Anteil der Weinbaufläche ist mit 6,0 % hoch. 13,8 % des Gebiets werden als Grünland genutzt.

Die einzelnen Bodengesellschaften weisen charakteristische Bodeneigenschaften mit typischen Merkmalsausprägungen auf. Sie wirken sich wiederum aus auf die Erosionsanfälligkeit, den Versauerungsstatus, die natürlichen Schwermetallgehalte und die für die ökotoxikologische Wirkung maßgebliche Mobilisierbarkeit von Schadstoffen.

Böden und Geländemorphologie bestimmen die Landschafts-, Siedlungs- und Nutzungsgeschichte. Die Bodengesellschaften weisen typische Muster der Bo-

dennutzung auf. Im Folgenden werden die Böden der Landschaftseinheiten und die typische Bodennutzungen beschrieben (siehe auch *HÄDRICH & STAHR, 2001*). Die Verbreitung der Bodennutzungen ist in einer Übersichtskarte zur Bodenerosionsgefährdung dargestellt (Karte 35).

### **Oberrhenebene**

In der Rheinaue und auf der wenig höher gelegenen Niederterrasse sind alpine, kiesreiche, schluffige und lehmige Sande vorherrschendes Ausgangssubstrat der Bodenbildung. Wegen des Rheinseitenkanals weisen die Böden der Rheinaue südlich von Breisach in der Regel keinen aktuellen Grundwassereinfluss mehr auf. In der Rheinaue gibt es vorwiegend Auenpararendzinen (Kalkpaternia). Ein rezenter Grundwassereinfluss liegt jedoch nördlich von Wyhl vor. Hier finden sich kalkhaltige Auengleye.

Auf der Niederterrasse bildeten sich Parabraunerden und Braunerde-Parabraunerden aus. Die Rheinaue ist vorwiegend bewaldet; die Niederterrasse wird meist ackerbaulich genutzt.

### **Vorbergzone**

Die Böden der Vorbergzone sind durch die Lössüberdeckung geprägt. Auf Löss sind Parabraunerden mit Braunerden und Pararendzinen in Erosionslagen und Kolluvien in den Talbereichen vergesellschaftet. In den

steileren Lagen der randlichen Vorbergzone sind die Böden auf Ton-, Mergel- und Kalksteinen des Tertiärs, Jura, Keupers und Muschelkalks mit geringmächtigen lössreichen Decklagen entstanden. Oft sind Braunerden, Parabraunerde-Braunerden und Pelosol-Braunerden aus schluffigen Lehmen und schluffig-tonigen Lehmen über tonreicheren Substraten anzutreffen. Unter Weinbergnutzung wurden diese Böden meist tiefgründig umgegraben (rigolt) oder es wurden Terrassen angelegt.

Am Kaiserstuhl und Tuniberg sowie in der Vorbergzone am östlichen Rheingrabenrand sind die steileren Hanglagen überwiegend weinbaulich genutzt. In ebenen Lagen herrscht Ackerbau vor.

### **Schwarzwald**

Auf den Kristallingesteinen des Schwarzwalds überwiegen Braunerden aus steinhaltigen, teils schluffigen und lehmigen Sanden bis sandigen Lehmen. Dort herrscht Wald- und Grünlandnutzung vor.

### **Auenbereiche**

In den Auenbereichen der Schwarzwaldflüsse dominieren braune Auenböden, Auenpararendzinen und Auengleye. Abhängig vom Einzugsgebiet der Flüsse sind kiesreiche, sandige Lehme bzw. lehmige Schluffe das vorherrschende Bodensubstrat. Im Schwarzwald und am Schwarzwaldrand finden sich stärker sand-beeinflusste Auensubstrate, im Bereich des Rheins liegen eher feinkörnige, schluffreiche Substrate vor.

In den Flussauen im Schwarzwald ist Grünlandnutzung häufig. In der Vorbergzone und in der Oberrheinebene überwiegt Ackerbau (Karte 24).

## **2.3 Verbreitete Tongehalte der Böden**

Die natürlichen Schwermetall- und Arsengehalte nehmen allgemein mit steigendem Tongehalt zu. Die Einstufung von Vorsorge- und Hintergrundwerten erfolgt daher nach der Höhe des Tongehalts bzw. der Bodenart. Am häufigsten weisen die Böden mittlere Tongehalte (Tongehaltsstufen T2 - T4) auf. Oberböden mit mehr als 45 % Ton gibt es nur vereinzelt (Karte 1).

In der Rheinebene variieren die Tongehalte meist zwischen T2 und T4, im Schwarzwald zwischen T1 und T3.

## **2.4 Schwermetallgehalte der Bodenausgangsgesteine**

Das Ausgangsgestein, die Nutzungsgeschichte und die Entwicklung der Böden beeinflussen ihre natürlichen Hintergrundgehalte an Schwermetallen und Arsen. Vor allem bei den Unterböden ist das Ausgangsgestein der Bodenbildung maßgeblich (Tabelle 2).

Für die Oberböden Baden-Württembergs sind Schwermetallhintergrundwerte nach unterschiedlichen Tongehaltsstufen errechnet und u. a. in der 3. Verwaltungsvorschrift zum Bodenschutzgesetz B.-W. angewandt worden (VwV Anorganische Schadstoffe; GABL vom 29. September 1993, S. 1034; s. Tabelle 3).

**Tabelle 2: Hintergrundwerte für Unterböden in Baden-Württemberg gegliedert nach Bodenausgangsgesteinen (Angaben in mg/kg; LABO, 2003).**

		Pb	Cr	Cu	Ni	Zn	Cd
Granit/Gneis	50.P.	25	17	7	7	45	0,1
	90.P.	46	32	12	14	85	0,2
Löß	50.P.	26	37	17	29	57	-
	90.P.	43	49	23	42	78	-
Sand,Kies	50.P.	11	17	8	12	31	0,1
	90.P.	23	33	17	23	67	0,1
Kalksteine	50.P.	31	66	27	60	97	0,3
	90.P.	45	99	45	98	153	0,9
Kalksteine	50.P.	50	44	33	44	85	0,3
	90.P.	120	60	46	63	156	0,9

**Tabelle 3: Hintergrundwerte für Oberböden in Baden-Württemberg gestuft nach Tongehalten (Angaben in mg/kg; nach VwV Anorganische Schadstoffe, 1993).**

Tongruppe	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Ton [ % ]	0-8	8-17	17-27	27-45	45-65	> 65
Arsen	6	15	17	17	17	17
Cadmium	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	1
Chrom	20	35	50	60	75	90
Kupfer	10	20	30	35	50	60
Quecksilber	0,05	0,1	0,1	0,1	0,12	0,2
Nickel	15	25	40	55	70	100
Blei	25	35	40	50	55	55
Thallium	0,2	0,4	0,4	0,4	0,5	0,7
Zink	35	60	75	95	110	150

Im Schwarzwald haben die Vererzungen einen entscheidenden Einfluss auf die Schwermetallgehalte der Böden. Vererzte Gesteine können lokal, z. T. auch größerflächig, zu geogen erhöhten Stoffgehalten in den Böden führen, auch wenn Vererzungen nicht Gegenstand früherer Abbauversuche gewesen sind. Beispielsweise war Arsen wegen seiner relativ geringen wirtschaftlichen Bedeutung und der schwierigen Ver-

hüttbarkeit vor allem im alten Erzbergbau kaum von bergbaulichem Interesse.

Vererzungen gibt es überwiegend in präkambrischen und paläozoischen Kristallingesteinen (Gneise, Anatexite, Granite). Sie sind in tektonischen Spaltensystemen mit zahlreichen Blei-Zink-Kupfer-Erzgängen durchzogen. Das Bildungsalter der Gänge reicht vom späten Paläozoikum bis ins Tertiär. Nach MAUS (1996) ist die Entstehung der meisten Erzgänge ins Oberkarbon zu stellen. Die Mächtigkeiten der Erzgänge liegen in der Regel unter 50 cm. Stellenweise betragen sie auch einige Meter. Die Gänge streichen in der Regel über einige hundert bis tausend Meter an der Oberfläche aus. Buntmetallerze einschließlich der Antimon- und Arsenmineralisation liegen vorwiegend als Sulfide und komplexe Sulfosalze vor (GOLDENBERG, 1996).

## 2.5 Erzbergbau und -verarbeitung

Erzbergbau wurde im Südschwarzwald zum erstenmal aus der römischen Besatzungszeit nachgewiesen. Sogar ein früherer keltischer Abbau von Metallerzen ist wahrscheinlich. Bergbau und Hüttenwesen haben zahlreiche Spuren im Gelände hinterlassen. Seine größte Blütezeit erlebte der Erzbergbau im Hoch- und Spätmittelalter (12.-14. Jahrhundert). Nach einer Niedergangphase im späten 14. und im 15. Jahrhundert gab es im 16. Jahrhundert einen neuen Aufschwung. Im Dreißigjährigen Krieg kam der Bergbau fast vollständig zum Erliegen. Nach Wiederaufnahme im 18. Jahrhundert konnte bis zum vorläufigen Ende in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts der Blei-, Silber- und Kupfererzabbau keine wirtschaftlichen Erfolge verzeichnen. Im 20. Jahrhundert wurden bis dahin kaum abbauwürdige Erze wie die Zinkvorkommen am Schauinsland und die Flussspatmineralisierung im Münstertal, erschlossen. Der Zinkerz-Abbau am Schauinsland wurde im Jahr 1954 eingestellt, der Flussspatbergbau im Münstertal 1958. Die Grube

Gottesehre in Urberg förderte als letzte Flussspatgrube des Südschwarzwalds bis zum Jahr 1984 (GOLDENBERG, 1996).

Durch den Abbau, Transport, die Aufbereitung und Verhüttung der wirtschaftlich interessanten Blei- und Silbererze, wurden Schwermetalle und Arsen in den Böden der alten Bergbaureviere – über vermutlich bereits geogen erhöhte Gehalte hinaus – anthropogen weiter angereichert und zum Teil großräumig verbreitet.

Schon *Georg Agricola (1556)* hat in seinem zeitgenössischen montantechnischen Werk „*De Re Metallica*“ die Umweltschäden des historischen Bergbaus ausführlich beschrieben. Darin wurden auch die Argumente der Gegner des Bergbaus zitiert (in: GOLDENBERG, 1993):

„Durch das Schürfen nach Erz werden die Felder verwüstet. Wälder und Haine werden umgehauen; denn man bedarf zahlloser Hölzer für die Gebäude und das Gezeug sowie, um die Erze zu schmelzen. Durch das Niederlegen der Wälder und Haine aber werden die Vögel und anderen Tiere ausgerottet, von denen sehr viele den Menschen als feine und angenehme Speise dienen. Die Erze werden gewaschen; durch dieses Waschen aber werden, weil es die Bäche und Flüsse vergiftet, die Fische entweder aus ihnen vertrieben oder getötet. Da also die Einwohner der betreffenden Landschaften infolge der Verwüstung der Felder, Wälder, Haine, Bäche und Flüsse in große Verlegenheit kommen, wie sie die Dinge, die sie zum Leben brauchen, sich verschaffen sollen, und da sie wegen des Mangels an Holz größere Kosten zum Bau ihrer Häuser aufwenden müssen, so ist es vor aller Augen klar, dass bei dem Schürfen mehr Schaden entsteht als in den Erzen, die durch den Bergbau gewonnen werden, Nutzen liegt.“

Zahlreiche Abraumhalden, Pingen, Stollenmundlöcher und Verhaue sind die heute sichtbaren Spuren des ehemals intensiven Bergbaus in den Gebieten der alten Erzgruben. *Fritsche & Schmitz (1996)* haben die Halden des historischen Erzbergbaus in Baden-Würt-

temberg systematisch untersucht. Meist handelt es sich um Halden aus „taubem“ Nebengestein bzw. damals nicht verhüttbaren oder verhüttungswerten Erzen.

Im Südschwarzwald finden wir nur wenige, vergleichsweise kleine mittelalterliche Schlackenhalden (GOLDENBERG, 1996). Vermutlich wurde ein Teil der Erz-Schlacken zerkleinert und immer wieder dem Verhüttungsprozess als Zuschlagstoff zugeführt (FOELLMER, 1999). Ein weiterer Teil dürfte in die Bäche und Flüsse gegeben und mit dem Wasser verfrachtet worden sein.

Aufgrund der Abbautechnik im Mittelalter sind die Abraumhalden oft nicht sehr groß (< 1.000 m<sup>3</sup>). Das Volumen der meisten Halden ist < 5.000 m<sup>3</sup>. Neuzeitliche Abbautechniken führten zu viel größeren Haldenvolumina (z. B. Flotationshalde Kappel mit 500.000 m<sup>3</sup>; s. auch LfU, 1997).

Bei der Verhüttung der geförderten Erze wurden Schwermetalle und Arsen zum Teil mit den Rauchgasen und Flugstäuben in der näheren Umgebung verbreitet. Erosion und Abschwemmung von Schlacken und Verhüttungsrückständen führten im Lauf von Jahrhunderten zur großflächigen Kontamination der Überschwemmungsflächen in den holozänen Flussniederungen. Einen Beitrag dazu dürfte die Zerkleinerung und die nassmechanische Aufbereitung der Roherze geleistet haben. Beim Pochen, Mahlen und anschließenden Waschen wurden Erzkonzentrate gewonnen und unbrauchbare Gesteinsanteile abgetrennt. Schlammhaltige schwermetallreiche Waschabgänge leitete man in die Flüsse, die die Stoffe z. T. über weite Strecken verfrachtet haben. Darüber hinaus werden auch heute noch aus den Halden Schwermetalle mit der ständig wirkenden Lösung und Auswaschung durch Regen und Verwitterung freigesetzt.

Nach Schätzung von *Foellmer (1999)* wurden 50 - 70 % der gewonnenen Silbermenge und etwa das 1,8-fache der gewonnenen Bleimenge in den Auensedimenten der Einzugsgebiete der Möhlin und des Sulzbachs abgelagert.



Die Schwermetall- und Arsengehalte der Halden sowie in Böden, Pflanzen und im Wasser in einigen bedeutenden Bergbaugebieten des Südschwarzwalds haben *Manz et al. (1995)* untersucht.



**Abbildung 1: Waschen der Erze aus Agricola, 1556 (zitiert in Goldenberg, 1993).**

auf die einzelnen Felder verteilt. Den Schlamm verarbeitete man zu Kompost. Die Abwasserverrieselung wurde 1986 eingestellt (*Stadt Freiburg, 1999a*). Sie führte im Lauf von fast 100 Jahren zur Schadstoff-Anreicherung in den Böden des Rieselfelds.

Im Jahr 1991 wurde die Bebauung des östlichen Teils des Rieselfelds beschlossen. Vor Beginn der Erschließung in dem neuen Stadtteil wurde ab 1993 nach und nach der belastete Oberboden vollständig abgetragen, so dass Grundstücke ohne Bodenbelastungen veräußert werden konnten.

## 2.6 Das Rieselfeld der Stadt Freiburg

Westlich von Freiburg liegt am Rand des Mooswalds, südlich des Mundenhofs eine 320 Hektar große ebene Feld- und Wiesenfläche. Im Jahr 1888 wurde hier das Rieselfeld angelegt, um das Einleiten von städtischen Abwässern in Senkgruben und in die Dreisam zu unterbinden. Das Rieselfeld war damals eine wegweisende Abwasserreinigungs-Anlage. Über Kanäle floss dorthin beinahe das gesamte Abwasser der Stadt und wurde zunächst in ein Klärbecken geleitet. Nach Absetzen der Schlämme wurde das von der Schwebfracht gereinigte Wasser über Bewässerungsgräben

## 3 Methodik

### 3.1 Schadstoffgehalte der Böden

#### 3.1.1 Datenerhebung

Aus früheren Untersuchungen wurden für das Erhebungsgebiet 1853 Datensätze über Stoffgehalte in Oberböden recherchiert (LfU, 2000) und in diesen Bericht einbezogen. Alle Daten wurden auf Repräsentativität geprüft. Lokale Bodenkontaminationen durch Altablagerungen und Altlasten sowie Daten von Flächen, die zwischenzeitlich bebaut, überdeckt oder versiegelt wurden, sind nicht im Bodenzustandsbericht enthalten.

Ein Großteil der Daten (1449 Datensätze) war in der Bodendatenbank der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU) enthalten. Davon stehen viele im Zusammenhang mit dem historischen Erzbergbau. Die untersuchten Flächen lagen in den ehemaligen Bergbaugebieten und in den Überschwemmungsbereichen der Schwarzwald-Flüsse.

Weitere 327 Datensätze stammen aus Untersuchungen zur Klärschlammasbringung. Die restlichen Daten wurden im Rahmen von Gefahrverdachtserkundungen, meist im Vorfeld von Bebauungsmaßnahmen, erhoben. Schließlich konnten noch Daten von Bodenuntersuchungen ergänzt werden, die im Rahmen wissenschaftlicher Arbeiten (z. B. von der Universität Freiburg) erstellt worden sind.

Im Siedlungsbereich der Stadt Freiburg gehen viele Bodenuntersuchungen auf ein Untersuchungsprogramm über Schadstoffgehalte auf Kinderspielflächen zurück. Die Stadt Freiburg hatte Kinderspielplätze auf Altlastenverdachtsflächen und Altablagerungen sowie neu- und umgebaute Kinderspielflächen systematisch untersuchen lassen. Nach Auswertung der räumlichen und nutzungsbezogenen Verteilung der Bestandsda-

ten schlossen sich 144 zusätzliche, neue Bodenuntersuchungen im Rahmen dieses Berichts an, um Informationslücken im Erhebungsraum möglichst zu schließen.

Die Datennachverdichtung war vor allem in Gebieten mit vermutetem Einfluß des alten Erzbergbaus notwendig, die zuvor noch wenig untersucht worden waren (Oberlauf des Sulzbachs, Unter-, Obermünstertal, Schauinsland, Kappler Tal, Dreisam, Glottertal und der Raum Denzlingen). Ein weiterer Schwerpunkt war die Vervollständigung der Untersuchungen an Kinderspielflächen in Freiburg, die Ergänzung von Bodenuntersuchungen in Weinbauflächen sowie an Böden, in denen aufgrund allgemeiner Vorkenntnisse geogen erhöhte Schwermetallgehalte anzunehmen waren (z. B. Böden auf Muschelkalk, Granit und Gneis).

Schließlich wurden die zusätzlichen Proben auch unter dem Aspekt einer verbesserten Repräsentanz für die Fläche des gesamten Erhebungsraums entnommen. In bewaldeten Bereichen wurde von Nacherhebungen in der Regel abgesehen, weil hier die in der BBodSchV genannten Schutzgüter oft nicht unmittelbar betroffen sind.

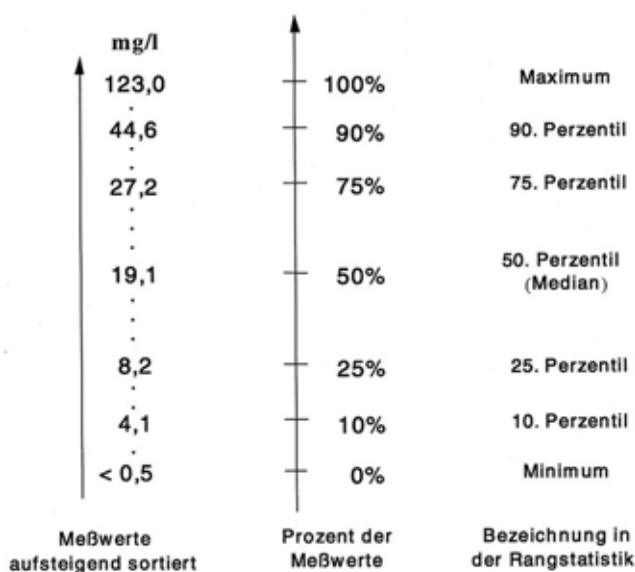
#### 3.1.2 Auswertung

Für die statistische Auswertung wurden alle Daten klassifiziert nach

- Herkunft der Schadstoffe,
- Siedlungsstruktur,
- Bodennutzung,
- Tongehaltsstufen,
- Boden-pH-Werten.

Die jeweilige Anzahl der Bodenproben (n) wurde angegeben und die 50. und 90. Perzentilwerte berechnet (Tabellen in Kap 4).

Dazu werden die Daten nach steigenden Messwerten sortiert. Der höchste Wert in einem Datenkollektiv ist der 100. Perzentilwert. Der zehnte von beispielsweise insgesamt 20 Messwerten ist der Median- oder der 50. Perzentilwert. 50 % der Werte des Kollektivs liegen dann über, weitere 50 % unter dem Medianwert. Über dem 90. Perzentil liegen 10 % der Messwerte (bei 20 Werten also die zwei höchsten), weitere 18 liegen darunter (Abbildung 2).



**Abbildung 2: Berechnung von Perzentilwerten.**

Perzentilwerte wurden anstelle von Mittelwerten berechnet, weil sie robuster gegen „Ausreißer“ sind. Mittelwerte können von wenigen Extremwerten stark beeinflusst werden. Mit Perzentilwerten kann ein Datenkollektiv daher besser charakterisiert werden.

Dennoch können auch die Perzentilwerte einer Stichprobe vom tatsächlichen Wert abweichen. Die Genauigkeit hängt von der Anzahl der untersuchten Bodenproben (Stichprobenumfang  $n$ ) und der Repräsentativität der Stichprobe ab. Der 50. Perzentilwert ist gegen Ausreißer robust und zur Charakterisierung kleiner Stichproben besser geeignet als der 90. Perzentilwert, der vor allem bei kleinen Stichproben ( $n < 20$ ) von den Extremwerten beeinflusst wird. In den Ta-

bellungen in Kap. 4 sind deshalb bei geringen Stichprobenzahlen ( $n < 20$ ) die Ergebnisse kursiv dargestellt.

### ***Klassierung nach Herkunft der Schadstoffe***

Dabei wurde unterschieden:

- Bergbau,
- Rieselfeld,
- Hintergrund.

Die Klassen (Probenkollektive) wurden nach der thematischen Ausrichtung der Projekte gebildet, in deren Rahmen die Bodenproben entnommen worden sind. Bei heutigen Bodenbeprobungen werden erwartete Kontaminationseinflüsse für jede Probe in einheitlichen Beprobungsprotokollen festgehalten. Da viele Bodenproben der Bestandsdaten schon vor langer Zeit entnommen worden sind, lagen diese Angaben nicht vollständig vor.

Für das Rieselfeld ist dennoch eine gute Datenzuordnung möglich.

Die Datenkollektive „Bergbau“ und „regionaler Hintergrund“ konnten nicht immer eindeutig gegeneinander abgegrenzt werden. Im geographischen Informationssystem wurden die Probennahmepunkte mit der geologischen Karte und mit der Bodentypenkarte (1 : 350.000; LGRB, 1998) verschnitten. Probenpunkte, die nach der geologischen Karte in holozänen Talauen der Schwarzwaldflüsse liegen, wurden in das Bergbau-Datenkollektiv übernommen. Zusätzlich wurden Daten mit bergbautypischen Belastungsmuster (Schadstoffspektrum, -gehalte) hier eingeordnet. Bergbautypische Belastungen wurden auch unterstellt, wenn sich aus der Bodentypenkarte 1 : 350.000 (LGRB, 1998) Hinweise auf Überschwemmungseinfluss ergaben:

- Bodentyp: Brauner Auenboden bis Auengley, Auengley bzw. Auenpararendzina / brauner Auenboden,

- der Probenpunkt im Außenbereich lag und die untersuchten Böden Bleigehalte > 100 mg/kg oder Zinkgehalte > 250 mg/kg aufwiesen.

Außerhalb von Überschwemmungsbereichen wurden Flächen im Außenbereich mit Bleigehalten > 250 mg/kg und Zinkgehalten > 400 mg/kg ebenfalls dem Bergbau-Datenkollektiv zugeordnet. Diese Flächen liegen durchwegs in der Nähe von Gebieten mit bekanntem Bergbau-Einfluss.

Die übrigen Daten wurden als „Hintergrund“ klassiert.

### **Klassierung nach Siedlungsstruktur und Bodennutzung**

Um unterschiedliche Einflüsse der Bodennutzung auf die Stoffgehalte der Böden zu erkennen, wurde ein vom Bergbau und von der Abwasserverrieselung weitestgehend unbeeinflusstes Datenkollektiv, das Hintergrund-Datenkollektiv, gebildet. Dabei wurde nach Siedlungsstruktur (Außen- und Siedlungsbereich) und Hauptbodennutzungen unterschieden (Tabelle 4).

Diese Daten wurden nach in den Beprobungsprotokollen angegebenen Nutzungen klassifiziert. Wo Angaben fehlten, wurden sie anhand des Amtlichen Topographisch-Kartographischen Informationssystem (ATKIS) der Vermessungsverwaltungen der Länder ergänzt.

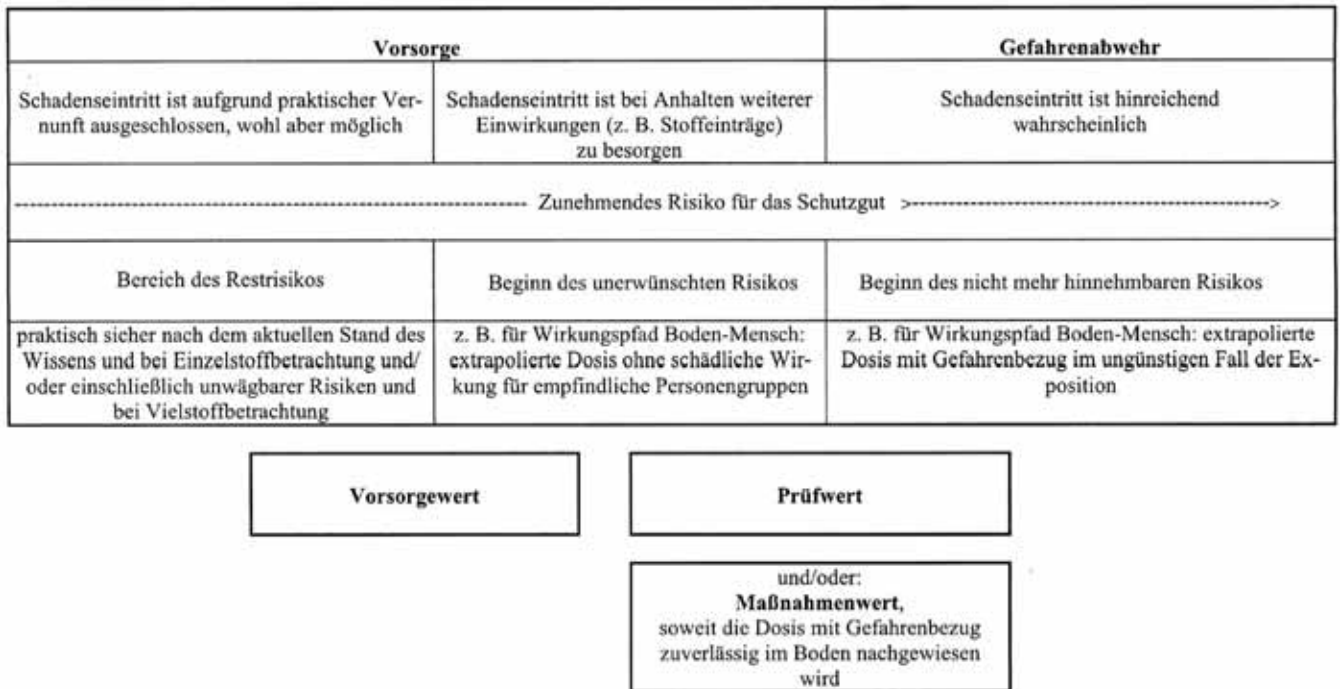
Die Daten über Schwermetallgehalte weinbaulich genutzter Böden wurden um 72 Datensätze aus dem Schwermetallkataster der Landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalt Augustenberg (LUFA) ergänzt, die im Rahmen eines Untersuchungsprogramms im Jahr 1983 erhoben worden sind (Untersuchung auf Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber und Zink). Angaben zur Gemarkung, auf der die Probennahmeflächen lagen, waren vorhanden. Die genaue Ortslage wurde nicht erhoben. In den Auswertekarten konnten diese Flächen nicht dargestellt werden.

**Tabelle 4: Bodennutzungen in Außen- und Siedlungsbereichen**

Kategorie	Nutzung
<b>Außenbereich</b>	
Ackerbau	Acker
Grünland	Grünland, Weide, Mähweide, Wiese, Streuwiese
Sonderkulturen	Sonderkulturanbau, Weinbau, Spargel, Gemüsebau, Obstbau
Forst	Forst, Laubwald, Nadelwald, Mischwald, Ödland
<b>Siedlungsbereich</b>	
Haus- und Kleingärten	Hausgärten / Kleingärten, Rasen, Ziergarten, Gemüsebeete, Dauerkulturen
Park- und Grünanlagen	Park- / Grünflächen
Gewerbe und Verkehr	Gewerbefläche, Grünfläche, Ladeplatz / Umschlagplatz, Brachfläche, Verkehrsfläche, Deponien, Sonstige Nutzungen, Überbaute Fläche, Hoffläche
Kinderspielplatz	Kinderspielplatz

### **3.1.3 Einstufung nach BBodSchV**

Die Systematik bei der Einstufung von Schadstoffgehalten in Böden nach der Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) wird in Abbildung 3 veranschaulicht. Die Bewertung erfolgt nach der aktuellen bzw. der planungsrechtlich zulässigen Bodennutzung.



**Abbildung 3: Erläuterung der Maßnahmen-, Prüf- und Vorsorgewerte der BBodSchV (Deutscher Bundestag, 2000).**

Die BBodSchV unterscheidet:

- Vorsorgewerte
- Prüfwerte
- Maßnahmenwerte

Im Bericht der Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO, 2003) werden darüber hinaus Hintergrundwerte für Böden angegeben und die Werte der BBodSchV wie folgt erläutert:

### **Hintergrundwerte**

sind repräsentative Werte für allgemein verbreitete Hintergrundgehalte eines Stoffs oder einer Stoffgruppe in Böden. Der Hintergrundgehalt setzt sich zusammen aus dem geogenen Grundgehalt eines Bodens und der ubiquitären Stoffverteilung als Folge diffuser Einträge in den Boden. Hintergrundgehalte kennzeichnen damit typische Stoffgehalte von Böden, die

nicht durch punktuell hohe Stoffeinträge (z. B. durch Emittenten, Altlasten) bzw. punktuell hohe geogene, anthropogene oder durch Vererzungen bedingte Werte beeinflusst sind.

### **Vorsorgewerte**

der BBodSchV sind – im Gegensatz zu Hintergrundwerten – unter Berücksichtigung ökotoxikologischer Aspekte abgeleitet worden und grenzen den für alle Wirkungspfade und Bodenverhältnisse geltenden Bereich unbedenklicher Schadstoffkonzentrationen in Böden (Unbedenklichkeitsbereich) vom Bereich der Besorgnis des Entstehens einer schädlichen Bodenveränderung (Besorgnisbereich) ab.

Bei Böden mit naturbedingt oder großflächig siedlungsbedingt erhöhten Schadstoffgehalten besteht die Besorgnis des Entstehens schädlicher Bodenveränderungen bei einer Überschreitung der Vorsorgewerte nur, wenn eine erhebliche Freisetzung von Schad-



stoffen oder zusätzliche Stoffeinträge nachteilige Auswirkungen auf die Bodenfunktionen erwarten lassen.

## Prüfwerte

sind schutzgutbezogen toxikologisch abgeleitet worden. Diese Werte kennzeichnen die Abgrenzung des Vorsorgebereichs vom Gefahrenabwehrbereich.

Prüfwerte geben die Schwelle an, bei deren Überschreitung der Verdacht einer schädlichen Bodenveränderung besteht. Der Verdacht ist durch weitere Untersuchungen zu bestätigen oder auszuräumen. Wird der Verdacht bestätigt, sind Maßnahmen zu ergreifen. Liegt der Gehalt eines Schadstoffs unter dem Prüfwert, ist der Verdacht einer schädlichen Bodenveränderung insoweit ausgeräumt.

Eine schädliche Bodenveränderung kann z. B. zur Gefährdung der Gesundheit von Menschen führen, die sich in diesem Bereich aufhalten oder regelmäßig dort angebaute Nahrungspflanzen verzehren. Sie kann auch zur Beeinträchtigung des Wachstums von Pflanzen oder des Grundwassers durch Schadstoffe aus dem Boden führen.

## Maßnahmenwerte

sind Werte für Einwirkungen oder Belastungen, bei deren Überschreiten unter Berücksichtigung der jeweiligen Bodennutzung in der Regel von einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast auszugehen ist und Maßnahmen erforderlich sind.

Die Ableitung von Prüf- und Maßnahmenwerten stellt auf § 8 Abs. 1 BBodSchG und dessen Bezugnahme auf die Erfüllung der sich aus diesem Gesetz ergebenden Pflichten zur Gefahrenabwehr bei bestehenden schädlichen Bodenveränderungen oder Altlasten ab. Ausgangspunkt sind im wesentlichen Bodenfunktionen in ihrer Bedeutung für den Menschen im direkten Kontakt mit Boden, die Reinhaltung von Nahrungs-

**Tabelle 5: Prüf- und Maßnahmenwerte (letztere in rot) für den Schadstoffübergang Boden-Pflanze nach BBodSchV (Boden-gehalte im Ammoniumnitratextrakt).**

Element	Einheit	Acker Nutzgarten Pflanzen qualität	Acker Nutzgarten Pflanzen- wuchs
Arsen	mg / kg		0,4
Blei	mg / kg	0,1	
Cadmium	mg / kg	0,04 / 0,1 <sup>1</sup>	
Kupfer	mg / kg		1
Nickel	mg / kg		1,5
Thallium	mg / kg	0,1	
Zink	mg / kg		2

<sup>1</sup> Auf Flächen mit Brotweizenanbau oder stark Cadmium-anreichernden Gemüsearten gilt als Maßnahmenwert 0,04 mg/kg, ansonsten 0,1 mg/kg.

und Futterpflanzen sowie das Bodensickerwasser auf dem Weg zum Grundwasser. Schutzgüter sind dabei die menschliche Gesundheit, die Qualität von Nahrungspflanzen und Futtermitteln sowie das Bodensickerwasser.

## Analyseverfahren

Schadstoffgehalte nach Hintergrund- und Vorsorgewerten werden anhand des Gesamtgehalts im Boden (DIN ISO 11466, Königswasserextraktion) eingestuft. Dies gilt auch bei der Einstufung nach Prüf- und Maßnahmenwerten zur Beurteilung der Direktaufnahme von schadstoffhaltigem Boden durch Menschen (z. B. auf Kinderspielflächen, in Wohngebieten, Park- und Freizeitanlagen, auf Industrie- und Gewerbegrundstücken) sowie der Pflanzenqualität bei Grünland (Tabelle 6).

Bei der Beurteilung des Schadstoff-Übergangs Boden - Nutzpflanze im Hinblick auf die Pflanzenqualität und



**Tabelle 6: Vorsorgewerte sowie nutzungsbezogene Prüf- und Maßnahmenwerte (letztere in rot) der BBodSchV (Gesamtgehalte).**

Stoff	Einheit	Vorsorgewerte			Prüf- und Maßnahmenwerte					
		Sand	Lehm	Ton	Kinder-spiel-fläche	Wohnen	Park/ Freizeit-anlage	Gewerbe Industrie	Grünland	Acker Nutzgar-ten
Arsen	mg / kg				25	50	125	140	50	200 <sup>5</sup>
Blei	mg / kg	40	70	100	200	400	1000	2000	1200	
Cadmium	mg / kg	0,4	1	1,5	10 (2) <sup>1</sup>	20 (2) <sup>1</sup>	50	60	20	
Chrom	mg / kg	30	60	100	200	400	1000	1000		
Kupfer	mg / kg	20	40	60					1300 (200) <sup>2</sup>	
Nickel	mg / kg	15	50	70	70	140	350	900	1900	
Quecksilber	mg / kg	0,1	0,5	1	10	20	50	80	2	5
Thallium	mg / kg								15	
Zink	mg / kg	60	150	200						
PCB <sub>6</sub>	mg / kg	0,05 <sup>3</sup>		0,1 <sup>4</sup>	0,4	0,8	2	40	0,2	
PAK <sub>16</sub>	mg / kg	3 <sup>3</sup>		10 <sup>4</sup>						
Benzo(a)pyren	mg / kg	0,3 <sup>3</sup>		1 <sup>4</sup>	2	4	10	12		1
PCDD/F	mg / kg				100	1000	1000	10000		

<sup>1</sup> In Haus- und Kleingärten, die sowohl als Aufenthaltsbereich für Kinder als auch für den Nahrungspflanzenanbau dienen, ist für Cadmium der Wert von 2 mg / kg als Prüfwert anzuwenden.

<sup>2</sup> Bei Grünlandnutzung durch Schafe gilt als Maßnahmenwert 200 mg / kg Trockenmasse

<sup>3</sup> Bei ≤ 8 % Humus

<sup>4</sup> Bei > 8 % Humus

<sup>5</sup> Bei Böden mit zeitweise reduzierenden Verhältnissen gilt ein Prüfwert von 50 mg / kg Trockenmasse

auf Wachstumsbeeinträchtigungen bei Kulturpflanzen werden überwiegend die Schadstoffgehalte im Ammoniumnitratextrakt (DIN 19730) herangezogen (Tabelle 5).

### 3.1.4 Auswertekarten

Stoffgehalte werden in den Auswertekarten in der Farbfolge grün, gelb, orange, rot und violett dargestellt. Die Einstufung erfolgt nach landesweiten Hintergrund- (LABO, 2003) sowie Vorsorge-, Prüf- und Maßnahmenwerten der BBodSchV oder bei fehlenden Einstufungswerten nach Höhe der Bodengehalte. Die Dar-

stellung in den Karten erfolgte unabhängig von den aktuellen Bodennutzungen, die jedoch als zusätzliche Information durch geometrische Symbole hinterlegt sind. Das Verfahren der Königswasserextraktion erfasst bei einigen Schwermetallen (z. B. Chrom) < 80 % des tatsächlichen Gesamtgehalts. Bei Arsen, Zink, Kupfer, Nickel und Blei werden in der Regel > 80 % der tatsächlichen Gehalte erfasst (Utermann u. a., 2000). In die Auswertekarten sind auch Ergebnisse der Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) einbezogen worden, für die beide Verfahren ähnliche Ergebnisse liefern (Arsen, Zink, Kupfer, Nickel und Blei). Nicht berücksichtigt worden sind RFA-Daten für Cadmium (Cd) wegen der hohen Bestimmungsgrenze der RFA (2 mg Cd/kg).

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Bodenversauerung

Die Bodenversauerung ist in unserem Klimabereich ein natürlicher Prozess. Sie wurde in den vergangenen Jahrzehnten durch Nährstoffentzüge (Ca, Mg, K, Na) aus Waldböden und anthropogene, atmogene Protoneneinträge stark beschleunigt. In vielen Gegenden wurde eine kontinuierliche Abnahme des Boden-pH-Werts festgestellt.

Der Eintrag von Protonen ( $H^+$ -Ionen) in den Boden wird von den Puffersystemen des Bodens weitgehend neutralisiert. Infolge der Reaktion mit den Protonen werden die Puffersubstanzen (Carbonate, Silikate, Eisen-, Aluminium-, Mangan-Oxide bzw. -Hydroxide) aufgelöst und ausgewaschen. Der pH-Bereich, bei dem eine Pufferung der  $H^+$ -Ionen stattfindet, ist von der Basenstärke der vorliegenden Puffersubstanzen abhängig. Stärkere Basen (Carbonate, Silikate) puffern  $H^+$ -Ionen bereits bei relativ hohen pH-Werten. Schwächere Basen (Eisen- und Aluminium-(Hydr-)oxide) wirken erst bei niedrigen pH-Werten der Bodenlösung puffernd. Mit zunehmender Versauerung werden daher verschiedene nach ihren Hauptpuffersubstanzen benannte Puffersysteme durchlaufen.

Innerhalb eines Puffersystems bleibt der pH-Wert des Bodens annähernd konstant und sinkt bei Übergang in ein anderes Puffersystem nach weitgehender Auflösung der Puffersubstanzen.

Wenn die atmogenen und nutzungsbedingten Protoneneinträge die Protonenpufferung aus der Silikatverwitterung langfristig übersteigen, versauern die Böden sehr stark. Am Westrand des mittleren und südlichen Schwarzwalds wurden an den Depositionsmessstationen „Schauinsland“ und „Gengenbach“ jährliche atmogene Protoneneinträge von 0,9 – 1 kmol / ha im Freiland und 1,4 kmol / ha unter Fichte gemessen (HINDERER & EINSELE, 1998). Auf den pufferarmen

Gesteinen des Buntsandsteins und Kristallgebirges des Schwarzwalds liegt die jährliche Pufferrate aus der Silikatverwitterung unter 0,5 kmol/ha. Die Basennachlieferung aus der Silikatverwitterung reicht hier in der Regel nicht aus, um die  $H^+$ -Ioneneinträge (Säure-Einträge) aus der Luft zu neutralisieren.

Eine Zusammenstellung der Ursachen und Wirkungen der Boden- und Gewässerversauerung findet sich in Gryscho & Horlacher (1997) und in Hinderer & Einsele (1998).

#### **Versauerungszustand der Böden**

Der Versauerungszustand der Böden ist im wesentlichen von der Pufferkapazität des Ausgangsgesteins und der Nutzung abhängig.

Tabelle 7 stellt die Verteilung der pH-Werte in Abhängigkeit von Siedlungsstruktur, Nutzung und nach Herkunft der Kontaminationen dar. Die Böden des Bergbau- und Rieselfeld-Datenkollektivs weisen deutlich niedrigere pH-Werte als die Böden des regionalen Hintergrund-Datenkollektivs auf.

#### **Einfluss der Nutzung**

Nutzungsabhängig werden auf Grünland und unter forstwirtschaftlicher Nutzung die geringsten pH-Werte angetroffen.

Bei gärtnerischer und ackerbaulicher Nutzung sowie bei den Sonderkulturen liegen die pH-Werte meistens im Silikat- und Carbonatpufferbereich (pH 5 - 7,9). Die höchsten pH-Werte werden im Weinbau vorgefunden [pH 7,1 (10. P.)]. Die vergleichsweise hohen pH-Werte bei den Nutzungen Acker, Garten und Weinbau sind vor allem auf den Ausgleich der Protoneneinträge durch Düngung zurückzuführen.

**Tabelle 7: Verteilung der pH-Werte in den Oberböden.**

	n	pH CaCl <sub>2</sub>		
		10.P.	50.P.	90.P.
<b>nach Herkunft der Schadstoffe</b>				
regionaler Hintergrund	389	5,0	6,8	7,5
Bergbau	1251	4,1	5,7	7,0
Rieselfeld	20	4,9	5,3	6,1
<b>Siedlungsstruktur</b>				
Siedlungsbereich	126	4,1	6,3	7,2
Außenbereich	1533	4,3	5,9	7,2
<b>Nutzung</b>				
Acker	936	5,2	6,3	7,3
Grünland	497	3,8	4,9	6,2
Sonderkultur	38	4,6	7,1	7,5
Obstbau	16	4,6	6,4	7,2
Weinbau	91	7,1	7,5	7,6
Forst	62	3,7	5,3	7,4
Gärten	66	5,2	6,1	6,9
Park	13	5,4	6,3	7,2
Gewerbe	25	3,8	4,1	7,1
Kinderspielfläche	21	6,5	7,0	7,6

Grauton: n < 20 (geringe Datengrundlage)

### **Räumliche Verteilung starker Bodenversauerung**

Karte 2 stellt die pH-Werte der Böden und die zugehörigen Puffersysteme dar. Die Punkte bezeichnen die gemessenen Einzelwerte für die untersuchten Oberböden. Die unterschiedlich eingefärbten Flächen charakterisieren den Versauerungszustand und den Tiefengradienten der Bodenversauerung der in der Bdenübersichtskarte 1:200.000 ausgewiesenen Bodengesellschaften. Der Versauerungszustand der Bodengesellschaften wurde vom Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau aufgrund der Auswertung von 1185 Bodenprofilen des badischen Landesteils charakterisiert (*REGIERUNGSPRÄSIDIUM KARLSRUHE, 1999*).

#### **Schwarzwald**

Stark saure Böden mit pH-Werten unter 4 bis 5 finden sich hauptsächlich auf basenarmen Ausgangsgestei-

nen mit Grünland- oder Waldnutzung. Basenarme Gesteine sind verbreitet im Schwarzwald auf präkambrischen und paläozoischen Kristallingesteinen des Grundgebirgs (Gneise, Anatexite, Granite) und auf Gesteinen des mittleren und oberen Buntsandsteins im Bereich der Lahr-Emmendinger Vorbergzone westlich von Freiamt und Schuttertal (vergleiche Karte 1). Die Böden sind hier oft tiefgründig stark versauert (violette bis rosarote Flächen in Karte 2).

#### **Tallagen des Schwarzwalds**

In den Schwarzwaldtälern mit quartären Talfüllungen liegen die pH-Werte meist zwischen 4 bis 6. Niedrigere Boden-pH-Werte sind hier auch bei ackerbaulicher Nutzung vorzufinden. Wegen der teilweise hohen Schwermetallgehalte und der mobilisierenden Wirkung von niedrigen Boden-pH-Werten können hier beim Nutzpflanzenanbau hohe Schwermetallgehalte in den Pflanzen vorliegen.

#### **Andere Bereiche**

Stark saure Böden finden sich auch im Mooswald, nordwestlich von Freiburg.

### **Auswirkungen starker Bodenversauerung**

Mit schädlichen Auswirkungen der Bodenversauerung ist im Eisen-/Aluminium- und im Aluminium-Pufferbereich (pH < 4,2) zu rechnen. Die Folge dieser Versauerung sind nährstoffarme Böden mit geringer mikrobieller Bodenaktivität und Zersetzungsleistung der Bodenfauna. In stark sauren Waldböden tritt teilweise Kalium- und Magnesiummangel auf. Bei unzureichender Pufferung der Protonen in Böden und Gesteinen versauern die Gewässer. Die Gehalte an gelöstem Aluminium in stark sauren Gewässern können zu Überschreitungen des Trinkwassergrenzwerts, zum Absterben von Fischbeständen und zu weiteren Schädwirkungen auf die Biozönose führen. Bei sauren Böden hängt die Wasserqualität der Quellen, Bäche und des Grundwassers im wesentlichen von den Fließwegen und den Verweilzeiten des Sickerwassers

ab. Mit Gewässerversauerung ist bei vorherrschend lateralen Fließwegen, im Oberlauf von Flüssen und bei oberflächennahen Quellen zu rechnen. Bei vertikalen Fließwegen werden die gelösten Protonen und Aluminiumionen in der tieferliegenden Gesteinszersatzzone, die in der Regel höhere pH-Werte hat, zum Großteil abgepuffert.

### **Fließgewässer**

Die größeren Fließgewässer des Untersuchungsgebietes sind wenig versauert. Der pH-Wert der Unter- bis Mittelläufe der Fließgewässer liegt gewöhnlich über 6,5. In Oberlaufnähe sinkt der pH-Wert in einigen wenigen Fällen bis auf pH 5,5 ab (LfU, 1992).

### **Grundwasser**

Wegen der geringen Pufferkapazität von Böden und Gesteinen wird im mittleren und südlichen Schwarzwald der Trinkwassergrenzwert (pH 6,5) bei Grundwässern und Quellen häufig unterschritten. Bei einer Trinkwassernutzung müssen solche Wässer entsäuert werden, da bei sauren Wässern die natürliche und korrosionsbedingte Schwermetallfreisetzung im Grund- bzw. Leitungswasser erhöht ist.

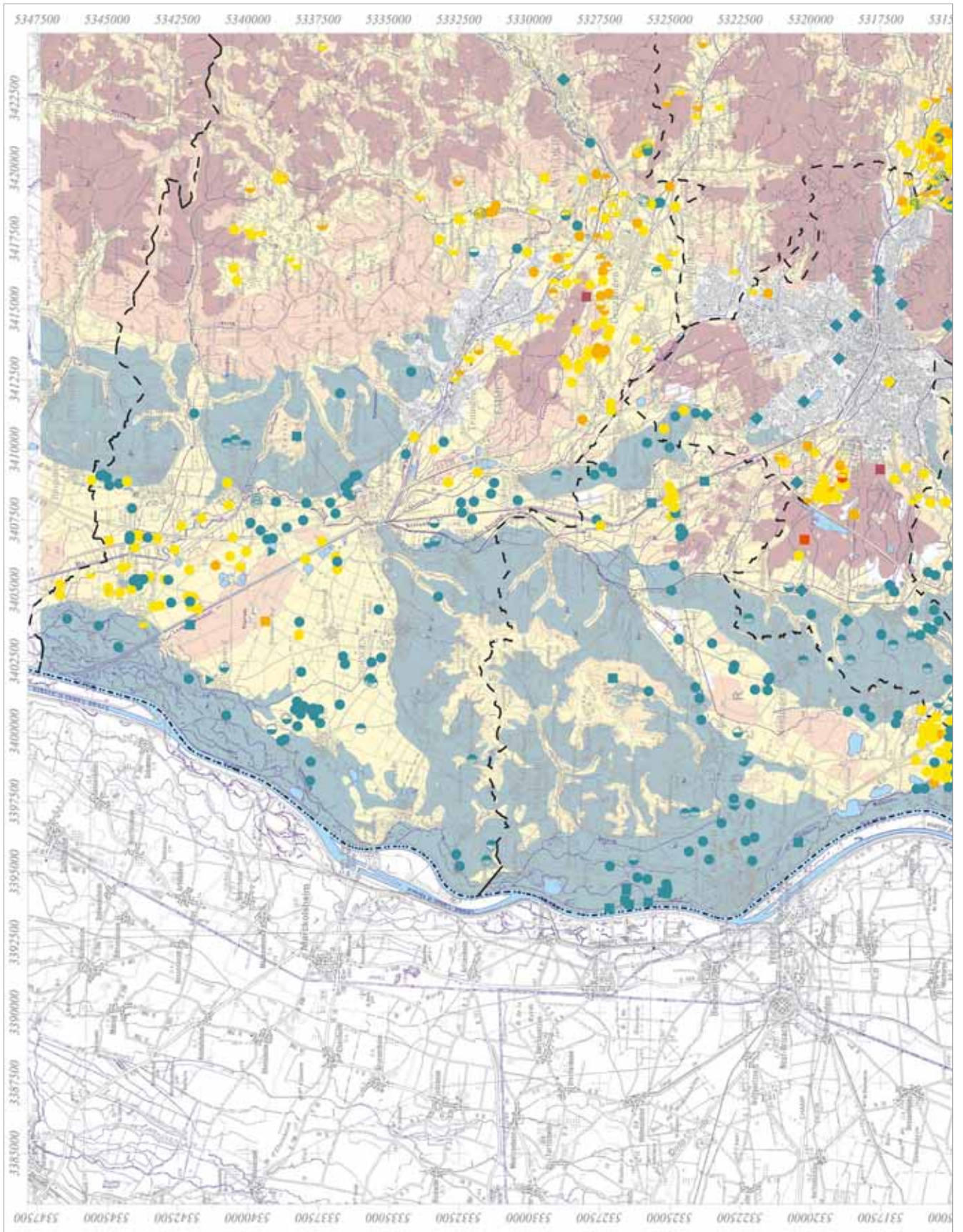
Diese Situation ist im Bereich des mittleren Buntsandsteins am häufigsten anzutreffen. Hier haben viele Grundwässer und Quellen pH-Werte zwischen 4 und 6,2. Unter pH 5,5 wird der Trinkwassergrenzwert für Aluminium und Mangan teilweise überschritten.

In den Einzugsgebieten von Granit- und Gneisregionen des Südschwarzwalds finden sich dagegen nur selten Grundwässer mit pH-Werten unter 5. Insbesondere in Bereichen mit granitischen Gesteinen liegen die pH-Werte dennoch verbreitet unter dem Trinkwassergrenzwert von pH 6,5.

Dies trifft auch für die quartären Talfüllungen zu. Diese Grundwasserspeicher sind im mittleren und südlichen Schwarzwald für die regionale Trinkwasserversorgung von großer Bedeutung (HINDERER & EINSELE, 1998). So wurden im Grundwasser in den Randbereichen des Schwarzwalds (z. B. in der Frei-

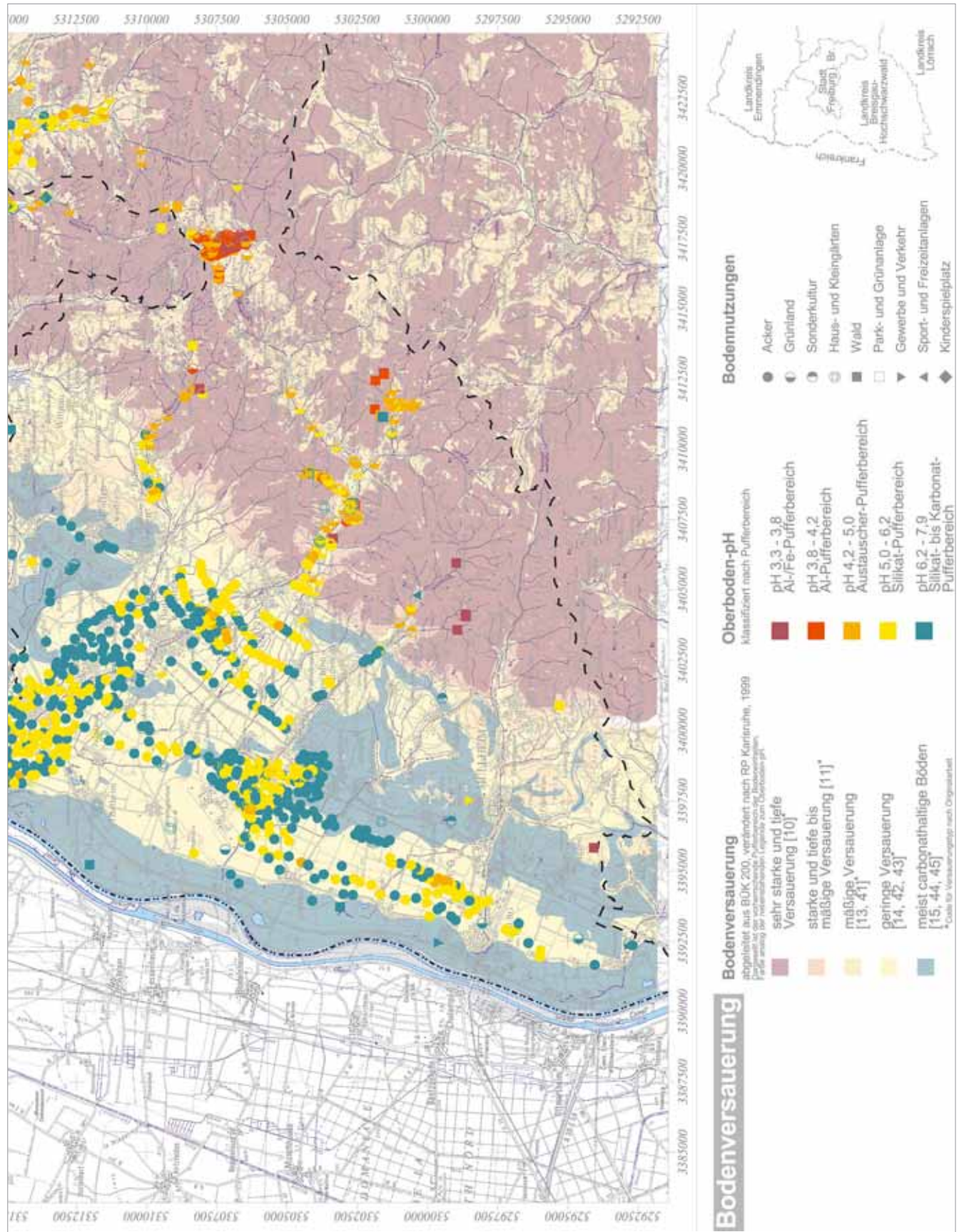
burger Bucht) und in den Lockergesteinen der Schwarzwaldtäler (z. B. von Möhlin, Neumagen, Dreisam und Elz) oft Unterschreitungen des Trinkwassergrenzwerts angetroffen (LfU, 2001).





Karte 2: Bodenversauerung und aktuelle pH-Werte der Oberböden.







## 4.2 Schadstoffe

### 4.2.1 Anorganische Stoffe

#### 4.2.1.1 Arsen (As)

##### **Toxizität**

Für das Element Arsen (As) wird eine kanzerogene Wirkung angenommen (*Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, 1988*). Selbst bei Böden, deren Arsengehalte nahe dem Hintergrundwert liegen und daher als natürlich gelten können, sind toxische Wirkungen nicht auszuschließen (*Bachmann u. a., 1997*). Bei höheren löslichen Gehalten kann das Wachstum von Kulturpflanzen beeinträchtigt werden.

##### **Räumliche Verteilung**

##### **Rieselfeld und regionales Hintergrund-Datenkollektiv**

Die Arsen-Gesamtgehalte ( $As_{Ges}$ ) liegen sowohl bei den Proben, die dem regionalen Hintergrund-Datenkollektiv zugeordnet wurden, als auch bei den Proben aus dem Rieselfeld im Bereich der landesweiten Hintergrundwerte für unbelastete Böden.

##### **Bergbau**

In den Proben, die dem Bergbaudaten-Datenkollektiv zugeordnet wurden, sind die Arsen-Gesamtgehalte [25 mg/kg (50. P.) - 157 mg/kg (90. P.) -] und die ammoniumnitrat-extrahierbaren Arsengehalte ([0,012 mg/kg (50. P.) - 0,071 mg/kg (90. P.)] erhöht. Hohe Gesamtgehalte an Arsen wurden im Bereich der Talauen des Sulzbach, Untermünster-, Neumagen-, Möhlin- und Suggentals vorgefunden (Karte 3). Der Prüfwert der BBodSchV für den Übergang von Boden auf Menschen und der Nutzung „Kinderspielfläche“ (25 mg/kg) sowie der Wert für den Wirkungspfad für den Schadstoffübergang von Boden auf Nutzpflanze von Grün-

landflächen im Hinblick auf die Pflanzenqualität (50 mg/kg) werden hier häufig überschritten. In den übrigen Bereichen (Schauinsland und den Talauen des Kappler Talbachs, der Brugga, Glotter und Elz) liegen keine großflächig erhöhten Arsengehalte in den Böden vor.

Neben den Gesamtgehalten an Arsen sind auch die ammoniumnitrat-extrahierbaren Gehalte der Böden der Talauen der Neumagen und Möhlin sowie in der Umgebung von Heitersheim erhöht (Karte 4). Der Prüfwert der BBodSchV für den Schadstoffübergang von Boden auf Nutzpflanze auf Ackerflächen im Hinblick auf Wachstumsbeeinträchtigungen bei Kulturpflanzen (0,4 mg/kg) wird jedoch nicht überschritten.

##### **Nutzung**

Bis etwa 1940 wurden insbesondere im Weinbau verbreitet Kalk- und Bleiarsenate zur Schädlingsbekämpfung eingesetzt. Aus der Datenauswertung (Tabelle 8) ergibt sich bei den Weinbauböden aber keine signifikante Arsenanreicherung oder andere nutzungsbedingte Einflüsse. Sie weisen ähnliche Gesamtgehalte an Arsen auf wie die Böden der Siedlungs- und Außenbereiche.

##### **Boden-pH-Werte und Tongehalte**

Die Arsen-Gesamtgehalte nehmen in den Gebieten mit Einfluss des alten Erzbergbaus mit abnehmendem Tongehalt zu. Die ammoniumnitrat-extrahierbaren Gehalte steigen mit zunehmendem Boden-pH-Wert.

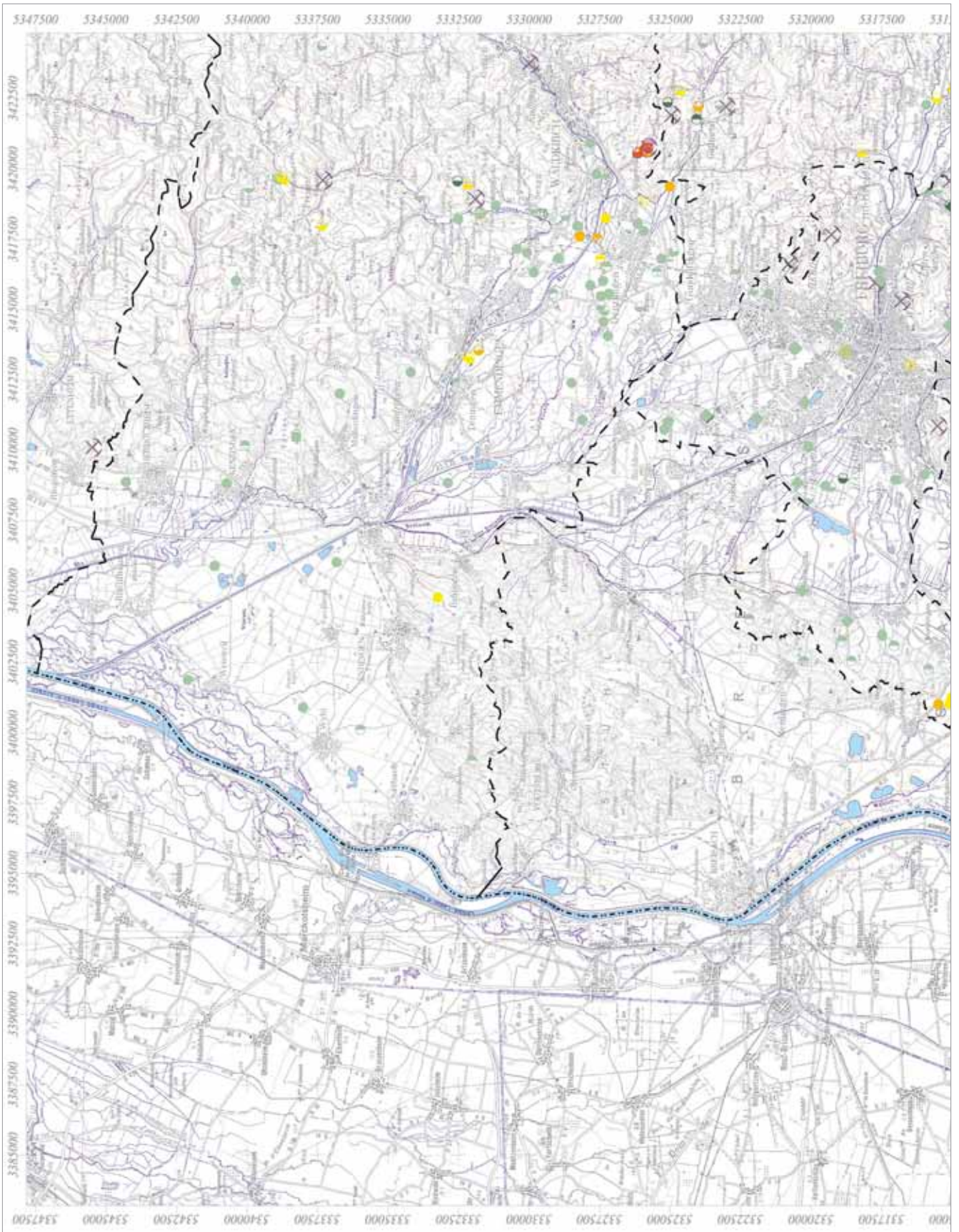
Bei den Daten des regionalen Hintergrund Daten-Kollektivs beeinflusst weder der Tongehalt noch der Boden-pH-Wert den Arsengehalt der Böden.

Tabelle 8: Statistische Kenngrößen für Arsen.

	As <sub>Ges</sub> [mg/kg]			As <sub>An</sub> [mg/kg]		
	n	50.P.	90.P.	n	50.P.	90.P.
<b>nach Herkunft der Schadstoffe</b>						
regionaler Hintergrund	112	10	21	86	n.n.	0,002
Bergbau	126	25	159	224	0,012	0,071
Rieselfeld	4	7	9	4	n.n.	n.n.
<b>Hintergrundkollektiv nach Siedlungsstruktur</b>						
Außenbereich	89	10	22	83	n.n.	0,002
Emmendingen	40	9	14	40	n.n.	n.n.
Freiburg	13	9	10	14	n.n.	0,00
Breisgau / H.	36	12	32	29	n.n.	0,002
Siedlungsbereich	23	9	21	3	n.n.	n.n.
Emmendingen	2	7	9	0	--	--
Freiburg	18	9	21	0	--	--
Breisgau / H.	3	21	28	3	n.n.	n.n.
<b>nach Nutzungen</b>						
Ackerbau	42	10	15	38	n.n.	0,002
Grünland	22	10	23	22	n.n.	0,002
Sonderkultur	18	8	28	18	n.n.	n.n.
Weinbau	11	8	28	11	n.n.	n.n.
Obstbau	7	8	12	7	n.n.	n.n.
Gärten	9	11	23	3	n.n.	n.n.
Forst	7	8	33	5	n.n.	0,004
Park / Grünanl.	1	--	--	1	--	--
Gewerbe	0	--	--	0	--	--
Kinderspielplatz	12	8	11	0	--	--
:						
	Hintergrund			Bergbau		
	n	50.P.	90.P.	n	50.P.	90.P.
<b>As<sub>Ges</sub> nach Tongehaltsgruppen</b>						
T1 (< 8 % Ton)	6	12	27	6	43	325
T2 (8 - 17 %)	40	8	21	41	41	176
T3 (17 - 27 %)	55	10	15	70	24	135
T4 (27 - 45 %)	4	10	86	3	18	33
T5 (45 - 65 %)	0	--	--	1	--	--
T6 (> 65 %)	0	--	--	0	--	--
<b>As<sub>An</sub> (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>) nach Boden-pH</b>						
< 3,5	1	--	--	0	--	--
3,5 - 4,5	10	n.n.	0,031	19	n.n.	0,025
4,5 - 5,5	29	n.n.	0,002	108	0,005	0,049
5,5 - 6,5	19	n.n.	0,002	59	0,025	0,063
6,5 - 7,5	22	n.n.	n.n.	24	0,049	0,141
> 7,5	5	n.n.	n.n.	1	--	--

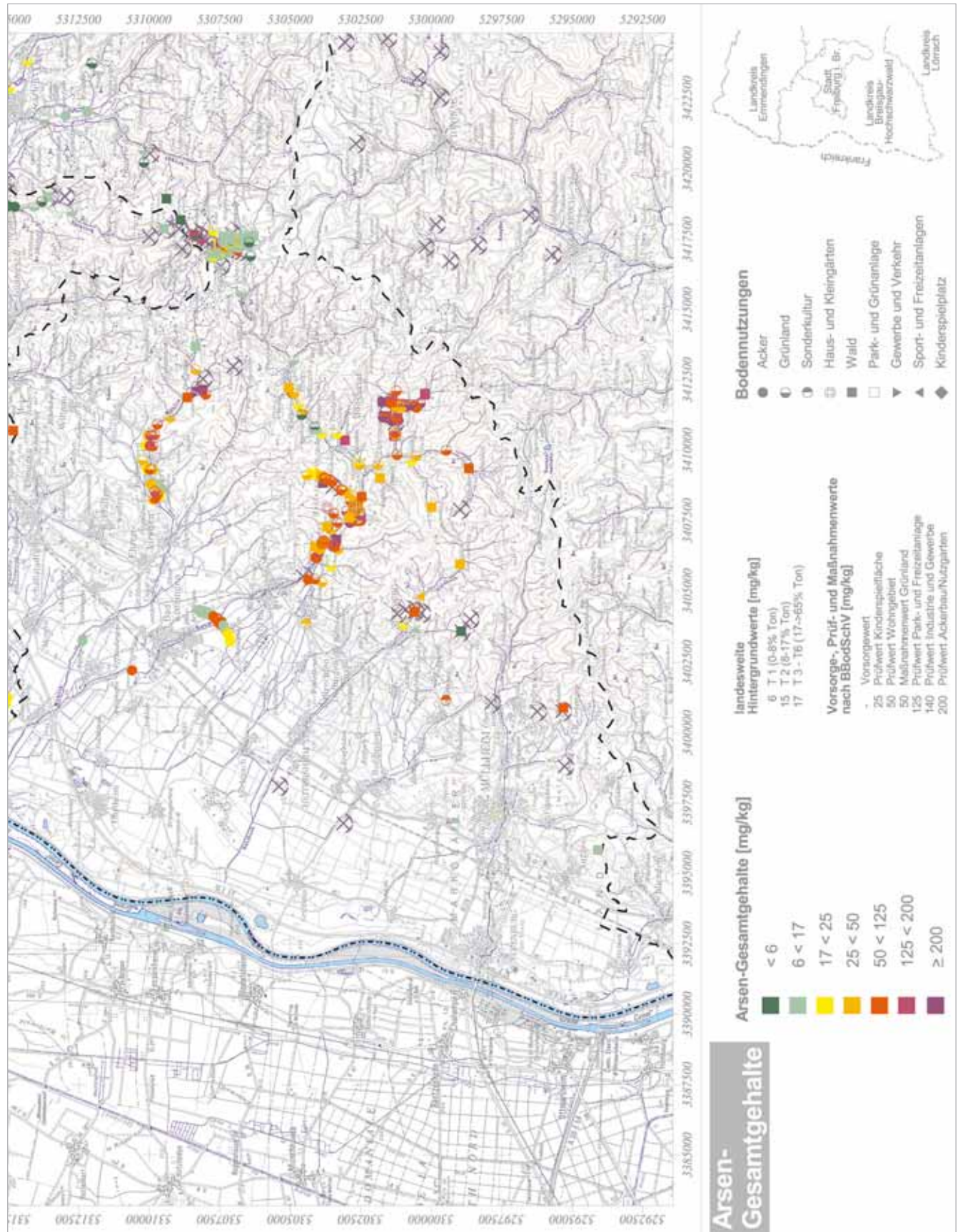
As<sub>An</sub>: n.n. = < 0,02 mg /kg

Grauton: n &lt; 20 (geringe Datengrundlage)

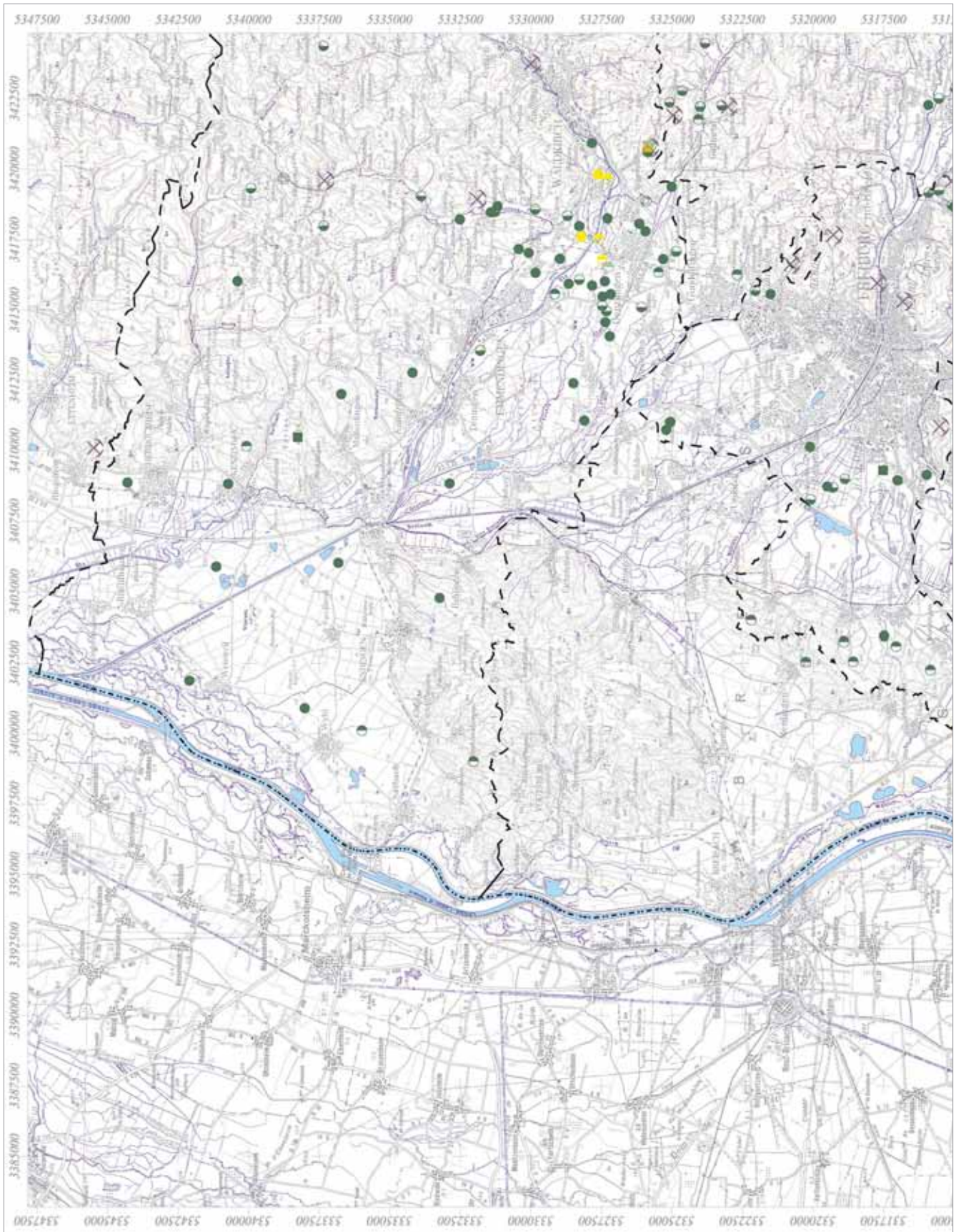


Karte 3: Arsen-Gesamtgehalte.



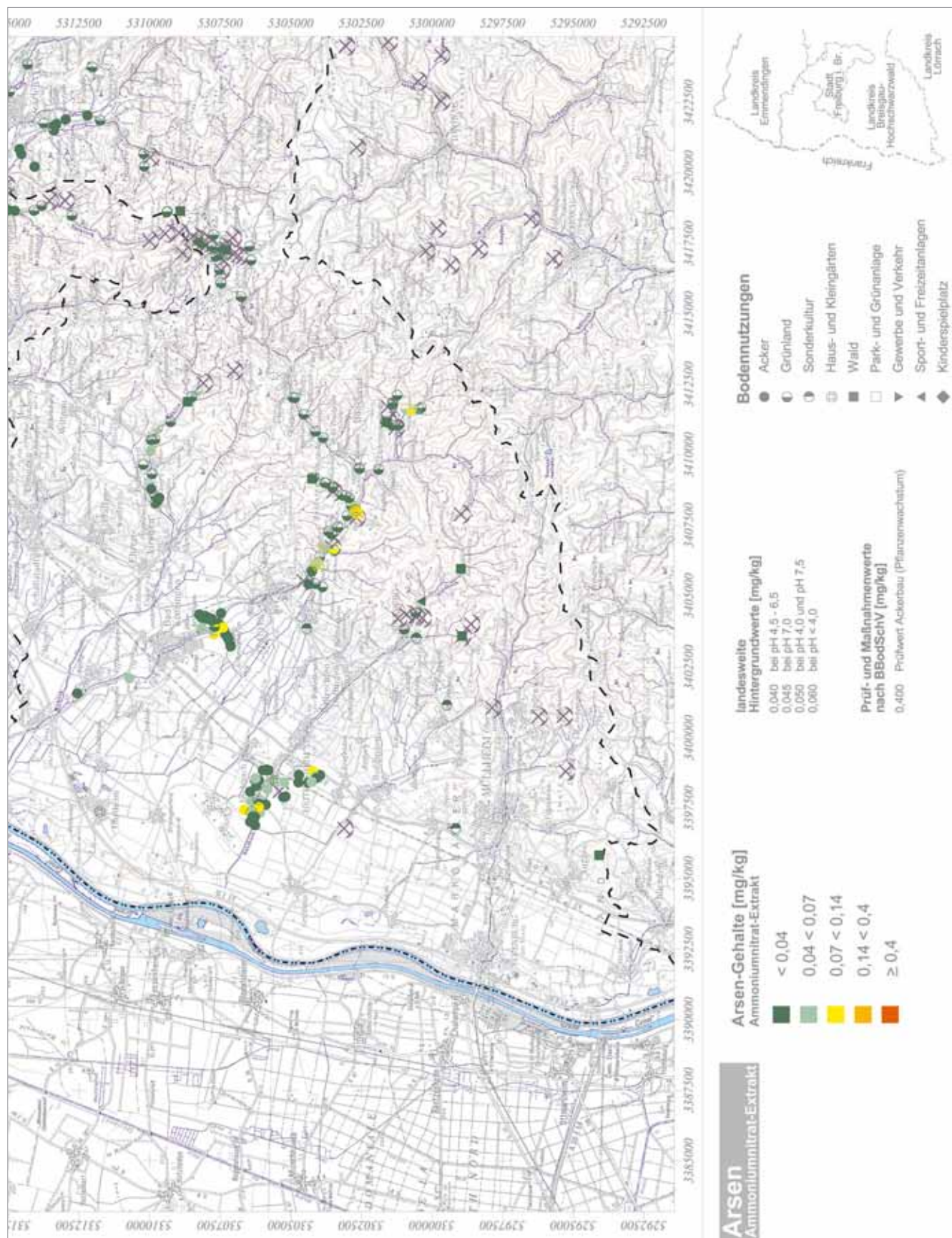






Karte 4: Ammoniumnitrat-extrahierbare Arsengehalte.





### 4.2.1.2 Blei (Pb)

#### **Toxizität**

Hohe Aufnahmen von Blei (Pb) können beim Menschen zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen (*Stadt Freiburg Informationsbroschüre, Ministerium für Arbeit, Gesundheit und Soziales Nordrhein-Westfalen, 1991*). Die direkte Bodenaufnahme und der Verzehr von bleihaltigen Nahrungsmitteln sind die Hauptaufnahmepfade.

#### **Räumliche Verteilung**

In den Böden der Rheinaue, der Niederterrasse und der Vorbergzone liegen die Gesamtgehalte an Blei im Bereich des landesweiten Hintergrunds für natürliche Böden (25 - 55 mg/kg).

#### **Bergbau**

In den Gebieten mit Einfluss des alten Erzbergbaus weisen die Böden hohe Gesamtgehalte an Blei ( $Pb_{Ges}$ ) auf [226 mg/kg (50. P.) - 1490 mg/kg (90. P.)].

Die höchsten Gehalte wurden in der Umgebung von Heitersheim, Ober- und Untermünstertal, in den Tälern von Neumagen und Möhlin und am Schauinsland ermittelt. In den Tallagen von Brugga, Glotter und Elz liegen die Bleigehalte der Böden meist etwas niedriger.

Der Prüfwert der BBodSchV für den Wirkungspfad von Boden auf Mensch und die Nutzung „Wohngebiete“ (400 mg/kg) sowie der Wert für den Wirkungspfad für den Schadstoffübergang von Boden auf Nutzpflanze auf Grünlandflächen im Hinblick auf die Pflanzenqualität (1200 mg/kg) (Karte 5) und der Prüfwert für die ammoniumnitrat-extrahierbaren Gehalte (Schadstoffübergang von Boden auf Nutzpflanze) (Karte 6) wird in den von alten Erzbergbau beeinflussten Gebieten häufig überschritten.

#### **Rieselfeld**

Erhöhte Bleigehalte treten auch in den Böden des Rieselfelds auf und führen dort häufig zur Überschreitung der Vorsorgewerte der BBodSchV. Prüfwerte der BBodSchV werden nicht erreicht (Karten 5 und 29).

#### **Nutzung**

Innerhalb der Siedlungsbereiche weisen vor allem die Böden des Stadtgebiets von Freiburg erhöhte Bleigehalte auf. In den Außenbereichen sind die Gehalte dagegen geringer (Tabelle 9).

Der 90. Perzentilwert des regionalen Hintergrund-Datenkollektivs überschreitet den Vorsorgewert der BBodSchV. Diese Überschreitung ist auf den siedlungsbedingten Einfluss und die schwierige Abgrenzung der bergbaulich beeinflussten Böden zurückzuführen (s. Kap. 3.1.2).

#### **Boden-pH-Werte und Tongehalte**

Die ammoniumnitrat-extrahierbaren Bleigehalte nehmen mit abnehmendem pH-Wert zu. Unter pH 5,5 ist bei Böden des Bergbau- und regionalen Hintergrund-Datenkollektivs eine Überschreitung des Prüfwerts der BBodSchV für den Schadstoffübergang Boden zu Nutzpflanze auf Grünlandflächen von 0,1 mg/kg wahrscheinlich.

Tabelle 9: Statistische Kenngrößen für Blei.

	Pb <sub>Ges</sub> [mg/kg]			Pb <sub>An</sub> [mg/kg]		
	n	50.P.	90.P.	n	50.P.	90.P.
<b>nach Herkunft der Schadstoffe</b>						
regionaler Hintergrund	577	38	115	99	0,000	0,090
Bergbau	923	226	1490	261	0,001	0,150
Rieselfeld	47	76	159	4	0,041	0,200
<b>Hintergrundkollektiv nach Siedlungsstruktur</b>						
Außenbereich	514	37	100	96	0,000	0,090
Emmendingen	141	28	50	41	0,010	0,090
Freiburg	30	26	54	14	n.n.	0,092
Breisgau / H.	343	49	131	41	0,000	0,060
Siedlungsbereich	62	45	148	3	n.n.	0,020
Emmendingen	2	42	64	0	--	--
Freiburg	47	46	148	0	--	--
Breisgau	13	39	260	3	n.n.	0,020
<b>nach Nutzungen</b>						
Ackerbau	387	41	100	42	0,000	0,073
Grünland	67	34	71	23	0,030	0,092
Sonderkultur	30	24	53	18	0,010	0,100
Weinbau <sup>1</sup>	91	20	69	11	n.n.	0,060
Obstbau	11	27	40	7	0,030	0,300
Gärten	22	54	184	3	0,000	0,003
Forst	30	30	115	13	0,000	0,002
Park / Grünanl.	3	148	156	1	--	--
Gewerbe	3	29	39	0	--	--
Kinderspielplatz	36	45	140	0	--	--

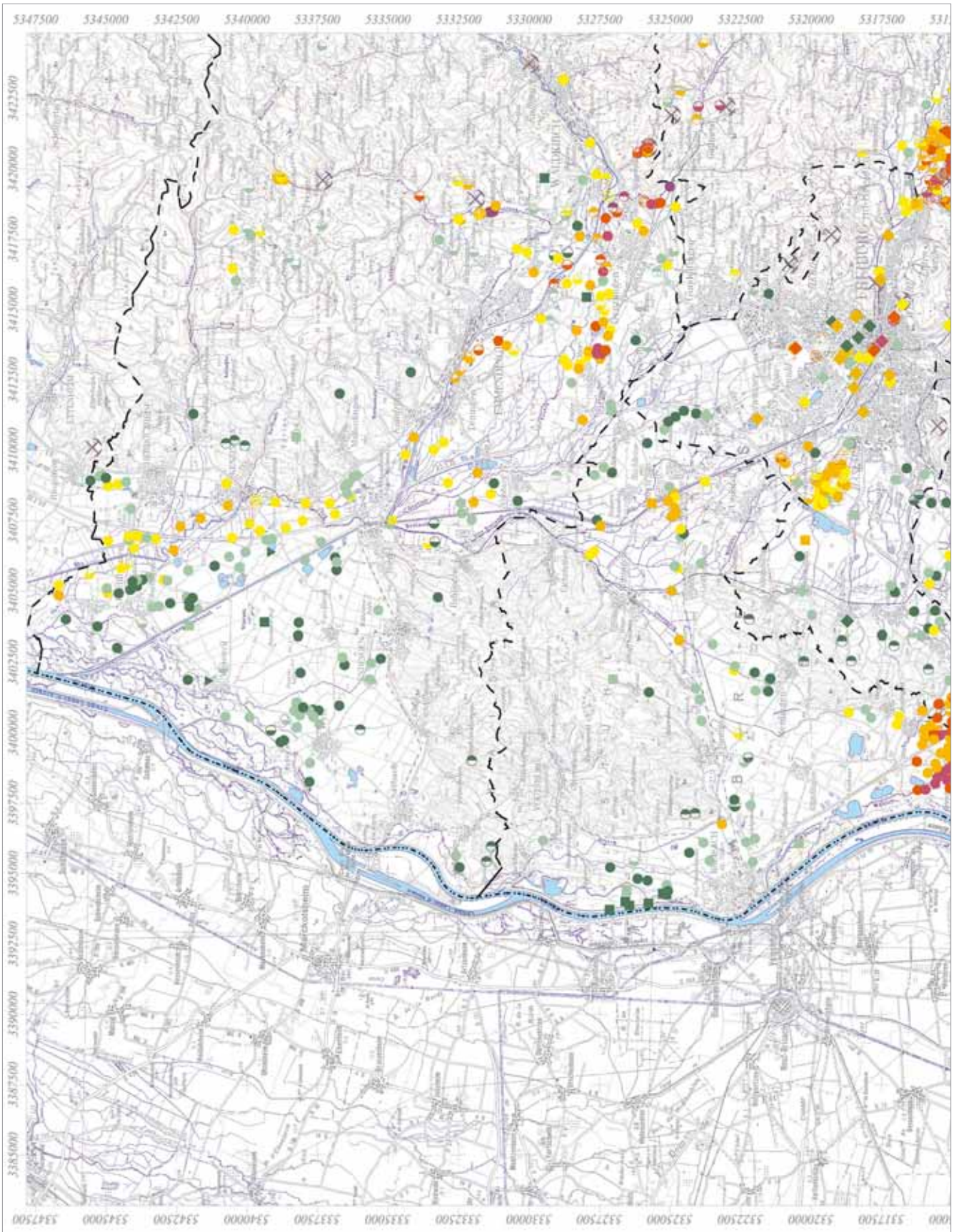
	Hintergrund			Bergbau		
	n	50.P.	90.P.	n	50.P.	90.P.
<b>Pb<sub>Ges</sub> nach Tongehaltsgruppen</b>						
T1 (< 8 % Ton)	12	25	141	12	113	1637
T2 (8 - 17 %)	47	29	120	86	865	2749
T3 (17 - 27 %)	217	31	75	206	200	1190
T4 (27 - 45 %)	38	25	49	37	995	2100
T5 (45 - 65 %)	0	--	--	3	299	1485
T6 (> 65 %)	0	--	--	2	53	53
<b>Pb<sub>An</sub> (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>) nach Boden-pH</b>						
< 3,5	1	--	--	0	--	--
3,5 - 4,5	10	0,038	0,660	21	0,053	9,800
4,5 - 5,5	29	0,035	0,110	130	0,003	0,190
5,5 - 6,5	20	n.n.	0,029	66	0,001	0,010
6,5 - 7,5	32	0,000	0,025	29	0,000	0,000
> 7,5	7	0,000	0,087	1	--	--

<sup>1</sup> Einbeziehung nicht verorteter Daten der LUFA

Pb<sub>An</sub>: n.n. = < 0,01 oder 0,05 mg /kg

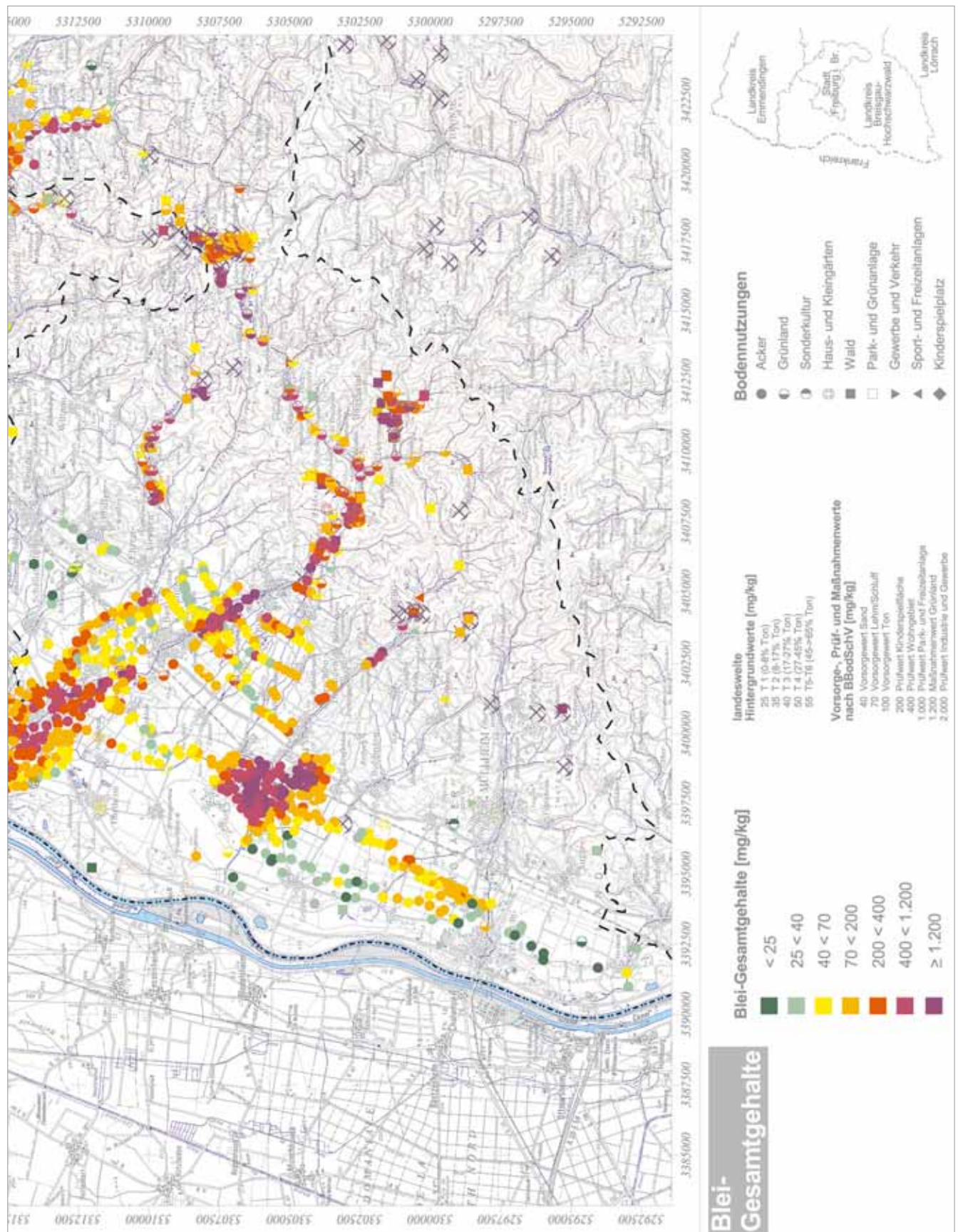
Grauton: n < 20 (geringe Datengrundlage)



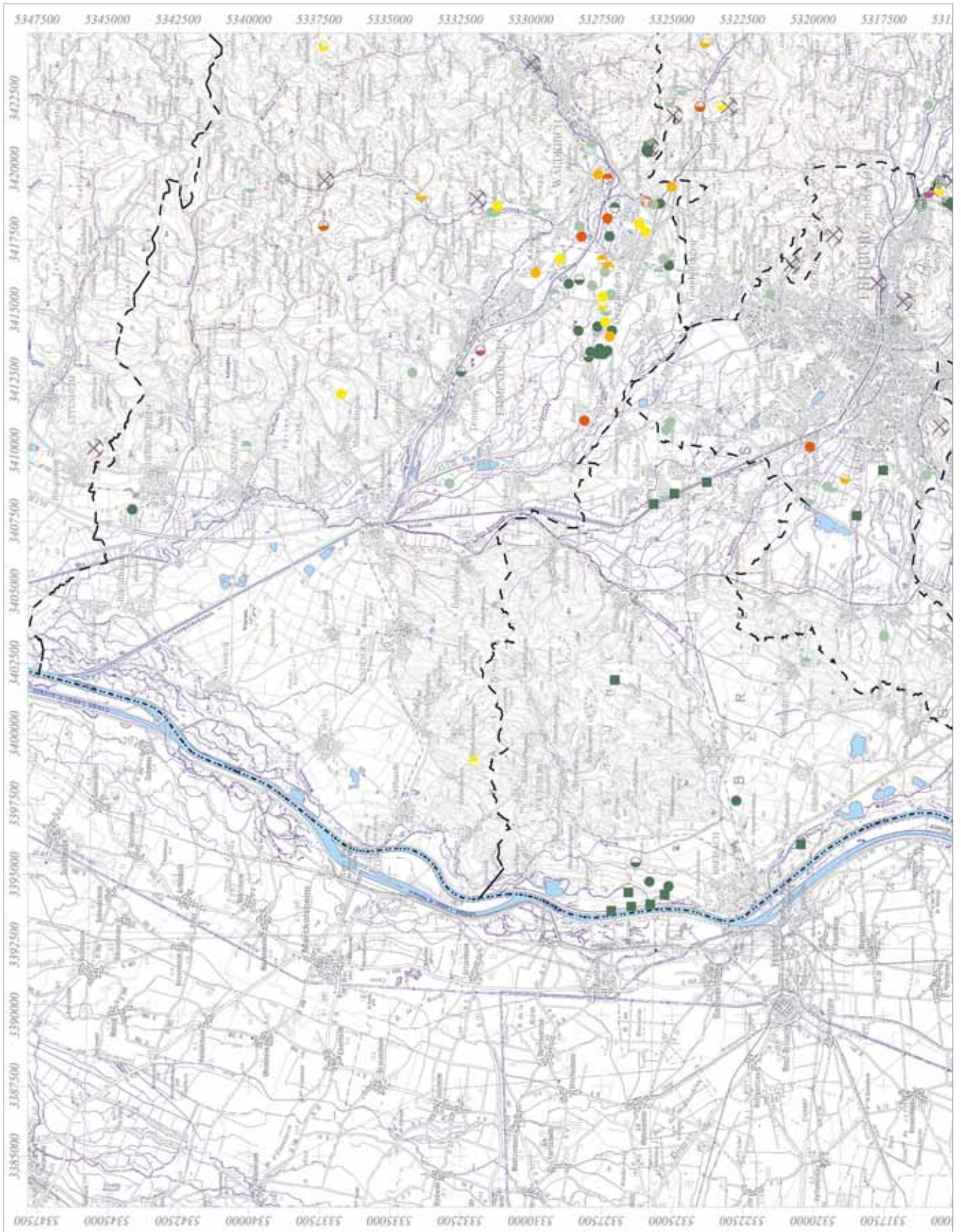


Karte 5: Blei-Gesamtgehalte.



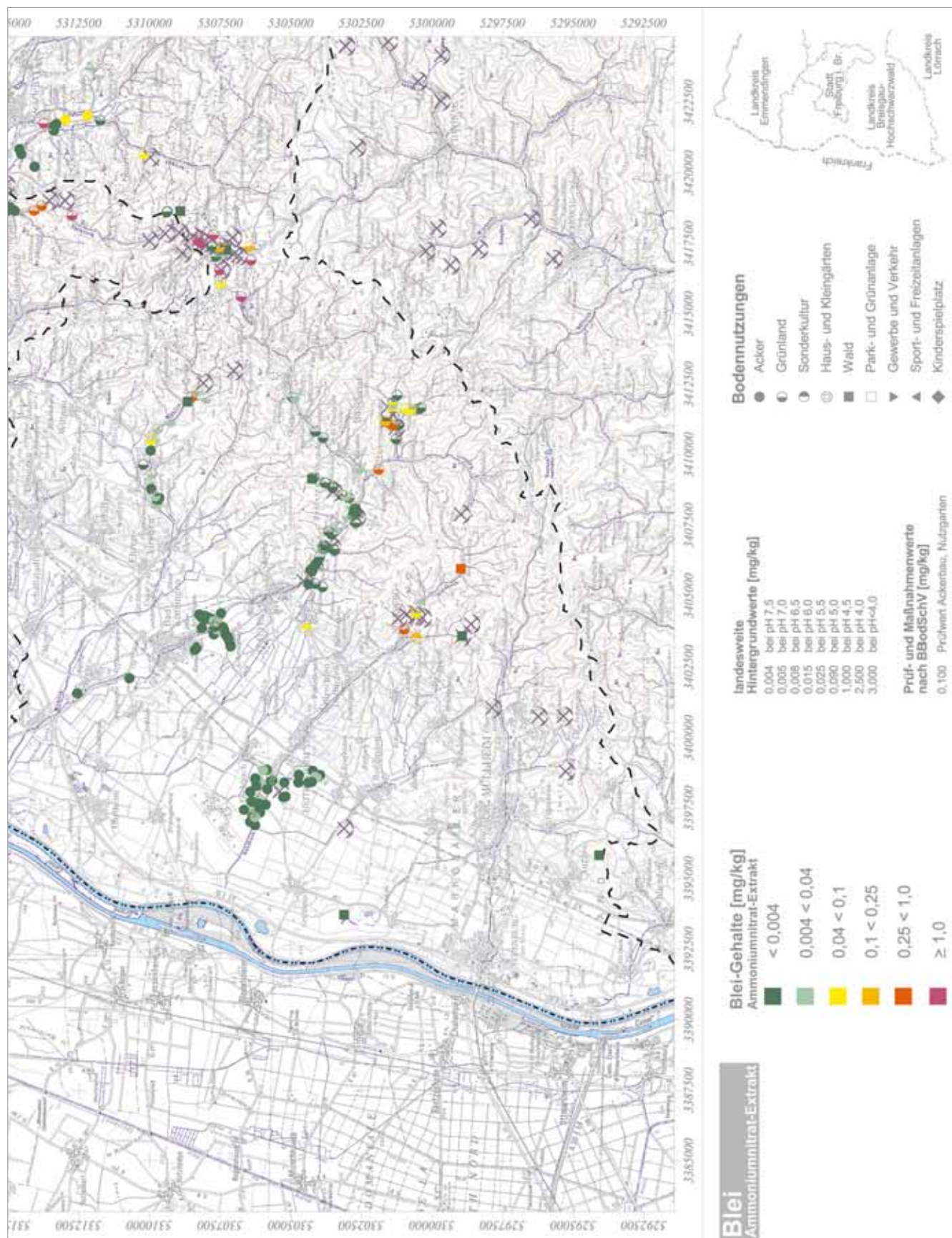






Karte 6: Ammoniumnitrat-extrahierbare Bleigehalte.







### 4.2.1.3 Cadmium (Cd)

#### **Toxizität**

Hohe Aufnahmen von Cadmium (Cd) können beim Menschen zu gesundheitlichen Schäden führen (*Ministerium für Arbeit, Gesundheit und Soziales Nordrhein-Westfalen, 1991*). Cadmium ist im Boden relativ gut löslich und wird leicht von Pflanzen aufgenommen oder mit der Bodenlösung verlagert. Die Cadmiumaufnahme über Nahrungsmittel stellt den Hauptaufnahmepfad dar. Eine Besorgnis für die menschliche Gesundheit (Nutzung Kinderspielflächen) durch die direkte Aufnahme von Bodenpartikeln besteht nach der BBodSchV bei nicht zum Nahrungsmittelanbau genutzten Flächen erst bei hohen Cadmium-Gesamtgehalten von über 10 mg/kg Boden.

#### **Räumliche Verteilung**

Die Cadmium-Gesamtgehalte ( $Cd_{Ges}$ ) der Böden des Hintergrundkollektivs liegen im Bereich der landesweiten Hintergrundwerte für unbelastete Böden.

#### **Rieselfeld**

Erhöhte Cadmiumgehalte sind in den Böden des ehemaligen Rieselfelds anzutreffen. Sie liegen häufig im Bereich des Vorsorgewerts für Böden der Bodenarten-Hauptgruppe „Lehm/Ton“ von 1 mg/kg (Karte 30).

#### **Bergbau**

In den Gebieten mit Einfluss des alten Erzbergbaus sind besonders im holozänen Überschwemmungsbe- reich in der Umgebung von Heitersheim, im Ober-, Unter- münstertal sowie im Neumagen und Kappler Tal erhöhte Cadmiumgehalte zu verzeichnen [0,55 mg/kg (50. P.) - 2,4 mg/kg (90. P.)]. Im Elz- und Glottertal liegen die Gehalte im Bereich des landesweiten Hinter- grunds (Karte 7).

Der Maßnahmenwert der BBodSchV im Hinblick auf die Pflanzenqualität für den Schadstoffübergang vom

Boden in die Nutzpflanze auf Ackerbauflächen und in Nutzgärten wird in der Umgebung von Heitersheim, im Obermünstertal am Oberlauf der Möhlin und im Kappler Tal großflächig überschritten (Karte 8).

#### **Nutzung**

Im Vergleich zu den eher ländlich geprägten Landkreisen Emmendingen und Breisgau-Hochschwarzwald sind die Cadmiumgehalte in den Böden des Siedlungsbereich von Freiburg erhöht (Tabelle 10).

#### **Boden-pH-Werte und Tongehalte**

Der ammoniumnitrat-extrahierbare Cadmiumgehalt der Böden nimmt mit abnehmendem pH-Wert zu. In bergbaulich beeinflussten Gebieten ist mit einer Überschreitung des Maßnahmenwerts für den Anbau von Nahrungsmitteln (0,04 bis 0,1 mg/kg) bei Boden-pH-Werten unter 6,5 zu rechnen.

Tabelle 10: Statistische Kenngrößen für Cadmium.

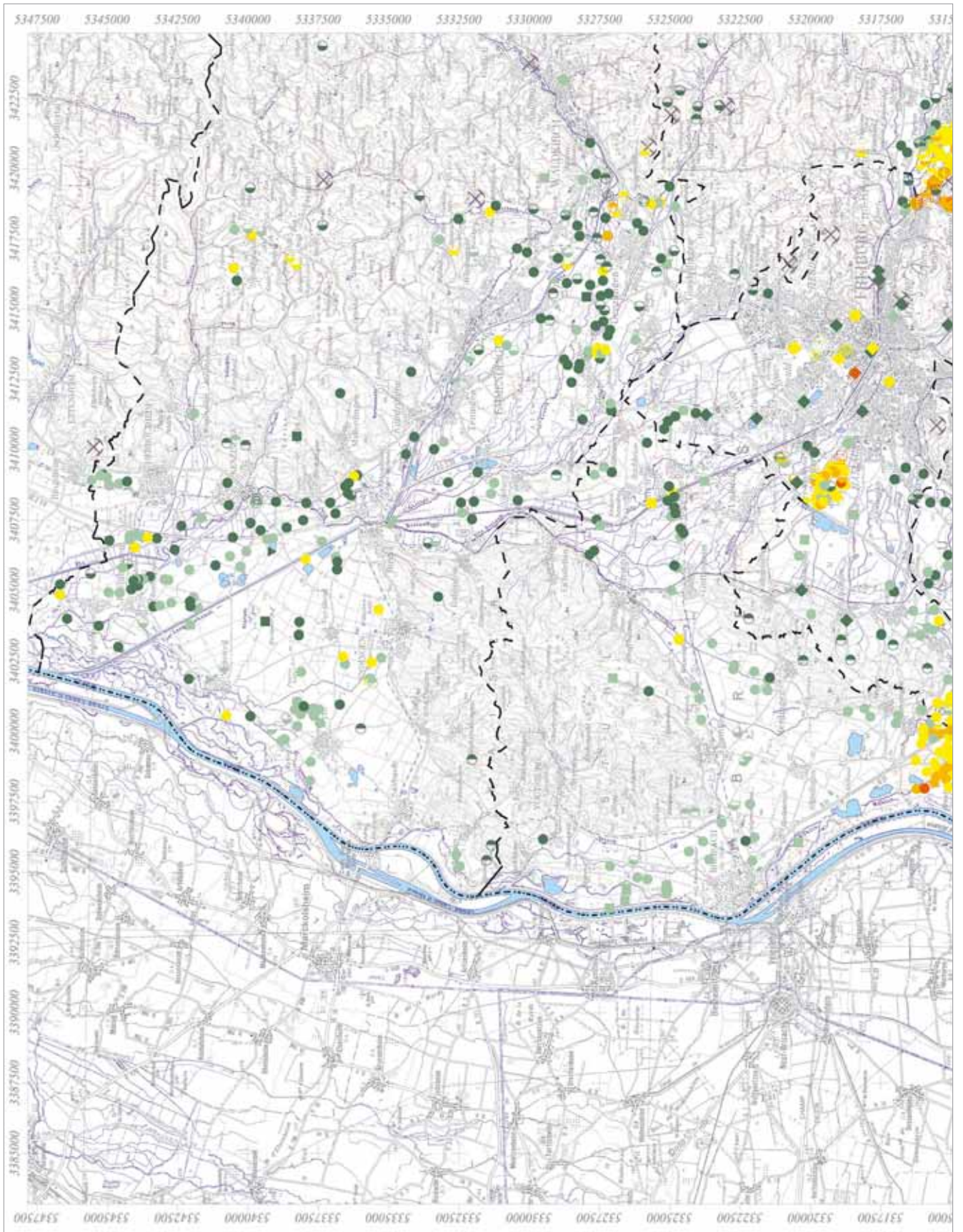
	Cd <sub>Ges</sub> [mg/kg]			Cd <sub>An</sub> [mg/kg]		
	n	50.P.	90.P.	n	50.P.	90.P.
<b>nach Herkunft der Schadstoffe</b>						
regionaler Hintergrund	571	0,21	0,48	108	n.n.	0,009
Bergbau	910	0,55	2,40	256	0,041	0,220
Rieselfeld	47	0,84	1,30	4	0,019	0,250
<b>Hintergrundkollektiv nach Siedlungsstruktur</b>						
Außenbereich	512	0,21	0,44	105	n.n.	0,009
Emmendingen	141	0,20	0,39	41	n.n.	n.n.
Freiburg	30	0,09	0,49	14	n.n.	0,034
Breisgau / H.	341	0,23	0,49	50	n.n.	0,039
Siedlungsbereich	58	0,20	1,00	3	n.n.	n.n.
Emmendingen	2	0,28	0,29	0	--	--
Freiburg	43	0,23	1,00	0	--	--
Breisgau / H.	13	0,00	0,48	3	n.n.	n.n.
<b>nach Nutzungen</b>						
Ackerbau	385	0,23	0,44	45	n.n.	0,004
Grünland	67	0,20	0,44	24	n.n.	0,052
Sonderkultur	30	< 0,1	0,36	18	n.n.	n.n.
Weinbau <sup>1</sup>	91	0,10	0,24	11	n.n.	n.n.
Obstbau	11	< 0,1	0,39	7	n.n.	0,013
Gärten	22	0,23	0,54	3	n.n.	0,036
Forst	30	0,22	0,75	18	0,000	0,034
Park / Grünanl.	3	0,60	0,61	1	--	--
Gewerbe	3	0,21	0,29	0	--	--
Kinderspielplatz	32	0,05	1,00	0	--	--

	Hintergrund			Bergbau		
	n	50.P.	90.P.	n	50.P.	90.P.
<b>Cd<sub>Ges</sub> nach Tongehaltsgruppen</b>						
T1 (< 8 % Ton)	12	0,22	0,75	12	0,60	0,96
T2 (8 - 17 %)	47	< 0,1	0,70	85	1,13	3,01
T3 (17 - 27 %)	217	0,23	0,44	204	0,56	2,40
T4 (27 - 45 %)	38	0,22	0,34	37	0,80	2,70
T5 (45 - 65 %)	0	--	--	3	0,60	0,90
T6 (> 65 %)	0	--	--	2	0,35	0,35
<b>Cd<sub>An</sub> (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>) nach Boden-pH</b>						
<3,5	1	--	--	0	--	--
3,5 - 4,5	10	n.n.	0,076	21	0,035	0,280
4,5 - 5,5	29	n.n.	0,039	129	0,088	0,296
5,5 - 6,5	20	n.n.	0,006	64	0,039	0,120
6,5 - 7,5	41	n.n.	0,002	29	0,007	0,029
> 7,5	7	n.n.	n.n.	1	--	--

<sup>1</sup> Einbeziehung nicht verorteter Daten der LUFA

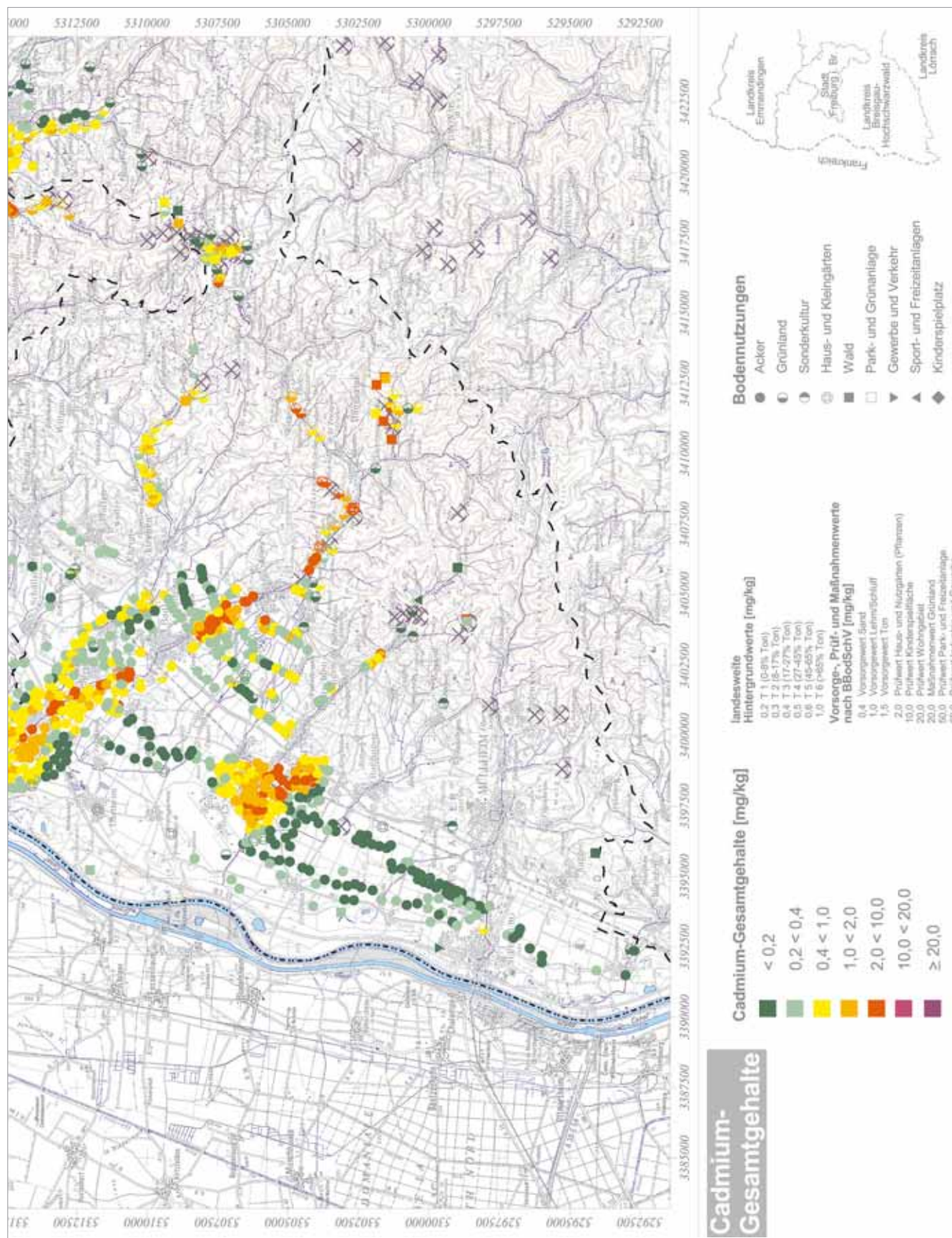
Cd<sub>An</sub>: n.n. = < 0,005 mg /kg

Grauton: n < 20 (geringe Datengrundlage)

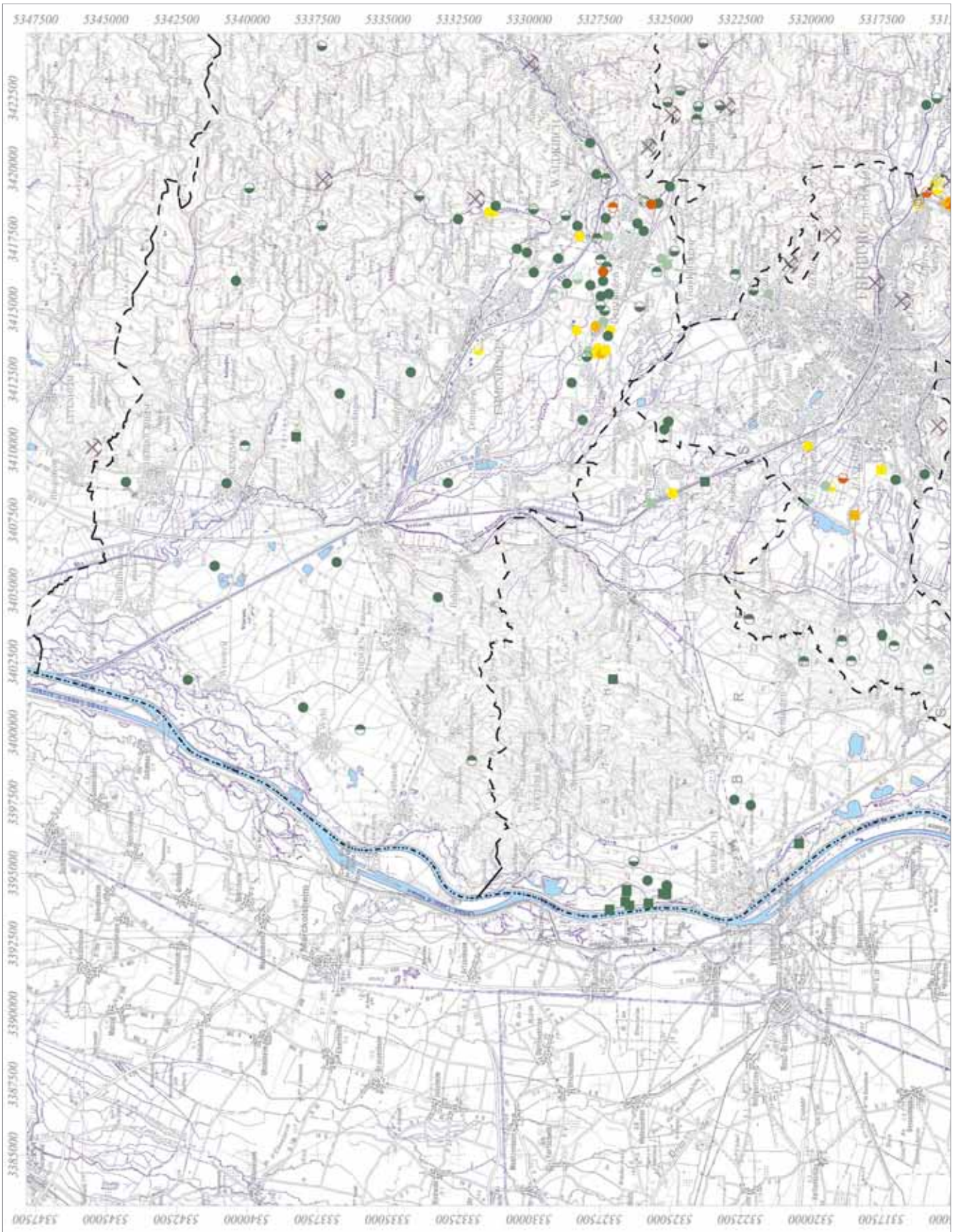


Karte 7: Cadmium-Gesamtgehalte.



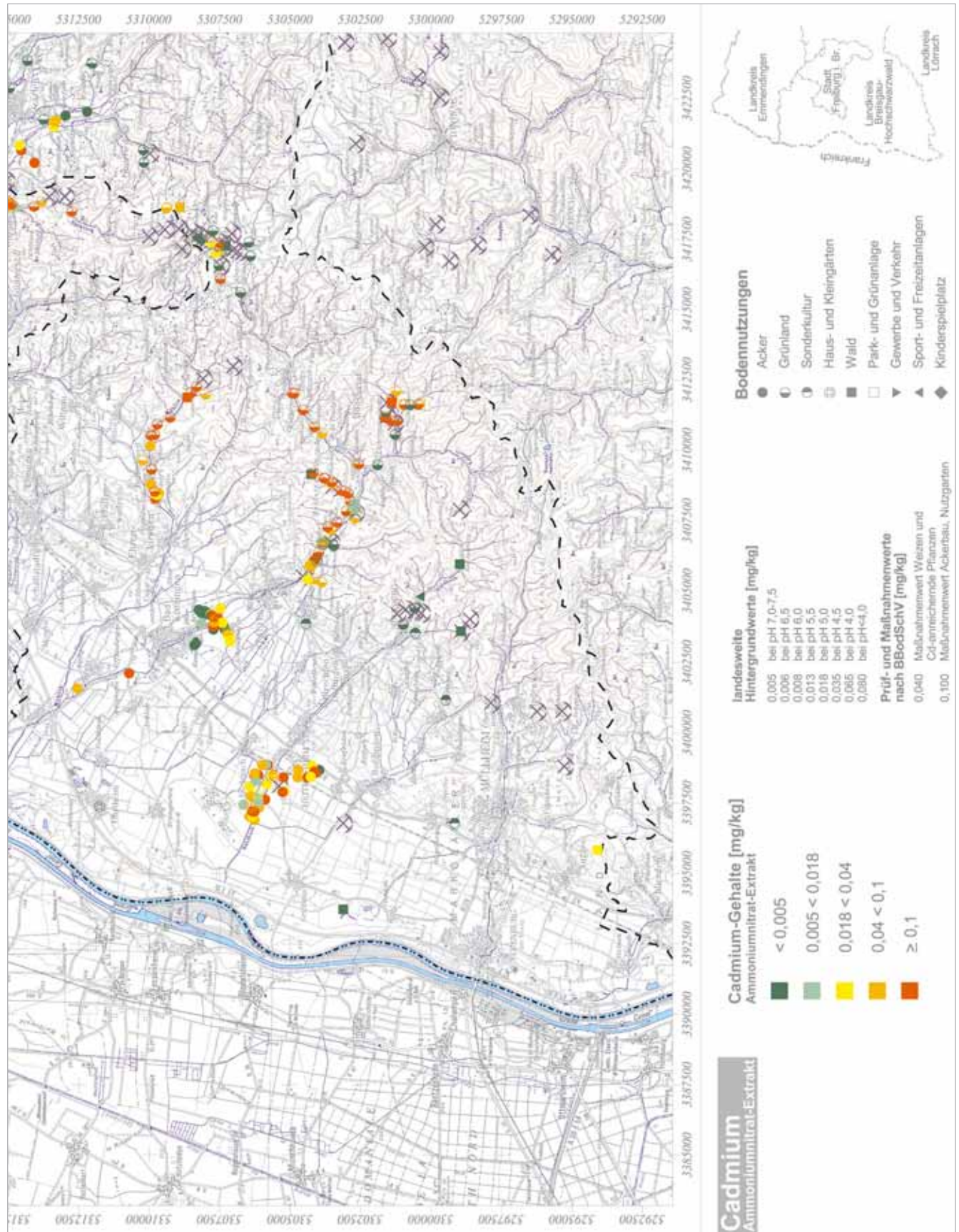






Karte 8: Ammoniumnitrat-extrahierbare Cadmiumgehalte.







#### 4.2.1.4 Chrom (Cr)

Die ammoniumnitrat-extrahierbaren Chromgehalte der Böden sind gering und nehmen unter pH 4,5 mit abnehmendem pH-Wert zu (Karte 10).

##### **Toxizität**

Chrom liegt im Boden im wesentlichen als dreiwertiges Chrom und stark toxisches sechswertiges Chromat vor. Das dreiwertige Chrom ist die am häufigsten verbreitete Chromform im Boden. Bei hohen Gehalten der Böden an Chrom (Cr) kann es zu Beeinträchtigungen des Wachstums von Kulturpflanzen sowie zur Beeinträchtigung der mikrobiellen Bodenaktivität. Die Inhalation von chromathaltigen Stäuben kann kanzerogen wirken (*Bachmann u. a., 1997; Arbeitsgemeinschaft Umwelthygiene, 1994*).

##### **Räumliche Verteilung**

Die Chrom-Gesamtgehalte ( $Cr_{Ges}$ ) aller Datenkollektive, die aus Proben des Erhebungsraums gebildet wurden, liegen im Bereich der Hintergrundwerte für unbelastete Böden Baden-Württembergs [20 mg/kg (T1) bis 90 mg/kg (T6)]. Die Proben der Datenkollektive „Bergbau“ und „Rieselfeld“ weisen etwas höhere Chromgehalte als das Hintergrund-Datenkollektiv auf (Tabelle 11, Karte 9).

##### **Nutzung**

Es sind keine unterschiedlichen Chromgehalte in den Böden bei verschiedenen Bodennutzungen und Siedlungsstrukturen zu erkennen.

##### **Boden-pH-Werte und Tongehalte**

Die Chromgehalte nehmen bei den Böden des regionalen Hintergrund-Datenkollektivs mit zunehmendem Tongehalt nur andeutungsweise zu. Für die Böden der bergbaulich beeinflussten Gebiete ist kein Einfluss des Tongehalts auf die Chromkonzentrationen der Böden erkennbar.

Tabelle 11: Statistische Kenngrößen für Chrom.

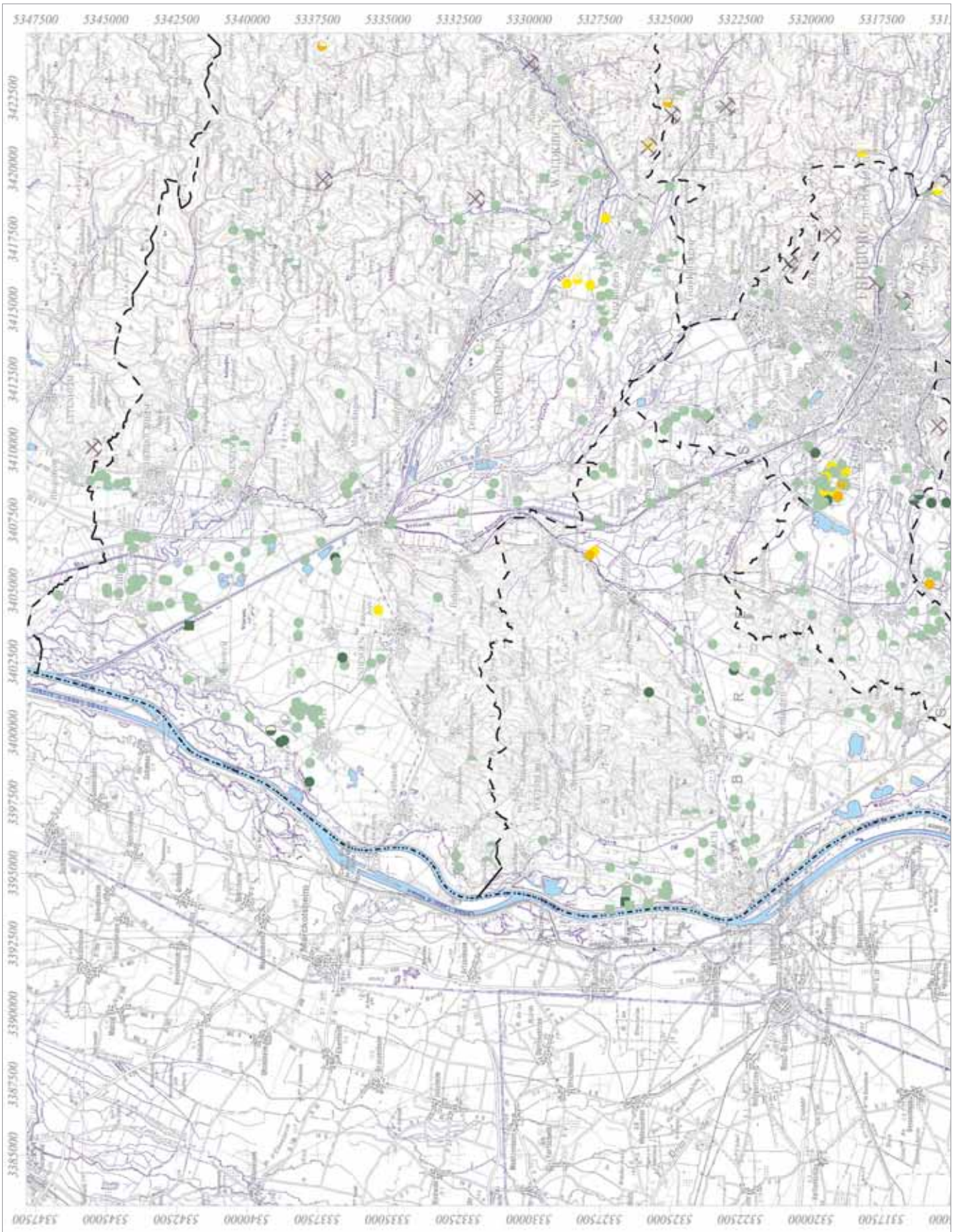
	Cr <sub>Ges</sub> [mg/kg]			Cr <sub>An</sub> [mg/kg]		
	n	50. P.	90.P.	n	50.P.	90.P.
<b>nach Herkunft der Schadstoffe</b>						
regionaler Hintergrund	297	29	41	97	0,005	0,017
Bergbau	168	38	52	124	0,005	0,011
Rieselfeld	41	39	55	4	0,001	0,013
<b>Hintergrundkollektiv nach Siedlungsstruktur</b>						
Außenbereich	267	29	41	94	0,005	0,017
Emmendingen	124	30	39	40	n.n.	0,009
Freiburg	27	28	39	14	0,006	0,030
Breisgau / H.	116	27	45	40	0,006	0,024
Siedlungsbereich	29	32	42	3	n.n.	0,007
Emmendingen	4	31	42	0	--	--
Freiburg	20	31	37	0	--	--
Breisgau / H.	5	34	46	3	n.n.	0,007
<b>nach Nutzungen</b>						
Ackerbau	177	27	37	37	n.n.	0,010
Grünland	44	34	52	23	0,007	0,020
Sonderkultur	28	30	45	18	0,005	0,008
Weinbau <sup>†</sup>	91	20	69	11	0,005	0,007
Obstbau	10	32	45	7	0,005	0,008
Gärten	10	34	65	1	--	--
Forst	18	26	38	16	0,006	0,081
Park / Grünanl.	3	33	46	1	--	--
Gewerbe	3	22	30	0	--	--
Kinderspielplatz	13	32	35	0	--	--

	Hintergrund			Bergbau		
	n	50.P.	90.P.	n	50.P.	90.P.
<b>Cr<sub>Ges</sub> nach Tongehaltsgruppen</b>						
T1 (< 8 % Ton)	9	24	30	5	28	38
T2 (8 - 17 %)	34	29	42	57	42	54
T3 (17 - 27 %)	174	30	43	59	37	47
T4 (27 - 45 %)	38	30	41	12	38	41
T5 (45 - 65 %)	0	--	--	1	--	--
T6 (> 65 %)	0	--	--	2	46	47
<b>Cr<sub>An</sub> (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>) nach Boden-pH</b>						
< 3,5	1	--	--	0	--	--
3,5 - 4,5	10	0,013	0,101	13	0,010	0,021
4,5 - 5,5	27	0,005	0,022	51	0,005	0,010
5,5 - 6,5	15	n.n.	0,009	44	0,003	0,009
6,5 - 7,5	37	0,005	0,009	15	0,005	0,009
> 7,5	7	n.n.	0,006	0	--	--

<sup>†</sup> Einbeziehung nicht verorteter Daten der LUFA

Cr<sub>An</sub>: n.n. = < 0,005 mg /kg

Grauton: n < 20 (geringe Datengrundlage)

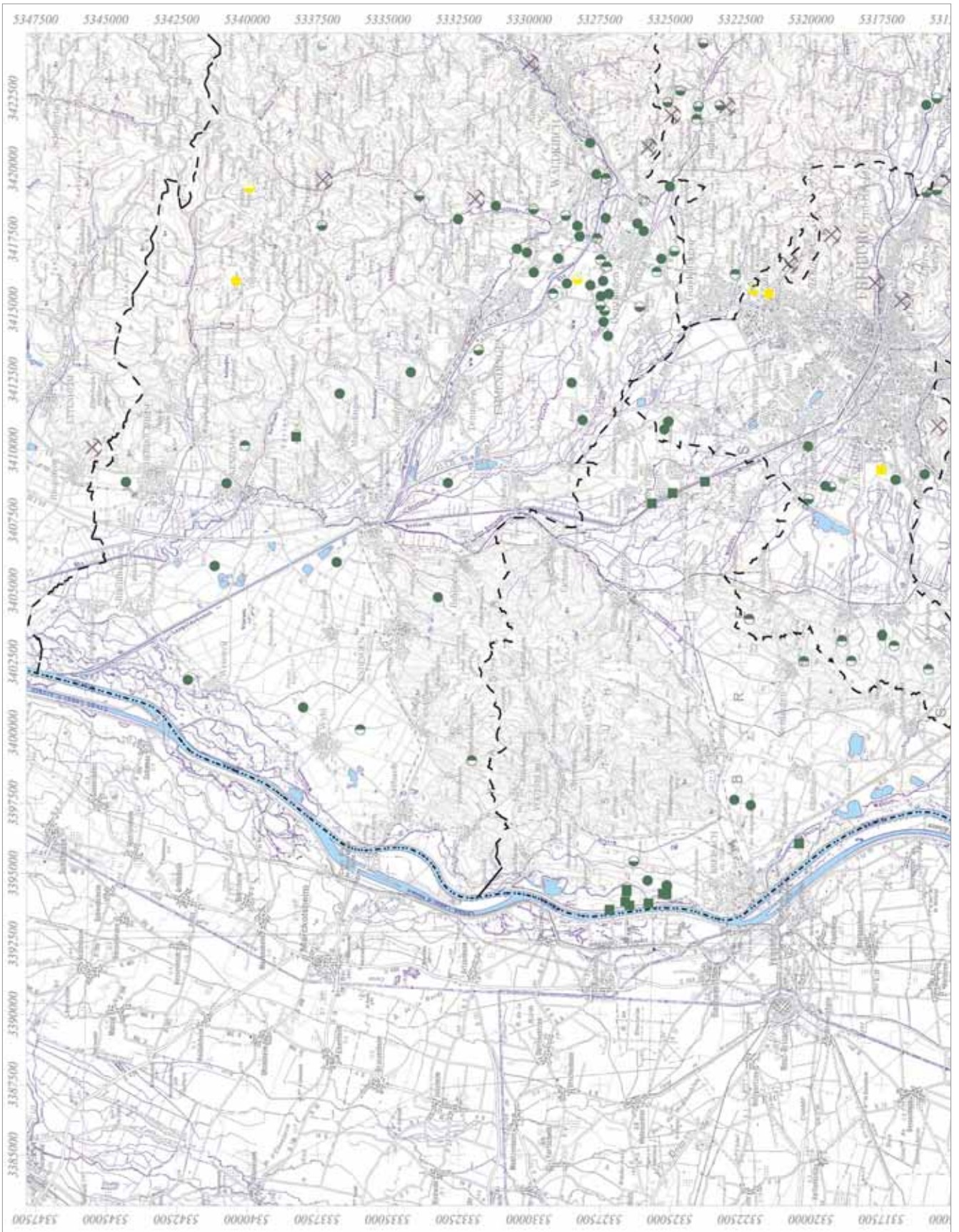


Karte 9: Chrom-Gesamtgehalte.









Karte 10: Ammoniumnitrat-extrahierbare Chromgehalte.







#### 4.2.1.5 Kupfer (Cu)

##### **Toxizität**

Hohe Gehalte an Kupfer (Cu) können die mikrobielle Aktivität im Boden und den Pflanzenwuchs beeinträchtigen. Wiederkäuer reagieren empfindlich auf hohe Kupferkonzentrationen im Futter. Für die menschliche Gesundheit besteht keine besorgniserregende Gefährdung bezüglich der Schadstoffaufnahme aus dem Boden (*Arbeitsgemeinschaft Umwelthygiene, 1994*).

##### **Räumliche Verteilung**

Der alte Erzbergbau und der Weinbau sind in der Region Freiburg die wesentlichen Faktoren, die sich großflächig auf die Kupfergehalte der Böden auswirken (Tabelle 12).

##### **Bergbau**

In den Böden der vom alten Erzbergbau beeinflussten Gebiete liegen die Kupfergehalte zwischen 27 mg/kg (50. P.) und 69 mg/kg (90. P.). Der Vorsorgewert für die Bodenartenhauptgruppe „Lehm/Schluff“ wird damit teilweise überschritten. Hohe Gesamtgehalte an Kupfer ( $\text{Cu}_{\text{Ges}}$ ) über 200 mg/kg (Maßnahmenwert bei Grünland mit Schafbeweidung) treten jedoch nur vereinzelt auf.

Die höchsten Kupfergehalte werden in den Böden in der Umgebung von Heitersheim (Sulzbach), im Untermünstertal, im Oberlauf der Neumagen, im Möhlintal und im Schauinsland erreicht (Karte 11).

Die ammoniumnitrat-extrahierbaren Kupfergehalte sind in den Proben aus Gebieten mit Einfluss des alten Erzbergbaus gegenüber den Werten des regionalen Hintergrund-Datenkollektivs etwas erhöht (Tabelle 12).

Höhere Gehalte an ammoniumnitrat-extrahierbarem Kupfer werden in der Umgebung von Heitersheim, im

Untermünster- und im Möhlintal vorgefunden. Im Untermünstertal wird der Prüfwert der BBodSchV für den Schadstoffübergang von Boden auf Nutzpflanze im Hinblick auf die Pflanzenqualität an zwei Standorten überschritten (Karte 12).

##### **Rieselfeld**

In den Böden des Rieselfelds sind die Gesamtgehalte an Kupfer gegenüber denen des regionalen Hintergrund-Datenkollektivs nur geringfügig erhöht (Karte 31).

##### **Nutzung**

In den Siedlungsbereichen und der Stadt Freiburg sind die Kupfergehalte der Böden in der Regel nur wenig erhöht. Der Vorsorgewert für die Bodenartenhauptgruppe „Lehm/Schluff“ von 40 mg/kg wird damit beim 50. Perzentil der untersuchten Oberböden annähernd erreicht. Im Außenbereich liegen weitgehend natürliche Gehalte vor.

In Gärten und auf weinbaulich genutzten Flächen werden häufig erhöhte Kupfergehalte in den Böden vorgefunden. Im Weinbau sind sie auf den Einsatz von Kupfermitteln zur Bekämpfung des falschen Mehltaus zurückzuführen (*Scholl & Enkelmann, 1984*). Die hohen Kupfergehalte der Gärten sind vermutlich vorrangig durch deren Lage im Siedlungsbereich begründet.

##### **Boden-pH-Werte und Tongehalte**

Die ammoniumnitrat-extrahierbaren Kupfergehalte nehmen ab dem pH-Wert 6,5 mit weiter steigendem pH-Wert zu. Dies ist auf ein durch Bildung von löslichen Kupfer-Amminokomplexen verbessertes Extraktionsvermögen der Ammoniumnitrat-Methode und auf die mit zunehmenden pH steigende Löslichkeit von organischen Kupfer-Verbindungen zurückzuführen (*Gryschko u. a., 2000*).

Tabelle 12: Statistische Kenngrößen für Kupfer.

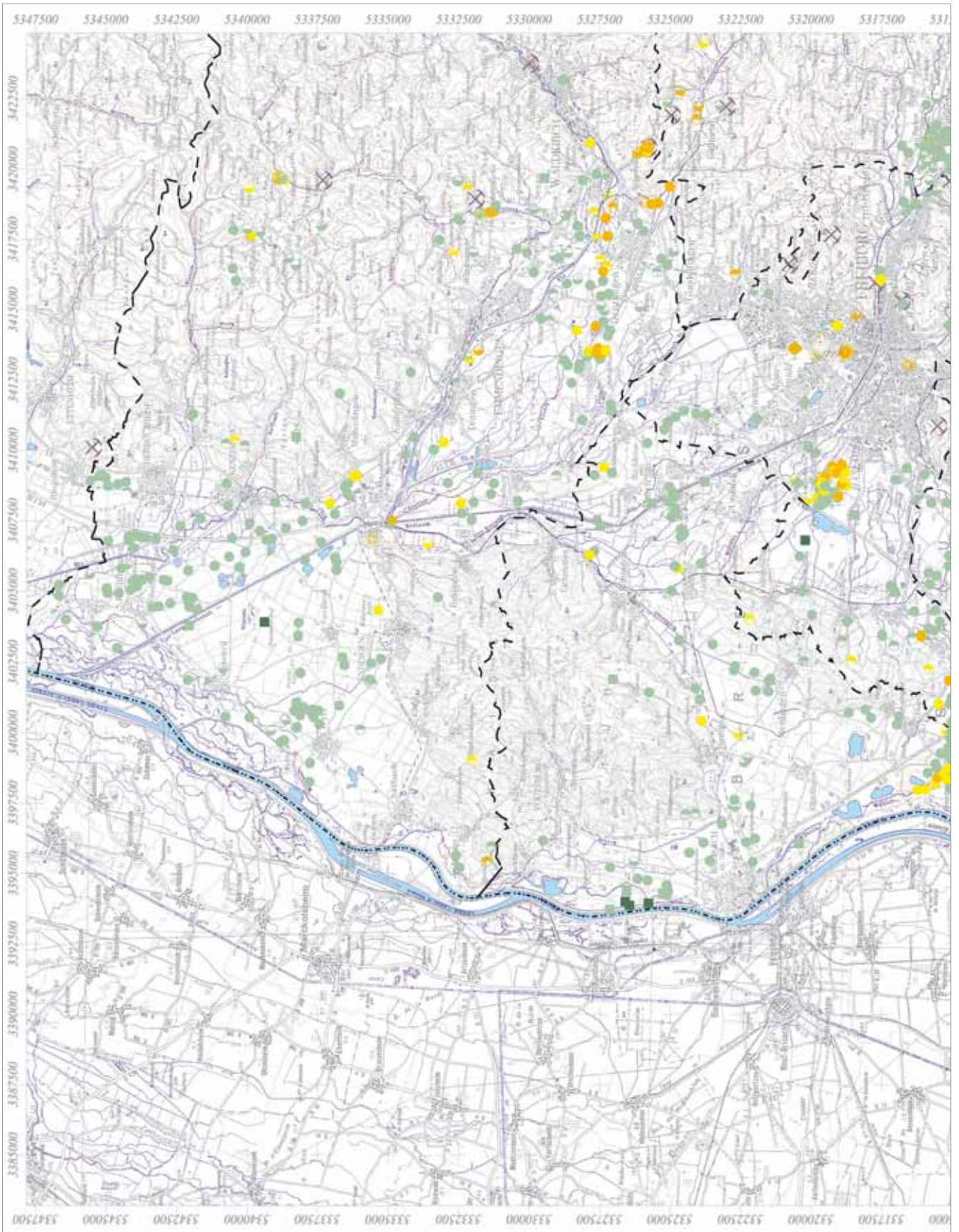
	Cu <sub>Ges</sub> [mg/kg]			Cu <sub>An</sub> [mg/kg]		
	n	50.P.	90.P.	n	50.P.	90.P.
<b>nach Herkunft der Schadstoffe</b>						
regionaler Hintergrund	448	18	32	103	n.n.	0,156
Bergbau	621	27	69	183	0,133	0,310
Rieselfeld	43	34	44	4	n.n.	0,130
<b>Hintergrundkollektiv nach Siedlungsstruktur</b>						
Außenbereich	408	18	29	98	n.n.	0,156
Emmendingen	136	18	28	41	n.n.	n.n.
Freiburg	29	20	44	14	0,071	0,160
Breisgau / H.	243	18	28	43	0,099	0,166
Siedlungsbereich	39	24	72	5	0,130	0,177
Emmendingen	4	21	54	0	--	--
Freiburg	22	39	109	2	0,154	0,177
Breisgau / H.	13	16	47	3	0,110	0,140
<b>nach Nutzungen</b>						
Ackerbau	301	18	25	38	n.n.	0,102
Grünland	49	19	32	24	n.n.	0,071
Sonderkultur	30	28	70	18	0,087	0,200
Weinbau <sup>†</sup>	90	42	244	11	0,100	0,200
Obstbau	11	22	28	7	n.n.	0,150
Gärten	20	39	124	5	0,130	0,206
Forst	28	14	22	18	0,137	0,181
Park / Grünanl.	3	41	43	1	--	--
Gewerbe	3	15	23	0	--	--
Kinderspielplatz	13	24	62	0	--	--

	Hintergrund			Bergbau		
	n	50.P.	90.P.	n	50.P.	90.P.
<b>Cu<sub>Ges</sub> nach Tongehaltsgruppen</b>						
T1 (< 8 % Ton)	11	12	72	10	34	94
T2 (8 - 17 %)	46	22	45	84	49	121
T3 (17 - 27 %)	187	19	30	127	28	69
T4 (27 - 45 %)	38	17	23	36	51	76
T5 (45 - 65 %)	0	--	--	3	40	426
T6 (> 65 %)	0	--	--	2	17	17
<b>Cu<sub>An</sub> (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>) nach Boden-pH</b>						
< 3,5	1	--	--	0	--	--
3,5 - 4,5	10	n.n.	0,135	18	0,052	0,308
4,5 - 5,5	27	n.n.	n.n.	85	0,074	0,355
5,5 - 6,5	17	n.n.	0,110	55	0,158	0,249
6,5 - 7,5	39	0,110	0,181	20	0,278	0,434
> 7,5	7	n.n.	0,121	0	--	--

<sup>†</sup> Einbeziehung nicht verorteter Daten der LUFA

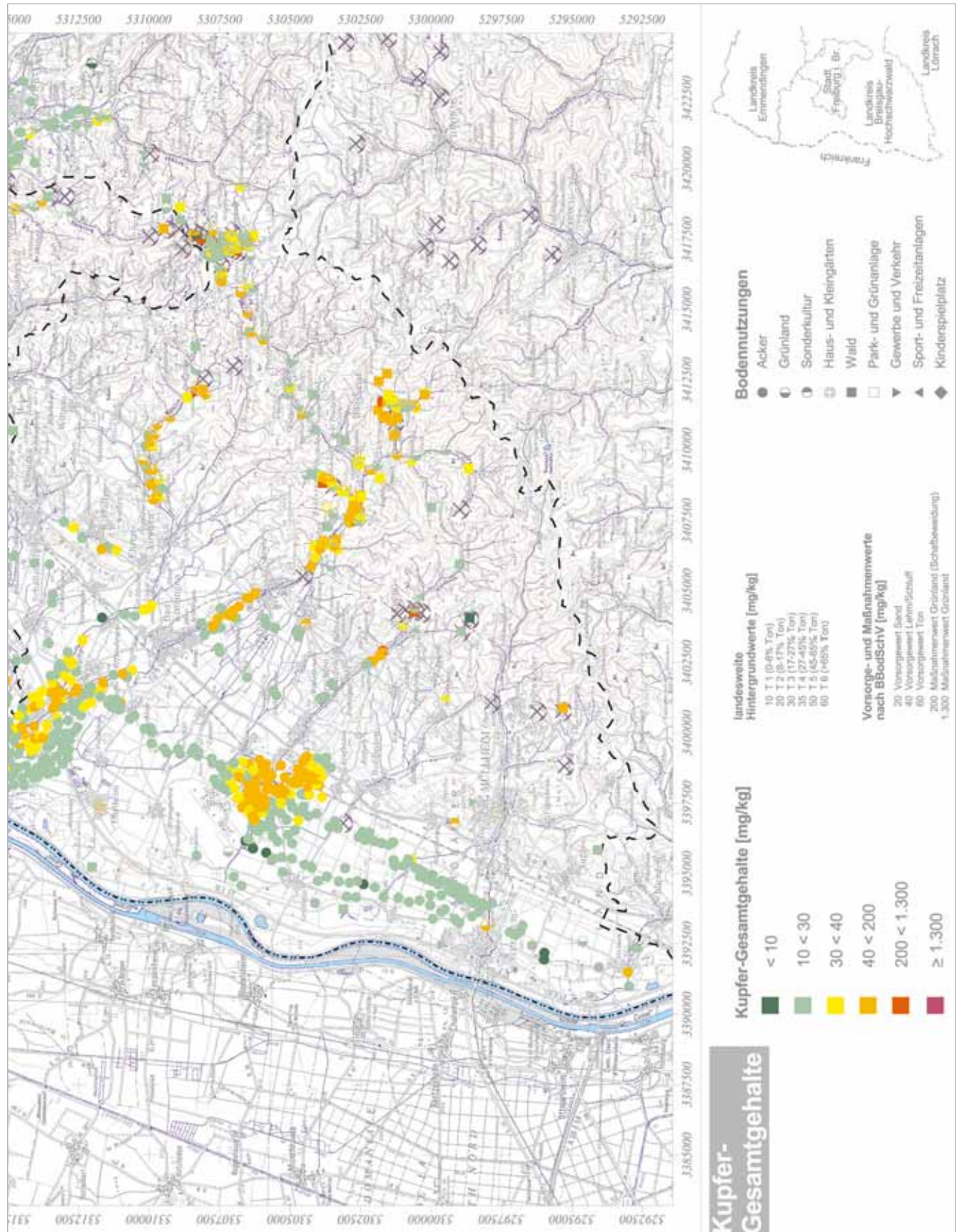
Cu<sub>An</sub>: n.n. = < 0,005 mg /kg

Grauton: n < 20 (geringe Datengrundlage)

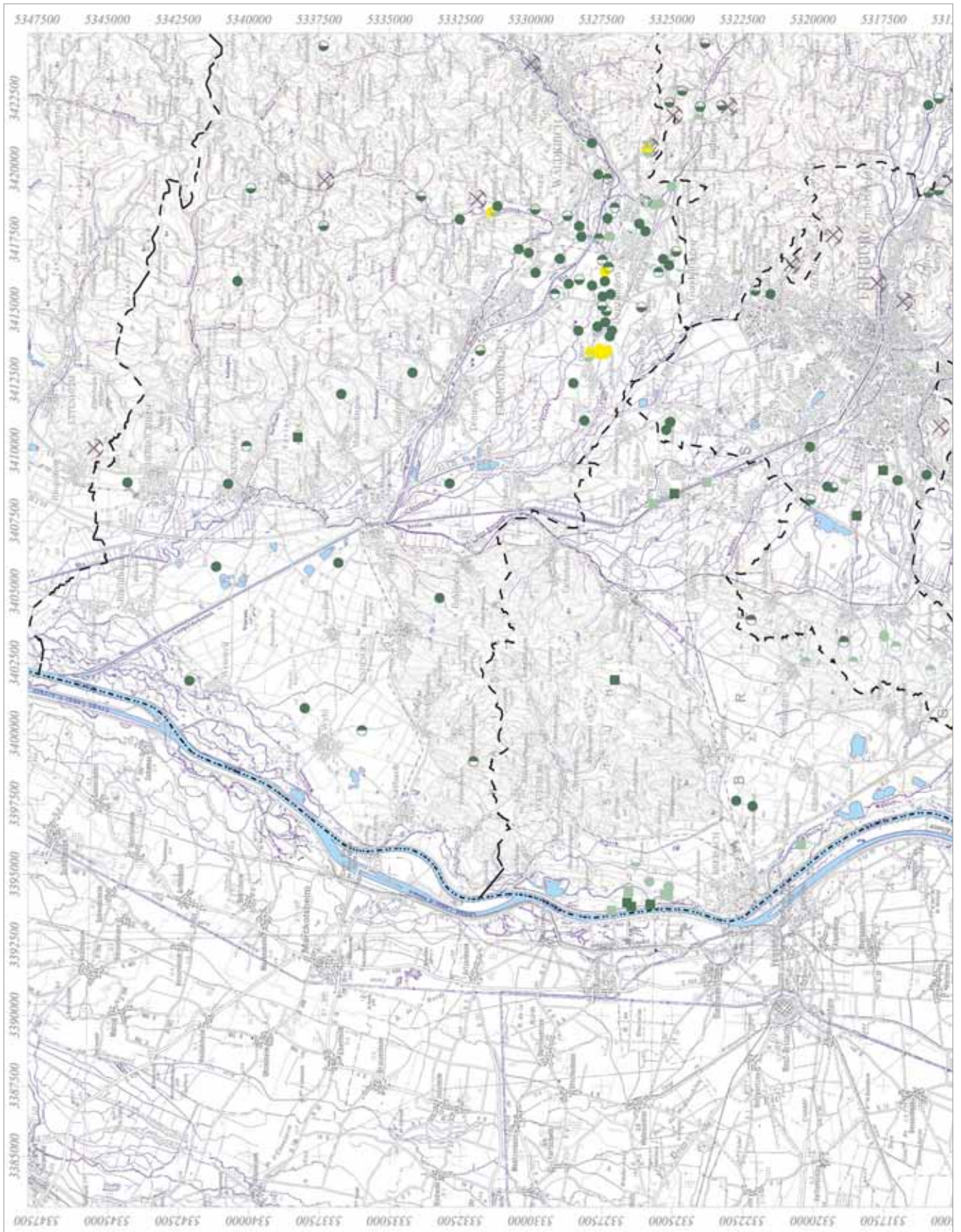


Karte 11: Kupfer-Gesamtgehalte.



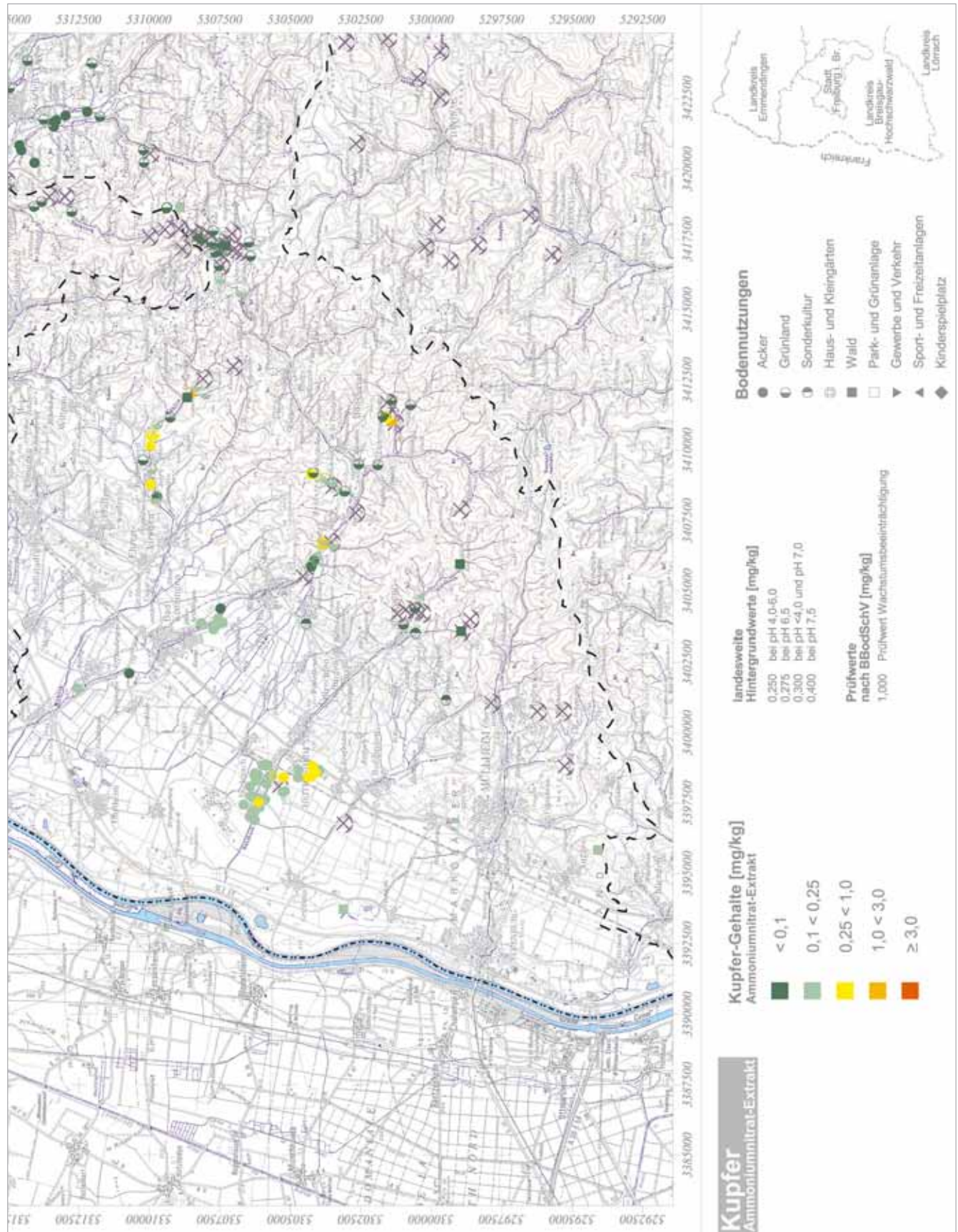






Karte 12: Ammoniumnitrat-extrahierbare Kupfergehalte.







#### 4.2.1.6 Nickel (Ni)

##### **Toxizität**

Für die Toxizität von Nickel (Ni) ist der Aufnahmeweg entscheidend. Bei inhalativer Aufnahme nickelhaltiger Stäube über die Atemluft ist eine krebserregende Wirkung auf den Atemtrakt, bei Hautkontakt eine allergisierende Wirkung festgestellt worden. Oral aufgenommenes Nickel gilt als wenig toxisch (*Arbeitsgemeinschaft Umwelthygiene, 1994*).

Hohe lösliche Nickelgehalte können das Wachstum von Kulturpflanzen beeinträchtigen.

##### **Räumliche Verteilung**

Die Nickelgehalte der Böden ( $Ni_{Ges}$ ) liegen mit 20 mg/kg (50. P.) bis 30 mg/kg (90. P.) im Bereich der landesweiten natürlichen Hintergrundgehalte von Böden. Dies gilt auch für die Proben des Bergbau- und Rieselfeld-Datenkollektivs. Überschreitungen der Hintergrundgehalte sind nur an sehr wenigen Standorten zu beobachten (Karte 13).

##### **Nutzung**

In den Böden des Außen- und Siedlungsbereichs werden vergleichbare Nickelgehalte gemessen. Nutzungsspezifische Nickelanreicherungen liegen in den Böden nicht vor.

##### **Boden-pH-Werte und Tongehalte**

In den Proben des Bergbau-Datenkollektivs wurden die höchsten Nickelgehalte bei Tongehalten zwischen 27 und 65 % Ton festgestellt. Die Proben des regionalen Hintergrund-Datenkollektivs weisen dagegen keinen Zusammenhang des Nickelgehalts der Böden mit dem Tongehalt auf (Tabelle 13).

Die ammoniumnitrat-extrahierbaren Nickelgehalte sind meist gering, nehmen jedoch mit abnehmendem Boden-pH-Wert zu. Die Proben des Bergbau-Datenkollektivs weisen im Vergleich zu den Böden des regionalen Hintergrund-Datenkollektivs bei gleichem pH-Wert höhere Gehalte an löslichem Nickel auf (Karte 14).

Tabelle 13: Statistische Kenngrößen für Nickel.

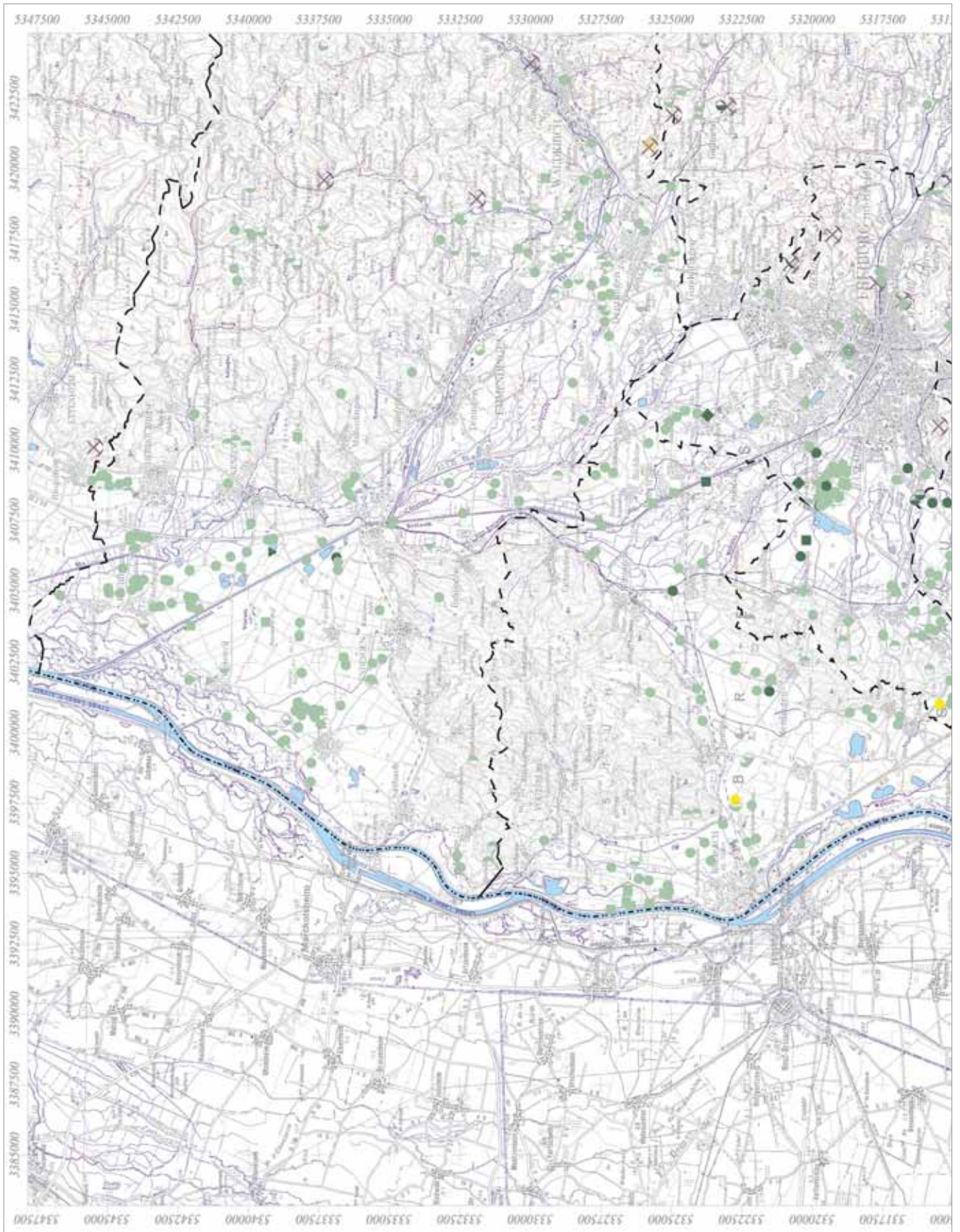
	Ni <sub>Ges</sub> [mg/kg]			Ni <sub>An</sub> [mg/kg]		
	n	50.P.	90.P.	n	50.P.	90.P.
<b>nach Herkunft der Schadstoffe</b>						
regionaler Hintergrund	307	21	29	97	0,013	0,180
Bergbau	253	24	32	171	0,103	0,372
Rieselfeld	41	20	25	4	0,125	1,400
<b>Hintergrundkollektiv nach Siedlungsstruktur</b>						
Außenbereich	279	21	30	94	0,018	0,180
Emmendingen	127	21	28	40	< 0,05	0,180
Freiburg	27	21	29	14	< 0,05	0,190
Breisgau / H.	125	22	31	40	0,025	0,169
Siedlungsbereich	27	18	25	3	< 0,05	< 0,05
Emmendingen	2	19	20	0	--	--
Freiburg	20	18	25	0	--	--
Breisgau / H.	5	22	25	3	< 0,05	< 0,05
<b>nach Nutzungen</b>						
Ackerbau	185	21	28	37	< 0,05	0,180
Grünland	43	21	29	23	0,037	0,131
Sonderkultur	29	23	30	18	< 0,05	0,280
Weinbau <sup>1</sup>	91	23	31	11	< 0,05	< 0,05
Obstbau	10	21	30	7	< 0,05	0,340
Gärten	8	17	25	3	0,190	0,252
Forst	22	22	32	16	0,030	0,897
Park / Grünanl.	3	20	22	1	--	--
Gewerbe	3	17	25	0	--	--
Kinderspielplatz	13	18	25	0	--	--

	Hintergrund			Bergbau		
	n	50.P.	90.P.	n	50.P.	90.P.
<b>Ni<sub>Ges</sub> nach Tongehaltsgruppen</b>						
T1 (< 8 % Ton)	9	21	31	5	18	20
T2 (8 - 17 %)	37	20	27	67	24	31
T3 (17 - 27 %)	181	22	30	109	23	28
T4 (27 - 45 %)	38	22	30	35	30	45
T5 (45 - 65 %)	0	--	--	3	50	60
T6 (> 65 %)	0	--	--	2	26	26
<b>Ni<sub>An</sub> (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>) nach Boden-pH</b>						
< 3,5	1	--	--	0	--	--
3,5 - 4,5	10	0,150	0,957	14	0,140	0,300
4,5 - 5,5	27	0,082	0,190	67	0,190	0,500
5,5 - 6,5	15	< 0,05	0,051	56	0,084	0,177
6,5 - 7,5	37	< 0,05	0,033	21	0,060	0,097
> 7,5	7	< 0,05	0,025	0	--	--

<sup>1</sup> Einbeziehung nicht verorteter Daten der LUFA

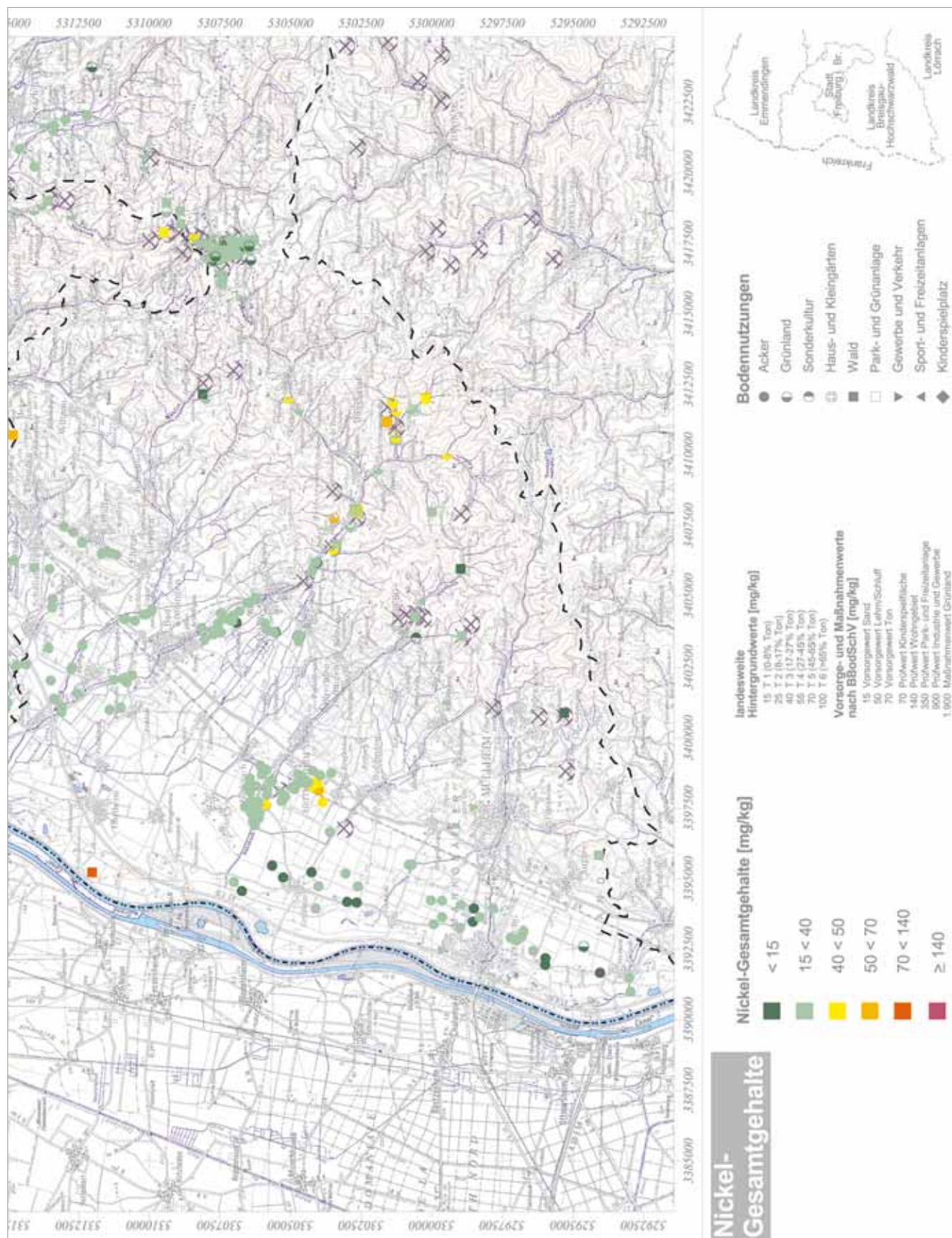
Grauton: n < 20 (geringe Datengrundlage)



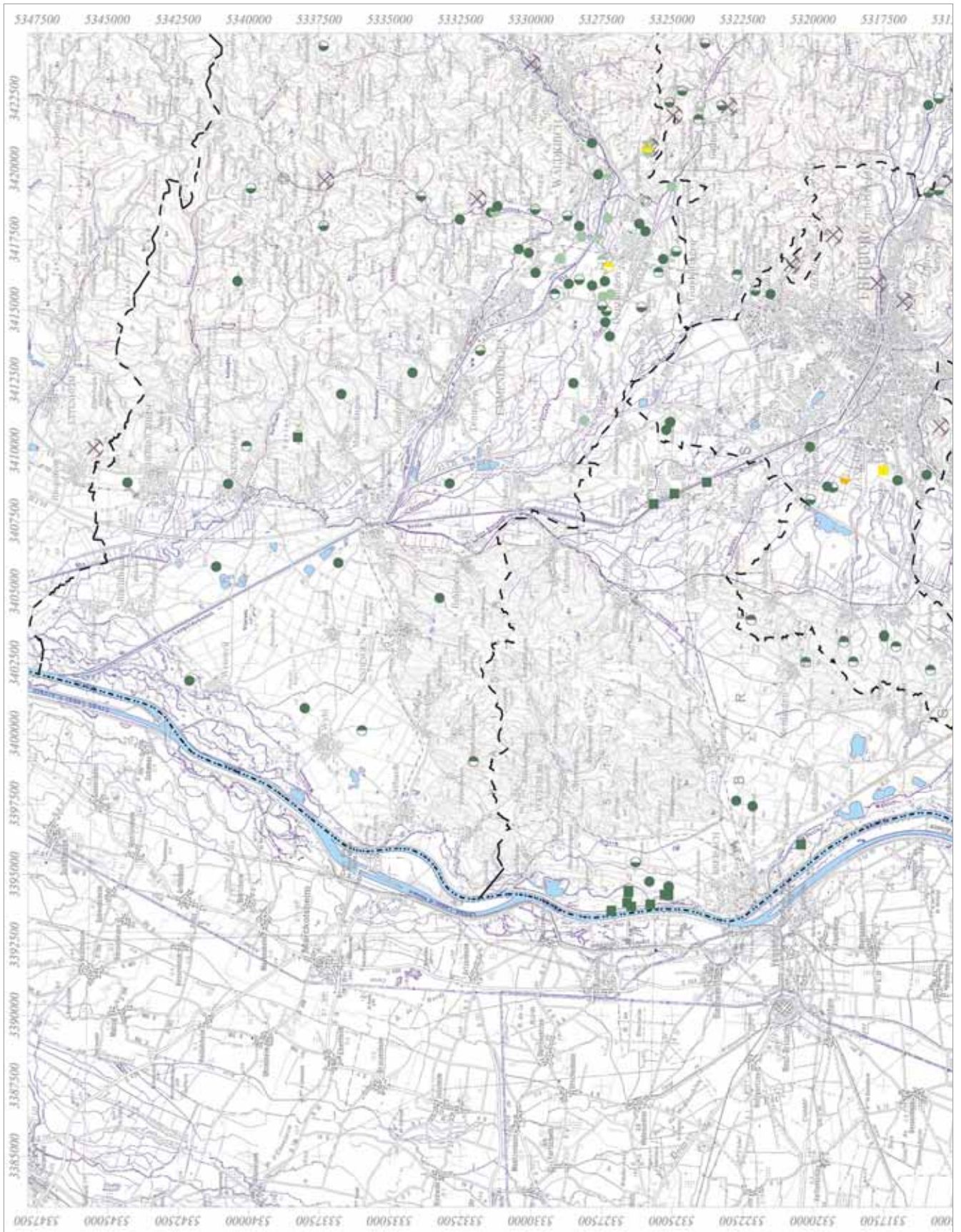


Karte 13: Nickel-Gesamtgehalte.









Karte 14: Ammoniumnitrat-extrahierbare Nickelgehalte.





#### 4.2.1.7 Quecksilber (Hg)

##### **Toxizität**

Eine starke Aufnahme von Quecksilber (Hg) kann bei Tieren und Menschen zu Vergiftungserscheinungen führen. Die Toxizität ist in hohem Maß von der chemischen Bindungsform des aufgenommenen Quecksilbers abhängig.

##### **Räumliche Verteilung**

Einen deutlichen Unterschied ergeben die Daten der Probenkollektive „Bergbau“ und „Rieselfeld“ (Tabelle 14).

##### **Bergbau**

In den von altem Erzbergbau geprägten Regionen sind kaum erhöhte Quecksilbergehalte ( $Hg_{Ges}$ ) vorzufinden (Karte 15).

##### **Rieselfeld**

Im Rieselfeld sind die Quecksilbergehalte der Böden gegenüber den regionalen Hintergrund- und Bergbau-Böden erhöht. Mit 0,76 mg/kg (50. P.) und 1,90 mg/kg (90. P.) wird zwar der Vorsorgewert (0,5 mg/kg für „Lehm/Schluff“) überschritten, Prüf- bzw. Maßnahmenwerte werden jedoch nicht erreicht (Tabelle 14, Karte 33).

##### **Nutzung**

Im Außenbereich liegen die Quecksilbergehalte der Böden mit 0,08 mg/kg (50. P.) - 0,12 mg/kg (90. P.) nahe beim landesweiten Hintergrundwert (0,1 mg/kg). In den Siedlungsbereichen hingegen ist eine deutliche Quecksilberanreicherung der Böden zu beobachten [0,18 mg/kg (50. P.) - 0,84 mg/kg (90. P.)]. Im Stadtgebiet von Freiburg [0,25 mg/kg (50. P.) - 1,87 mg/kg (90. P.)] liegen die Quecksilbergehalte zum Teil über den Vorsorgewerten.

Bei gärtnerischer und weinbaulicher Nutzung weisen die Böden höhere Quecksilbergehalte als Grünland- und Ackerböden auf. Diese Anreicherung ist bei weinbaulicher Nutzung vermutlich vor allem auf die ehemalige Anwendung quecksilberhaltiger Pflanzenschutzmittel und die Behandlung von Holzpfählen mit Quecksilberchlorid ( $HgCl_2$ ) zurückzuführen.

##### **Boden-pH-Werte und Tongehalte**

Die Gehalte der Böden an ammoniumnitrat-extrahierbarem Quecksilber liegt größtenteils unter den Nachweisgrenzen (0,5 - 2  $\mu g/kg$ ). Es ergibt sich im Allgemeinen kein Zusammenhang zwischen den ammoniumnitrat-extrahierbaren Quecksilbergehalten im Boden und den Gehalten in der Bodenlösung bzw. dem Transfer in die Pflanzen. Die Gesamtgehalte an Quecksilber haben keinen signifikanten Bezug zum Boden-pH-Wert oder zum Tongehalt der Böden.



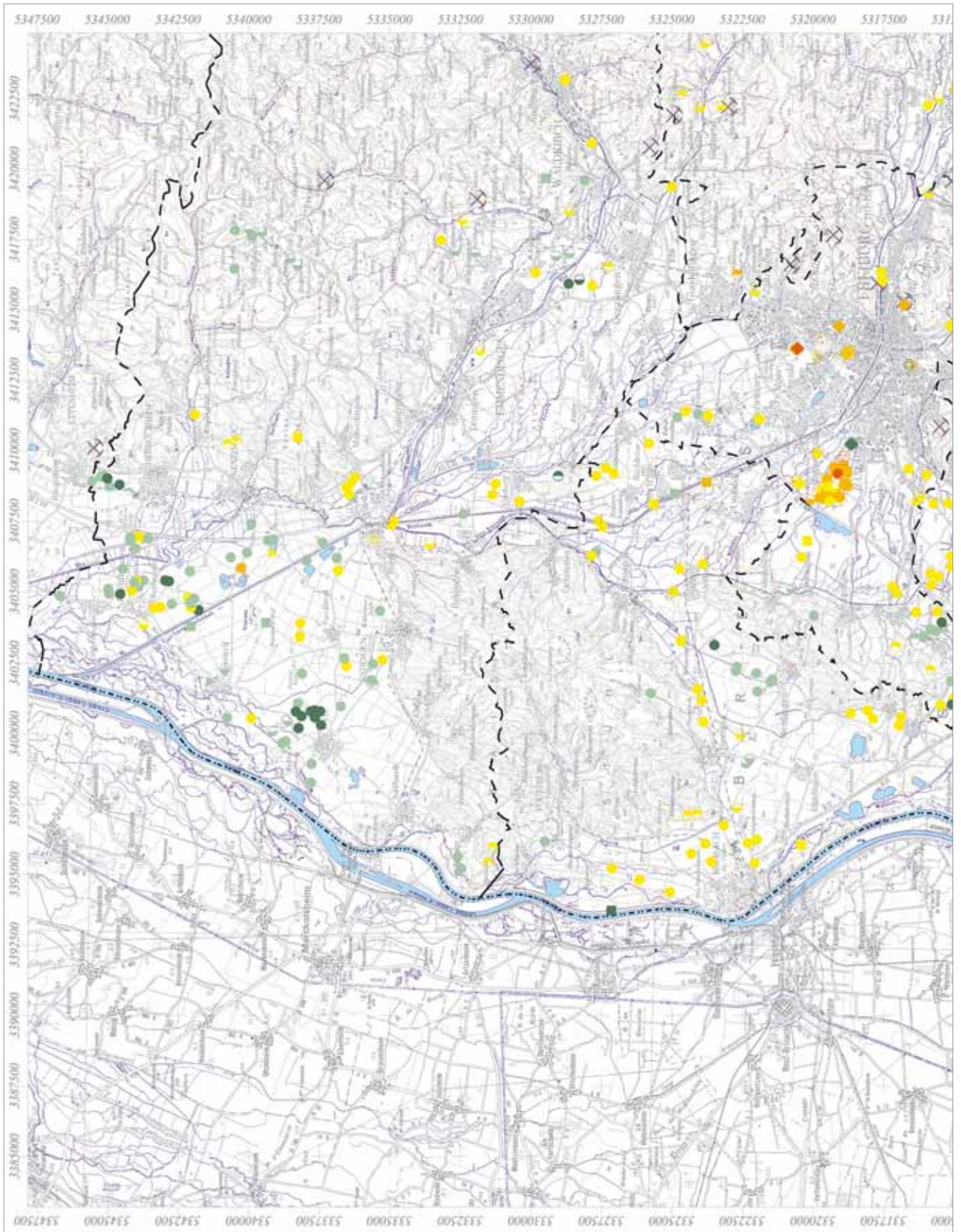
Tabelle 14: Statistische Kenngrößen für Quecksilber.

	Hg <sub>Ges</sub> [mg/kg]		
	n	50.P.	90.P.
<b>nach Herkunft der Schadstoffe</b>			
regionaler Hintergrund	289	0,08	0,16
Bergbau	134	0,10	0,19
Rieselfeld	30	0,76	1,90
<b>Hintergrundkollektiv nach Siedlungsstruktur</b>			
Außenbereich	252	0,08	0,12
Emmendingen	127	0,06	0,12
Freiburg	26	0,06	0,12
Breisgau / H.	99	0,10	0,14
Siedlungsbereich	36	0,18	0,84
Emmendingen	4	0,13	0,22
Freiburg	27	0,25	1,87
Breisgau / H.	5	0,12	0,31
<b>nach Nutzungen</b>			
Ackerbau	171	0,08	0,12
Grünland	40	0,07	0,13
Sonderkultur	29	0,05	0,30
Weinbau <sup>1</sup>	91	0,10	0,24
Obstbau	10	< 0,10	0,05
Gärten	14	0,18	0,84
Forst	12	0,10	0,16
Park / Grünanl.	3	0,26	0,47
Gewerbe	3	0,10	0,11
Kinderspielplatz	15	0,19	1,87

	Hintergrund			Bergbau		
	n	50.P.	90.P.	n	50.P.	90.P.
<b>Hg<sub>Ges</sub> nach Tongehaltsgruppen</b>						
T1 (< 8 % Ton)	8	0,05	3,59	4	0,16	0,63
T2 (8 - 17 %)	36	< 0,10	0,31	24	0,13	0,22
T3 (17 - 27 %)	167	0,08	0,14	63	0,10	0,14
T4 (27 - 45 %)	38	0,09	0,10	16	0,10	0,19
T5 (45 - 65 %)	0	--	--	1	--	--
T6 (> 65 %)	0	--	--	2	0,10	0,10

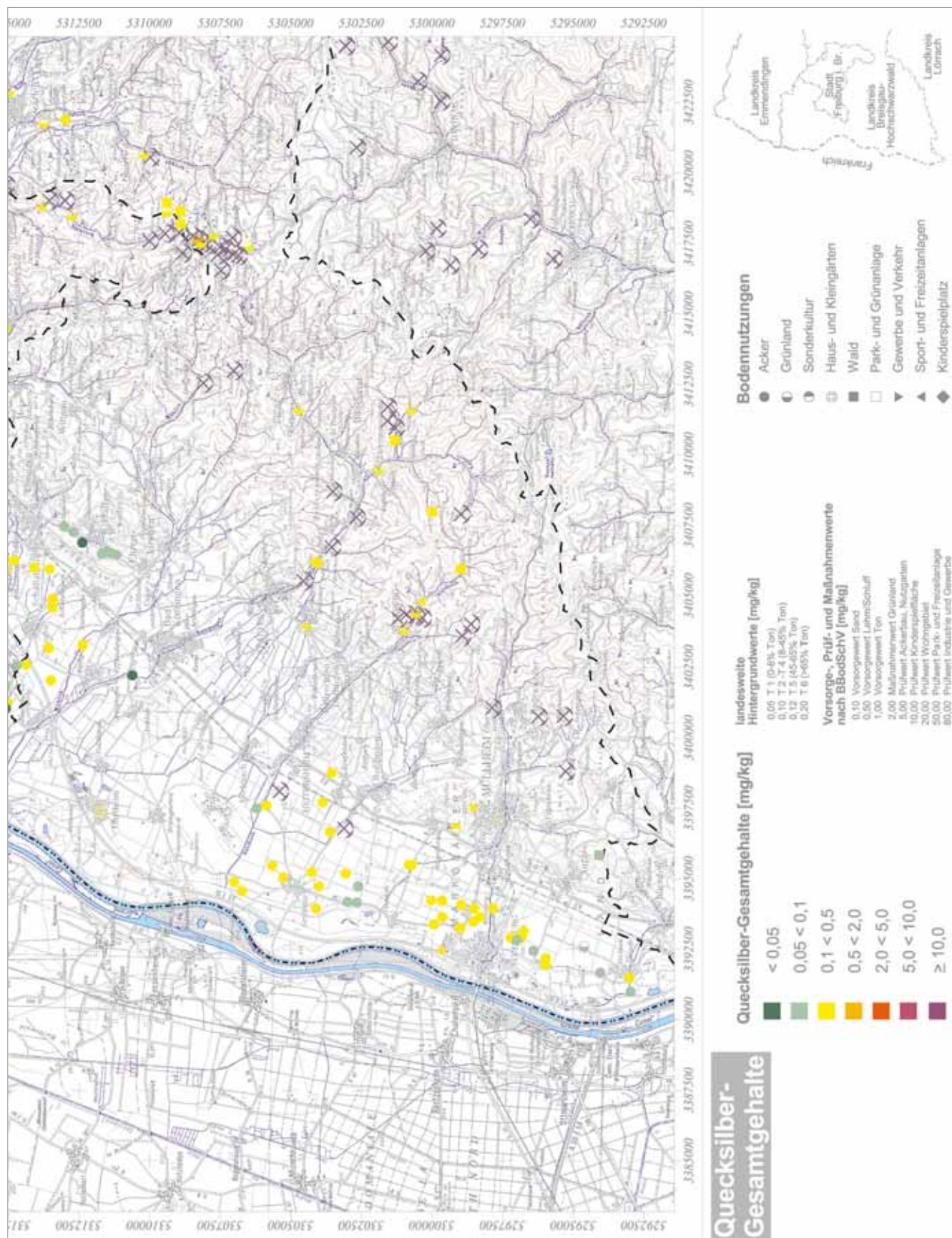
<sup>1</sup> Einbeziehung nicht verorteter Daten der LUFA

Grauton: n < 20 (geringe Datengrundlage)



Karte 15: Quecksilber-Gesamtgehalte.





#### 4.2.1.8 Thallium (Tl)

##### **Toxizität**

Eine starke Aufnahme von Thallium (Tl) kann für Mensch und Tier toxisch sein. Der Hauptaufnahmepfad von Thallium ist der Verzehr von Nahrungsmitteln. Die direkte Aufnahme von Thallium-belasteten Böden spielt für die Gesamtschadstoffaufnahme keine große Rolle.

##### **Räumliche Verteilung**

Die Thalliumgehalte der Böden sind im Rieselfeld und bei den vom alten Erzbergbau beeinflussten Gebieten gegenüber den Proben des regionalen Hintergrund-Datenkollektivs erhöht (Tabelle 15).

##### **Rieselfeld**

Im Rieselfeld liegen die Thalliumgehalte der Böden im Bereich der landesweiten natürlichen Hintergrundwerte.

##### **Bergbau**

Gehalte über dem landesweiten Hintergrund wurden in den Böden des Untermünstertals, des Neumagentals und am Schauinsland gemessen (Karte 16). Der Maßnahmenwert der BBodSchV für Grünlandnutzung (15 mg/kg) wird jedoch in keinem Fall erreicht.

Die ammoniumnitrat-extrahierbaren Gehalte an Thallium im Boden sind meistens gering. Im Untermünstertal und im Oberlauf der Neumagen wird vereinzelt der Prüfwert für den Schadstoffübergang von Boden auf Nutzpflanzen überschritten.

##### **Nutzung**

Aus den Datenauswertungen sind keine nutzungsspezifischen Thalliumanreicherungen in den Böden zu erkennen. Die Thalliumgehalte der Böden der Siedlungsbereiche sind mit denen in den Außenbereichen vergleichbar.

#### **Boden-pH-Werte und Tongehalte**

An den vom alten Erzbergbau beeinflussten Standorten nehmen die Thalliumgehalte der Böden mit zunehmendem Tongehalt zu.

Die ammoniumnitrat-extrahierbaren Thalliumgehalte sind meist gering. Die Böden der bergbaulich beeinflussten Flächen weisen tendenziell etwas höhere Gehalte bei niedrigeren Boden-pH-Werten auf (Karte 17).

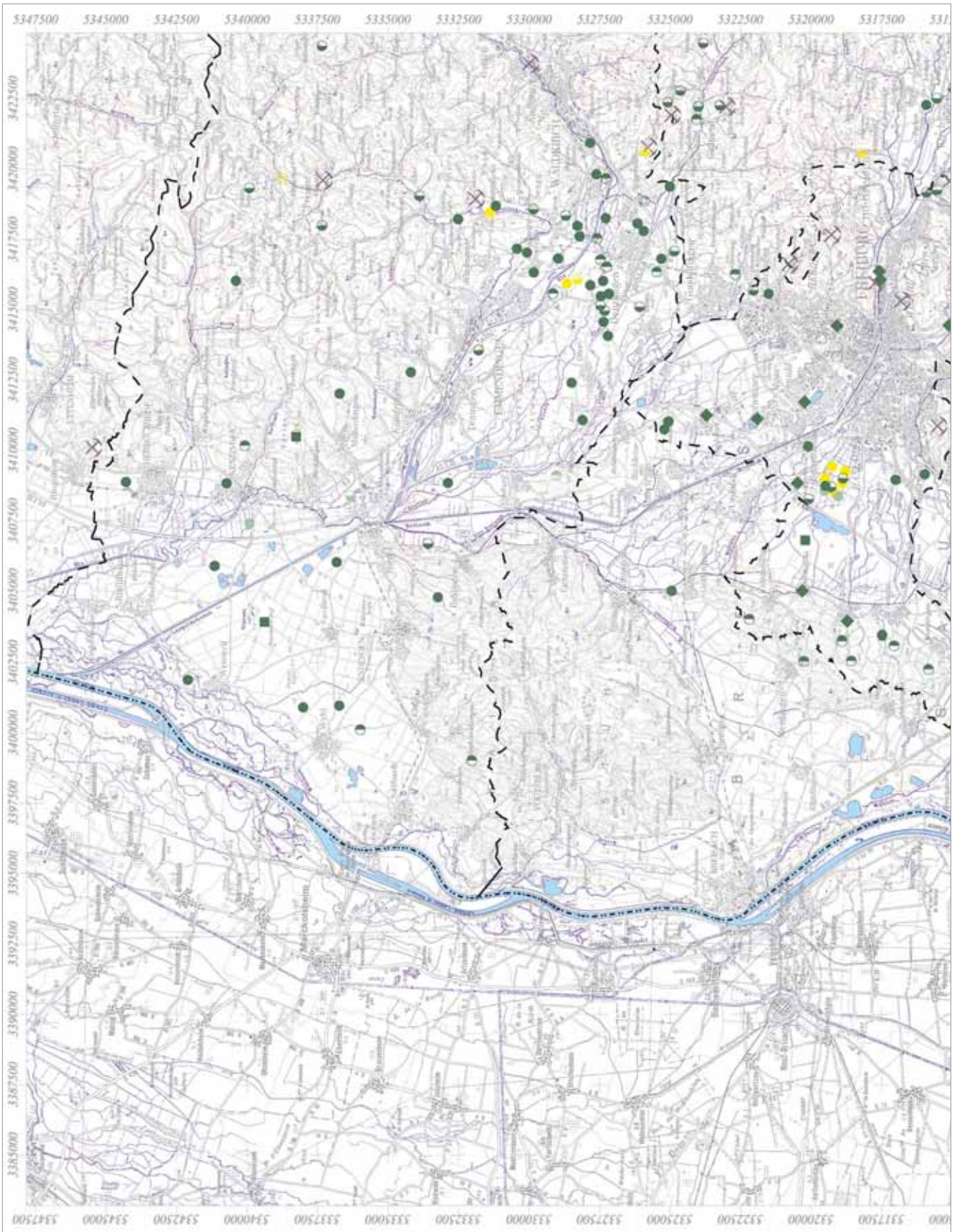


Tabelle 15: Statistische Kenngrößen für Thallium.

	Tl <sub>Ges</sub> [mg/kg]			Tl <sub>An</sub> [mg/kg]		
	n	50.P.	90.P.	n	50.P.	90.P.
<b>nach Herkunft der Schadstoffe</b>						
regionaler Hintergrund	93	< 0,10	0,15	73	< 0,01	< 0,01
Bergbau	115	0,41	1,17	166	0,001	0,028
Rieselfeld	11	0,30	0,40	4	< 0,01	< 0,01
<b>Hintergrundkollektiv nach Siedlungsstruktur</b>						
Außenbereich	79	< 0,10	0,15	70	< 0,01	< 0,01
Emmendingen	43	< 0,10	< 0,10	40	< 0,01	< 0,01
Freiburg	13	< 0,10	< 0,10	13	< 0,01	0,020
Breisgau / H.	23	< 0,10	0,43	17	< 0,01	< 0,01
Siedlungsbereich	14	< 0,10	0,19	3	< 0,01	< 0,01
Emmendingen	0	--	--	0	--	--
Freiburg	11	< 0,10	0,19	0	--	--
Breisgau / H.	3	< 0,10	< 0,10	3	< 0,01	< 0,01
<b>nach Nutzungen</b>						
Ackerbau	32	< 0,10	< 0,10	31	< 0,01	< 0,01
Grünland	23	< 0,10	0,27	19	< 0,01	0,020
Sonderkultur	19	< 0,10	< 0,10	18	< 0,01	< 0,01
Weinbau	12	< 0,10	< 0,10	11	< 0,01	< 0,01
Obstbau	7	< 0,10	< 0,10	7	< 0,01	< 0,01
Gärten	3	0,28	0,60	3	< 0,01	< 0,01
Forst	5	0,11	0,54	2	< 0,01	< 0,01
Park / Grünanl.	3	0,14	0,19	1	--	--
Gewerbe	0	--	--	0	--	--
Kinderspielplatz	8	< 0,10	< 0,10	0	--	--

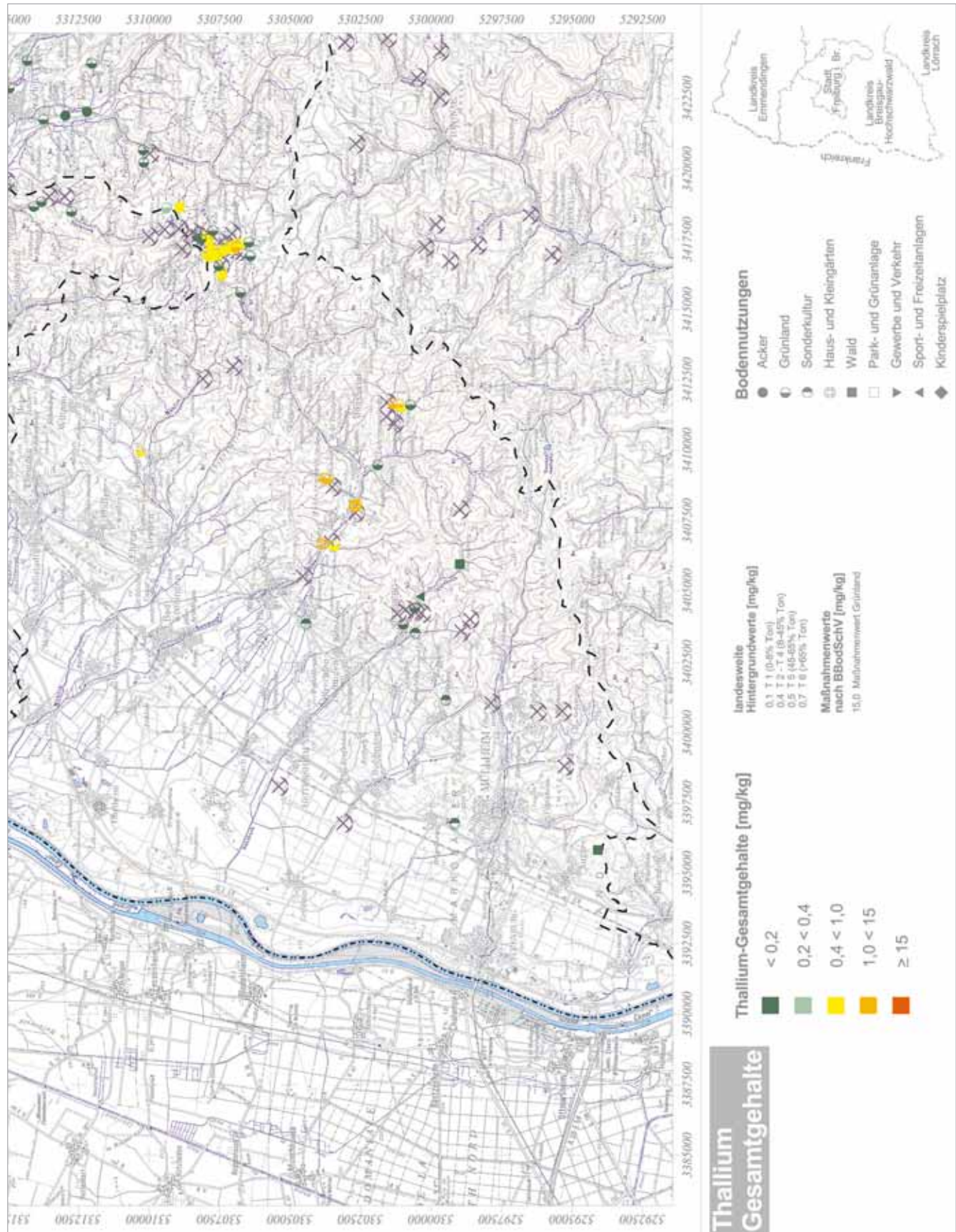
	Hintergrund			Bergbau		
	n	50.P.	90.P.	n	50.P.	90.P.
<b>Tl<sub>Ges</sub> nach Tongehaltsgruppen</b>						
T1 (< 8 % Ton)	2	< 0,10	< 0,10	1	--	--
T2 (8 - 17 %)	34	< 0,10	< 0,10	17	< 0,01	< 0,01
T3 (17 - 27 %)	48	< 0,10	< 0,10	31	< 0,01	0,16
T4 (27 - 45 %)	4	< 0,10	< 0,10	3	0,07	0,27
T5 (45 - 65 %)	0	--	--	1	--	--
T6 (> 65 %)	0	--	--	0	--	--
<b>Tl<sub>An</sub> (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>) nach Boden-pH</b>						
< 3,5	0	--	--	0	--	--
3,5 - 4,5	7	< 0,01	0,020	14	< 0,01	0,035
4,5 - 5,5	26	< 0,01	< 0,01	66	< 0,01	0,029
5,5 - 6,5	15	< 0,10	< 0,10	53	0,001	0,007
6,5 - 7,5	20	< 0,01	< 0,01	20	0,002	0,012
> 7,5	5	< 0,10	< 0,10	0	--	--

Grauton: n &lt; 20 (geringe Datengrundlage)

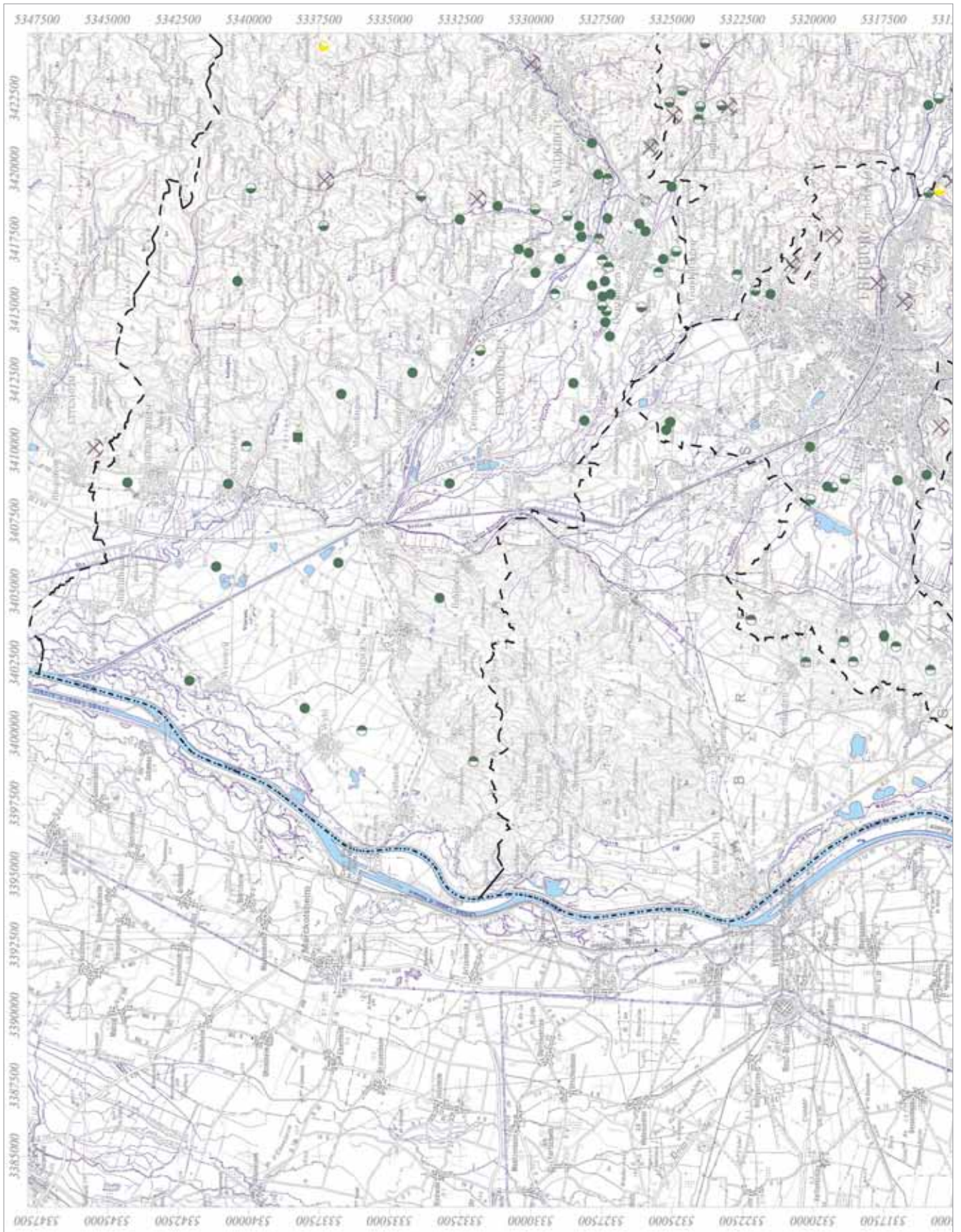


Karte 16: Thallium-Gesamtgehalte.









Karte 17: Ammoniumnitrat-extrahierbare Thalliumgehalte.





#### 4.2.1.9 Zink (Zn)

##### **Toxizität**

Hohe Bodengehalte an Zink (Zn) können das Wachstum von Kulturpflanzen beeinträchtigen. Für den Menschen bestehen keine gesundheitlichen Bedenken aufgrund hoher Zinkgehalte in Böden.

##### **Räumliche Verteilung**

Der Vorsorgewert (150 mg/kg für die Bodenartengruppe „Lehm/Schluff“) ist bei den Böden des Rieselfelds, im Siedlungsbereich der Stadt Freiburg und in den Böden der vom alten Erzbergbau beeinflussten Gebiete mit Gehalten um 185 mg/kg (50. P.) oft überschritten (Karten 18, 32, Tabelle 16).

##### **Bergbau**

In den bergbaulich beeinflussten Bereichen liegen teilweise hohe Bodengehalte an Zink vor [663 mg/kg (90.P.)].

Ebenso werden erhöhte ammoniumnitrat-extrahierbare Zinkgehalte in diesen Böden angetroffen. Prüfwertüberschreitungen (Pflanzenwuchs) ergeben sich insbesondere im Untermünster-, im Neumagen und Möhlin, sowie im Kappler- und Glottertal (Karte 19).

##### **Nutzung**

In den Böden der Siedlungsbereiche sind die Zinkgehalte höher als in den Außenbereichen. Dies trifft u. a. für den Siedlungsbereich der Stadt Freiburg zu.

In den Außen- und Siedlungsbereichen der eher ländlichen Regionen (Landkreise Emmendingen und Breisgau-Hochschwarzwald) liegen die Zinkgehalte der Proben des regionalen Hintergrund-Datenkollektivs überwiegend unter dem Vorsorgewert von 150 mg/kg (90. P.) (Tabelle 16).

Die höchsten Zinkgehalte weisen die Böden im Innenbereich der Städte auf (Gewerbe, Kinderspielflächen, Grünanlagen, Kleingärten). Sie sind vermutlich auf die alten Schwemflächen der Dreisam, teilweise auch auf diffuse Immissionen über die Luft zurückzuführen. Ein weiterer nutzungsbedingter Einfluss ist nicht abzuleiten.

##### **Boden-pH-Werte und Tongehalte**

Die Löslichkeit von Zink nimmt bei niedrigeren pH-Werten sehr deutlich zu. Der Prüfwert auf Wachstumsbeeinträchtigungen bei Kulturpflanzen (2 mg/kg) wird in den Böden des regionalen Hintergrund-Datenkollektivs bei pH-Werten unter 5,5 überschritten [2,8 mg/kg (90. P.)]. In bergbaulich beeinflussten Bereichen ist bereits bei pH-Werten unter pH 6,5 [4,0 mg/kg (90. P.)] mit Prüfwertüberschreitungen zu rechnen. Unter dem pH-Wert 5,5 liegt bereits der 50. Perzentil über dem Prüfwert für Böden der BBodSchV (50.P. > 3,5 mg/kg; Karte 19).



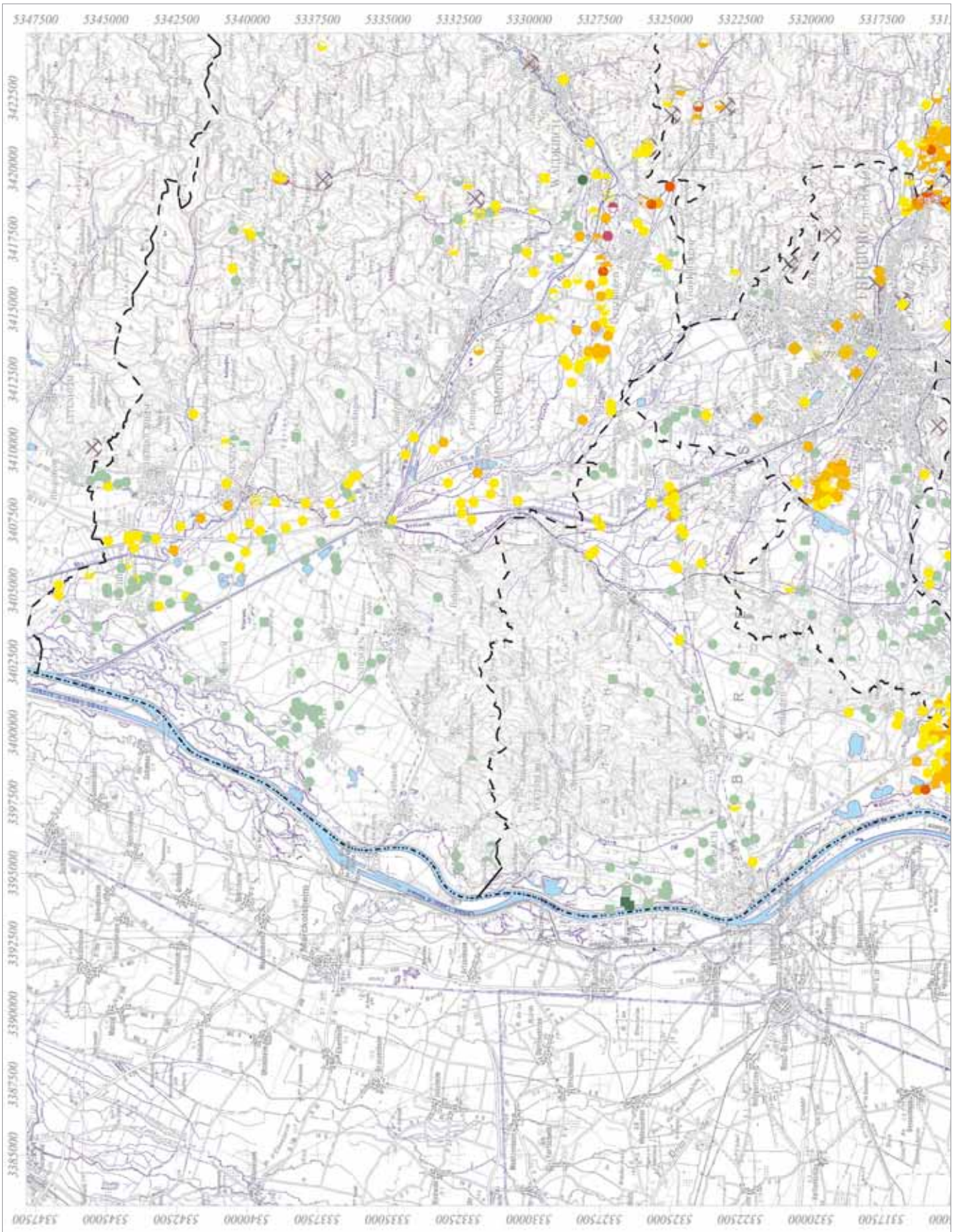
Tabelle 16: Statistische Kenngrößen für Zink.

	Zn <sub>Ges</sub> [mg/kg]			Zn <sub>An</sub> [mg/kg]		
	n	50.P.	90.P.	n	50.P.	90.P.
<b>nach Herkunft der Schadstoffe</b>						
regionaler Hintergrund	541	66	122	108	0,15	1,93
Bergbau	810	184	663	256	1,45	23,30
Rieselfeld	45	186	288	4	2,20	20,00
<b>Hintergrundkollektiv nach Siedlungsstruktur</b>						
Außenbereich	499	65	110	105	0,17	1,93
Emmendingen	136	60	96	41	0,26	1,60
Freiburg	29	65	140	14	0,28	3,50
Breisgau / H.	334	67	112	50	0,06	2,52
Siedlungsbereich	41	129	280	3	< 0,05	< 0,05
Emmendingen	2	69	86	0	--	--
Freiburg	26	173	438	0	--	--
Breisgau / H.	13	74	210	3	< 0,05	< 0,05
<b>nach Nutzungen</b>						
Ackerbau	385	64	106	45	0,15	1,60
Grünland	55	72	123	24	0,41	3,10
Sonderkultur	30	62	109	18	0,12	1,00
Weinbau <sup>1</sup>	91	63	108	11	0,11	0,36
Obstbau	11	66	89	7	0,13	1,50
Gärten	17	128	445	3	0,32	1,01
Forst	29	64	123	18	0,02	5,12
Park / Grünanl.	3	218	253	1	--	--
Gewerbe	3	52	74	0	--	--
Kinderspielplatz	19	160	280	0	--	--

	Hintergrund			Bergbau		
	n	50.P.	90.P.	n	50.P.	90.P.
<b>Zn<sub>Ges</sub> nach Tongehaltsgruppen</b>						
T1 (< 8 % Ton)	10	52	337	11	134	242
T2 (8 - 17 %)	46	69	160	86	337	855
T3 (17 - 27 %)	197	64	110	171	218	750
T4 (27 - 45 %)	38	60	77	36	357	583
T5 (45 - 65 %)	0	--	--	3	154	155
T6 (> 65 %)	0	--	--	2	90	91
<b>Zn<sub>An</sub> (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>) nach Boden-pH</b>						
< 3,5	1	--	--	0	--	--
3,5 - 4,5	10	1,45	5,15	21	3,31	42,00
4,5 - 5,5	29	0,59	2,80	129	3,50	24,04
5,5 - 6,5	20	0,13	0,39	64	0,69	4,00
6,5 - 7,5	41	0,02	0,15	28	0,09	0,40
> 7,5	7	0,08	0,26	1	--	--

<sup>1</sup> Einbeziehung nicht verorteter Daten der LUFA

Grauton: n < 20 (geringe Datengrundlage)

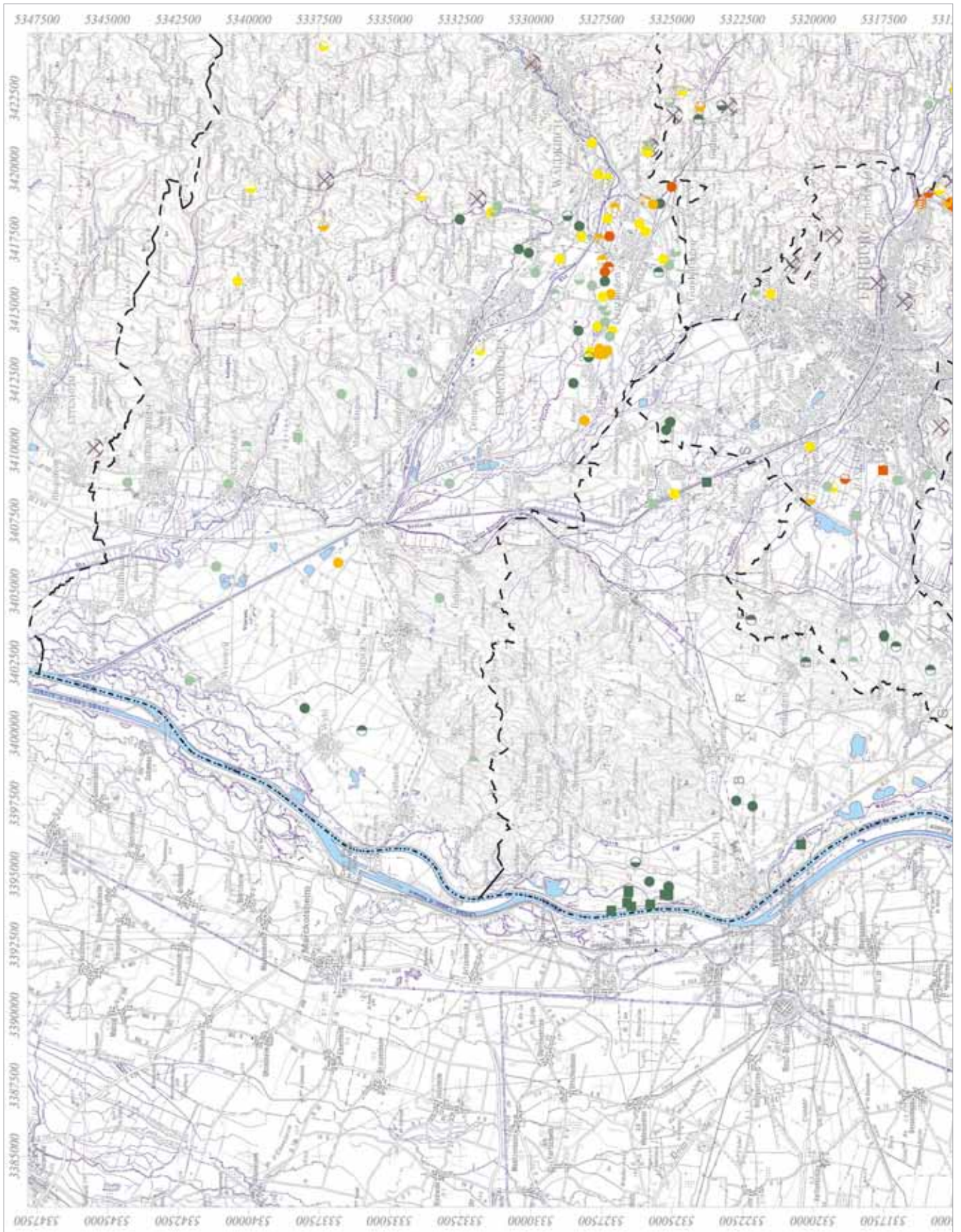


Karte 18: Zink-Gesamtgehalte.



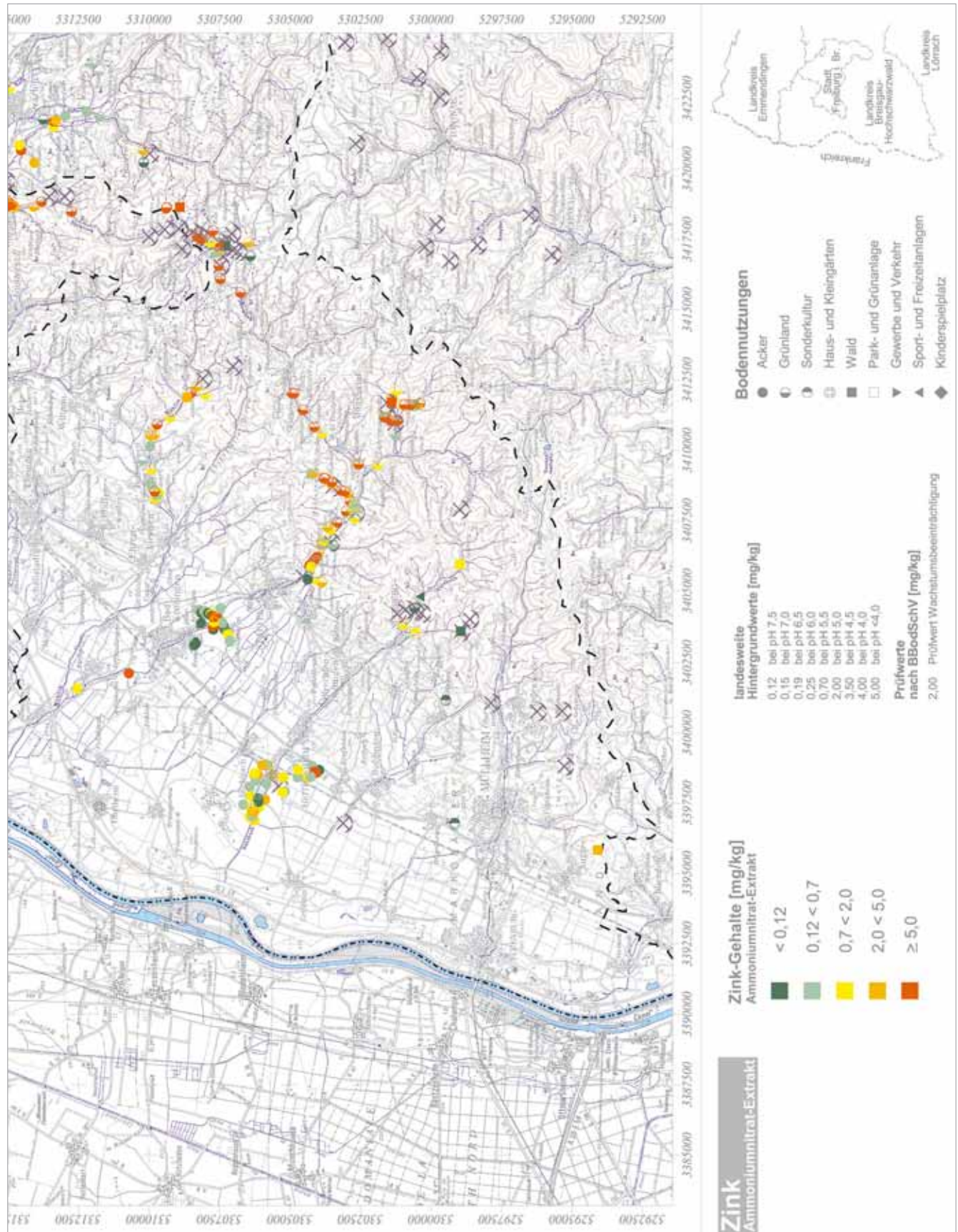






Karte 19: Ammoniumnitrat-extrahierbare Zinkgehalte.





#### 4.2.1.10 Weitere Spurenelemente

Die vorliegenden Daten im Erhebungsgebiet wurden auf weitere Spurenelemente wie Silber (Ag), Kobalt (Co), Wismut (Bi), Antimon (Sb), Barium (Ba), Molybdän (Mo), Vanadium (Va), Uran (Ur), Rubidium (Rb) und Strontium (Sr) geprüft und ihre Verteilung der Gehalte in den Böden dargestellt (Tabelle 17).

Bei diesen Spurenelementen fehlen oft die Orientierungswerte zur Einstufung, z. T. sind vorliegende Werte auch fachlich noch nicht ausreichend abgesichert.

Bei Kobalt, Wismut, Molybdän und Vanadium sind die Analysenergebnisse im Vergleich zu den Daten, die bei anderen Erhebungen in Siedlungsräumen mit hohem Anteil an Industrie- und Gewerbegebieten ermittelt worden sind, unauffällig.

Silber und Antimon sind in den Böden vom alten Erzbergbau beeinflussten Bereichen höher konzentriert als in den Proben des regionalen Hintergrund-Datenkollektivs (Tabelle 17). *EIKMANN & KLOKE (1993)* nennen auf der Grundlage der Königswasserextraktion folgende Orientierungswerte für die empfindlichste Nutzung als Kinderspielfläche:

- Antimon 10 mg/kg
- Uran 10 mg/kg
- Barium 500 mg/kg

Diese Werte werden vom 90. Perzentilwert des Bergbau-Datenkollektivs überschritten.

Für Rubidium und Strontium fehlen Bewertungsgrundlagen.

Tabelle 17: Statistische Kenngrößen für weitere Spurenelemente.

		Gesamtgehalte [mg / kg]			NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> [µg / kg]		
		n	50.P.	90.P.	n	50.P.	90.P.
<b>Silber (Ag)</b>							
regionaler	Kw.	7	0,2	1,8	0		
Hintergrund	RFA	8 < 2,0		< 2,0			
Bergbau	Kw.	21	3,5	9,4	53	1,6	3,2
	RFA	242 < 2,0		8,0			
<b>Kobalt (Co)</b>							
regionaler	Kw.	4	11	15	0		
Hintergrund	RFA	2	25	38			
Bergbau	Kw.	21	4	9	106	23,7	129
	RFA	29	14	37			
Rieselfeld	Kw.	5	10	11	0		
<b>Wismut (Bi)</b>							
regionaler	Kw.	0			0		
Hintergrund	RFA	2	0,0	1,0			
Bergbau	Kw.	5	< 1,0	< 1,0	78	< 0,5	2,6
	RFA	13 < 1,0		< 1,0			
<b>Antimon (Sb)</b>							
regionaler	Kw.	12 < 1,0		2,0	0		
Hintergrund	RFA	2	18	25			
Bergbau	Kw.	5	< 1,0	2,0	86	46,3	213
	RFA	25	19	250			
<b>Barium (Ba)</b>							
regionaler	Kw.	7	99	271	0		
Hintergrund	RFA	9	1530	11700			
Bergbau	RFA	242	1135	6370			
<b>Molybdän (Mo)</b>							
Hintergrund					0		
Bergbau					73	9,0	46,0
<b>Vanadium (V)</b>							
Hintergrund					0		
Bergbau					53	5,4	15,4
<b>Uran (U)</b>							
Hintergrund	RFA	1			0		
Bergbau	RFA	12	7,0	12,0	21	2,1	27,0
<b>Rubidium (Rb)</b>							
Hintergrund	RFA	0					
Bergbau	RFA	244	102	174			
<b>Strontium (Sr)</b>							
Hintergrund	RFA	7	197	789			
Bergbau	RFA	330	73	217			

Kw. = Königswasser

RFA = Röntgenfluoreszenzanalyse

Grauton: n < 20 (geringe Datengrundlage)



## 4.2.2 Organische Stoffe

### 4.2.2.1 Organochlorpestizide

Im Erhebungsbiet wurden 17 Bodenproben auf Organochlorpestizide untersucht. Die Mehrzahl dieser Proben stammt aus einem Projekt zur Untersuchung von Hintergrundgehalten organischer Schadstoffe in landwirtschaftlich genutzten Böden.

Die Hexacyclohexan- und Gamma-Chlordangehalte der untersuchten Böden liegen in der Nähe der analytischen Nachweisgrenze. Hexachlorbenzol wurde mit 0,002 mg/kg (50. P.) - 0,004 mg/kg (90. P.) nachgewiesen. Damit liegt der 50. Perzentilwert in der Größenordnung des landesweiten Hintergrunds.

Die höchsten Gehalte wurden bei DDT gemessen. Bei einem Drittel der untersuchten Böden wird der landesweite Hintergrundwert für Böden von 0,02 mg/kg überschritten (Tabelle 18).

In der BBodSchV sind für die Organo-Chlorpestizide Prüfwerte für die direkte Schadstoffaufnahme ausgewiesen, die im Untersuchungsraum weit unterschritten werden.

Tabelle 18: Statistische Kenngrößen für Organochlorpestizide.

	Organochlorpestizide		[mg/kg]
	n	50.P.	90.P.
<b>p,p'-DDT</b>			
Außenbereich	15	< 0,001	0,002
Siedlungsbereich	2	< 0,001	< 0,001
<b>o,p'-DDT</b>			
Außenbereich	15	< 0,001	< 0,001
Siedlungsbereich	2	< 0,001	< 0,001
<b>p,p'-DDD</b>			
Außenbereich	15	< 0,001	0,026
Siedlungsbereich	2	< 0,001	< 0,001
<b>o,p'-DDD</b>			
Außenbereich	15	< 0,001	< 0,001
Siedlungsbereich	2	< 0,001	< 0,001
<b>p,p'-DDE</b>			
Außenbereich	15	0,007	0,060
Siedlungsbereich	2	< 0,001	< 0,001
<b>Summe DDT</b>			
Außenbereich	15	0,014	0,063
Siedlungsbereich	2	< 0,001	< 0,001
<b>Hexachlorbenzol</b>			
Außenbereich	15	0,002	0,004
Siedlungsbereich	2	< 0,001	< 0,001
<b>Hexachlorcyclohexan</b>			
<b>alpha-HCH</b>			
Außenbereich	15	< 0,001	0,002
Siedlungsbereich	2	< 0,001	< 0,001
<b>gamma-HCH (Lindan)</b>			
Außenbereich	15	< 0,001	0,002
Siedlungsbereich	2	< 0,001	< 0,001
<b>delta-HCH</b>			
Außenbereich	15	< 0,001	< 0,001
Siedlungsbereich	2	< 0,001	< 0,001
<b>HCH-Gesamt</b>			
Außenbereich	15	< 0,001	0,002
Siedlungsbereich	2	< 0,001	< 0,001
<b>Gamma-Chlordan</b>			
Außenbereich	15	< 0,001	< 0,001
Siedlungsbereich	2	< 0,001	< 0,001

Grauton: n < 20 geringe Datengrundlage

#### 4.2.2.2 Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

##### Toxizität

Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) können auf natürliche Weise gebildet werden. Ein Großteil PAK entsteht anthropogen z. B. bei der Verbrennung fossiler Energieträger. Einige Kongenere der Polyzyklischen Aromatischen Kohlenwasserstoffe (z. B. Benzo[a]pyren) sind karzinogen oder mutagen.

##### Räumliche Verteilung

Die PAK-Gesamtgehalte der Böden sind im wesentlichen von der Siedlungsstruktur abhängig. Die Böden des Hintergrund- und Bergbau-Datenkollektivs weisen vergleichbare PAK<sub>16</sub>-Gehalte auf (Karte 20, Tabelle 19).

##### Rieselfeld

Im Rieselfeld liegen die Gehalte mit 1,2 - 1,8 mg/kg etwas über dem landesweiten Hintergrund (Karte 34).

##### Nutzung

Während die PAK-Gehalte der Böden des Außenbereichs in der Regel unter dem landesweiten Hintergrund (1 mg/kg für PAK<sub>16</sub> bzw. 0,1 mg/kg für Benzo[a]pyren BaP) liegen, sind die Gehalte an PAK<sub>16</sub> im Siedlungsbereich erhöht [1,3 mg/kg (50. P.) - 16 mg/kg (90. P.)]. Der Vorsorgewert der BBodSchV für PAK<sub>16</sub> von 3 mg/kg wird im Siedlungsbereich häufig überschritten. Die geringsten PAK-Gehalte weisen die Böden von Sonderkulturflächen auf. Im Vergleich zur landwirtschaftlichen Nutzfläche weisen Böden von Gärten und mit sonstiger siedlungstypischer Nutzung (Grünanlagen, Kinderspielplatz) meist höhere PAK-Gehalte vor (Tabelle 19). Lediglich an zwei Standorten (in den Siedlungsbereichen von Müllheim und Freiburg) wurden Benzo[a]pyren-Werte (BaP) im Boden über 1 mg/kg angetroffen. Nahrungspflanzen werden

hier nicht angebaut (vgl. auch Karte 21).

##### Verteilung der Kongeneren

Die prozentuale Zusammensetzung der PAK-Komponenten in den Böden ist in der Regel unabhängig von der Konzentration relativ einheitlich (*Bachmann u. a., 1997*). Die Häufigkeitsverteilung einzelner PAK-Komponenten (Tabelle 20) entspricht denen, die auch bei den Untersuchungen in den Ballungsräumen Mannheim-Heidelberg (*UVM, 1998*) und Stuttgart (*UVM, 1999*) festgestellt wurden. Zwischen Innen- und Außenbereich liegen keine signifikanten Unterschiede in der Verteilung der PAK-Komponenten vor.

**Tabelle 19: Statistische Kenngrößen für PAK und Benzo[a]pyren (BaP).**

	BaP [mg/kg]			PAK <sub>16</sub> [mg/kg]		
	n	50.P.	90.P.	n	50.P.	90.P.
<b>nach Herkunft der Schadstoffe</b>						
regionaler Hintergrund	56	0,02	0,19	70	0,19	3,11
Bergbau	22	0,04	0,25	28	0,27	2,40
Rieselfeld	19	0,15	0,31	19	1,17	1,78
<b>Bergbau- und Hintergrundkollektiv nach Siedlungsstruktur</b>						
Außenbereich	58	0,02	0,10	70	0,15	0,87
Emmendingen	25	0,03	0,13	25	0,27	1,20
Freiburg	19	< 0,01	0,04	25	0,05	0,45
Breisgau / H.	14	0,03	0,16	20	0,22	1,54
Siedlungsbereich	20	0,12	1,60	29	1,30	15,98
Emmendingen	5	0,19	0,45	5	1,92	11,00
Freiburg	13	0,11	1,40	22	0,84	12,47
Breisgau / H.	2	1,11	1,80	2	9,60	16,00
<b>nach Nutzungen</b>						
Ackerbau	27	0,02	0,13	27	0,21	1,20
Grünland	19	0,03	0,16	31	0,14	0,85
Sonderkultur	11	< 0,01	0,03	11	0,01	0,26
Gärten	4	0,19	0,42	4	2,46	3,20
Forst	2	0,01	0,03	1	--	0,27
Park / Grünanl.	2	1,13	1,80	2	13,50	16,00
Gewerbe	0	--	--	1	--	--
Kinderspielplatz	14	0,09	1,40	22	0,65	12,47

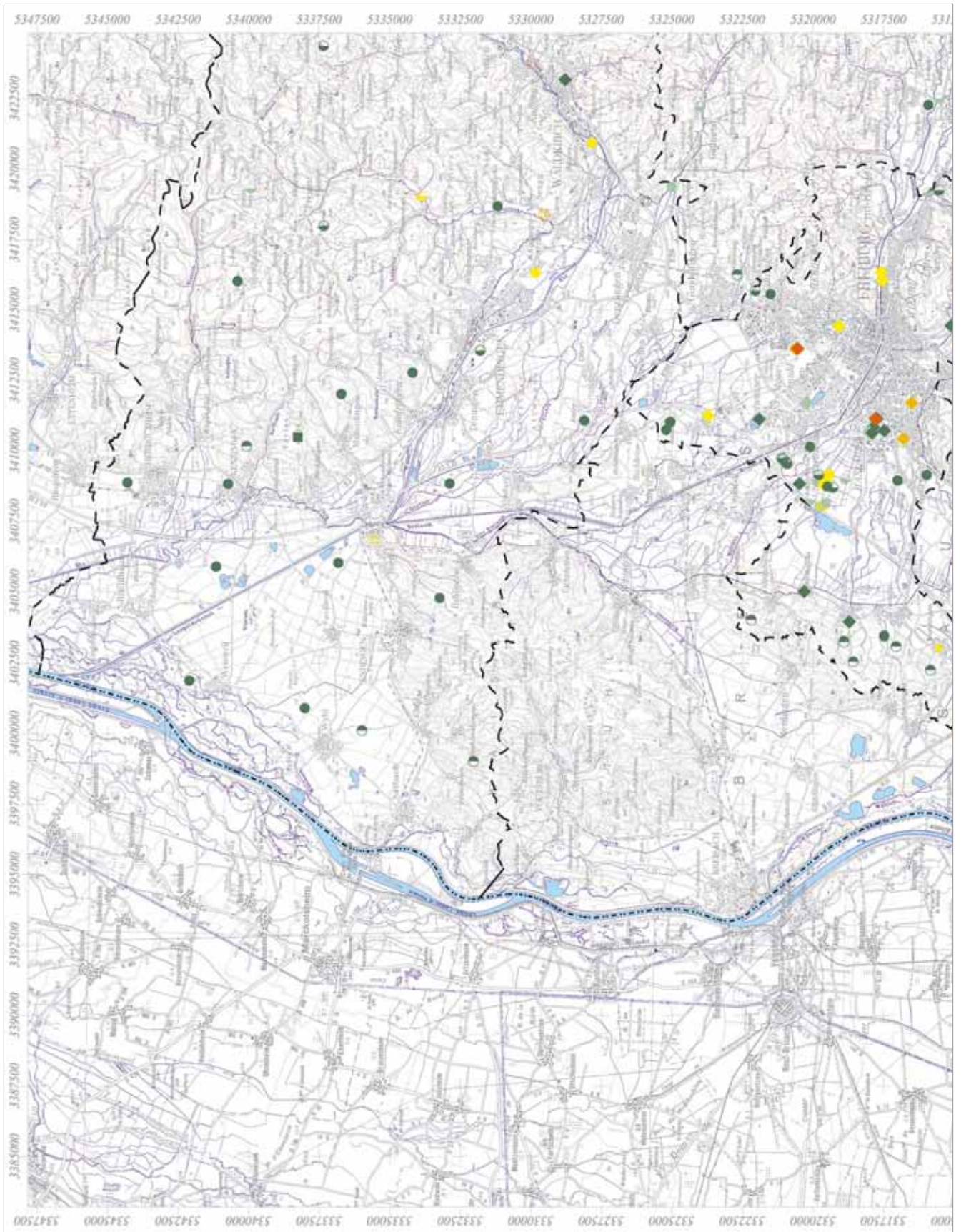
Grauton: n < 20 (geringe Datengrundlage)



**Tabelle 20: Statistische Kenngrößen für PAK<sub>16</sub> in den Böden der Siedlungs- und Außenbereiche.**

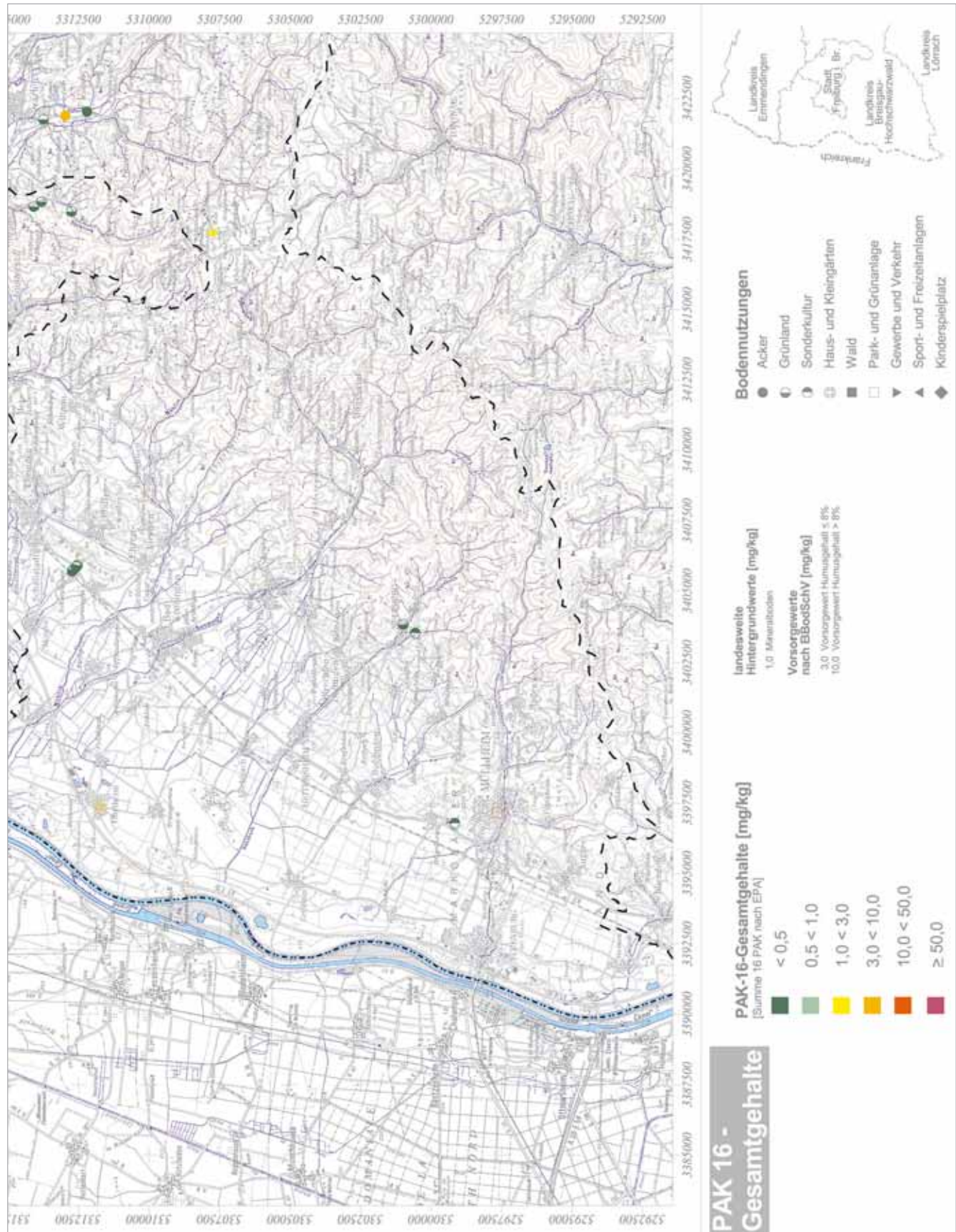
	PAK <sub>16</sub> [mg/kg]				PAK <sub>16</sub> [mg/kg]			
	n	50.P.	90.P.	%	n	50.P.	90.P.	%
	<b>Außenbereich</b>				<b>Siedlung</b>			
Naphthalin	58	< 0,1	< 0,1	0	18	< 0,1	0,00	0
Acenaphtylen	58	< 0,1	< 0,1	0	16	< 0,1	< 0,1	0
Acenaphten	58	< 0,1	< 0,1	0	16	< 0,1	< 0,1	0
Fluoren	58	< 0,1	< 0,1	0	16	< 0,1	0,01	0
Phenan-thren	58	0,02	0,06	10	16	0,05	0,15	5
Anthracen	58	< 0,1	0,02	0	16	0,01	0,03	1
Fluoranthen	58	0,04	0,19	20	16	0,15	0,47	18
Pyren	58	0,02	0,14	12	16	0,11	0,83	13
Benzo[a]anthracen	58	0,02	0,09	10	16	0,09	0,24	10
Chrysen	58	0,02	0,09	10	16	0,09	0,80	11
Benzo[b]fluoranthen	58	0,03	0,13	15	16	0,08	0,37	9
Benzo[k]fluoranthen	57	0,01	0,06	5	16	0,07	0,22	8
Benzo[a]pyren	58	0,02	0,10	10	20	0,12	1,60	14
Indeno[c,d]pyren	58	0,01	0,07	5	16	0,04	0,30	5
Dibenz[a,h]anthracen	58	< 0,1	< 0,1	0	16	< 0,1	0,05	0
Benzo[ghi]perylen	58	0,01	0,07	5	16	0,04	0,50	5
<b>Summe PAK</b>		<b>0,20</b>	<b>1,02</b>	<b>100</b>		<b>0,84</b>	<b>5,52</b>	<b>100</b>

Grauton: n < 20 (geringe Datengrundlage)

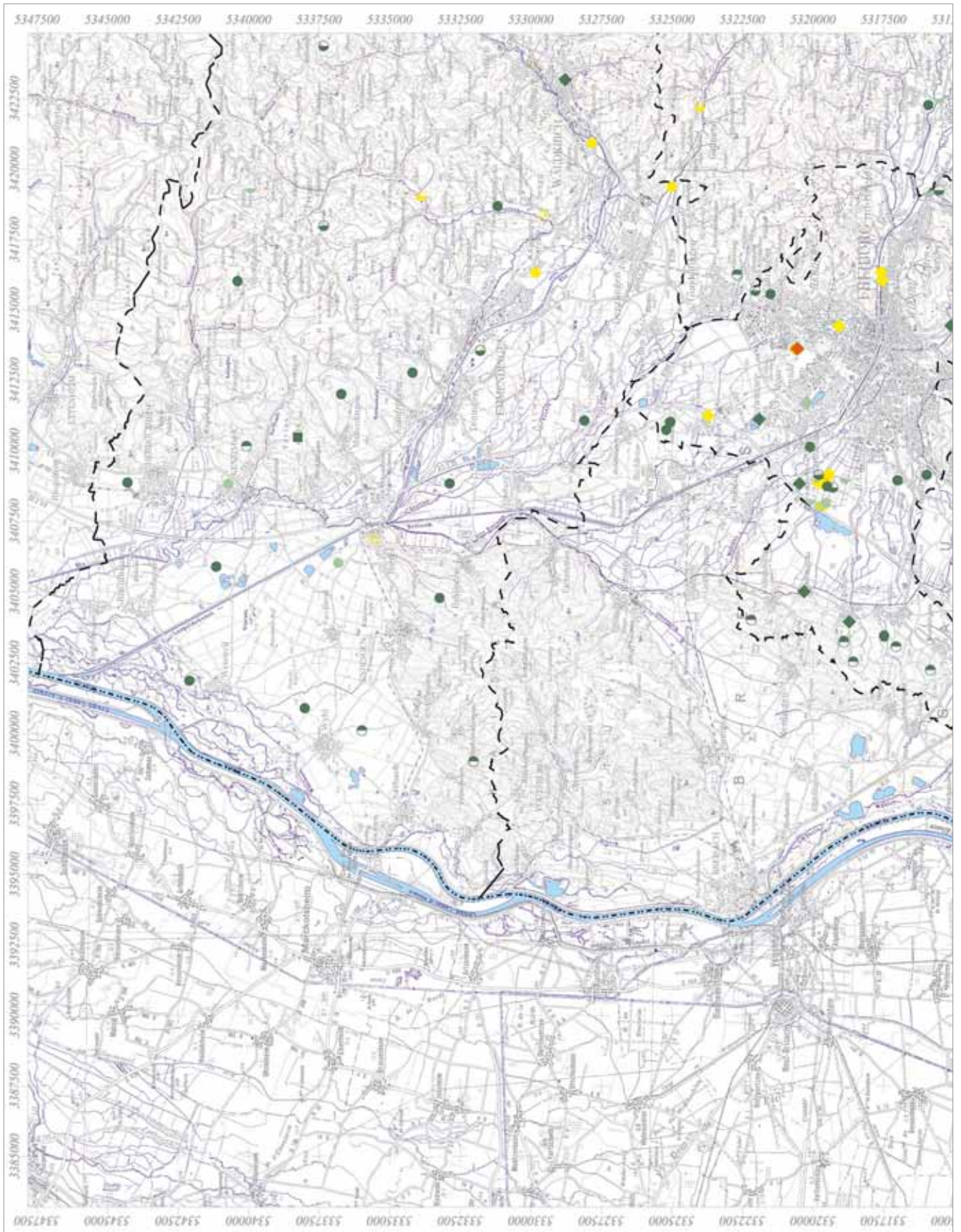


Karte 20: Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoff (PAK<sub>16</sub>)-Gehalte.



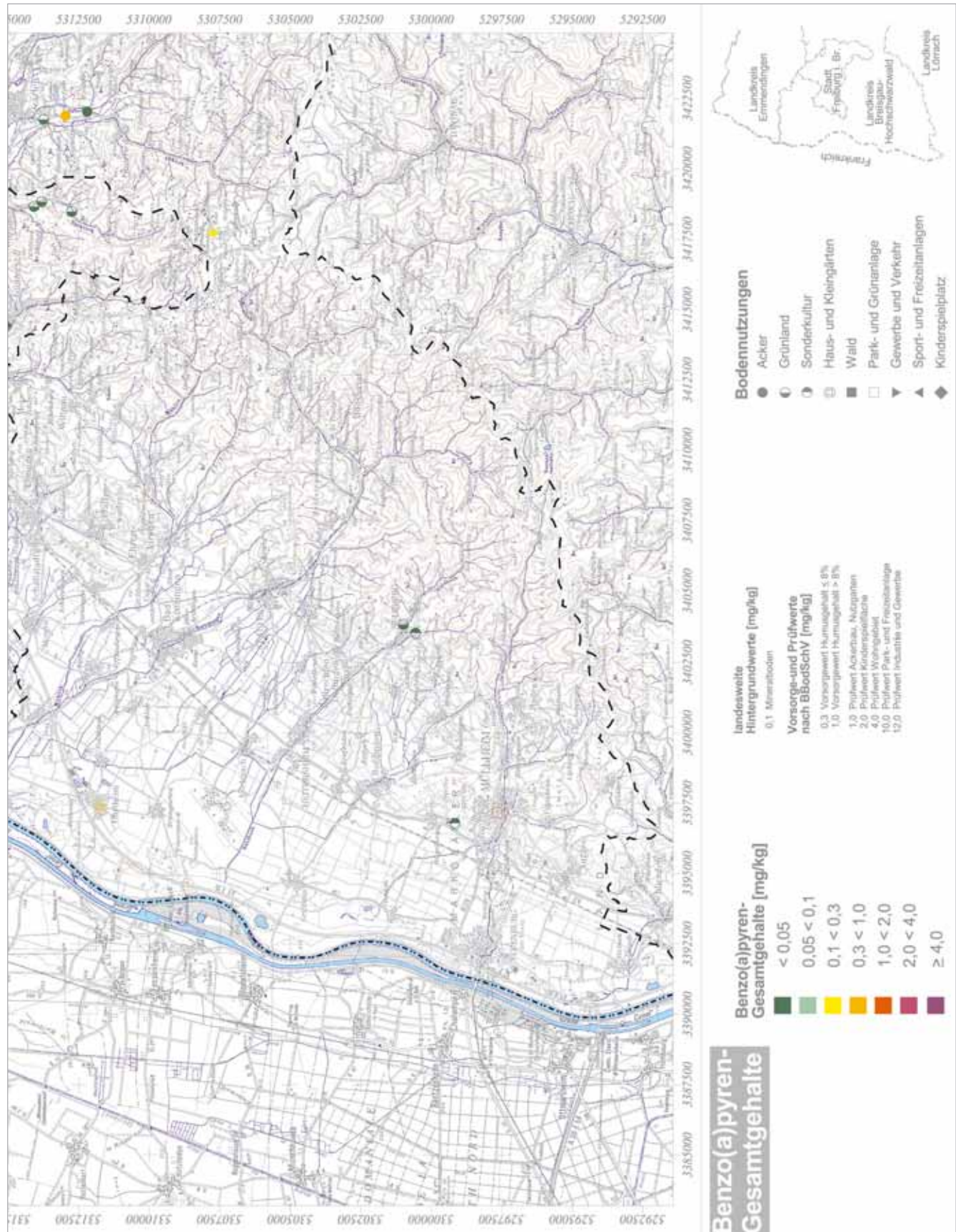






Karte 21: Benzo[a]pyren-Gesamtgehalte.





### 4.2.2.3 Polychlorierte Biphenyle (PCB)

Polychlorierte Biphenyle (PCB) entstammen der mittlerweile verbotenen industriellen Produktion von technischen PCB-Mischungen (z.B. Transformatoren-Öl) und entstehen als Nebenprodukte bei einer Vielzahl von Verbrennungsprozessen.

#### Räumliche Verteilung

In den Böden des Untersuchungsraums liegen die PCB<sub>6</sub>-Gehalte unter dem landesweiten Hintergrund (0,013 mg/kg) (Karte 22, Tabelle 21).

#### Rieselfeld

Hohe PCB-Gehalte sind im Bereich des Rieselfelds mit PCB<sub>6</sub>-Gehalten um 0,24 mg/kg (50. P.) bzw. 0,99 (90. P.) mg/kg verbreitet. Der Maßnahmenwert für Grünlandnutzung (0,2 mg/kg) und der Prüfwert für die direkte Bodenaufnahme (0,8 mg/kg) für Wohngebiete wird im Rieselfeld in mehreren Fällen überschritten.

Tabelle 21: Statistische Kenngrößen für PCB<sub>6</sub>.

	PCB <sub>6</sub> [mg/kg]		
	n	50.P.	90.P.
<b>nach Herkunft der Schadstoffe</b>			
regionaler Hintergrund	52	0,010	0,010
Bergbau	25	0,010	0,010
Rieselfeld	24	0,240	0,990
<b>Bergbau- und Hintergrundkollektiv nach Siedlungsstruktur</b>			
Außenbereich	73	0,010	0,010
Emmendingen	30	0,010	0,010
Freiburg	20	0,010	0,010
Breisgau / H.	23	0,010	0,010
Siedlungsbereich	4	0,01	0,01
Emmendingen	1		
Freiburg	1		
Breisgau / H.	2	0,010	0,010
<b>nach Nutzungen</b>			
Ackerbau	30	0,010	0,010
Grünland	7	0,010	0,018
Sonderkultur	11	0,010	0,010
Gärten	2	0,006	0,420
Forst	1		
Park / Grünanl.	1		
Gewerbe	0		
Kinderspielplatz	0		

Grauton: n < 20 geringe Datengrundlage



#### 4.2.2.4 Polychlorierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane (PCDD/F)

Im Erhebungsraum liegen 35 Bodenanalysen auf PCDD/F vor. Die Bodenuntersuchungen wurden überwiegend in der Umgebung mutmaßlicher Emittenten bzw. auf sonstigen Verdachtsflächen entnommen. Einige Proben stammen aus dem Innen- oder Siedlungsbereich der größeren Städte. Der größere Teil der Proben wurde nördlich von Breisach in der Nähe der auf französischer Seite gelegenen Rhenalu-Werke (Aluminiumschmelze) und aus dem Rieselfeld auf der Stadtgemarkung von Freiburg entnommen (Karte 23).

##### **Räumliche Verteilung**

In den Böden des Siedlungsbereichs und im Rieselfeld wurden höhere PCDD/F-Gehalte als in den Böden des Außenbereichs vorgefunden. Der Maßnahmenwert der BBodSchV für die direkte Aufnahme von Dioxinen/Furanen auf Kinderspielflächen (100 ng/kg) wird jedoch weit unterschritten.

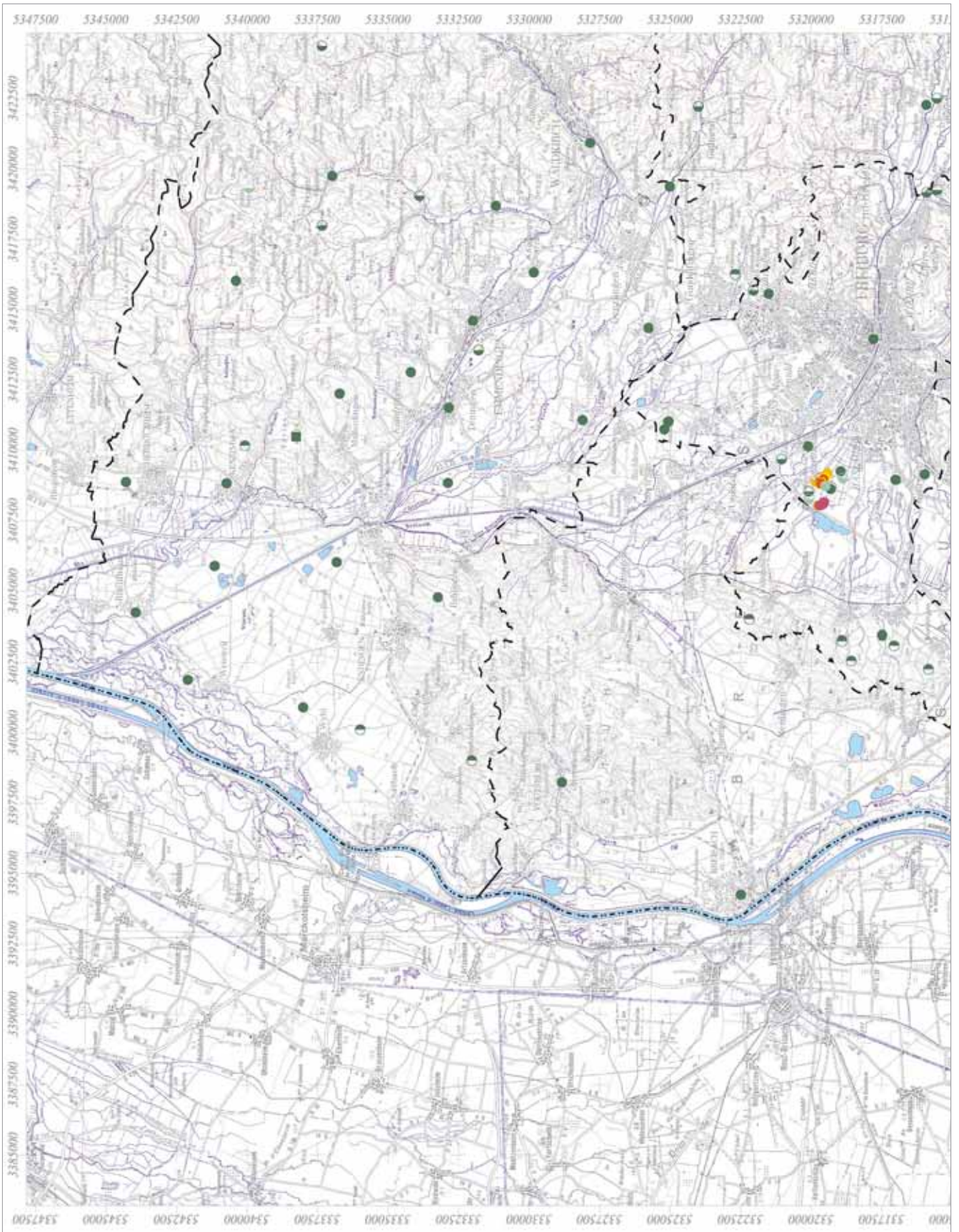
##### **Nutzung**

Landwirtschaftlich genutzte Böden weisen PCDD/F-Gehalte im Rahmen des landesweiten Hintergrunds auf (2 ng/kg). In Waldböden liegen die PCDD/F-Konzentrationen etwas höher als bei landwirtschaftlicher Nutzung (Tabelle 22).

Tabelle 22: Statistische Kenngrößen für PCDD/F.

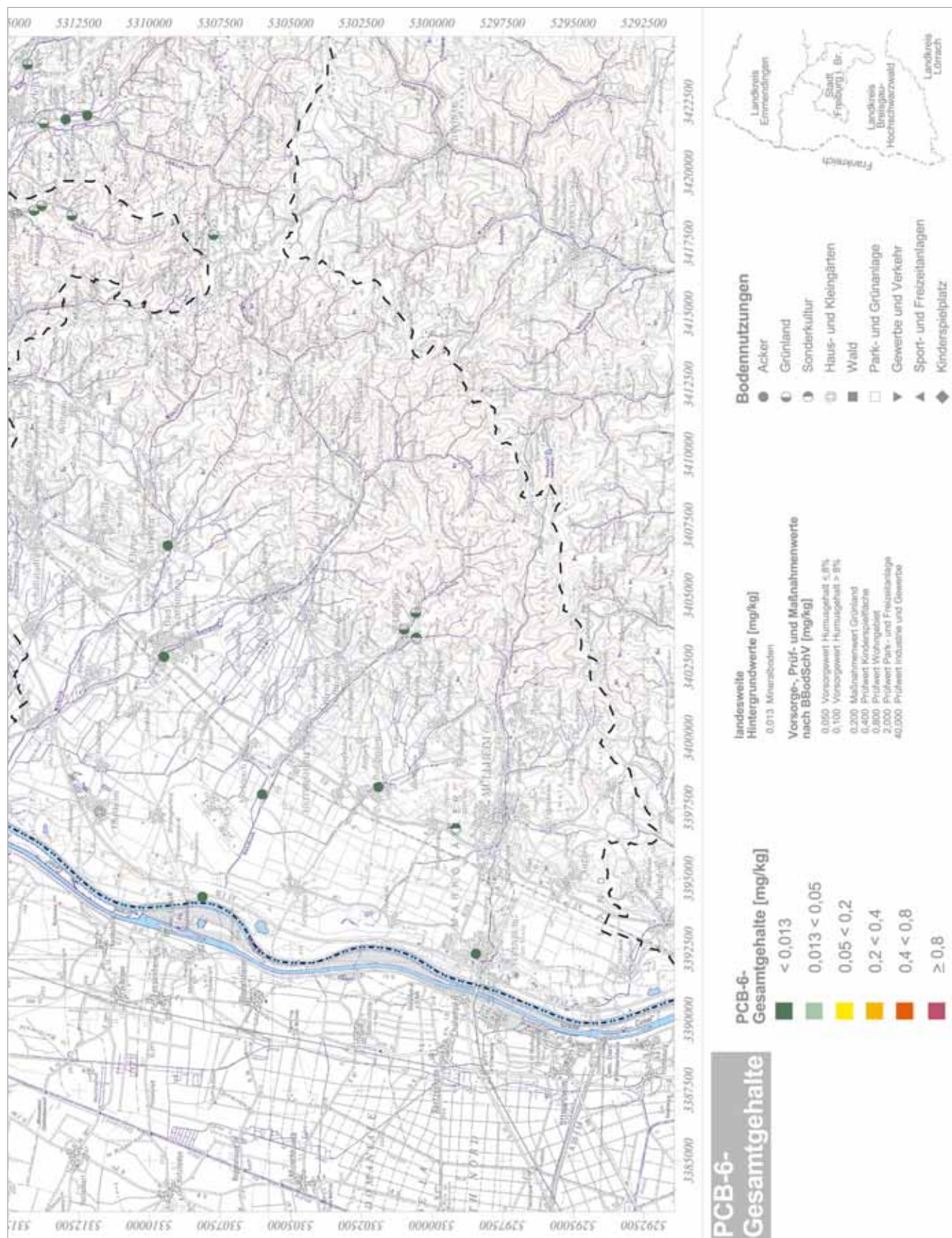
	PCDD/F I-TEq [ng/kg]		
	n	50.P	90.P.
<b>nach Herkunft der Schadstoffe</b>			
regionaler Hintergrund	25	1,2	4,0
Bergbau	4	1,7	6,6
Rieselfeld	6	2,9	9,3
<b>Bergbau- und Hintergrundkollektiv nach Siedlungsstruktur</b>			
Außenbereich	25	1,2	3,6
Emmendingen	3	1,0	1,5
Freiburg	1		
Breisgau / H.	19	1,2	3,6
Siedlungsbereich	4	5,6	6,6
Emmendingen	1		
Freiburg	3	5,2	6,1
Breisgau	0		
<b>nach Nutzungen</b>			
Ackerbau	8	0,8	1,3
Grünland	5	0,8	1,9
Sonderkultur	0		
Gärten	1		
Forst	12	1,8	3,6
Park / Grünanl.	2	4,1	5,2
Gewerbe	0		
Kinderspielplatz	0		

Grauton: n < 20 geringe Datengrundlage

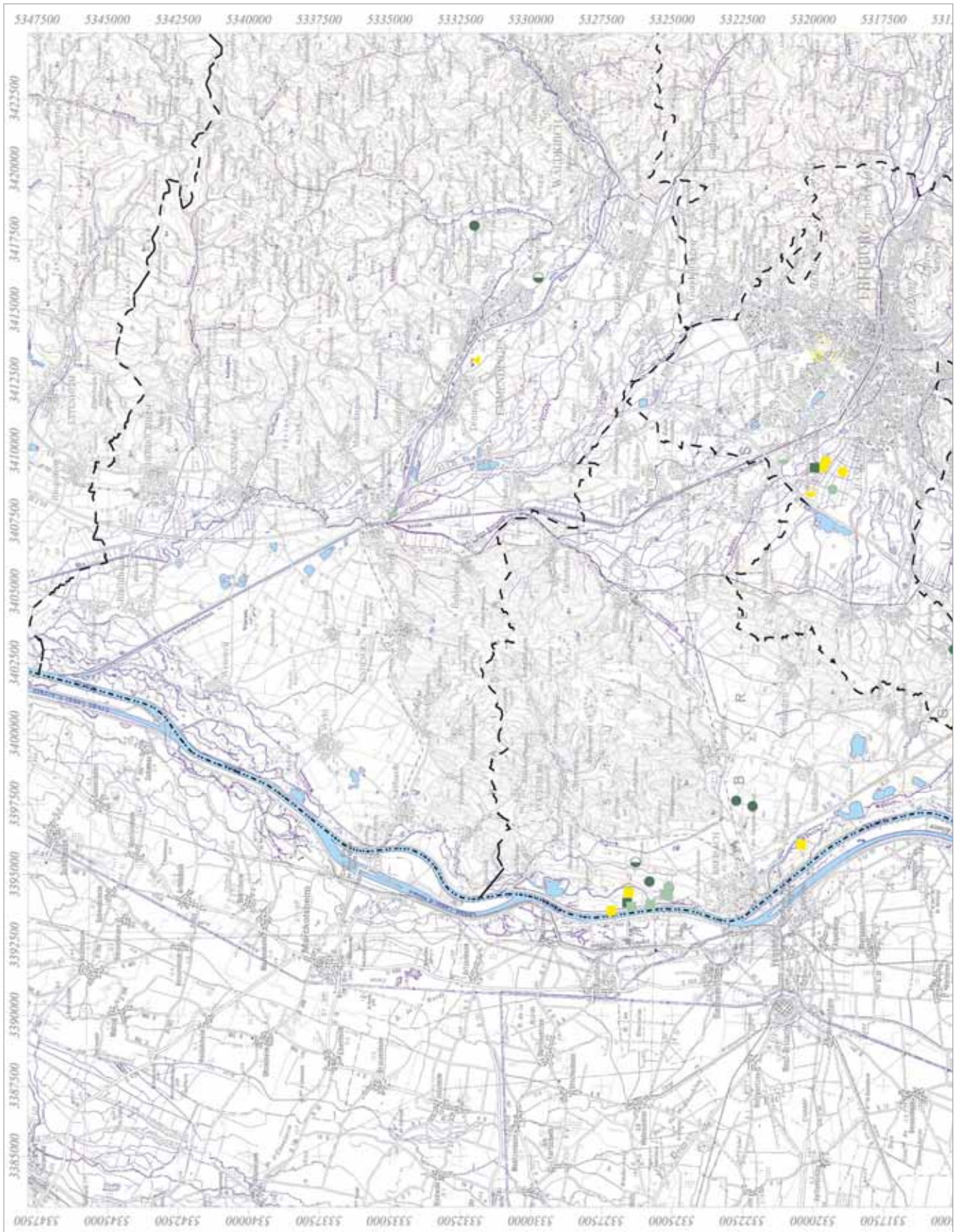


Karte 22: PCB<sub>6</sub>-Gehalte.



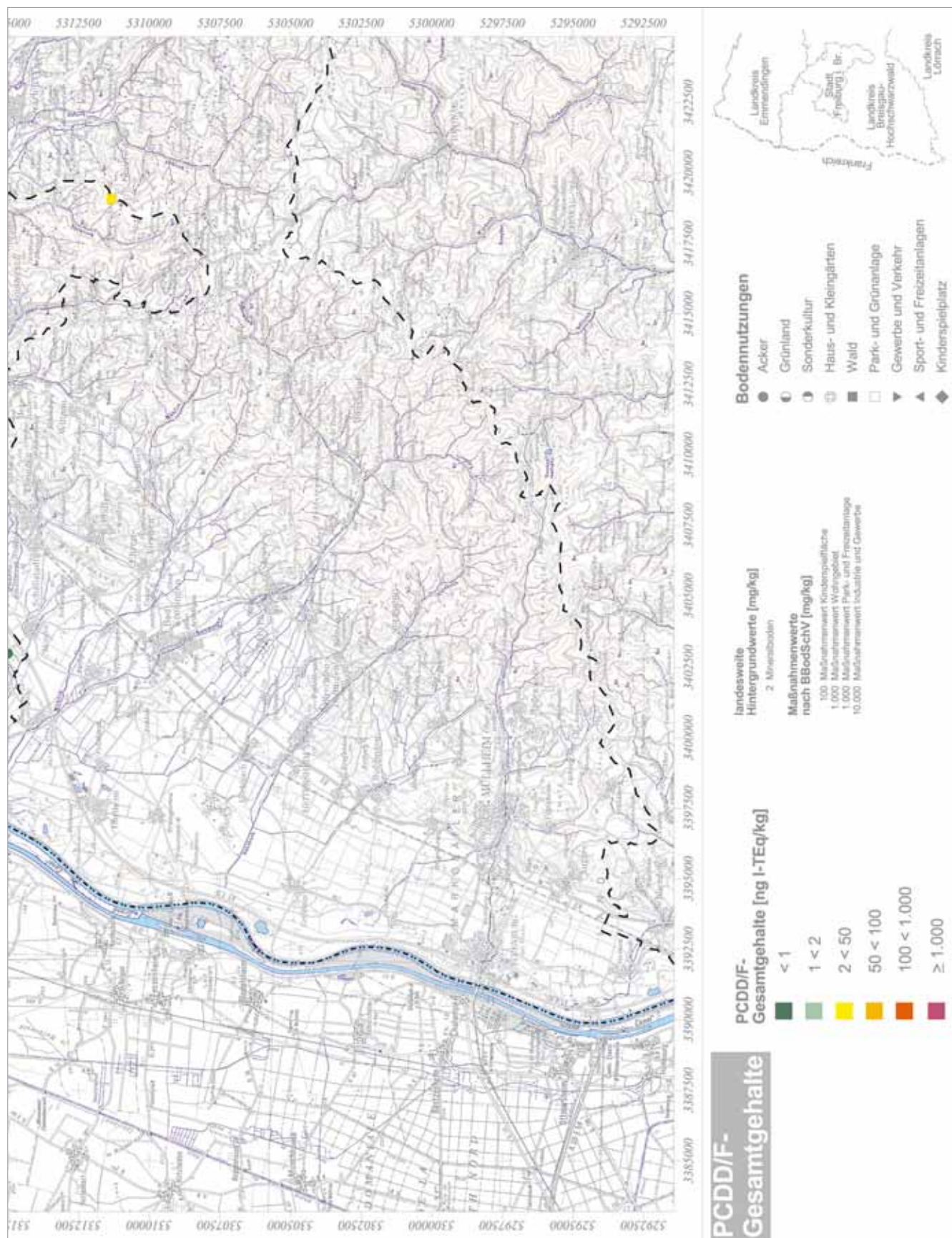






Karte 23: Polychlorierte Dibenzodioxine und Dibenzofuran-Gehalte.





## 4.2.3 Zusammenfassung Stofflicher Bodenzustand

### 4.2.3.1 Einfluss des alten Erzbergbaus

#### 4.2.3.1.1 Gesamte Region

#### Gesamtgehalte

In Tabelle 23 werden die Schadstoffgehalte der Bodenproben aus den vom ehemaligen Erzbergbau beeinflussten Gebieten mit dem regionalen Hintergrund-Datenkollektiv verglichen.

In den vom Bergbau beeinflussten Gebieten liegen die Gesamtgehalte der Böden an Arsen, Blei, Zink und Cadmium deutlich höher als in den Proben des regionalen Hintergrund-Datenkollektivs. Bei Arsen, Blei und Cadmium werden Prüf- und Maßnahmenwerte der

**Tabelle 23: Gesamtgehalte der Böden des regionalen Hintergrund- und Bergbaudatenkollektivs (mg/kg, PCDD/F ng/kg).**

	Hintergrund			Bergbau		
	n	50.P.	90.P.	n	50.P.	90.P.
As	112	10	21	126	25	159
Cd	571	0,2	0,5	910	0,6	2,4
Cr	297	29	41	168	38	52
Cu	448	18	32	621	27	69
Hg	289	0,08	0,16	134	0,10	0,19
Ni	307	21	29	253	24	32
Pb	577	38	115	923	226	1490
Tl	93	< 0,1	0,15	134	0,10	0,19
Zn	541	66	122	810	184	663
BaP	56	0,0	0,2	22	0,0	0,3
PAK <sub>16</sub>	70	0,2	3,1	28	0,3	2,4
PCB <sub>6</sub>	52	0,01	0,01	25	0,01	0,01
PCDD/F	25	1,20	3,96	4	1,71	6,60

gelb Überschreitung d. Vorsorgewertes  
Lehm / Schluff o. Humusgehalt ≤ 8 %  
rot Überschreitung Prüf-/Maßnahmenwert

**Tabelle 24: Ammoniumnitrat-extrahierbare Schwermetall- und Arsengehalte der Böden des regionalen Hintergrund- und Bergbau-Datenkollektivs (mg/kg).**

	Hintergrund			Bergbau			krit. pH
	n	50.P.	90.P.	n	50.P.	90.P.	
As	86	< 0,02	< 0,02	224	0,01	0,07	-
Cd	108	< 0,005	0,009	256	0,041	0,220	6,5
Cr	97	0,005	0,017	124	0,005	0,011	-
Cu	103	< 0,05	0,16	183	0,13	0,31	3,5
Ni	97	0,005	0,017	171	0,10	0,37	-
Pb	99	0,000	0,090	261	0,001	0,15	5,5
Tl	73	< 0,01	< 0,01	166	0,001	0,028	3,5
Zn	108	0,15	1,9	256	1,45	23,3	6,5

rot Überschreitung Prüf- / Maßnahmenwert  
'Transfer Boden-Nutzpflanze'.

krit. kritischer pH-Wert bei dem im 90. P.  
pH Prüfwerte überschritten sind.

BBodSchV regelmäßig überschritten. Die Gesamtgehalte an Kupfer und Chrom sind gegenüber dem landesweiten Hintergrund nur leicht erhöht. Bei Nickel, Quecksilber, Thallium und organischen Schadstoffen ist kein signifikanter Unterschied zwischen den Proben beider Datenkollektive festzustellen (Tabelle 23).

Beim Datenkollektiv „regionaler Hintergrund“ wird der Vorsorgewert der BBodSchV für Blei (70 mg/kg; Bodenart Lehm / Schluff) überschritten. Dies kann einerseits auf erhöhte diffuse Kontaminationen in Siedlungs- und Industriegebieten zurückgeführt werden. Andererseits kann dies auch daran liegen, dass sich die Datenkollektive „regionaler Hintergrund“ und „Bergbau“ (s. Kapitel 3.1.2) nicht exakt gegeneinander abgrenzen lassen.

Die über dem Vorsorgewert liegenden Gehalte an Polyzyklischen Aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK<sub>16</sub>) des regionalen Hintergrund-Datenkollektivs [3 mg/kg bei weniger als 8 % Humus (90. P.)] werden durch diffuse siedlungsbedingte Kontaminationen verursacht.



## **Ammoniumnitrat-extrahierbare Gehalte**

In den Bereichen des alten Erzbergbaus werden die Prüfwerte bei Blei und die Maßnahmenwerte bei Cadmium im Hinblick auf die Pflanzenqualität und bei Zink im Hinblick auf Wachstumsbeeinträchtigungen bei Kulturpflanzen teilweise überschritten (Tabelle 24).

## **Schwermetallgehalte in Pflanzen**

In den Jahren 1988/89 wurden in den von alten Erzbergbau beeinflussten Gebieten ca. 150 Aufwuchsproben untersucht. Bei Weizen und Hafer wurden Überschreitungen des damals gültigen Richtwerts für Cadmium der zentralen Erfassungs- und Bewertungsstelle für Umweltchemikalien (ZEBS) des ehemaligen Bundesgesundheitsamts (BGA) festgestellt (BgVV, 1999). Der Grenzwert der Futtermittelverordnung wurde unterschritten (FutMV, 2000). In Grasaufwuchsproben wurden vereinzelt erhöhte Cadmiumgehalte gefunden. Bei Weizenproben ergaben sich häufig Richtwertüberschreitungen, wenn die Gesamtgehalte von Cadmium im Boden über 0,5 mg/kg lagen.

## **Kontaminierte Flächen**

Das Ergebnis bisheriger Untersuchungen lässt sich für den Regierungsbezirk Freiburg (9 Landkreise, Stadtkreis Freiburg) wie folgt zusammenfassen:

- ca. 170 Altlastenverdachtsflächen (Halden- und ehemalige Aufbereitungsstandorte, Altablagerungen) ca. 50 ha insgesamt, z.T. bewohnt
- 26 Verdachtsflächen auf schädliche Bodenveränderungen; ca. 5340 ha insgesamt (meist Talfüllungen)
- ca. 9000 ha Flächen mit Überschreitung der Vorsorgewerte der BBodSchV.

### **4.2.3.1.2 Differenzierung nach Bergbaugebieten**

In Tabelle 25 ist die statistische Verteilung der Schadstoffgehalte der bergbaulich beeinflussten Böden für die einzelnen Bergbaugebiete differenziert dargestellt. Die holozänen Talfüllungen, die zumindest im Unter- und Mittellauf der Flüsse überwiegend bei Überschwemmungen abgelagert wurden, sind in den Karten 24 und 25 gekennzeichnet.

## **Gesamtgehalte**

Die Art und Zusammensetzung der Bodenkontamination hängt von der Mineralzusammensetzung der im Einzugsgebiet der Flüsse liegenden Erzgänge ab.

## **Blei und Zink**

Im Sulzbach-, Untermünster-, Neumagen-, Möhlintal und am Schauinsland wird der Maßnahmenwert für Blei im Hinblick auf die Pflanzenqualität bei Grünlandflächen [1200 mg/kg]) z. T. bereits vom 50. Perzentilwert des Bergbaudatenkollektivs überschritten (Tabelle 25).

## **Arsen**

Hohe Arsengehalte weisen die Böden im Sulzbach-, Untermünster-, Neumagen-, Möhlin- und Suggental auf. Der Maßnahmenwert für Grünlandnutzung (50 mg/kg) und der Prüfwert für die direkte Schadstoffaufnahme bei der Nutzung „Wohngebiete“ (50 mg/kg) werden oft überschritten. In den Tallagen von Kappel, Brugga, Elz und Glotter sowie am Schauinsland liegen die Arsengehalte in der Regel im Bereich des landesweiten Hintergrunds.

## **Cadmium**

Die Cadmiumgehalte sind in den Bergbaugebieten meist erhöht. Die höchsten Cadmium-Gesamtgehalte werden im Sulzbach-, Untermünster-, Neumagen- und Kappler Tal gefunden. In diesen Gebieten wird für die Cadmiumgehalte teilweise der Prüfwert für die emp-

findlichste Bodennutzung von 2 mg/kg überschritten. Dieser Prüfwert ist für Böden von Haus- und Kleingärten anzuwenden, die sowohl als Aufenthaltsbereiche für Kinder als auch für den Anbau von Nahrungspflanzen genutzt werden. Am Schauinsland und im Möhlintal ist der Vorsorgewert für Cadmium beim 90. Perzentil geringfügig überschritten. Im Glotter- und im Elztal werden beim 90. Perzentilwert keine Überschreitungen des Vorsorgewerts (1 mg/kg; Lehm / Schluff) gefunden.

### **Weitere Schwermetalle**

In den bergbaulich beeinflussten Gebieten sind die Gesamtgehalte weiterer Schwermetalle vergleichsweise gering. Im Sulzbach- und Untermünstertal werden die Vorsorgewerte für Kupfer im Boden häufig überschritten. Die Thalliumgehalte sind am Schauinsland sowie im Neumagen- und Untermünstertal gegenüber dem landesweiten Hintergrund erhöht.

## **Ammoniumnitrat-extrahierbare Gehalte**

### **Einfluss des Boden-pH-Werts**

Die Löslichkeit von Schwermetallen und Arsen in Böden ist im wesentlichen vom Boden-pH-Wert abhängig. Die Vererzungen und alten Abbaugelände des Bergbaus im Schwarzwald liegen auf pufferarmen Gesteinen mit sauren Böden. Saure Böden mit pH-Werten von 4,2 bis 6,2 kommen außerdem in den Auen der Schwarzwaldflüsse vor (Karte 2). Im Unterlauf der Flüsse, im Bereich der Vorberge und der Rheinebene nehmen die Boden-pH-Werte infolge der hier häufigeren landwirtschaftlichen Nutzung und der zunehmend pufferstärkeren Böden der Flusseinzugsgebiete zu. Die pH-Werte liegen hier häufig zwischen 5,0 und 7,3.

### **Cadmium und Zink**

Bei Boden-pH-Werten um 5 können die ammoniumnitratlöslichen Cadmium- und Zinkgehalte bis nahe an die Prüf- und Maßnahmenwerte der BBodSchV erhöht sein, auch wenn die Gesamtgehalte dieser Schwermetalle in einem eher unauffälligen Bereich liegen. In den bergbaulich beeinflussten Gebieten werden be-

reits unter dem (kritischen) pH-Wert von 6,5 Prüf- und Maßnahmenwerte der BBodSchV für Cadmium und Zink verbreitet überschritten (Tabelle 10, 16, 24).

Prüf- bzw. Maßnahmenwerte der BBodSchV für ammoniumnitrat-extrahierbare Bodengehalte werden bei Zink bzw. bei Cadmium überschritten.

### **Blei**

Bei Blei wird der Prüfwert für Ackerbauflächen und Nutzgärten im Hinblick auf die Pflanzenqualität selten überschritten. Überschreitungen finden sich vor allem im Oberlauf der Schwarzwaldflüsse und am Schauinsland, wo stark saure Böden (pH < 5,5) vorherrschen (Tabelle 25, Karten 24 und 25).

### **Arsen**

Bei Arsen gab es keine Überschreitungen des Prüfwerts für Ackerbauflächen im Hinblick auf Wachstumsbeeinträchtigungen bei Kulturpflanzen.

### **Thallium**

Thallium ist im Boden meist gering konzentriert. Im Untermünstertal wird der Prüfwert für den Schadstoffübergang von Boden auf Nutzpflanze (0,1 mg/kg) an einigen Standorten dennoch überschritten.



#### 4.2.3.1.3 Bergbau - beeinflusste Talauen und ihre Wassereinzugsgebiete

In den Karten 24 und 25 sind die in der geologischen Karte 1 : 350.000 abgebildeten holozänen Talfüllungen mit den Einzugsgebieten der Flusssysteme dargestellt. Die Einzugsgebiete wurden für den Schwarzwald auf der Grundlage eines digitalen 50 m-Höhenmodells abgegrenzt.

Erhöhte Blei-Gesamtgehalte der Böden sind als Indikator für den Einfluss des alten Erzbergbaus in den Einzugsgebieten herangezogen worden. Trotz der kleinmaßstäblichen geologischen Kartengrundlage ist ein deutlicher Zusammenhang zwischen den Blei-Gesamtgehalten der Böden und den Grenzen der holozänen Talfüllungen erkennbar. Das Blei stammt aus den Abraumphalden in der Umgebung der historischen Erzgruben und wurde durch Abschwemmung mit den Flusssedimenten verfrachtet und in den Überschwemmungsbereichen der Talauen abgelagert.

Die Bleigehalte der Böden in der Vorbergzone und der Rheinebene liegen dagegen meist nahe bei den Hintergrundgehalten.

In höhermaßstäblichen geologischen und bodenkundlichen Kartengrundlagen lässt sich der Zusammenhang zwischen den holozänen Sedimentationsflächen und der Schwermetallbelastung der Böden klarer herausarbeiten. Dies zeigt sich z. B. östlich von Teningen im Einzugsgebiet von Glotter und Elz nach Verschneidung der Geologischen Karte 1 : 25.000 mit den Blei-Gesamtgehalten der Böden. Bei Lössüberdeckung und auf älteren Terrassenbildungen sind die Blei-Gesamtgehalte der Böden mit unter 70 mg/kg im Gegensatz zu den höher belasteten holozänen Sedimentationsflächen vergleichsweise gering.

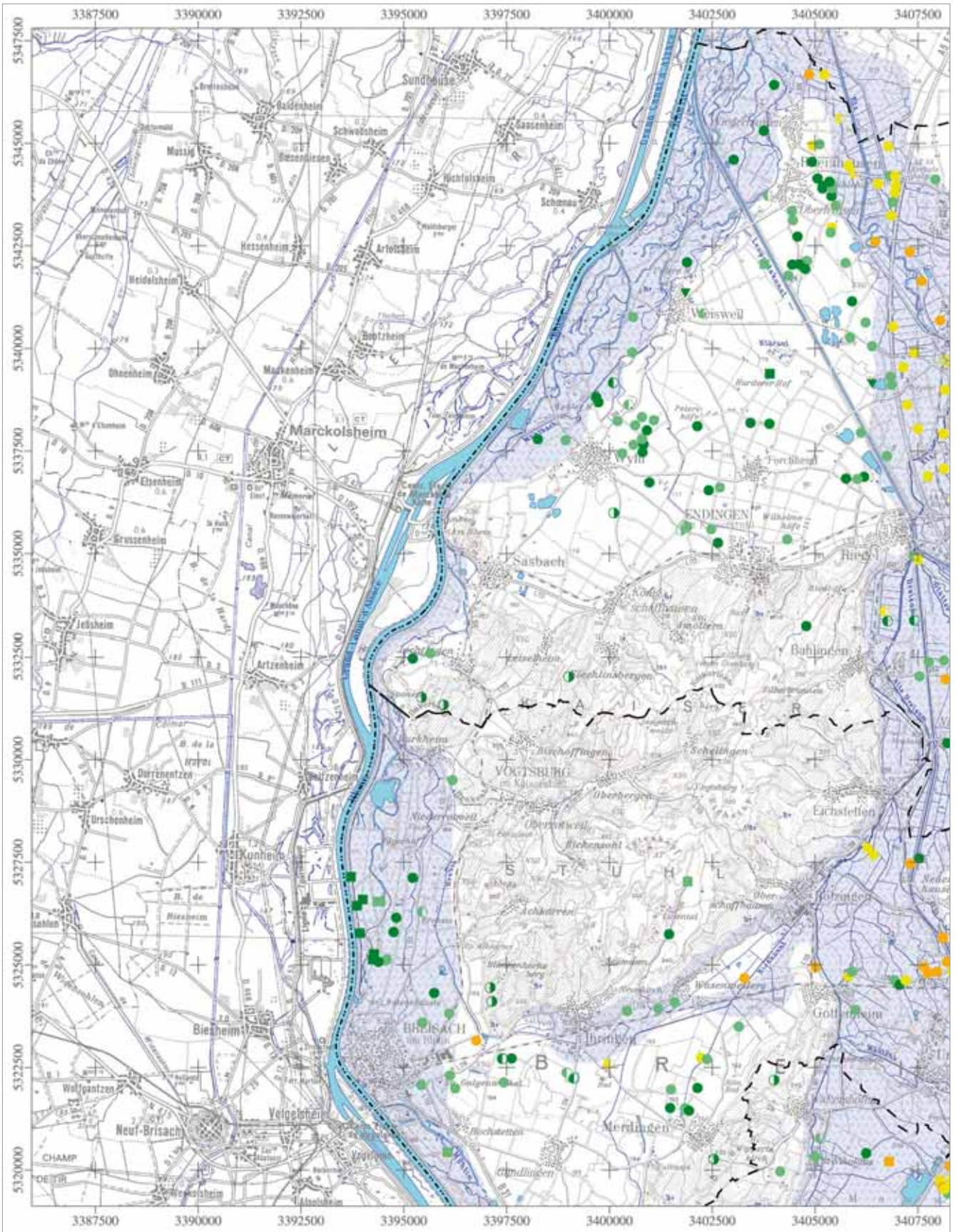
In der Umgebung von Bad Krozingen finden sich in den Tallagen der Neumagen hohe Cd-Gehalte (> 1 mg/kg) auf braunen Auenboden-Gleyen. Braune Auenböden sind Böden der Tallagen mit mächtigen humusreichen Horizonten, die im Verlauf des Holozäns nach Über-

schwemmungen und Sedimentation von humusreichem Oberbodenmaterial gebildet wurden. Dagegen liegen die Cd-Gehalte der nicht durch holozäne Überschwemmungen geprägten Bodentypen (Pararendzina, Parabraunerde, Kolluvisol und Auenregosol-Gley) unter 1 mg Cd / kg (Karte 28).

*FOELLMER (1999)* findet erhöhte Blei-, Zink- und Cadmiumgehalte im Bereich der holozänen Talauen und Schwemmfächer von Möhlin, Neumagen und Sulzbach. Die Rheinniederterrasse und die lössbedeckten Hochflächen zwischen den Talauen sind gering bis unbelastet. Im Möhlintal finden sich besonders im Oberlauf sehr hohe Gehalte an Schwermetallen in flussnahen Böden. An den Rändern der Auen und auf erhöhten Terrassen nehmen die Gehalte deutlich ab. In den Schwemmfächern des Sulzbachs liegt eine einheitlichere Verteilung der Spurenelementgehalte vor. Ein starker Rückgang der Gehalte ist erst an der Verbreitungsgrenze der holozänen Sedimente erkennbar.

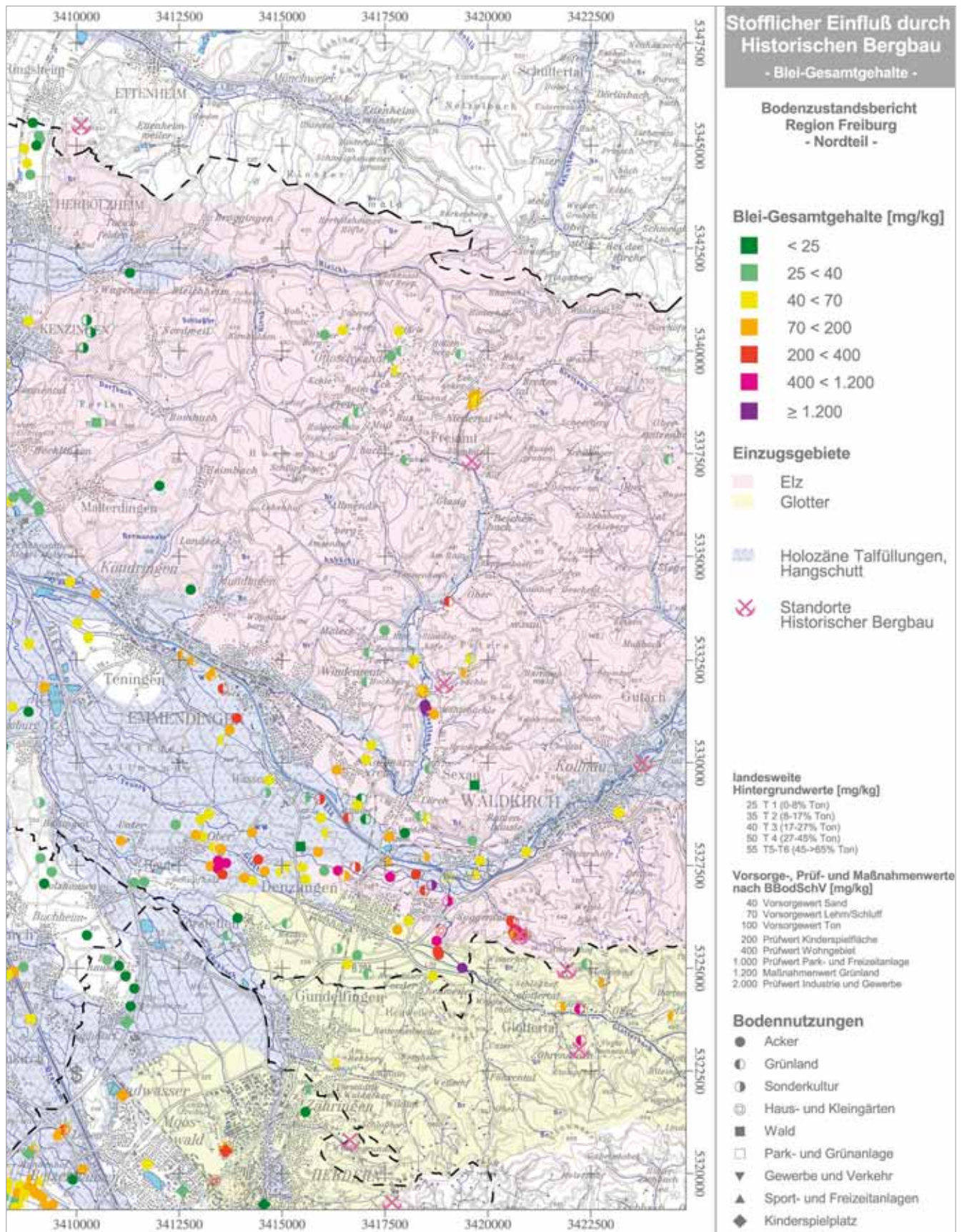
Nahezu entlang des gesamten Verlaufs der Flüsse Sulzbach, Neumagen, Möhlin und Brugga sind die Schwermetall- und teilweise Arsengehalte der Auenbereiche stark erhöht. Im Glottertal sind hohe Gehalte im oberen Verlauf der Glotter bis zur Gemeinde Reute nachzuweisen, im Kappler Tal eher in den unteren, flacheren Sedimentationslagen nahe Kappel.

Vergleichsweise geringe Bleigehalte werden in den Tälern von Dreisam und Elz vorgefunden. Im Auenbereich der Dreisam liegen die Bleigehalte vor Einmündung der Brugga mit 40 - 70 mg/kg etwas über den landesweiten Hintergrundwerten. Nach Einmündung der Brugga nehmen die Bleigehalte zu und liegen im weiteren Verlauf der Dreisam häufig zwischen 70 und 200 mg/kg. Ähnlich sind die Gesamtgehalte von Blei in den Böden des Elztals verteilt. Im oberen Flussverlauf in der Umgebung von Waldkirch sind die Bleigehalte gegenüber den landesweiten Hintergrundwerten erhöht; sie liegen meist bei 40 - 70 mg/kg. Flussabwärts werden die Prüfwerte für die direkte Schadstoffaufnahme auf Kinderspielflächen (200 mg/kg) im flussnahen Auenbereich zwischen Denzlingen und Teningen verein-

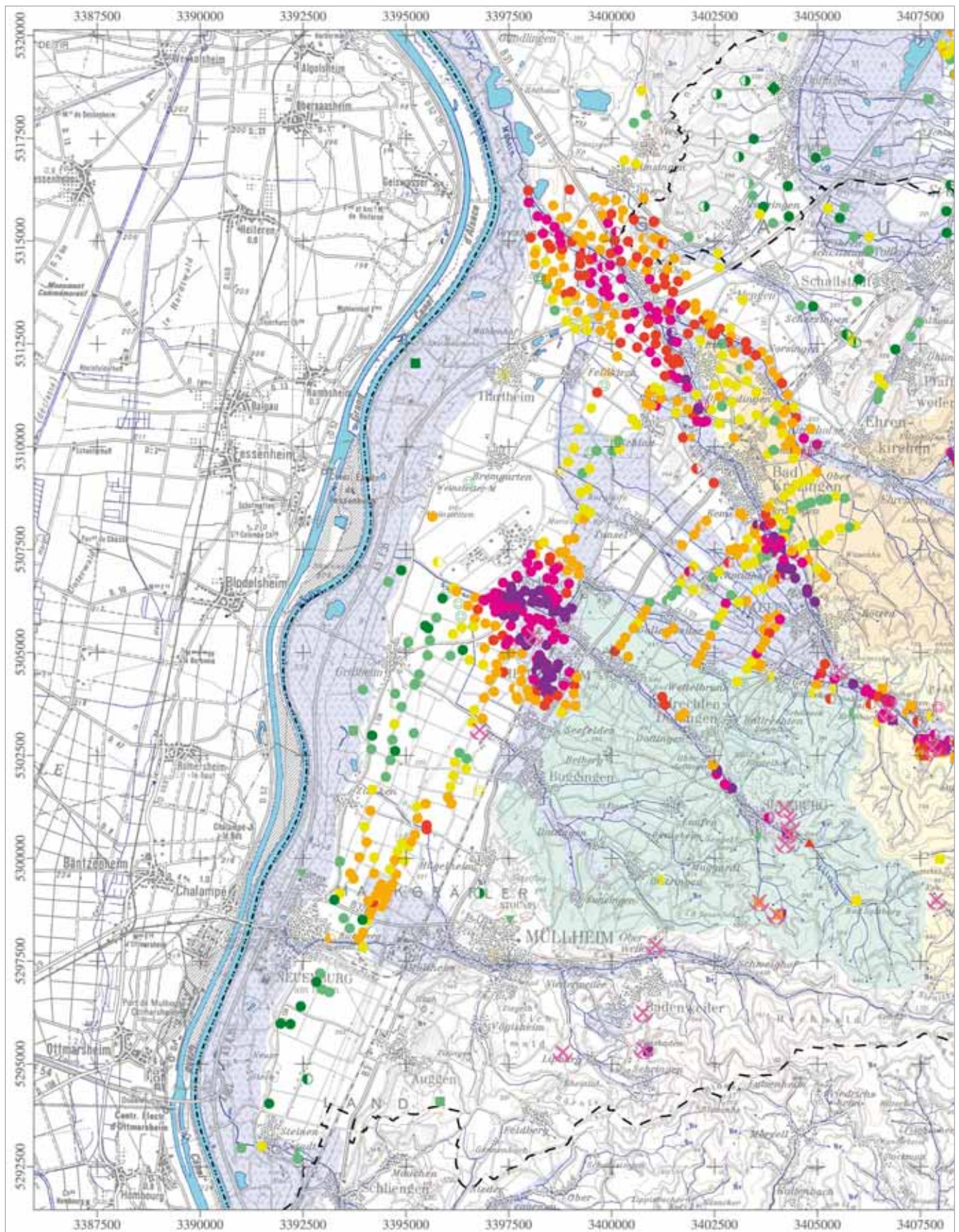


Karte 24: Lage der alten Erzabbau, Wassereinzugsgebiete und Überschwemmungsaue nördlich von Freiburg.









Karte 25: Lage der alten Erzabbaue, Wassereinzugsgebiete und Überschwemmungsauen südlich von Freiburg.



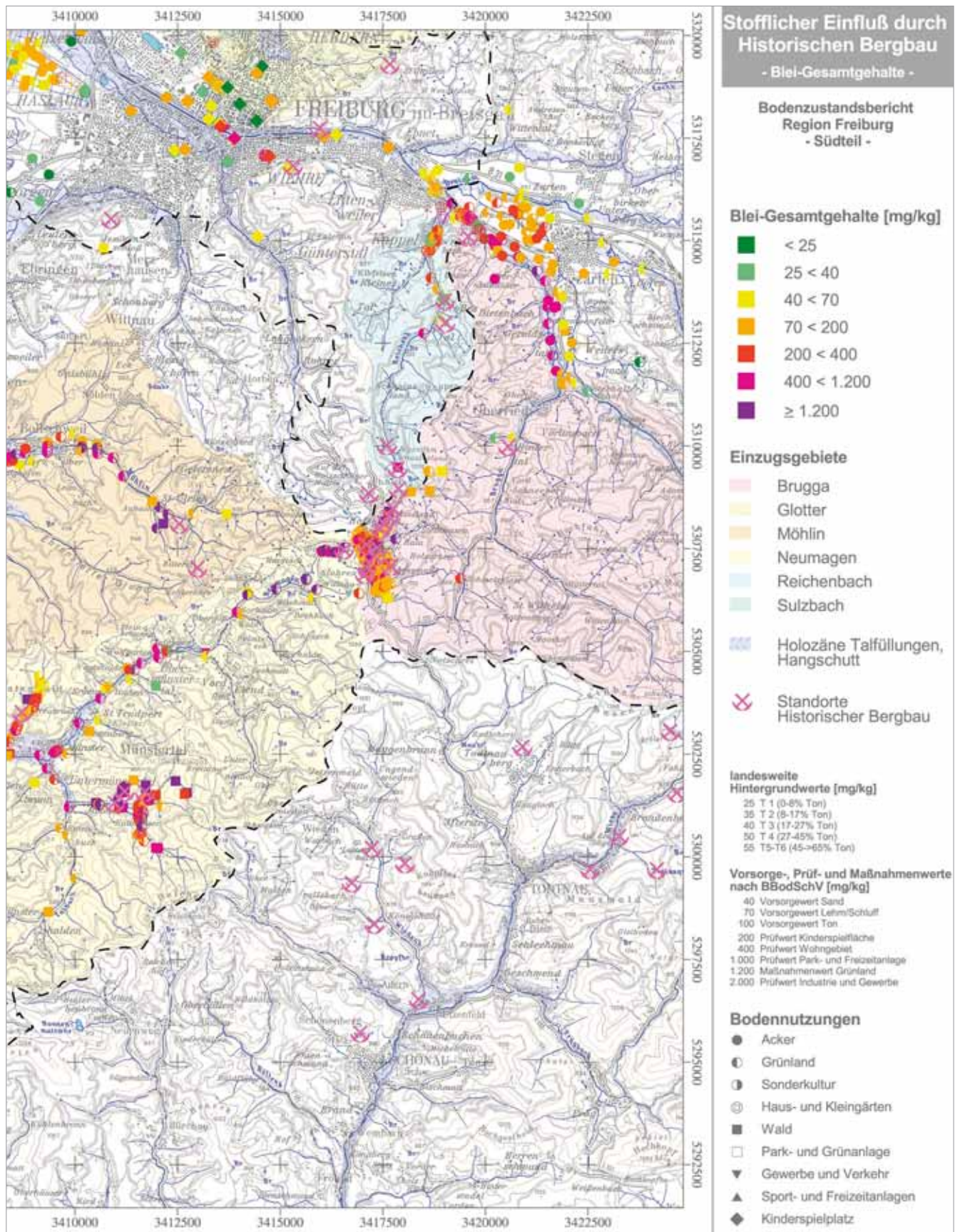




Tabelle 25: Statistische Kenngrößen für Schwermetalle und Arsen in Böden der Bergbaugebiete.

Bergbauggebiet	Gesamtgehalte (Königswasser)							Ammoniumnitrat-Gehalte					
	Pb	Zn	As	Cu	Cd	Tl	Hg	pH	Pb	Zn	As	Cd	Tl
Elz													
n	27	19	14	22	25	11	12	27	17	16	11	15	11
25. P.	76	110	13	25	<0,10	<0,10	<0,10	4,7	0,00	0,82	<0,02	<0,005	<0,01
50. P.	180	200	17	33	0,13	<0,10	<0,10	5,3	0,03	1,45	0,04	<0,005	<0,01
90. P.	291	509	25	62	0,72	<0,10	0,13	5,6	0,46	6,75	0,12	0,122	<0,01
Glotter													
n	20	18	8	18	20	8	8	20	16	16	8	16	8
25. P.	130	150	8	27	<0,10	<0,10	<0,10	4,9	0,00	0,38	<0,02	<0,005	<0,01
50. P.	238	246	14	46	0,16	<0,10	<0,10	5,3	0,00	2,18	<0,02	0,006	<0,01
90. P.	960	550	28	66	0,50	<0,10	0,19	6,3	0,37	4,00	<0,02	0,043	<0,01
Reichenbach													
n	24	24	7	7	24	3	3	24	13	13	6	13	3
25. P.	130	390	4	18	1,30	<0,10	<0,10	5,0	0,00	3,93	<0,02	0,066	<0,01
50. P.	210	500	4	23	1,81	<0,10	0,12	5,3	0,00	10,00	<0,02	0,108	<0,01
90. P.	530	880	7	41	2,55	<0,10	0,13	7,0	0,40	25,50	<0,02	0,210	0,022
Brugga													
n	47	26	2	25	47	2	2	34	9	7	7	9	7
25. P.	215	366	8	19	0,68	<0,10	<0,10	5,1	0,00	1,70	<0,02	0,027	0,003
50. P.	390	480	9	22	0,92	<0,10	0,02	5,5	0,00	2,20	0,01	0,039	0,009
90. P.	697	817	9	30	2,42	<0,10	0,13	6,3	0,09	7,80	0,02	0,120	0,017
Schauinsland													
n	57	17	9	17	58	52	12	174	16	16	16	16	13
25. P.	94	112	4	13	0,24	0,39	<0,10	3,8	0,00	1,73	<0,02	<0,005	<0,01
50. P.	232	510	6	25	0,38	0,52	0,15	3,9	0,10	6,57	0,00	0,017	<0,01
90. P.	1500	1244	21	120	1,06	0,70	0,42	4,5	15,00	76,00	0,01	0,087	0,035
Möhlín													
n	175	175	34	131	175	0	5	164	19	19	18	19	1
25. P.	152	123	26	22	0,43	0,00	0,04	5,4	0,00	0,70	0,01	0,065	0,001
50. P.	269	166	53	32	0,62	0,00	0,18	6,0	0,01	1,62	0,02	0,107	0,001
90. P.	821	386	197	61	1,48	0,00	0,19	7,1	0,04	5,21	0,04	0,150	0,001
Neumagen													
n	155	145	29	67	157	15	5	216	71	71	69	70	47
25. P.	185	156	27	23	0,53	0,93	<0,10	4,9	0,00	0,43	0,00	0,015	0,002
50. P.	410	288	66	29	1,27	1,22	0,17	5,6	0,00	1,88	0,02	0,076	0,008
90. P.	1850	1020	106	58	3,00	2,60	0,20	7,0	0,01	27,09	0,09	0,328	0,028
Untermünstertal													
n	13	11	8	6	13	5	4	34	14	14	14	13	10
25. P.	182	220	25	71	0,66	<0,10	<0,10	4,5	0,00	0,14	<0,02	<0,005	<0,01
50. P.	1700	540	126	88	1,13	<0,10	<0,10	4,8	0,00	5,54	0,01	0,100	0,030
90. P.	14980	2265	220	104	9,00	2,69	0,32	6,9	0,31	128,00	0,07	0,874	0,523
Sulzbach													
n	169	169	4	157	167	4	6	148	9	7	49	49	49
25. P.	397	169	12	34	0,69	<0,10	0,08	5,9	0,00	1,70	0,02	0,014	<0,01
50. P.	1020	336	24	52	1,50	<0,10	0,12	6,3	0,00	2,20	0,03	0,047	0,001
90. P.	2090	527	93	79	2,70	<0,10	0,14	7,2	0,09	7,80	0,06	0,159	0,002

gelb

Überschreitung des Vorsorgewertes für Lehm / Schluff

rot

Überschreitung eines Prüf- bzw. Maßnahmenwertes



zelt überschritten. Die Bodenbelastungen wurden in diesem Bereich vermutlich von dem östlich von Denzlingen verlaufenden Fluss Schwan aus Glotter und Elz eingetragen. Nördlich von Teningen im weiteren Verlauf des Elztals nehmen die Schwermetallgehalte der Böden ab.

#### **4.2.3.1.4 Vom Punkt zur Fläche - Geostatistische Auswertung der Bleigehalte von Böden der Staufener Bucht**

In Bodenbelastungskarten werden Schadstoffgehalte von Böden je nach Kartenmaßstab mehr oder weniger punktuell dargestellt. In Teilen des Untersuchungsgebiets, insbesondere in der Oberrheinebene südlich von Freiburg, weisen die Böden großflächig erhöhte Gehalte z. B. an Blei, Cadmium und Zink auf. Im Vollzug von Maßnahmen zum Bodenschutz sind Gebiete mit erhöhten Schadstoffgehalten von Bereichen mit geringeren Gehalten abzugrenzen. Für die betroffenen Gebiete können gebietsbezogene Maßnahmen (Anbau-beschränkungen, Anforderungen an die Untersuchung und den Umgang mit Erdaushub) und Verhaltensempfehlungen, z. B. zum Anbau bestimmter Nahrungspflanzenarten, festgelegt werden.

Bei flächigen Gebietsabgrenzungen werden geostatistische Interpolationsverfahren eingesetzt. Damit wird von punktuellen Messungen auf die Verhältnisse in der Fläche geschlossen, indem Schadstoffgehalte von Flächen, aus denen Messungen vorliegen, geschätzt werden. Geostatistische Verfahren berücksichtigen die räumliche Verteilung der bekannten Schadstoffgehalten von Böden und die Einflussfaktoren, die diese Verteilung bestimmen.

Für den Bleigehalt der Böden in der Staufener Bucht wurde eine geostatistische Datenanalyse vom Institut für Geoinformatik der Universität Münster durchgeführt (*Hinterding et. al, 2003*). Das Ziel der Arbeiten bestand in der Darstellung und Bewertung verschiedener mathematischer und geostatistischer Methoden und Auswerteverfahren im Hinblick auf ihre Eignung, punktuelle Messdaten von Böden in der Fläche darzu-

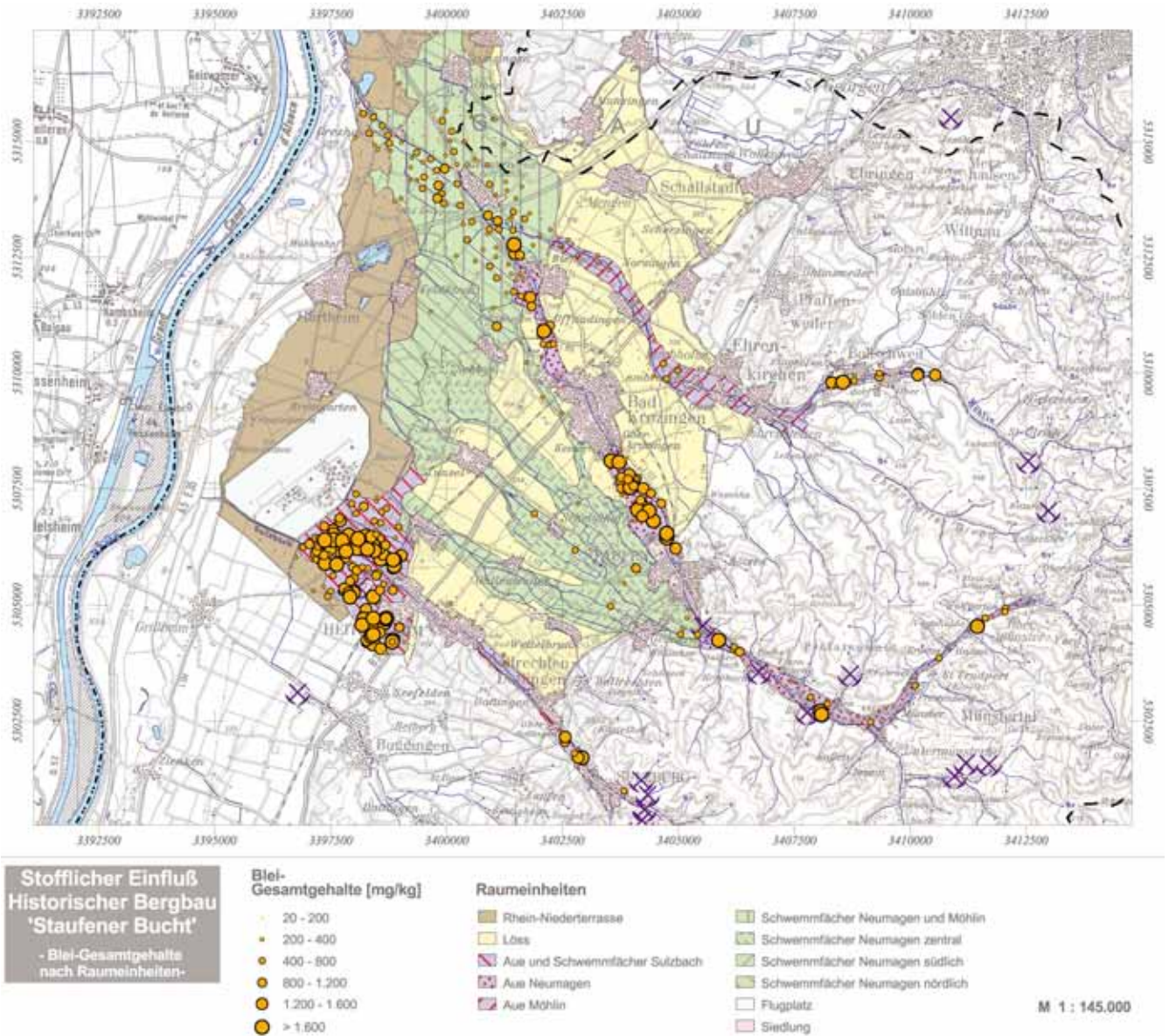
stellen.

Die geostatistischen Berechnungen wurden innerhalb von sogenannten homogenen Raumeinheiten vorgenommen. Deren Abgrenzung erfolgt nach den Faktoren, die die Verteilung der Bleigehalte der Böden maßgeblich beeinflussen. Dies sind einerseits die geogenen Gehalte in den Ausgangsgesteinen (Raumeinheit Löß und Rhein-Niederterrasse) und andererseits die Überschwemmungsgebiete (Auen, Schwemmfächer) der Wassereinzugsgebiete von Neumagen und Möhlin, die Stoffeinträge aus den ehemaligen Erzabbaugebieten erhielten (Karte 26).

Die räumliche Abhängigkeit der Schadstoffgehalte wird mittels spezieller mathematischer Funktionen, so genannter Variogramme, erfasst. Auf Grundlage dieser räumlichen Abhängigkeiten werden Werte nicht untersuchter Flächen ausgehend von benachbarten Untersuchungspunkten mit bekannten Schadstoffgehalten mittels eines Interpolationsverfahren geschätzt (Ordinary Kriging).

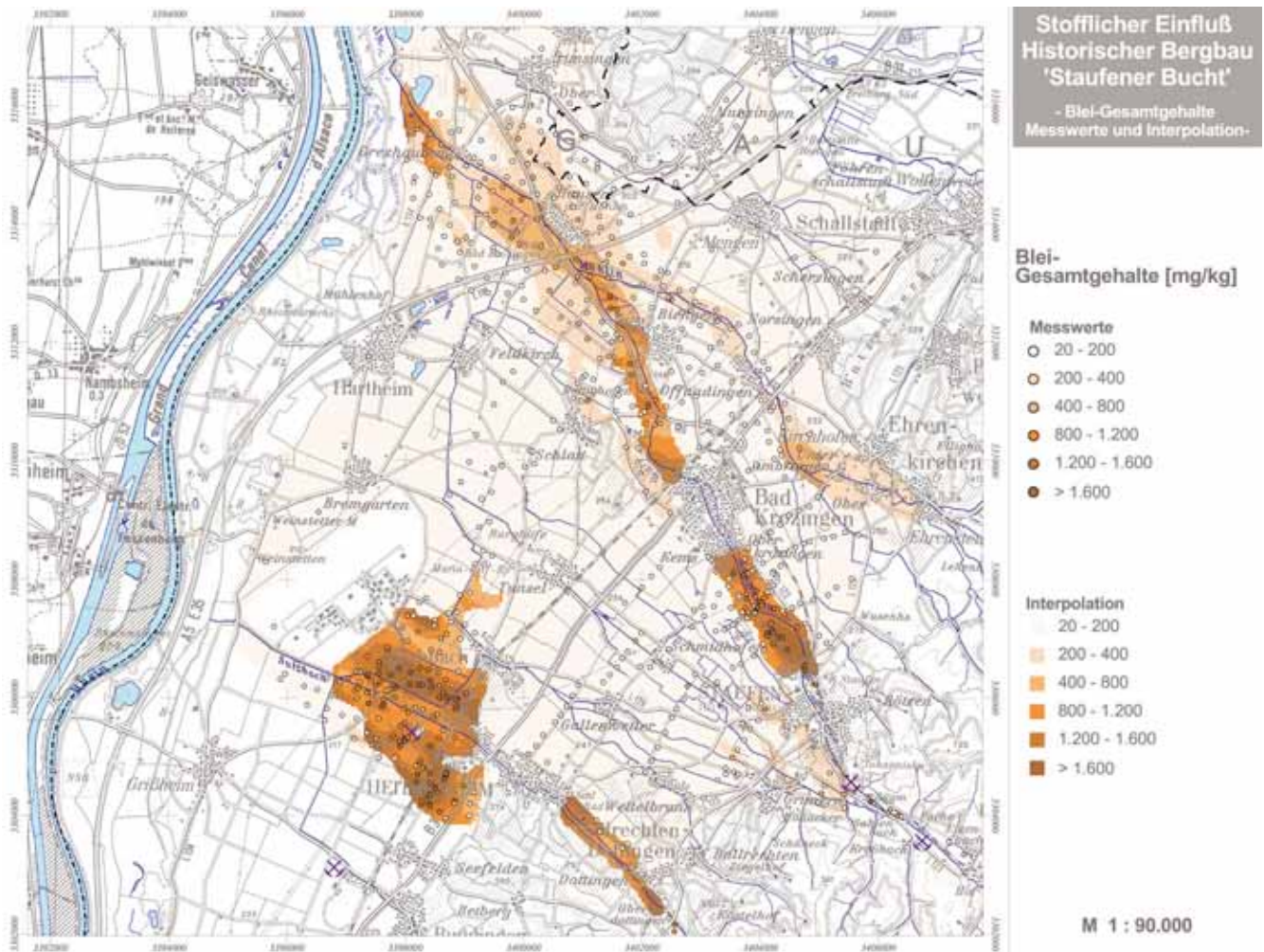
Karte 27 zeigt die interpolierten Bleigehalte von Böden der Staufener Bucht im Vergleich mit den vorliegenden Messwerten. Die berechneten Bleigehalte weisen eine hohe Übereinstimmung mit den vorhandenen Messwerten auf. Damit können für die Gebiete, in denen Überschreitungen der nutzungsspezifischen Prüf- und Maßnahmenwerte errechnet wurden, gezielt Bodenschutzmaßnahmen festgelegt werden.

Mit geostatistischen Verfahren können auch Aussagen zur Schätzgenauigkeit getroffen werden. Diese können dann bei künftigen Bodenuntersuchungen für die Messnetzplanung genutzt werden.



Karte 26: Lage des Untersuchungsgebiets ‚Staufener Bucht‘ und Abgrenzung der homogenen Raumeinheiten (Hinterding et al., 2003).





Karte 27: Interpolierte Bleigehalte in Böden der Staufener Bucht (*Hinterding et al., 2003*).





### 4.2.3.2 Freiburger Rieselfeld

Aussagen über Schadstoffbelastungen der Böden des Rieselfelds beziehen sich auf den unbebauten Teil des Gebiets. Im bebauten Teil wurden die kontaminierten Böden abgeschoben, aufgehaldet und mit unbelastetem Bodenmaterial überdeckt.

**Tabelle 26: Gesamtgehalte der Böden des regionalen Hintergrund- und Rieselfeldkollektivs (mg/kg, PCDD/F in ng/kg).**

	Hintergrund			Rieselfeld		
	n	50.P.	90.P.	n	50.P.	90.P.
As	112	10	21	4	7	9
Cd	571	0,2	0,5	47	0,8	1,3
Cr	297	29	41	41	39	55
Cu	448	18	32	43	34	44
Hg	289	0,08	0,16	30	0,76	1,90
Ni	307	21	29	41	20	25
Pb	577	38	115	47	76	159
Tl	93	< 0,1	0,15	11	0,30	0,40
Zn	541	66	122	186	186	288
BaP	56	0,0	0,2	19	0,2	0,3
PAK <sub>16</sub>	70	0,2	3,1	19	1,2	1,8
PCB <sub>6</sub>	52	0,01	0,01	24	0,24	0,99
PCDD/F	25	1,20	3,96	6	2,92	9,30

gelb Überschreitung d. Vorsorgewertes  
Lehm / Schluff o. Humusgehalt ≤ 8 %  
rot Überschreitung Prüf-/Maßnahmenwert

**Tabelle 27: Ammoniumnitrat-extrahierbare Schwermetall- und Arsengehalte der Böden des regionalen Hintergrund- und Rieselfeldkollektivs (mg/kg).**

	Hintergrund			Rieselfeld		
	n	50.P.	90.P.	n	50.P.	90.P.
As	86	< 0,02	< 0,02	4	< 0,02	< 0,02
Cd	108	< 0,005	0,009	4	0,019	0,250
Cr	97	0,00	0,02	4	0,00	0,01
Cu	103	< 0,05	0,16	4	< 0,05	0,13
Ni	97	0,00	0,02	4	0,13	1,40
Pb	99	0,00	0,09	4	0,04	0,20
Tl	73	< 0,01	< 0,01	4	< 0,01	< 0,01
Zn	108	0,15	1,9	2	2,20	20,0

rot Überschreitung Prüf- / Maßnahmenwert  
Boden- / Nutzpflanze

Im Rieselfeld ist die Streuung der Untersuchungsergebnisse relativ gering. Mit Ausnahme von Arsen und Nickel sind die Gehalte an Schwermetallen und Arsen in den Böden des Rieselfelds gegenüber dem Datenkollektiv regionaler Hintergrund erhöht (Tabelle 26). Die Schadstoffgehalte nehmen tendenziell gegen den westlichen Teil des Rieselfelds ab (Karten 29 - 34).

Die Gesamtgehalte erreichen nicht die Prüfwerte der BBodSchV. Bei Quecksilber und Zink sind die Vorsorgewerte beim 50. Perzentil und bei Cadmium, Blei und Benzo[a]pyren beim 90. Perzentil überschritten. Die ammoniumnitrat-extrahierbaren Cadmium-, Blei- und Zinkgehalte der Böden liegen teilweise über den Prüf- bzw. Maßnahmenwerten der BBodSchV für den Schadstoffübergang Boden-Nutzpflanze im Hinblick auf die Pflanzenqualität (Tabelle 27). Bei PCB<sub>6</sub> ist der Maßnahmenwert für Grünlandflächen von 0,2 mg/kg für den Schadstoffübergang Boden-Nutzpflanze beim 50. Perzentil überschritten (Tabelle 26). Beim 90. Perzentil wird der Prüfwert für die Nutzungen Kinderspielflächen (0,4 mg/kg) und Wohngebiete (0,8 mg/kg) im Hinblick auf die direkte Bodenaufnahme überschritten.

### 4.2.3.3 Siedlungsgebiete

#### 4.2.3.3.1 Siedlungs- und Außenbereiche

In den Siedlungsbereichen sind die Gehalte der Böden an Quecksilber, Kupfer, Blei, Zink, Benzo[a]pyren, sowie PAK<sub>16</sub> höher als in den Außenbereichen. Bei Arsen, Chrom, Nickel, und Thallium zeigen sich keine Unterschiede (Tabelle 28). Bei PCB<sub>6</sub> und PCDD/F ist aufgrund der relativ geringen Zahl der untersuchten Proben keine gesicherte Aussage möglich.

In den Außenbereichen liegen die Schadstoffgehalte der Proben des regionalen Hintergrund-Datenkollektivs meist knapp unter den landesweiten Vergleichswerten.

Art und Ausmaß der Schadstoffbelastungen entsprechen weitgehend den Auswertungen der Bodenzu-

**Tabelle 28: Gesamtgehalte der Böden in Außen- und Siedlungsbereichen (nur regionale Hintergrund-Datenkollektive; mg/kg, PCDD/F in ng/kg).**

	Außen			Siedlung		
	n	50.P.	90.P.	n	50.P.	90.P.
As	89	10	22	23	9	21
Cd	512	0,21	0,44	58	0,20	1,00
Cr	267	29	41	29	32	42
Cu	408	18	29	39	24	72
Hg	252	0,08	0,12	36	0,18	0,84
Ni	279	21	30	27	18	25
Pb	514	37	100	62	45	148
Tl	79	< 0,1	0,15	14	< 0,1	0,19
Zn	499	65	110	41	129	260
BaP	58	0,0	0,1	20	0,1	1,6
PAK <sub>16</sub>	70	0,15	0,87	29	1,3	16,0
PCB <sub>6</sub>	73	0,010	0,010	4	0,010	0,010
PCDD/F	25	1,20	3,6	4	5,6	6,6

gelb Überschreitung d. Vorsorgewertes  
Lehm / Schluff o. Humusgehalt ≤ 8 %  
rot Überschreitung Prüf-/Maßnahmenwert

standsberichte für andere Siedlungsräume mit hohem Anteil an Industrie- und Gewerbegebieten: Großraum Mannheim / Heidelberg (UVM, 1998), Großraum Stuttgart (UVM, 1999), Karlsruhe (UVM, 1995a), Kehl (UVM, 1995b), Pforzheim (UVM, 1995c). Auch in diesen Regionen zeigte sich, dass die Gehalte an Quecksilber, Cadmium, Kupfer, Blei, Zink, PAK und PCB in den Siedlungsbereichen gegenüber den Außenbereichen erhöht sind. Bei Chrom, Nickel, Arsen und Thallium waren keine Unterschiede erkennbar (UVM, 1999). Diese Befunde stehen außerdem mit den Ergebnissen von Bauer u. a. (1996) in Einklang, die besonders bei Cadmium, Kupfer, Zink und Blei hohe anthropogene Anteile in Siedlungsböden errechneten.

#### 4.2.3.3.2 Vergleich verschiedener Siedlungsräume

Diffuse Schadstoffeinträge und -anreicherungen in den Böden gibt es vor allem in den stärker verdichteten Räumen. Im ländlichen Raum und in den Randzo-

nen der Verdichtungsräume unterscheiden sich die Schadstoffgehalte der Böden in besiedelten und Außenbereichen kaum (Tabelle 29). Der Landesentwicklungsplan (Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, 2002) weist die Stadt Freiburg mit den umliegenden Gemeinden und die Stadt Emmendingen als Verdichtungsräume aus.

**Tabelle 29: Gesamtgehalte in Böden aus Siedlungsbereichen im ländlichen Raum einschließlich Randzonen sowie dem Verdichtungsraum (nur Hintergrund-Datenkollektive ohne Verdachtsflächen; mg/kg, PCDD/F in ng/kg).**

	ländlicher Raum und Randzone			Verdichtungsraum		
	n	50.P.	90.P.	n	50.P.	90.P.
Cd	15	0,10	0,29	43	0,23	1,0
Cu	17	18	47	22	39	109
Hg	9	0,12	0,31	27	0,25	1,87
Pb	15	39	142	47	46	148
Zn	15	74	150	26	173	438
BaP	6	0,3	1,8	13	0,1	0,4
PAK <sub>16</sub>	6	3,1	16,0	22	0,7	5,5
PCDD/F	0	-	-	4	5,63	6,60

gelb Überschreitung d. Vorsorgewertes für Lehm / Schluff o. Humusgehalt < 8 %  
rot Überschreitung Prüf-/Maßnahmenwert

#### 4.2.3.3.3 Stadtgebiet von Freiburg

Die Gehalte an Cadmium, Kupfer, Quecksilber, Zink, Blei und PAK<sub>16</sub> sind in den Karten 29 - 34 für das Gebiet der Stadt Freiburg dargestellt.

#### Innenstadtbereich

Im Bereich des Stadtkerns sind die Gehalte an Blei, Quecksilber, Cadmium, Zink und Kupfer im Vergleich zu den Böden am Stadtrand und im umliegenden ländlichen Raum deutlich erhöht (Tabelle 29 und Karten 29 - 33). Im Innenstadtbereich von Freiburg wurden bei Zink, Quecksilber, Blei, Cadmium und Kupfer nur wenige Böden vorgefunden, die noch die landesweiten



Hintergrundgehalte aufweisen. Besonders in der Umgebung der ehemaligen Gießereien im Stadtviertel „Im Grün“ finden sich erhöhte Bleigehalte in den Böden.

Südöstlich des Flugplatzes wurden erhöhte Quecksilber-, Zink-, Blei- und Cadmiumgehalte angetroffen.

## **Kinderspielflächen**

Die Nutzung als Kinderspielplatz gehört zu den sensibelsten Bodennutzungen. Kleinkinder nehmen beim Spielen Bodenmaterial oral auf. Es gilt, mögliche gesundheitliche Risiken daraus zu minimieren.

Die Stadt Freiburg hat deshalb die auf Altlastenverdachtsflächen und vermuteten Altablagerungen liegenden öffentlichen Kinderspielflächen und einige Spielflächen freier Träger systematisch auf Schadstoffgehalte des Bodens untersuchen lassen. Außerdem werden seit 1997 neu- und umgebaute städtische Spielflächen auf Schadstoffgehalte untersucht. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in diesen Bodenzustandsbericht einbezogen worden und werden in den Karten 29 – 34 dargestellt.

Bei den 35 untersuchten Kinderspielflächen wurden lediglich in zwei Teilbereichen eines Spielplatzes Prüfwerte der BBodSchV im Oberboden überschritten. Hier waren die PAK-Gehalte wegen einer vormaligen, nicht vollständig abgeräumten Teerspritzdecke erhöht. Die Teilbereiche wurden abgesperrt bzw. begrünt, um die direkte Schadstoffaufnahme zu unterbinden. Ein weiterer Spielplatz wurde mit mindestens 40 cm unbelasteter Erde überdeckt, da der schadstoffhaltige Unterboden stellenweise unzureichend abgedeckt war (*Stadt Freiburg, 1999b*).

## **Ursachen**

Die Ursachen diffuser siedlungsbedingt erhöhter Schadstoffgehalte in Böden sind in der Regel komplex und lassen sich meist nicht monokausal erklären. Ein

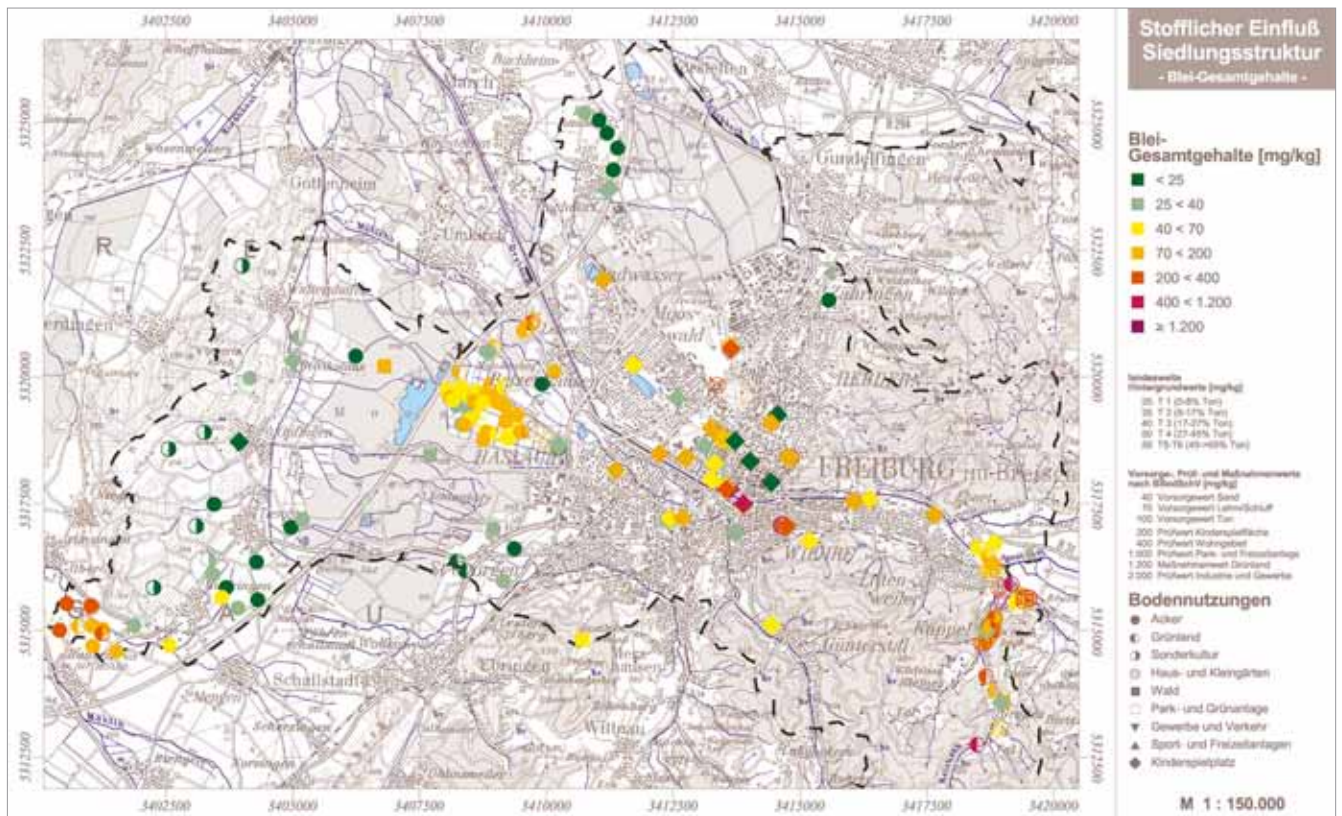
Großteil der untersuchten Böden, stammt von Kinderspielplätzen auf Altlastenverdachtsflächen und vermuteten Altablagerungen. In der ausgewerteten Stichprobe ergeben sich daher vermutlich höhere Schadstoffgehalte als in den meisten Bereichen tatsächlich vorliegen.

Im Stadtgebiet enthielt der Haus- und Dachstuhlstaub teilweise hohe Bleigehalte, vor allem in den Stadtteilen „Im Grün“ in der Nähe der ehemaligen Gießereien und Kappel aufgrund der früheren Erzbrechanlage. Zudem wurden in Teilen der Altstadt, des Stühlingers und des Stadtteils Haslach höhere Bleigehalte im Staub ermittelt. Die aktuellen Bleigehalte des Schwebstaubs sind nicht mehr überdurchschnittlich erhöht. Die Belastungen der Dachstühle sind vor allem auf frühere Emissionsquellen zurückzuführen (*Stadt Freiburg, 2004*).

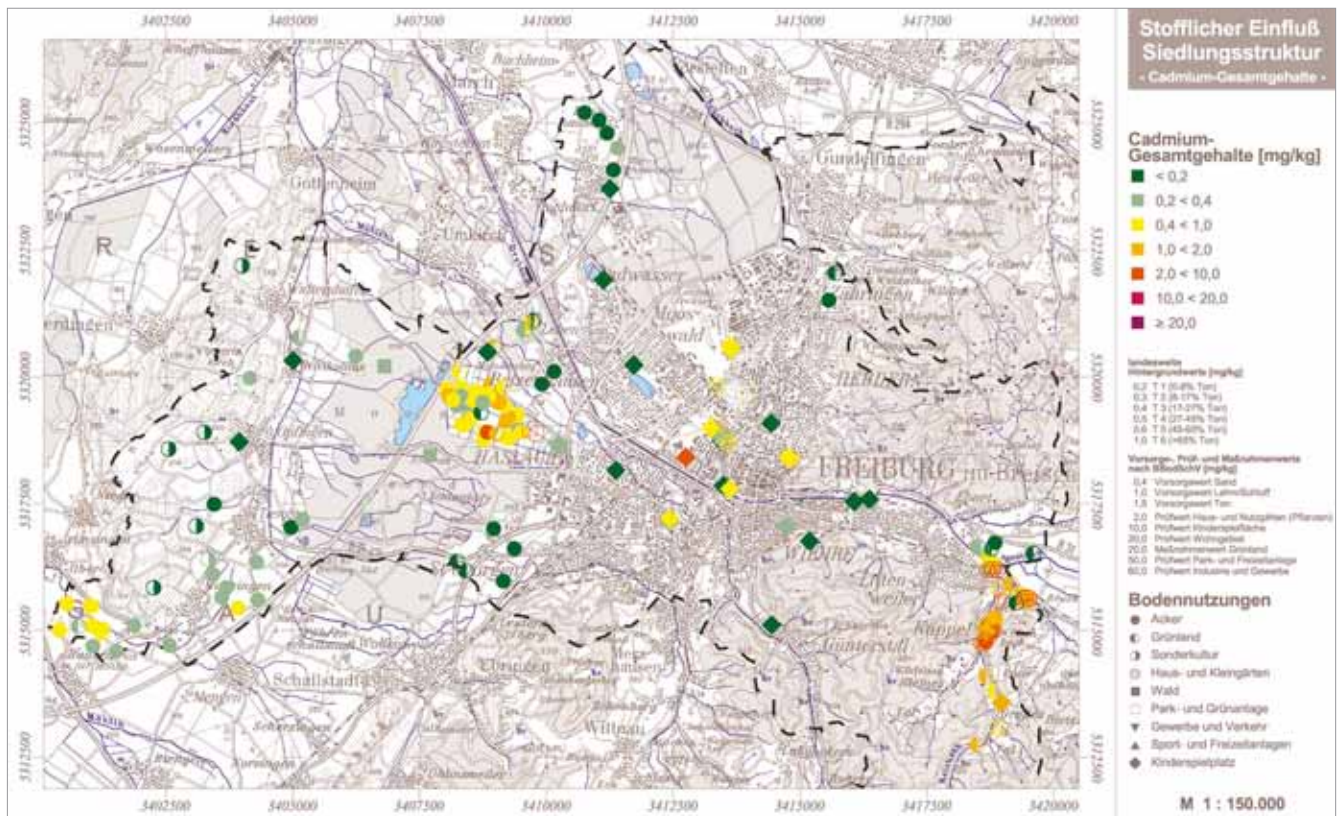
Die Gehalte an Cadmium, Kupfer, Blei, Zink, PAK und PCDD/F in den Siedlungsböden im Ballungsraum-Zentrum von Freiburg lassen den Einfluss von Straßenverkehrsemissionen vermuten (*s. auch z. B. Unger & Prinz, 1992*). Ebenso dürften der Hausbrand und weitere diffuse Emissionen zur Schadstoffanreicherung in den Siedlungsböden beigetragen haben. Beispielsweise können Kontaminationen durch Zink aus seiner Verwendung im Korrosionsschutz oder durch Kupfer aus der Verarbeitung bei der Herstellung von Wasserleitungen, Dachbedeckungen, Legierungen und Farbstoffen stammen.

## **Schadstoffgehalte im Außenbereich**

Mit Ausnahme der vom ehemaligen Erzbergbau beeinflussten Flächen liegen die Schadstoffgehalte in den Außenbezirken um Freiburg meist im Bereich des landesweiten Hintergrunds. Eine Fernkontamination der Böden durch diffuse Emissionen aus dem stärker verdichteten Siedlungsraum findet demnach nicht in erheblichen Ausmaß statt.

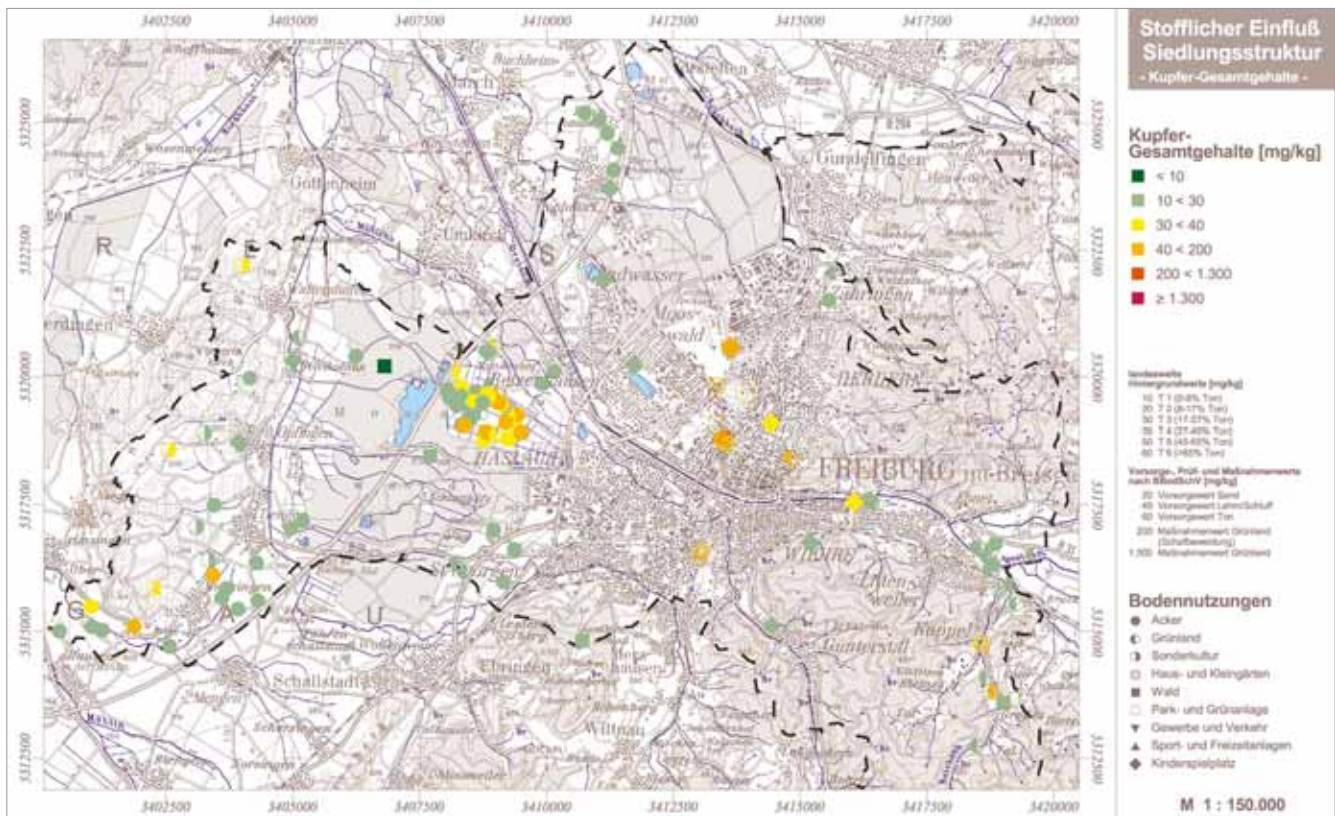


Karte 29: Blei-Gesamtgehalte im Gebiet der Stadt Freiburg.

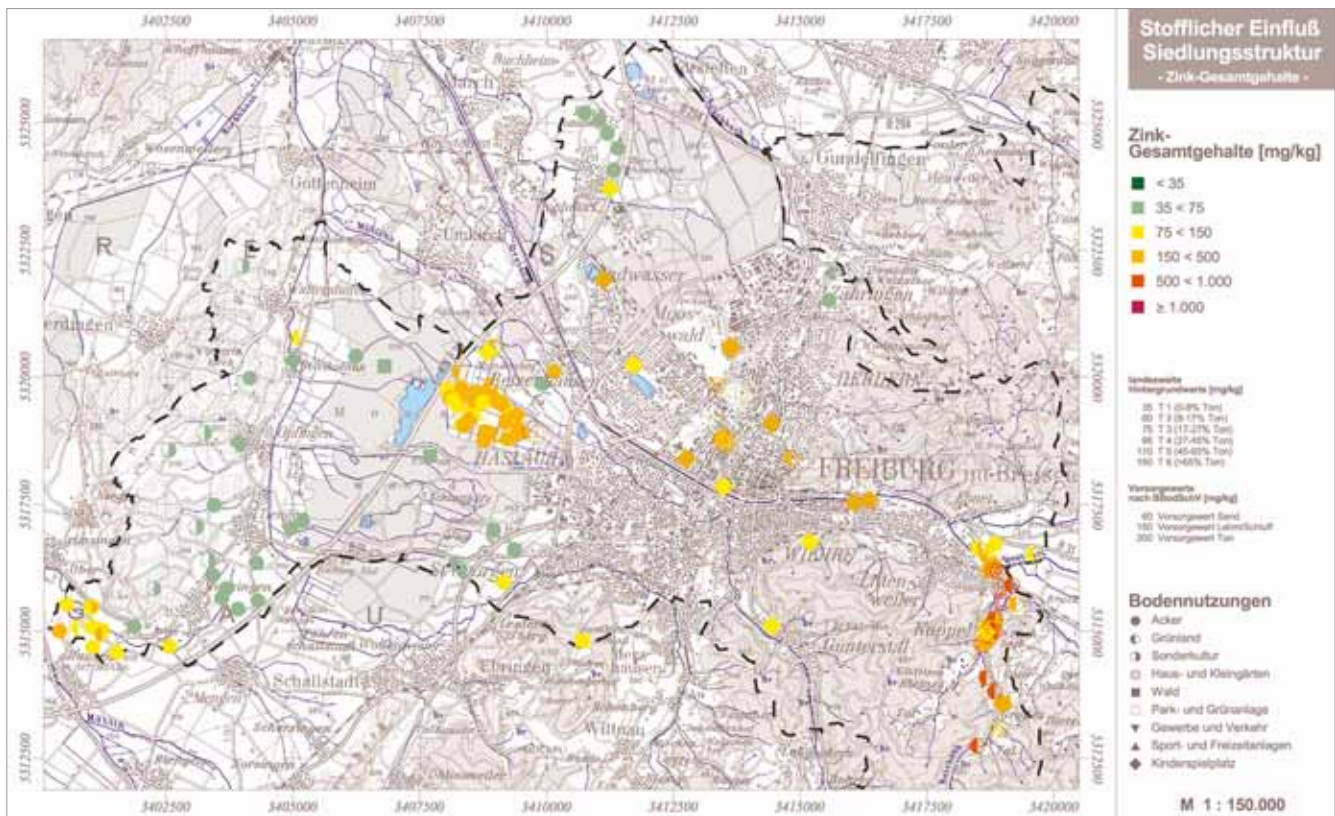


Karte 30: Cadmium-Gesamtgehalte im Gebiet der Stadt Freiburg.



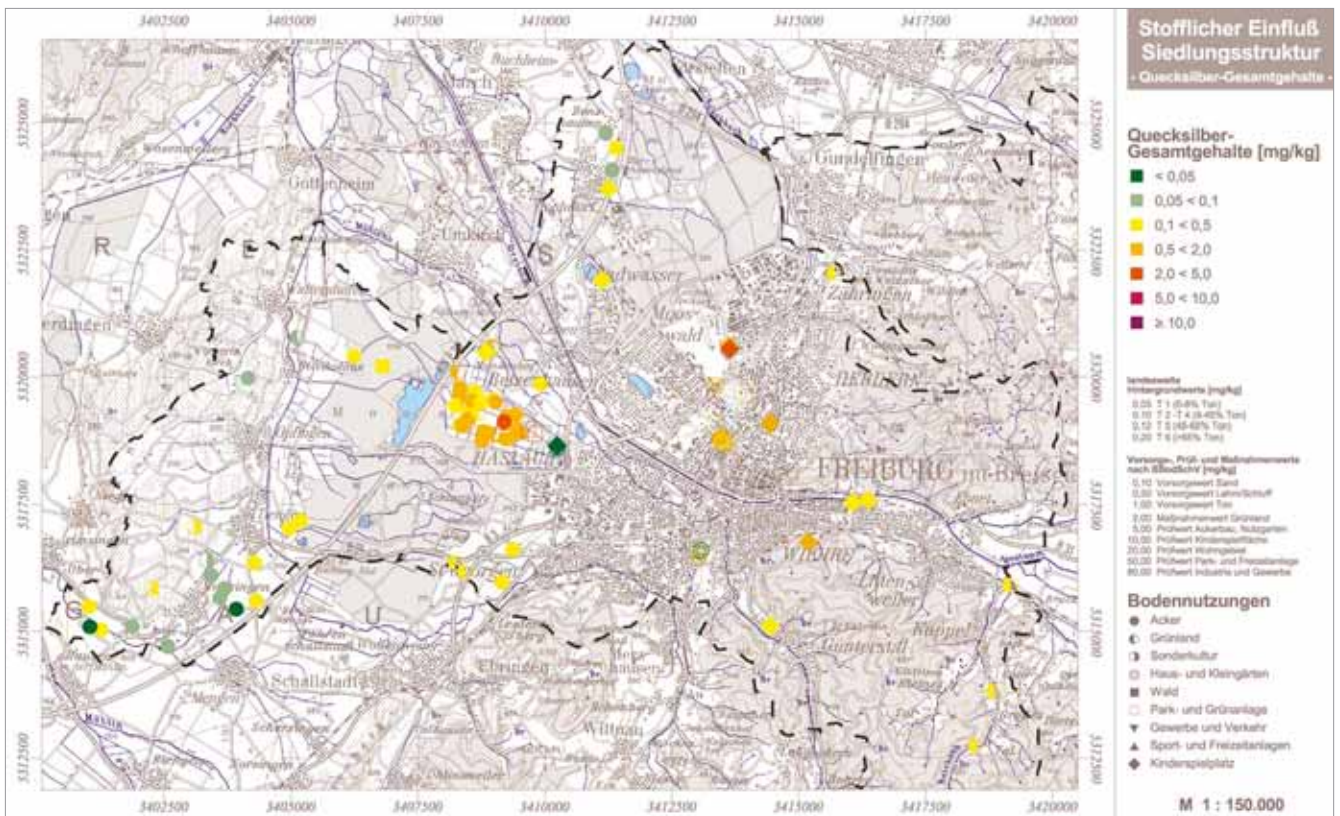


Karte 31: Kupfer-Gesamtgehalte im Gebiet der Stadt Freiburg.

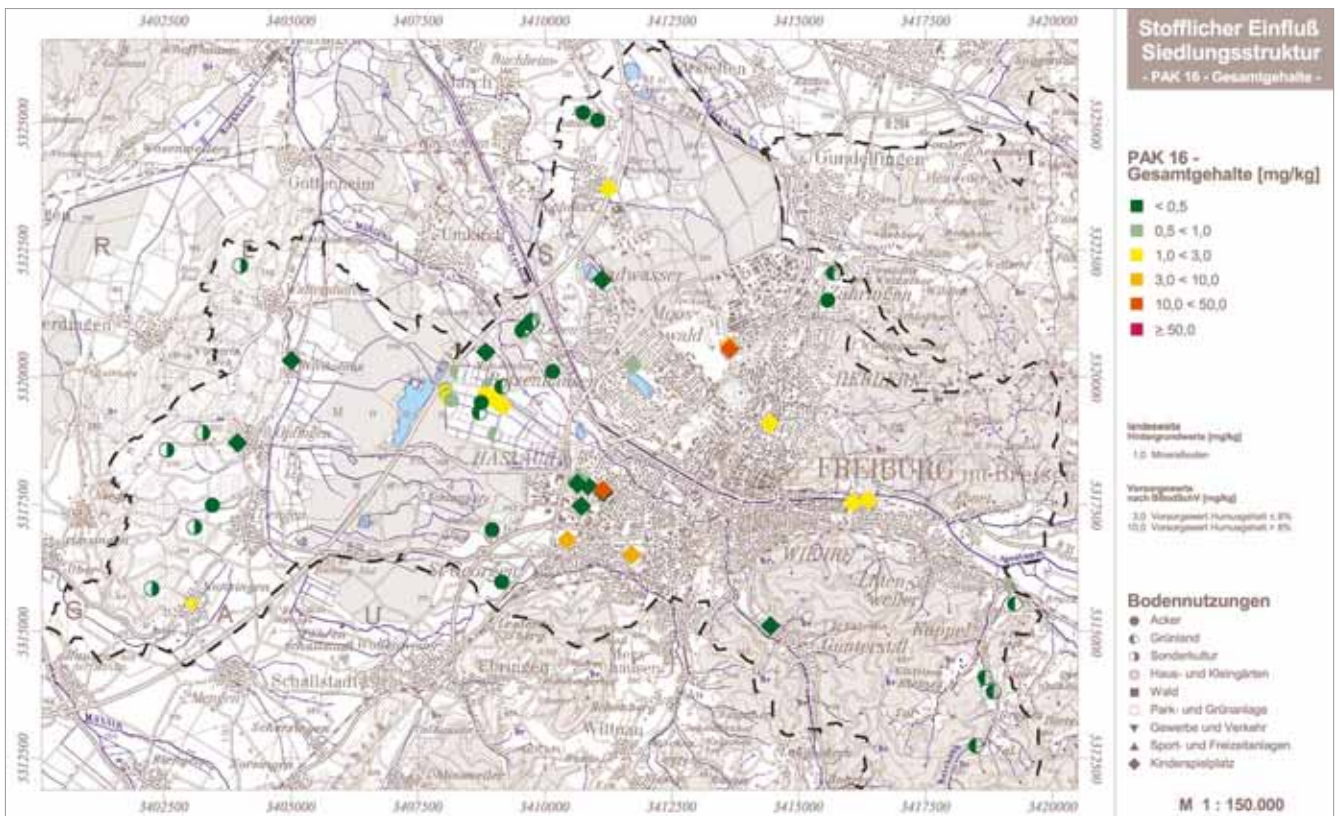


Karte 32: Zink-Gesamtgehalte im Gebiet der Stadt Freiburg.





Karte 33: Quecksilber-Gesamtgehalte im Gebiet der Stadt Freiburg.



Karte 34: Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK<sub>16</sub>)-Gesamtgehalte im Gebiet der Stadt Freiburg.



#### 4.2.3.4 Landwirtschaftliche und gärtnerische Nutzungen

##### **Acker und Grünland**

Auf Acker- und Grünlandflächen liegen die Schadstoffgehalte abseits der bergbaulich beeinflussten Böden meist im Bereich der landesweiten Hintergrundwerte.

##### **Weinbau**

Erhöhte Schadstoffgehalte an Kupfer und Quecksilber wurden auf weinbaulich genutzten Böden festgestellt.

##### **Kupfer**

Deutlich erhöht waren die Kupfergehalte im Weinbau mit 42 mg/kg (50. P.) und 244 mg/kg (90. P.) gegenüber 18 mg/kg (50. P.) bis 29 mg/kg (90. P.) in den Böden des Außenbereichs. Die Kupfergehalte liegen damit bereits beim 50. Perzentil über dem Vorsorgewert der BBodSchV (40 mg/kg für die Bodenarten-Hauptgruppe „Lehm/Schluff“).

Die Auswertung der Daten der LUFA ergibt regionale Unterschiede in den Kupfergehalten der weinbaulich genutzten Böden. Auf dem Tuniberg liegen die Kupfergehalte in der Regel unter den Vorsorgewerten (Karte 11). In den Böden der Vorbergzone und am Kaiserstuhl werden dagegen häufig hohe Kupfergehalte vorgefunden. In Weinbauböden sind hohe Kupfergehalte nicht ungewöhnlich. Sie sind in der Regel auf den über hundertjährigen Einsatz von Kupferpräparaten insbesondere zur Bekämpfung der Rebenperonospera zurückzuführen (Scholl & Enkelmann, 1984). Bis zur Mitte des vergangenen Jahrhunderts wurden hierzu jährlich 20 - 30 kg/ha Kupfer ausgebracht. Gegenwärtig liegen die Aufwandsmengen bei jährlich 2 - 4 kg/ha Kupfer (Hofmann, 1999). Bei diesen Ausbringungsmengen werden die Böden schnell mit Kupfer angereichert. Eine Ausbringungsmenge von 20 - 30 kg Kupfer pro Hektar entspricht bei 30 cm tiefer Einmischung einer jährlichen Kupfer-Anreicherung von ca. 5,5

mg/kg. Bei jährlicher Ausbringung von 2 - 4 kg Kupfer ist immer noch mit einem Anstieg des Kupfergehalts um 0,7 mg/kg pro Jahr zu rechnen. Kupfersuspensionen werden zum Teil auch im Obstbau verwendet. Die vorhandenen Bodenuntersuchungen zeigen auf diesen Böden allerdings keine Anreicherung von Kupfer.

##### **Quecksilber**

Auf weinbaulich genutzten Böden sind in der Regel die Gehalte an Quecksilber in den Böden höher als die des landesweiten Hintergrunds. Jedoch ist der Unterschied bei Quecksilber bei weitem nicht so ausgeprägt wie bei Kupfer. Die Quecksilbergehalte auf weinbaulich genutzten Flächen [0,10 mg/kg (50. P.) - 0,24 mg/kg (90. P.)] liegen nur wenig über den Gehalten im Außenbereich [0,08 mg/kg (50. P.) - 0,13 mg/kg (90. P.)]. In Weinbauböden können Quecksilberkontaminationen durch die Verwendung von quecksilberhaltigen Spritzmitteln und durch Imprägnierung von Holzstangen mit HgCl<sub>2</sub> verursacht werden.

##### **Gärten**

In den Böden der Kleingärten wurden für Blei, Kupfer, Quecksilber, Thallium und Zink erhöhte Gesamtgehalte ermittelt. Das vorliegende Probenkollektiv ist aber nur wenig repräsentativ, da nur wenige Untersuchungen von gärtnerisch genutzten Böden vorliegen (n = 3 - 20 je nach Parameter). Vermutlich wurden diese Proben aufgrund gezielter Verdachtsmomente entnommen, was die repräsentative Aussage der Daten stark einschränkt. Außerdem liegen die Kleingärten häufig im Siedlungsbereich der Städte mit höherer ubiquitärer Grundbelastung und häufigen anthropogenen Störungen der Bodeneigenschaften. Aus den erhöhten Schwermetallgehalten kann man daher keinen unmittelbaren Einfluss der Bodennutzung ableiten.

## 4.3 Bodenerosion

Bodenerosion entsteht vor allem durch den Abtransport von Bodenmaterial durch oberflächlich abfließendes Wasser. Bodenerosion durch Wind spielt im Untersuchungsgebiet keine wichtige Rolle. Die Höhe des Abtrags ist von verschiedenen Faktoren abhängig. Im langjährigen Mittel werden in Baden-Württemberg jährlich rund 7 Tonnen pro Hektar Bodenmaterial abgetragen, was einer Bodenmächtigkeit von ca. 0,4 mm entspricht.

Durch Bodenerosion entstehen jährlich beträchtliche volkswirtschaftliche Schäden. Der Schutz der Böden vor Erosion bringt daher ökonomische und ökologische Vorteile. Der Verlust des humusreichen Oberbodens verschlechtert insbesondere auf Kuppen und Hanglagen die Ertragsfähigkeit und führt durch den Bodeneintrag in Senken und Auen zu Gewässerbelaustungen und externen Schäden, wie Verschlämmen von Abwässerkanälen und Vorflutern.

Aus Gründen des vorsorgenden Bodenschutzes sollte der tolerierbare Bodenabtrag nicht höher als die Bodenbildungsrate sein (jährlich ca. 1 t/ha bzw. 0,75 mm Bodenmächtigkeit).



**Abbildung 4: Flächen- und linienhafter Bodenabtrag mit Sedimentation.**

(Bild: Murschel, Regioplus Ingenieurgesellschaft).

### ***Einflussfaktoren der Bodenerodierbarkeit***

Die Hangneigung und die Bodennutzung sind maßgeblich für die Erosionsgefährdung der Böden. Wald

und Grünland bieten durch die intensive und dauerhafte Bodenbedeckung einen hohen Erosionsschutz. Bei acker- und weinbaulicher Nutzung ist die Erosionsanfälligkeit hingegen von der Art des Bewirtschaftungsverfahrens abhängig. Bei konventionellem Ackerbau mit Pflugeinsatz und Weinbau ohne Bodenbedeckung ist die Erosionsanfälligkeit sehr hoch. Bei einer reduzierten Bodenbearbeitung über mehrere Jahre kann die Struktur des oberflächennahen Bodens verbessert werden. Im Gegensatz zu den Bodenaggregaten, die bei der mechanischen Bodenbearbeitung entstehen, sind die natürlich gebildeten Aggregate wesentlich stabiler, so dass die Bodenteilchen auch bei Starkregen zusammenhalten. Humus und Ernterückstände reichern sich in der oberflächennahen Bodenschicht an. Die Bodenbedeckung nimmt zu. Durch die günstigere Bodenstruktur dringt das Niederschlagswasser stärker in den Boden ein. Die Wasserrückhaltung des Bodens wird verbessert, Hochwasserabflüsse werden abgeschwächt.

Weiteren Einfluss auf die Erodierbarkeit haben die Bodenart, der Humus- und der Steingehalt. Böden aus schluffreichem Material sind stärker erosionsanfällig, da es auf diesen Standorten bei Niederschlägen leicht zu Verschlämmungen der Bodenoberfläche kommt. Relevant sind auch die erosionswirksamen Hanglängen und die Erosivität der Niederschläge (gebietsspezifische Menge und Intensität).

### ***Erosionsgefährdung im Erhebungsgebiet***

Die Erosionsgefährdung der Böden wurde für den Untersuchungsraum mit Hilfe der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung (ABAG) berechnet. Die ABAG schätzt die Höhe des mittleren langjährigen Bodenabtrags durch Multiplikation verschiedener Faktoren. Die Hanglänge (L) und Hangneigung (S) werden als LS-Faktor beschrieben, die Nutzung (Bodenbedeckung und Bewirtschaftung) als C-Faktor, die Bodenerodierbarkeit als K-Faktor, die Erosivität der Niederschläge als R-Faktor und Bodenerosionsschutzmaßnahmen als P-Faktor. Die Erodierbarkeit



der Böden wurde für den gesamten Untersuchungsraum durch eine kleinmaßstäbliche Modellierung (Maßstab 1 : 200.000) auf der Grundlage der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung (ABAG) abgeschätzt (Karte 35). Diese Berechnungen basieren auf Daten die für den Wasser- und Bodenatlas Baden-Württemberg im Auftrag des Landesamts für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württembergs erhoben worden sind. Die Übersichtskarte 35 weist Nutzungen mit unterschiedlichem Erosionsrisiko aus.

Für den Tuniberg wurde eine Detailmodellierung vorgenommen und durch Festlegung üblicher Anbauverfahren mittlere jährliche Bodenabträge errechnet (Karte 36). Die L- und S-Faktoren wurden aus dem landesweit verfügbaren digitalen Höhenmodell (DHM 50) errechnet. Das DHM wurde in ein 5 m-Raster interpoliert und mit Hilfe einer Spline-Funktion geglättet. Die erosive Hanglänge (L-Faktor) wurde durch die Verschneidung der Landnutzung mit den linienhaften Elementen (überwiegend Straßen, Feldwege), die die Hanglänge begrenzen aus dem Amtlich Topographisch Kartographischen Informationssystem (ATKIS) abgeleitet. Zur Festlegung des C-Faktors werden eine konventionelle Bewirtschaftung bei Ackernutzung und ein mittlerer C-Faktor für Weinbau (mit Dauerbegrünung und ohne Bodenbedeckung) angenommen. Der Einfluss des P-Faktors (Terrassierung, Querbearbeitung etc.) wurde nicht berücksichtigt, da hierzu keine Angaben vorlagen.

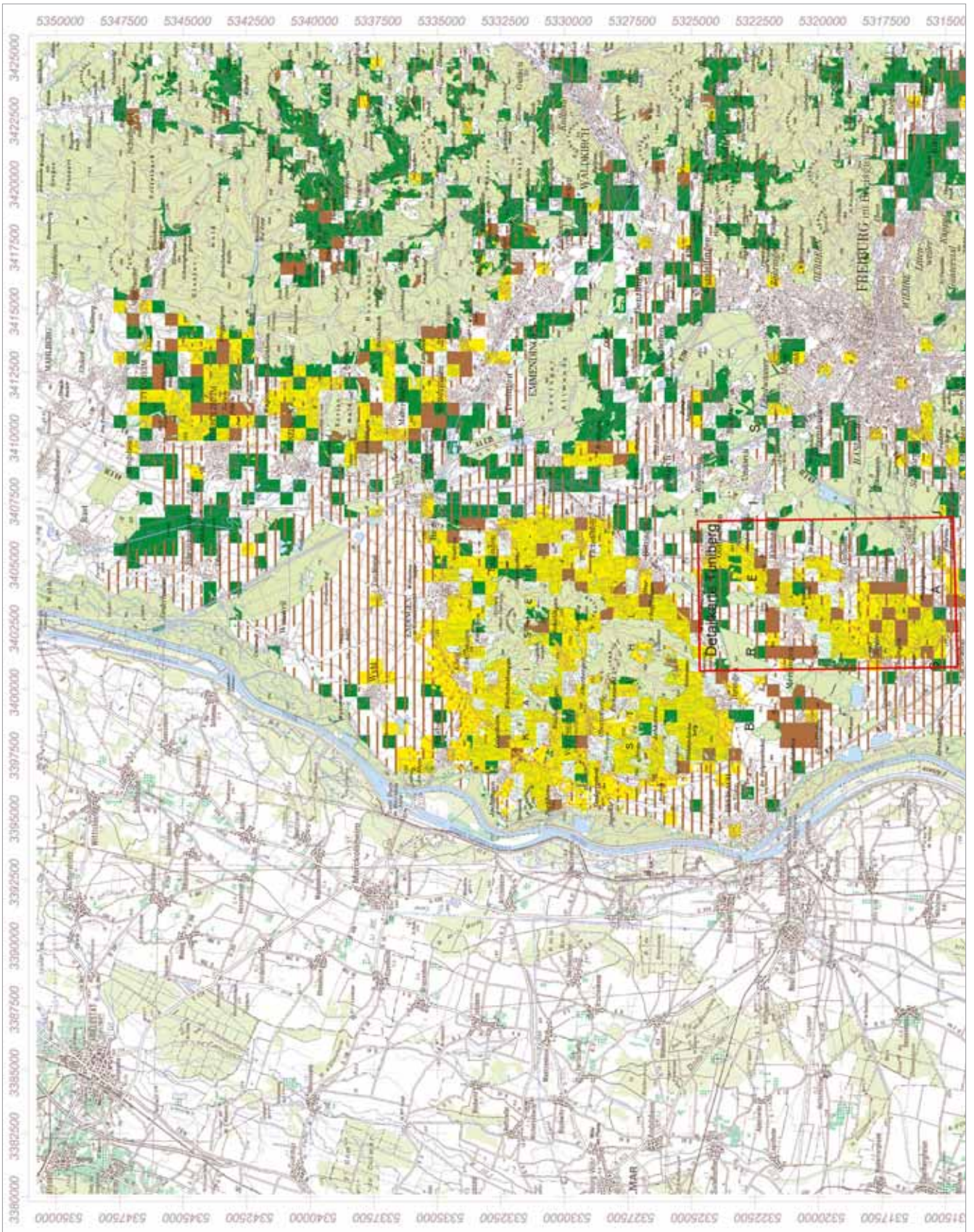
Der Großteil der erosionsanfälligen Standorte liegt auf ackerbaulich und weinbaulich genutzten Flächen mit stärkerer Hangneigung im Bereich der Vorbergzone, des Tunibergs und des Kaiserstuhls. Die Hänge im Schwarzwald sind wegen der vorherrschenden Wald- und Grünlandnutzung weitgehend vor Bodenabträgen geschützt (Karte 35).

Der Tuniberg östlich der Autobahn A5 in Höhe von Freiburg besitzt zwischen den Gemeinden Gottenheim und Munzingen eine Nord-Süd-Ausdehnung von rund 10 km. Die durchschnittliche Breite liegt bei ca. 3 km. Der Tuniberg erhebt sich bis zu 80 m aus der Ober-

rheinebene. Im Gebiet des Tunibergs findet man eine typische Lösslandschaft vor. Die meisten Täler (Kastentäler) sind wasserlos, mit einer breiten, ebenen, bis sehr schwach konkaven Sohle. Ein scharfer Knick führt in steile Hangflanken. Der sehr fruchtbare Löss wird schon seit Jahrhunderten intensiv genutzt. Während er früher als Acker- und Grünland bearbeitet wurde, wird das Gebiet heute hauptsächlich für den Weinbau genutzt.

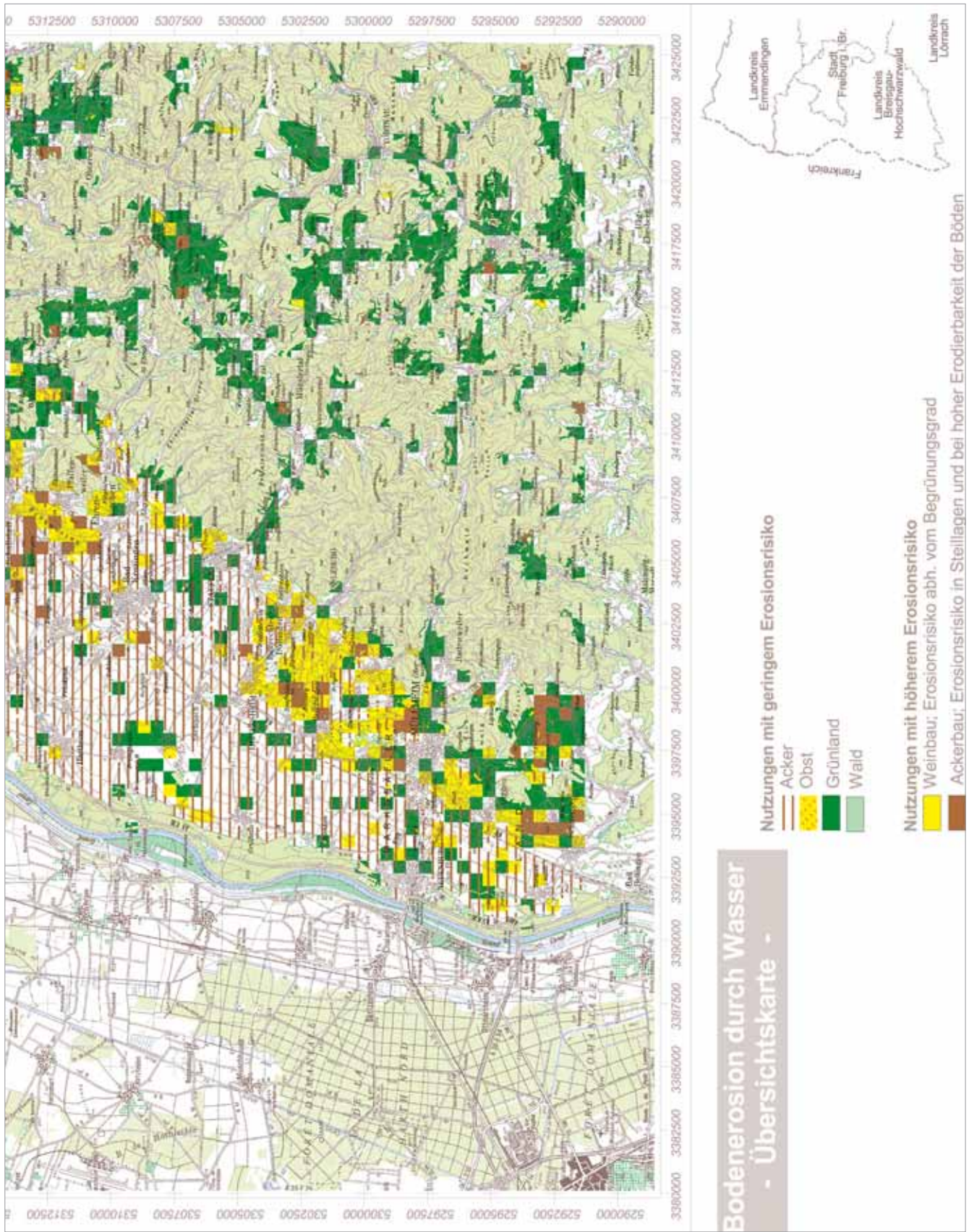
Anders als am benachbarten Kaiserstuhl hat die Flurbereinigung am Tuniberg nicht den starken Umbau der Landschaft bewirkt. Am Kaiserstuhl wurden die Kleinterrassen modelliert, um den Weinanbau in ökonomisch technischer Form zu optimieren. Am Tuniberg sind 94 % der Weinberge ganzjährig begrünt, wohingegen am Kaiserstuhl die Flächen während der Sommermonaten zu 50 - 60 % offen liegen.

Zu erhöhten Bodenabträgen kommt es am Tuniberg an den steil abfallenden Hängen, insbesondere im Nordosten und im Südwesten. Bei fehlender Begrünung ist dort im langjährigen Mittel mit jährlichen Bodenabträgen von 15 bis über 80 Tonnen pro Hektar (Karte 36) zu rechnen.

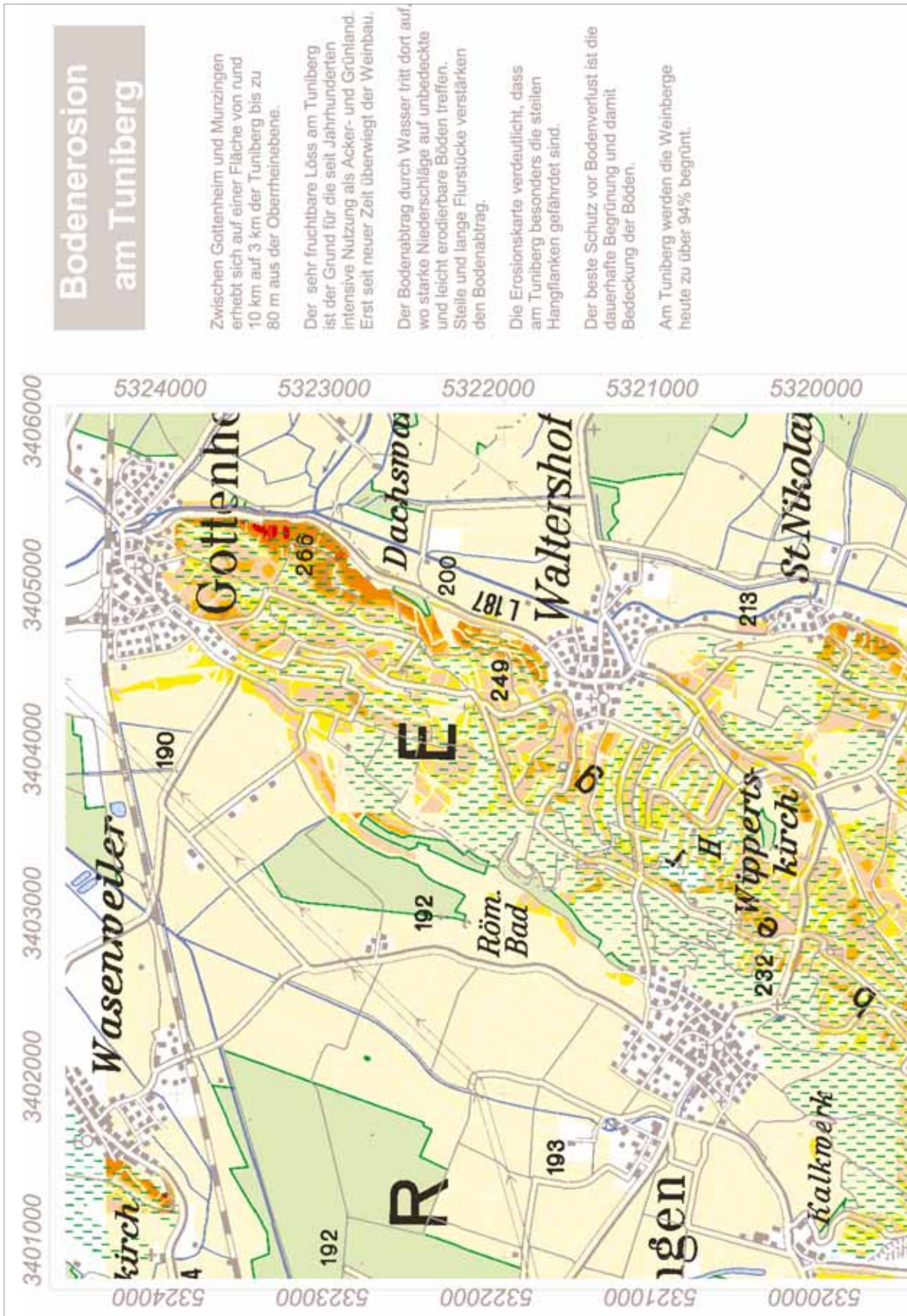


Karte 35: Übersichtskarte Bodenerosionsgefährdung durch Wasser.



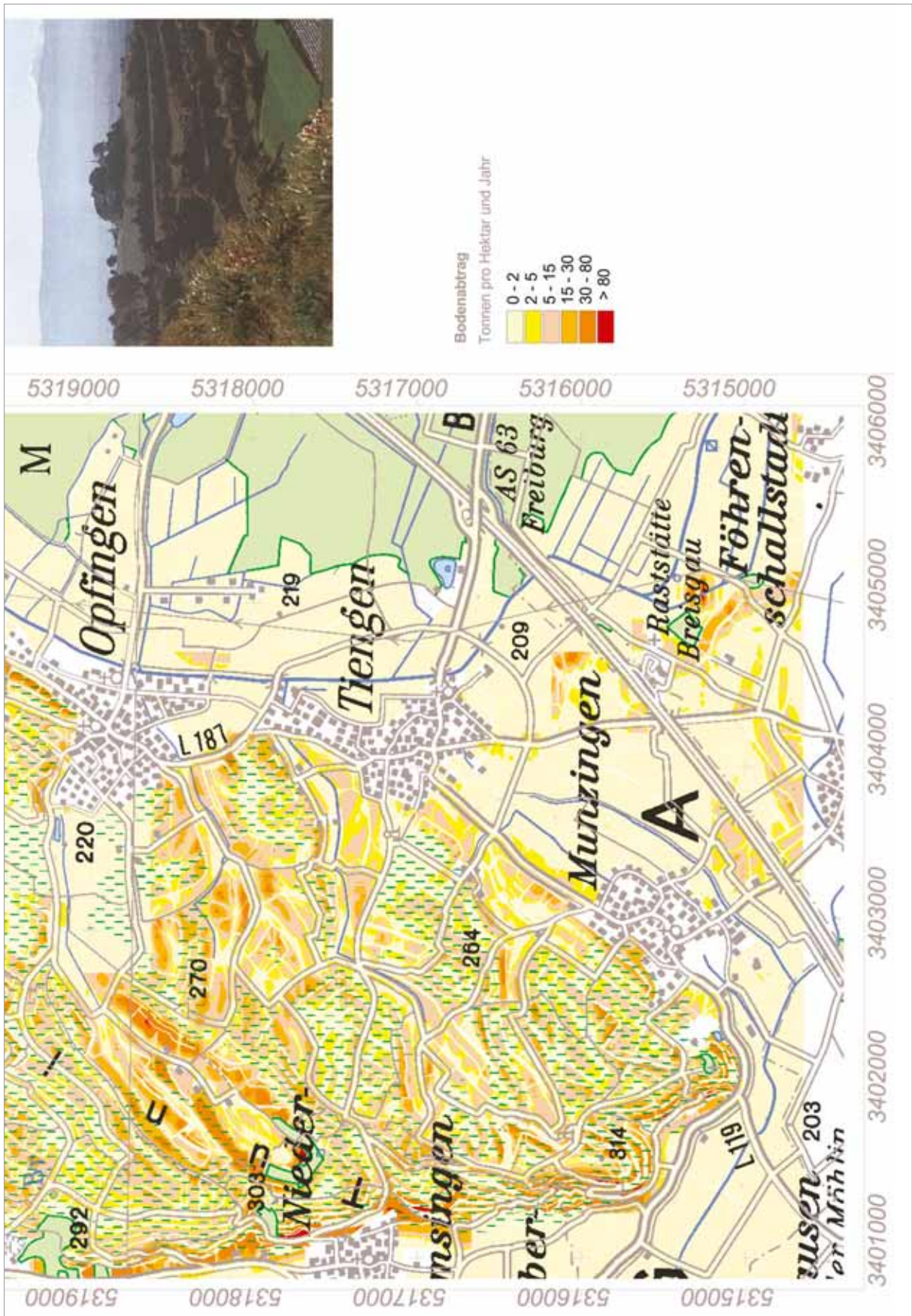






Karte 36: Detailkarte der Bodenerosionsgefährdung am Tuniberg.





## 4.4 Flächeninanspruchnahme

Jedes Jahr wird in der Bundesrepublik in erheblichem Ausmaß Fläche für Siedlungen, Industrie und Verkehr in Anspruch genommen. Dabei geht der Zuwachs der Flächennutzung überwiegend zu Lasten natürlicher und naturnaher Flächen.

Der Anteil der Siedlungs- und Verkehrsfläche an der Gesamtfläche der Bundesrepublik Deutschland (alte Bundesländer) hat sich seit 1950 von 7,1 % auf mittlerweile 13,3 % nahezu verdoppelt. Die zwischen 1950 und 1997 durchschnittlich versiegelte Fläche lässt sich mit ca. 90 Hektar pro Tag berechnen.

In Baden-Württemberg stieg der Anteil der Siedlungs- und Verkehrsfläche von 1950 bis 1997 von 6 auf 12,1 %. Die Flächeninanspruchnahme beträgt in diesem Zeitraum durchschnittlich 13 Hektar pro Tag. Im vergangenen Jahrzehnt hat sich der Verbrauch geringfügig auf ca. 11 Hektar pro Tag reduziert (*Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 1999*). Bei diesem Zuwachs werden in den nächsten 100 Jahren weitere 10 % der Landesfläche versiegelt werden.

Die Reduktion der Flächeninanspruchnahme ist eine der großen Herausforderungen der Zukunft. Im Sinne einer nachhaltigen kommunalen Entwicklung sind Bürger und Gemeindeverwaltungen gefordert, die künftige Flächeninanspruchnahme zu reduzieren, bzw. Möglichkeiten zu nutzen, Flächen zu entsiegeln.

Um Informationen zur Flächeninanspruchnahme in der Region Freiburg zu erhalten, wurden Daten des Statistischen Landesamts Baden-Württemberg ausgewertet (Abbildung 6 und 7). Die Angaben zur Bodenfläche nach Art der tatsächlichen Nutzung liegen auf der Ebene der Kommunen für die Erhebungen 1993, 1997 und 2001 vor. Im Untersuchungsraum liegt der prozentuale Anteil der Verkehrs- und Siedlungsfläche an der gesamten Bodenfläche einer Gemeinde zwischen weniger als 10 % in ländlichen Regionen und über 40 % in den städtischen Ballungsgebieten (Abbildung 6). Bezogen auf die Anzahl der Personen einer Region ergibt sich eine Siedlungs- und Verkehrsfläche von weniger als 200 m<sup>2</sup> / Einwohner in der Stadt Freiburg bis zu über 2000 m<sup>2</sup> / Einwohner in einigen ländlich geprägten Gemeinden (Abbildung 7).

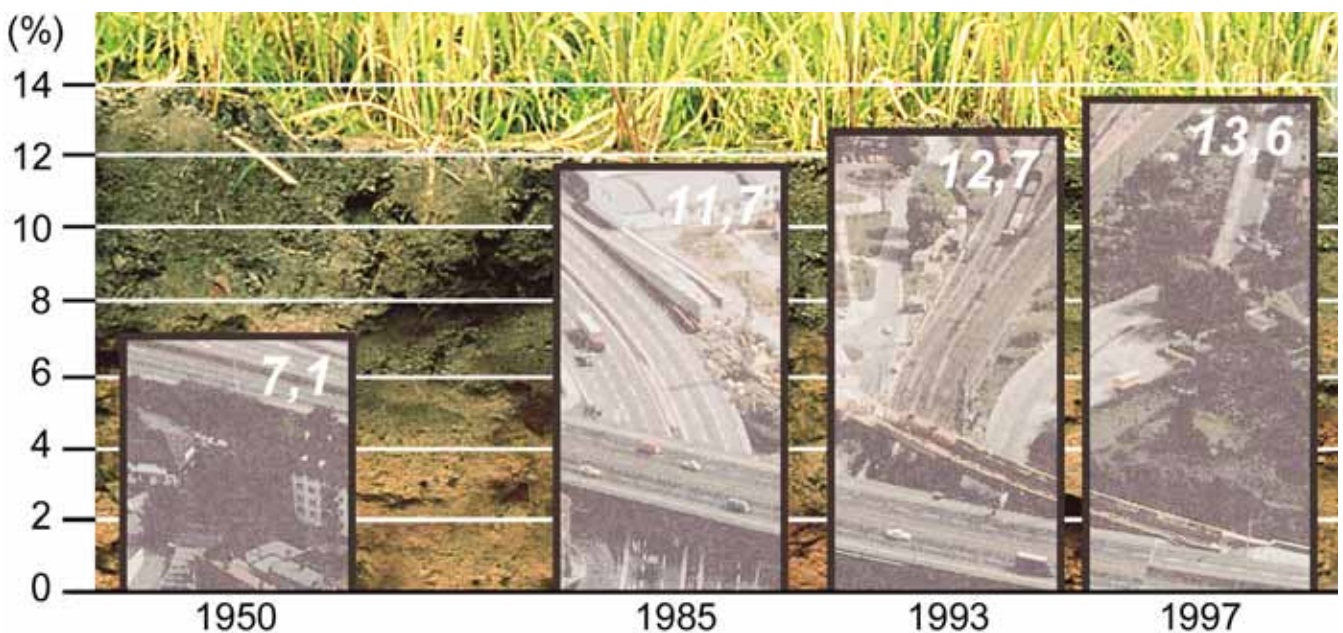


Abbildung 5: Entwicklung des Anteils an Siedlungs- und Verkehrsflächen in der Bundesrepublik Deutschland (alte Bundesländer; Statistisches Bundesamt, 1998).



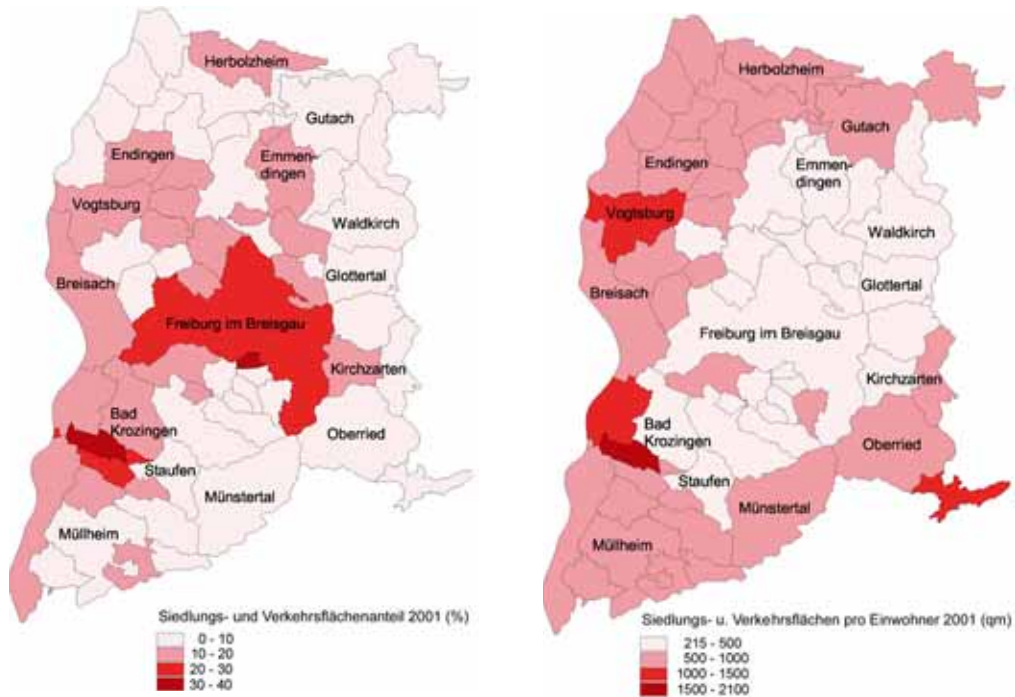


Abbildung 6: Anteil der Siedlungs- und Verkehrsflächen im Jahr 2001 je Einwohner und an der Gesamtfläche in den Gemeinden des Erhebungsgebiets.

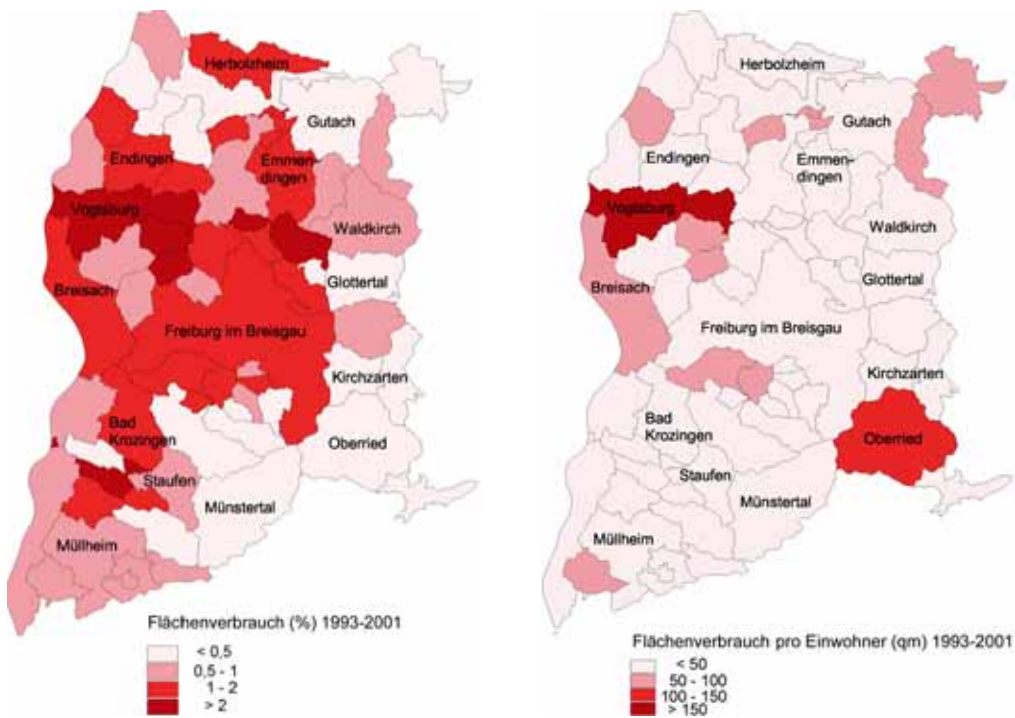


Abbildung 7: Flächeninanspruchnahme 1993 bis 2001.

Im Zeitraum 1993 bis 2001 lag die Flächeninanspruchnahme im Bereich von 0 – 2 % der Gesamtfläche des Erhebungsraums (Abbildung 7). Umgerechnet auf die Zahl der Einwohner pro Kommune entspricht dies einer Zunahme der Flächeninanspruchnahme von bis zu 216 m<sup>2</sup> / Einwohner innerhalb des Zeitraums von 1993 bis 2001.

Das größte Ausdehnungswachstum ist in den Gemeinden mit hohem Siedlungs- und Verkehrsflächenanteil, den Verdichtungsräumen von Freiburg und Emmendingen und bei den westlich dieser Städte bis zum Rhein liegenden Gemeinden zu verzeichnen (Abbildung 6 und 7). Im Schwarzwald ist die Flächeninanspruchnahme relativ gering. Umgerechnet auf die Einwohnerzahl einer Kommune ist allerdings die Flächeninanspruchnahme pro Einwohner in den dichter besiedelten Räumen in der Umgebung der Stadt Freiburg geringer als in den ländlichen Gebieten.



## 5 Bodenschutz-Maßnahmen

Böden erfüllen natürliche Funktionen

- als Lebensgrundlage und Lebensraum für Menschen, Tiere, Pflanzen und Bodenorganismen
- als Bestandteil des Naturhaushalts, insbesondere mit seinen Wasser- und Nährstoffkreisläufen und als Abbau-, Ausgleichs- und Aufbaumedium für stoffliche Einwirkungen, insbesondere auch zum Schutz des Grundwassers.

Das Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG) nennt darüber hinaus die Bodenfunktion als Archiv der Natur- und Kulturgeschichte sowie Nutzungsfunktionen

- als Rohstofflagerstätte,
- als Siedlungs- und Erholungsfläche,
- für die Land- und Forstwirtschaft und
- für andere wirtschaftliche und öffentliche Nutzungen, Verkehr, Ver- und Entsorgung.

Die natürlichen und Nutzungsfunktionen werden durch Überbauen, Erosion, Versauerung und Schadstoffbelastungen beeinträchtigt. Ggf. können damit gesundheitliche Risiken für Menschen verbunden sein. Maßnahmen zum Ausgleich von Bodenfunktionsbeeinträchtigungen, beispielsweise beim Hochwasserschutz oder bei der Beseitigung von Erosionsschäden, verursachen in der Regel hohe Kosten.

In diesem Bericht wird der Bodenzustand in der Region Freiburg analysiert. In ausgewiesenen Bereichen (Kap. 4) werden vorsorgende Bodenschutz-Maßnahmen empfohlen.

### 5.1 Bodenversauerung

Starke Bodenversauerung führt zur Nährstoffverarmung und mindert die Zersetzungsleistung der Bodenorganismen. Viele Waldböden sind an Nährstoffen (Magnesium, Kalium) verarmt.

Im Grundwasser und in Quellwässern des Schwarzwalds und seiner Randbereiche (Freiburger Bucht, Täler der Möhlin, Neumagen, Dreisam und Elz) wird der für Trinkwasser nach der Trinkwasserverordnung (TrinkwV) zulässige pH-Wert (min. 6,5) häufig unterschritten.

Größere Fließgewässer sind mit pH-Werten meist über 6,5 im Allgemeinen wenig versauert. In den Fluss-Oberläufen können Wasser-pH-Werte um 5,5 in Einzelfällen erreicht werden.

In den letzten Jahren wurden die Emissionen der Industrie und des Kraftfahrzeugverkehrs und damit verbundene Säureeinträge über die Luft in die Böden erheblich reduziert. Die aktuellen Protoneneinträge (vor allem durch Schwefel- und Stickstoffverbindungen) und die nutzungsbedingten Basenentzüge durch Ca-, Mg, K- und Na-Wegfuhr mit dem Erntegut liegen insbesondere am Westrand des Schwarzwalds noch über der Basennachlieferung durch die Silikatverwitterung. In diesem Bereich ist damit zu rechnen, dass die Boden-pH-Werte künftig weiter sinken.

Auf pufferschwachen Böden ist die Versauerung infolge des Protoneneintrags durch Kalkung - bei zusätzlichem Nährstoffmangel im Boden zusammen mit Kalium- und Magnesiumgaben - auszugleichen. Die Bodenversauerung kann zudem durch schonende Waldbewirtschaftung verringert werden, indem beispielsweise Kahlschläge vermieden werden und die Holznutzung auf Stammholz beschränkt wird, Rindenabfälle also im Wald verbleiben. Durch Lichteinwirkung und erhöhte Bodentemperatur wird die Mine-

ralisation der organischen Substanz sowie die Nitratfreisetzung nach Kahlschlägen stark gefördert. Freigesetztes Nitrat kann dann wegen des fehlenden Pflanzenbestands nicht mehr verwertet werden. Die bei der Protonenpufferung freigesetzten Metallionen werden zusammen mit den Nitratanionen ausgewaschen. Der Boden versauert weiter.

## 5.2 Schadstoffgehalte der Böden

### **Bergbau**

Um Schwermetalle und andere Bodenschadstoffe gesundheitlich zu beurteilen, muß die Aufnahme der Stoffe über alle Pfade betrachtet werden. Vorrangige Aufnahmepfade aus dem Boden sind die orale Aufnahme von Bodenmaterial, vor allem bei Kleinkindern z. B. auf Kinderspielplätzen, in Haus- und Kleingärten und die Aufnahme über Nahrungsmittel. Um die mit dem Boden aufgenommenen, tatsächlich wirksamen Schadstoffe abzuschätzen, wird ihre Resorptionsverfügbarkeit untersucht (DIN EN 19738). Schadstoffaufnahme über die Haut oder durch Einatmen von Staub stehen bei Bodenbelastungen meist nicht im Vordergrund.

Bisherige Maßnahmen bei erhöhten Schwermetall- und Arsengehalten der Böden in den Gebieten des alten Erzbergbaus waren:

- Prüfen, ggf. Sichern oder Sanieren von Kinderspielplätzen,
- Bodenaustausch/Bodenüberdeckung vor sensiblen Nutzungen,
- kein Anbau schwermetallreicherer Nahrungspflanzen,
- Prüfen von Eigenwasserversorgungen,
- Verbot des Ausbringens von Klärschlamm; Einschränkung des Aufbringens von Bioabfällen,

nach Bioabfallverordnung,

- bei Bodenaushub möglichst Massenausgleich erreichen bzw. bei Verwertung keine Verschlechterung der Situation im Aufbringungsbereich.

### **Kinderspielflächen**

In den vom alten Erzbergbau beeinflussten Gebieten und in den Überschwemmungsaue der Schwarzwaldtäler liegen die Blei- und / oder Arsen-Gehalte verbreitet über den Prüfwerten für den Wirkungspfad Boden-Mensch bei Kinderspielflächen-Nutzung (Pb: 200 mg/kg; As: 25 mg/kg). Nach §8 (1) Nr. 1 BBodSchG sind hier einzelfallbezogene Prüfungen durchzuführen und festzustellen ob eine schädliche Bodenveränderung vorliegt. In der Regel werden sich bei Kinderspielplätzen und Spielflächen in Wohngebieten, ggf. auch in Gärten Untersuchungen der Resorption im menschlichen Organismus (DIN 19738) anbieten. Werden dabei erhebliche freisetzbare (resorbierbare) Stoffanteile festgestellt, kommen auf den entsprechenden Flächen Maßnahmen in Betracht, mit denen die Schadstoffaufnahme durch direkten Kontakt oder Inhalation von Staub künftig verringert werden (z. B. Anlage einer geschlossenen Rasennarbe oder Überdecken mit mindestens 30 cm unbelasteter Erde).

### **Nahrungs- und Futterpflanzenanbau**

Als weitere Maßnahmen kommen in Frage:

- Kalkung,
- Einbringen von Eisenoxiden,
- Anbaubeschränkung,
- Verringern der Verschmutzung von Pflanzen (anhaltende Bodenbestandteile) durch besondere Erntetechnik.

### **Kalkung**

In Böden mit hohen Cadmium- und Zinkgehalten wird durch Anheben des pH-Werts auf  $\text{pH} > 6,5$ , bei hohen



**Tabelle 30: Schwermetall-Anreicherung verschiedener Nahrungspflanzen (LABO 1998).**

Anreicherungsvermögen	Cadmium	Blei
hoch	Endivie, Lollo rosso, Mangold, Sellerie, Spinat, Weizen, Zuckerrübenblatt	Endivie, Lollo rosso
mäßig	Blumenkohl, Broccoli, Chinakohl, Grünkohl, Hafer, Möhren, Porree, Rote Bete, Kopfsalat, Schwarzwurzel	Blumenkohl, Broccoli, Chinakohl, Feldsalat, Gerste, Grünkohl, Hafer, Kohlrabi, Kopfsalat, Mangold, Möhren, Porree, Radieschen, Rettich, Roggen, Rosenkohl, Rote Bete, Rotkohl, Schwarzwurzel, Sellerie, Spinat, Spitzkohl, Weißkohl, Weizen, Wirsing, Zwiebel
niedrig	Buschbohne, Erbse, Feldsalat, Gerste, Gurke, Kartoffel, Kohlrabi, Kürbis, Paprika, Radieschen/Rettich, Roggen, Rosenkohl, Rotkohl, Spitzkohl, Stangenbohne, Tomate, Weißkohl, Wirsing, Zucchini, Zwiebel	Buschbohne, Erbse, Gurke, Kartoffel, Stangenbohne, Tomate, Zucchini

Bleigehalten auf  $\text{pH} > 5,5$ , die systemische Schwermetallaufnahme in die Pflanzen minimiert. Bei solchen Boden-pH-Werten kommt es erfahrungsgemäß nicht zur Überschreitung von Prüfwerten der BBodSchV.

### **Einbringen von Eisenoxiden**

Die Wirkung von in den Boden eingearbeiteten Eisenoxiden aus der Trinkwasseraufbereitung auf die Schwermetallaufnahme von Nahrungspflanzen (Karotte, Weizen, Radieschen, Rettich) ist im Einzugsgebiet der Glotter in einem Bereich mit hohen Blei-, Cadmium- und Zinkgehalten untersucht worden (Schmidt, 2002). Bei Einsatz von 40 t Eisenoxid / Hektar war die Mobilität von Blei, Cadmium und Zink im Boden, und somit die Pflanzenverfügbarkeit, stark verringert. Entsprechend waren die Gehalte dieser Schwermetalle in den Nahrungspflanzen gering. Die Grenzwerte der EU-Verordnung über die Höhe von Schadstoffen in

Lebensmitteln (EU-Kommission, 2001) sind allerdings nicht in allen Fällen eingehalten worden.

### **Anbaubeschränkungen**

Die Schwermetallaufnahme mit der Nahrung kann durch Anbau ausgewählter Pflanzenarten, die die entsprechenden Stoffe wenig anreichern, verringert werden. Tabelle 30 gibt einen Überblick über das Anreicherungsvermögen einiger wichtiger Nutzpflanzen. Anbauempfehlungen der Fachbehörden beruhen auf tatsächlichen, d. h. in chemischen Analysen nachgewiesenen Schadstoffgehalten häufig angebaute Kulturarten. Darüber hinaus kommt eine Sortenauswahl in Frage, da bei vielen Gemüsepflanzenarten ein unterschiedliches Schwermetall-Anreicherungsverhalten der verschiedenen Pflanzensorten bekannt ist (LABO, 1998). Es liegen hierzu aber bisher wenig Kenntnisse zur Wahl von geeigneten Sorten vor.

Bei Klein- und Hausgarten-Nutzungen kann durch gründliches Säubern von Obst und Gemüse vor dem Verzehr (waschen, schälen) die Schwermetallaufnahme mit der Nahrung teilweise deutlich reduziert werden.

### **Grünlandaufwuchs und Feldfutter**

Trotz teilweise hoher Schwermetallgehalte der Böden werden Grenzwerte der Futtermittelverordnung (*FutMV, 2000*) in Aufwuchsproben selten überschritten. Der Befund, dass Grenzwerte der FutMV im Aufwuchs nur selten bzw. meist nur geringfügig überschritten werden, ist jedoch im Kontext mit der neuen EU-Höchstmengenverordnung (EU-Kommission, 2001) zu beurteilen, wonach dort aufgeführte Erzeugnisse, deren Gehalt an unerwünschten Stoffen die für sie festgesetzten Höchstmengen einzeln oder in der Summe überschreitet, weder unvermischt noch nach Vermischung als Lebensmittel in den Verkehr gebracht oder zur Herstellung von Lebensmitteln verwendet werden dürfen. Erhöhte Gehalte im Viehfutter gehen in der Regel auf am Erntegut anhaftende Bodenpartikel zurück. Bei Graskulturen ist die systemische Schwermetallaufnahme der Pflanzen über die Bodenlösung gering.

Im geernteten Futter und beim Weidegang kann eine unvermeidbare Verschmutzung des Futters von ca. 2 - 4 % der Futtertrockenmasse angenommen werden (*LABO, 1998*). Kalkgaben zur Verringerung der Schwermetallaufnahme bei Grünlandaufwuchs sind deshalb wenig erfolgversprechend. Ein Versuch an Grünlandstandorten bei Bollschweil und Münstertal auf Böden mit niederen pH-Werten und Gehalten an Blei von ca. 1.100 mg/kg, an Arsen von ca. 50 mg/kg und an Cadmium von 0,3 - 1,2 mg/kg hat dies bestätigt. Die Erhöhung des Boden-pH-Werts von 4,5 – 5,0 auf ca. 6,0 führte zwar zur deutlichen Verringerung der ammoniumnitrat-extrahierbaren (pflanzenverfügbaren) Gehalte an Cadmium, Blei und Zink im Boden. Die Gehalte des Grünlandaufwuchses ließen jedoch infolge der anhaftenden Verschmutzung mit Bodenpartikel keinen Trend zur Verringerung erkennen. Insgesamt lagen die Pflanzengehalte allerdings unter den Grenz-

werten der Futtermittelverordnung (*Regierungspräsidium Freiburg, 1996*).

Die Schadstoffaufnahme durch Nutztiere kann bei Mähweiden durch besondere, verschmutzungsarme Ernteverfahren verringert werden. Bei Weidenutzung empfiehlt sich beispielsweise, auf dichten Bestand und frühzeitigen Weidewechsel (Verbisstiefe) zu achten. Nasse Böden sollten nicht beweidet werden.

Je nach Höhe der Schwermetallgehalte im Boden und des Aufwuchses können Nutzungsänderungen in Frage kommen. In höher belasteten, meist enger begrenzten Bereichen (z. B. Haldenstandorte) können die Flächen von der Beweidung oder Futtergewinnung ausgenommen werden. Der Anteil anhaftender Bodenpartikel an Grünlandaufwuchs bzw. Ackerfutter wird durch hohe Bestandsdichte und eine Schnitthöhe von ca. 5 - 7 cm verringert. Ebenso kann durch Verzicht auf den Anbau leicht lagernder Früchte (z. B. Erbsen) oder Verfüttern gewaschener Futter- und Stoppelrüben die Schwermetallaufnahme durch Tiere und der Übergang in die Nahrungskette minimiert werden.

### **Freiburger Rieselfeld**

Im landwirtschaftlich genutzten Teil des ehemaligen Rieselfelds finden sich oft hohe Gehalte an Polychlorierten Biphenylen (PCB) im Boden. Für Grünland werden Maßnahmenwerte überschritten. PCB werden kaum von den Pflanzen aufgenommen. Eine Kontamination erfolgt vor allem durch an den Pflanzen anhaftende Bodenpartikel. Säubern der Nahrungs- und Futterpflanzen von anhaftenden Verschmutzungen sowie der Verzicht auf Anbau von Wurzelgemüse, Futter- bzw. Stoppelrüben tragen zur Minimierung des Schadstofftransfers in die Nahrungskette wesentlich bei.

Bei der Futterpflanzen-Ernte können eine größere Schnitthöhe, beim Weidegang je nach Schadstoffgehalten des Aufwuchses auch Beschränkungen in Frage kommen.



In einigen für den Nahrungspflanzenanbau genutzten Flächen sind die Prüfwerte im Boden bei ammoniumnitrat-extrahierbarem Cadmium und Blei überschritten. Dort sollte der Boden-pH-Wert durch Kalkung so angehoben werden, dass die systemische Pflanzenaufnahme dieser Schwermetalle minimiert wird.

### **Verwertung von Bodenaushub**

Bodenaushub aus Gebieten mit erhöhten Schadstoffgehalten muss schadlos verwertet werden. Aushub aus solchen Bereichen darf nicht über unbelastetem Boden oder für sensible Folgenutzungen (z. B. Kinderspielplatz) eingebaut werden. Generell gilt der Grundsatz: „Gleiches zu Gleichem“. Wenn unterschiedlich belastete Teilgebiete abgegrenzt werden können, darf gering belasteter Boden in höher belastete Bereiche verbracht werden. Die Anforderung an das Aufbringen und Einbringen von Materialien auf oder in Böden wird in § 12 der BBodSchV geregelt. Neuerdings hat die Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) eine Vollzugshilfe dazu herausgegeben (LABO, 2002).

### **Weinbau**

Pflanzenschutzmaßnahmen mit kupferhaltigen Präparaten haben dazu geführt, dass in mehr als der Hälfte der untersuchten Böden unter Weinbau-Nutzung die Vorsorgewerte der BBodSchV bei Kupfer überschritten waren. Weitere Anreicherungen sind künftig zu erwarten. Aus Gründen des vorsorgenden Bodenschutzes ist zu empfehlen die Aufwandsmengen kupferhaltiger Spritzmittel künftig erheblich zu verringern bzw. die Anwendung ganz einzustellen.

### **Emissionen in Siedlungsräumen**

In den Siedlungs- und Verdichtungsräumen der größeren Städte mit hohem Anteil an Industrie- und Gewerbegebieten weisen die Böden oft höhere Schadstoff-

gehalte auf als in ländlichen Regionen. Vorsorgewerte der BBodSchV werden hier stärker ausgeschöpft. Weiteren Schadstoffanreicherungen sollte deshalb im Rahmen der Möglichkeiten vorsorglich entgegen gewirkt werden. Der Beitrag einzelner diffuser Quellen sowie von Altlasten und Altablagerungen zur Gesamtsituation ist in der Regel nicht quantifizierbar. Deshalb wird es notwendig sein, Schadstoffe im Hausbrand, in Verkehrs-, Industrie- und Gewerbe-Emissionen weiter zu reduzieren und die dazu entwickelten Konzepte voranzubringen (UVM, 2000).

Zu den verschiedenen Eintragungspfaden von Schadstoffen in die Böden von Siedlungsräumen besteht immer noch Forschungsbedarf. Weitere verallgemeinerbare Erkenntnisse sollen jetzt in einem länderübergreifenden Vorhaben unter der Federführung des Umweltbundesamts gewonnen werden („Vergleichende Auswertung von Stoffeinträgen in Böden über verschiedene Eintragungspfade“).

## **5.3 Bodenerosion**

Bodenerosion kann durch eine Verkürzung der erosiven Hanglänge, die Art der Bodenbewirtschaftung und bestehende Erosionsschutzmaßnahmen wie Terrassierung und Querbearbeitung verringert werden.

Am effektivsten wird die Erosionsanfälligkeit über die Art der Bodenbewirtschaftung (C-Faktor) reduziert. Im Vergleich zwischen einer Bodenbearbeitung mit konventionellen ackerbaulichen Anbauverfahren (Pflug) kann die Bodenerosion bei konservierenden Verfahren (ohne Pflug) und Direktsaat (keine Bodenbearbeitung) auf ein Drittel bzw. auf ein Zehntel verringert werden. Im Weinbau kann die Erosion bei Dauerbegrünung auf ein Zwanzigstel gesenkt werden (Tabelle 31).

In erosionsgefährdeten Gebieten sind bei ackerbaulicher Nutzung Anbauverfahren mit konservierender Bodenbearbeitung bzw. Direktsaat zu empfehlen. Im

Weinbau trägt eine Dauerbegrünung zur bodenschonenden Bewirtschaftung bei.

**Tabelle 31: C-Faktoren für verschiedene Bewirtschaftungsverfahren im Ackerbau, Fruchtfolge Silomais - Winterweizen - Sommergerste - Winterroggen (C-Faktoren nach GRYSCHKO, 2000) und Weinbau (C-Faktoren nach AUERSWALD & SCHWAB, 1999).**

Acker			
Bodenbearbeitung	Konventionell	Konservierend	Direktsaat
C-Faktor	0,105	0,028	0,009
Wein			
		offen	Dauerbegrünung
C-Faktor		0,59	0,03

Künftig soll ein stärkerer Schwerpunkt auf die Förderung der Innenentwicklung der Städte und Gemeinden gelegt werden. Hierzu bieten sich folgende Möglichkeiten an:

- Förderung der Bestandserneuerung,
- Erweiterung vorhandener Nutzungspotenziale durch Nachverdichtung,
- Effiziente Nutzung des Gebäudemanagements (z.B. Aufstockung, Ausbau von Dachgeschossen),
- Förderung flächensparender Bauweisen,
- Verstärkte Kooperation der Städte und Randgebiete (z. B. durch Ausweisung gemeinsamer Gewerbegebiete).

Das Erarbeiten von Konzepten für den sparsamen und schonenden Umgang mit der Fläche (Flächenressourcen-Management) ist ein umweltpolitischer Schwerpunkt in Baden-Württemberg. Methoden und Arbeitshilfen dazu liegen vor (LfU, 2003).

## 5.4 Flächeninanspruchnahme

Im Sinn einer nachhaltigen gesellschaftlichen Entwicklung muss die Flächeninanspruchnahme reduziert werden (*Umweltplan Baden-Württemberg, 2000*). Noch immer wird zu viel Boden für Verkehrs- und Siedlungsfläche in Anspruch genommen und dabei der Boden als Träger natürlicher Funktionen verbraucht. Der vorsorgende Bodenschutz wird bei der Abwägung raumplanerischer, politischer und wirtschaftlicher Ziele derzeit noch nicht hinreichend berücksichtigt.

Die intensivere Nutzung von Industrie- und Gewerbebranchen sowie das Schließen von Baulücken müssen Vorrang haben vor der Ausweisung neuer Flächen für Bauvorhaben im Außenbereich bzw. „auf der grünen Wiese“.



## Literatur

- Arbeitsgemeinschaft Umwelthygiene, 1994: Hygienische Bewertung von Schadstoffen im Boden – Metalle im Boden von Kinderspielplätzen. In: Dietrich Rosenkranz, Gerhard Einsele, Heinz-Michael Harreß (Hrsg.): Bodenschutz. Ergänzbare Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser. Artikel 3580, 72 S., Erich Schmidt Verlag.
- Auerswald Karl & Arnold Schwab, 1999: Erosionsgefährdung (C-Faktor) unterschiedlich bewirtschafteter Weinbauflächen. *Vitic. Enol. Sci.* 54, S. 54-60.
- Bachmann Günther, Claus Gerhard Bannick, Evelyn Giese, Frank Glante, Rainer Konietzka, Friedrich Rück, Stefan Schmidt, Konstantin Terytze & Dietrich F.W. v. Borries, 1997: Fachliche Eckpunkte zur Ableitung von Bodenwerten im Rahmen des Bundes-Bodenschutzgesetzes. In: Dietrich Rosenkranz, Einsele Gerhard, Heinz-Michael Harreß (Hrsg.): Bodenschutz. Ergänzbare Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser. Artikel 3500, 121 S., Erich Schmidt Verlag Berlin.
- Bauer Ingrid, Julius Bor, Ursula Hutzler-Gardt & Christian H. Roth, 1996: Quantifizierung der natürlichen Boden-Schwermetallgehalte und der anthropogenen Kontaminationen. Ermittlung des Gefährdungspotentials. In: Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz (Hrsg.): Bodenbelastungskataster Rheinland-Pfalz. S. 213-286.
- BAnz., 1998: Methoden und Maßstäbe für die Ableitung der Prüf- und Maßnahmenwerte nach der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV), BAnz. vom 28. August 1999, Beilage 161 a.
- BBodSchV, 1999: Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung vom 16.6.1999, BGBl. I. Teil, Nr. 36 vom 16.7.1999, S. 1554 ff.
- BgVV (Bundesinstitut für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin), 1997: Richtwerte für Schadstoffe in Lebensmitteln. Bundesgesundheitsblatt 5, S.182-184.
- Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, 1988: TRGS 901-21, TRK-Wert für Arsenitoxid und -pentoxid, arsenige Säuren Arsensäure und deren Salze (Arsenite, Arsenate), BarbBl. 9/88, S. 82.
- Deutscher Bundestag, 2000: Drucksache 14/2834, Gutachten des wissenschaftlichen Beirats Bodenschutz beim Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Wege zum vorsorgenden Bodenschutz – Fachliche Grundlagen und konzeptionelle Schritte für eine erweiterte Boden-Vorsorge. 106 S.
- DIN EN, 19738: Ausgabe 2004-7, Bodenbeschaffenheit – Resorptionsverfügbarkeit von organischen und anorganischen Schadstoffen aus kontaminierten Bodenmaterial, Beuth Verlag.
- DIN 19730: Ausgabe 06.97, Bodenbeschaffenheit – Extraktion von Spurenelementen mit Ammoniumnitratlösung, Beuth Verlag.
- DIN ISO 11466: Ausgabe 06.97, Bodenbeschaffenheit – Extraktion in Königswasser löslicher Spurenelemente, Beuth Verlag.
- Eikmann Thomas & Adolf Kloke, 1993: Nutzungs- und schutzgutbezogene Orientierungswerte. In: Dietrich Rosenkranz, Gerhard Einsele, Heinz-Michael Harreß (Hrsg.): Bodenschutz. Ergänzbare Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser, Erich Schmidt Verlag. 26 S.
- EU-Kommission, 2001: Verordnung (EG) Nr. 466/2001 der Kommission zur Festsetzung der Höchstgehalte für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften vom 16.3.2001.
- Foellmer Ansgar, 1999: Schwermetalleinträge durch den Schwarzwälder Bergbau in die südliche Oberrheinebene zwischen Möhlin und Sulzbach, Freiburger geowissenschaftliche Beiträge Band 13, 171 S., Selbstverlag des Geologischen Instituts der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg im Breisgau, ISSN 0936-6571.
- Fritsche Reinhard & Jörg Schmitz, 1996: Bestandsaufnahme von Rückstandshalden aus Bergbau und Erzaufbereitung in Baden-Württemberg. Forschungszentrum Karlsruhe, Technik und Umwelt, 3 Bände FZKA 5768B, 5769B, 5770B.
- Fritsche Reinhard & Jörg Schmitz, 1995: Schwermetallgehalte in Böden und Pflanzen alter Bergbaustandorte im Südschwarzwald. Hrsg.: Umweltministerium Baden-Württemberg Reihe Luft, Boden,

Abfall Heft 32.

- FutMV, 2000: Neufassung der Futtermittelverordnung, Bundesgesetzblatt, Nr. 51 Teil I, S.1605-31.
- Goldenberg Gert, 1993: Frühe Umweltbelastungen durch Bergbau und Hüttenwesen. In: Heiko Steuer & Ulrich Zimmermann, Alter Bergbau in Deutschland, S. 107-113, Theiss Verlag Stuttgart.
- Goldenberg Gert, 1996: Archäometallurgische Untersuchungen zur Entwicklung des Metallhüttenwesens im Schwarzwald. Blei-, Silber- und Kupfergewinnung von der Frühgeschichte bis zum 19. Jahrhundert. In: Gert Goldenberg, Jürgen Otto & Heiko Steuer (Hrsg.): Archäologie und Geschichte Bd. 8, Jan Thorbecke Verlag. Sigmaringen.
- Gryschko Rainer & Dieter Horlacher, 1997: Bodenversauerung – Ursachen, Auswirkungen, Maßnahmen. Literaturstudie. Hrsg.: Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Texte und Berichte zum Bodenschutz Bd. 3b, 167 S. ISSN 0946-0675 (<http://www.xfaweb.baden-wuerttemberg.de/bofaweb/>).
- Gryschko Rainer, 2000: Fernerkundung von sensiblen Niederschlagsflächen auf Grundlage der ABAG, 28 S., im Auftrag des Landesamts für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz (<http://www.irma-lfwrp.de/pages/fachbeitraege.htm>).
- Gryschko Rainer, Rainer Kuhnle & Konstantin Tertytze, 2000: Methodevaluierung zur Extraktion von Spurenelementen mit 1 molarer  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ -Lösung nach DIN 19730. Grauer Verlag Stuttgart, 59 S.
- Hädrich Friedhelm & Karl Stahr, 2001: Die Böden des Breisgaus und angrenzender Gebiete. Berichte der Naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau, Bd. 91, 141 S. Aedificatio Verlag Freiburg, ISSN 0028-0917.
- Hinderer Matthias & Gerhard Einsele, 1998: Grundwasserversauerung in Baden-Württemberg. Hrsg.: Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Handbuch Wasser 3, ISSN 0949-0264.
- Hinterding, A., Müller, A., Gerlach, N., und F. Gabel (2003): Geostatistische und statistische Methoden und Auswerteverfahren für Geodaten mit Punkt- bzw. Flächenbezug. Institut für Geoinformatik der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster im Auftrag der Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO).
- Hofmann Uwe, 1999: Kupferproblematik und Peronosporabekämpfung im ökologischen Weinbau. In: Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft (Hrsg.): Pflanzenschutz im ökologischen Landbau – Probleme und Lösungsansätze. Berichte aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Heft 53., S. 18-24.
- LABO (Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz), 1998: Eckpunkte zur Gefahrenbeurteilung des Wirkungspfad Bodenverunreinigungen / Altlasten \_ Pflanze, In: Dietrich Rosenkranz, Gerhard Einsele, Heinz-Michael Harreß (Hrsg.): Bodenschutz. Ergänzbare Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser. Artikel 9009, 34 S., Erich Schmidt Verlag Berlin.
- LABO (Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz), 2002: Vollzugshilfe zu § 12 BBodSchV, Vollzugshilfe zu den Anforderungen an das Aufbringen und Einbringen von Materialien auf oder in den Boden.
- LfU (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg), 1997: Erhebung von Bergbaualtlasten in Baden-Württemberg. In: Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (Hrsg.): Statusbericht Altlasten – 10 Jahre Altlastenbearbeitung in Baden-Württemberg, Materialien zur Altlastenbearbeitung Bd. 27 (<http://www.xfaweb.baden-wuerttemberg.de/bofaweb/>).
- LfU (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg), 1992: Gütezustand der Gewässer in Baden-Württemberg, Zustandsuntersuchungen auf biologisch-ökologischer Grundlage. Wasserwirtschaftsverwaltung Heft 27, 64 S.
- LfU (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg), 2000: Bodenzustandsbericht Großraum Freiburg – interner Bericht zur Datenrecherche.
- LfU (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg), 2001: Grundwasserüberwachungsprogramm, Ergebnisse der Beprobung 2000. In: Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (Hrsg.): Grundwasserschutz 16, 103 S., ISSN 1437-0131.
- LfU, (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg), 2003: Werkstattbericht Flächenressourcenmanagement Teil 1-3. Hrsg.: Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Bodenschutz 8/1 - 8/3 ([www.xfaweb.baden-wuerttemberg.de/bofaweb/](http://www.xfaweb.baden-wuerttemberg.de/bofaweb/)).
- LGRB, 1998: CD-ROM Geowissenschaftliche Übersichtskarten von Baden-Württemberg 1:350000 – Geologische Einheiten.
- Manz M., Puchelt H. & R. Fritsche, 1995: Schwerme-



- tallgehalte in Böden und Pflanzen alter Bergbaustandorte im Südschwarzwald. Hrsg.: Umweltministerium Baden-Württemberg Reihe Luft, Boden Abfall Heft 32.
- Maus Hansjosef, 1996: Erz- und Mineralgänge. In: Geologische Karte von Baden-Württemberg 1:50000, Erläuterungen zum Blatt Freiburg i. Br. und Umgebung, S. 62-65. Hrsg.: LGRB Baden-Württemberg.
- Ministerium für Arbeit, Gesundheit und Soziales Nordrhein Westfalen, 1991: Metalle auf Kinderspielflächen. In: Dietrich Rosenkranz, Gerhard Einsele, Heinz-Michael Harreß (Hrsg.): Bodenschutz. Ergänzbare Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser, Artikel 8710 S. 1-26, Erich Schmidt Verlag Berlin.
- Regierungspräsidium Freiburg, 1996: Vermerk über Kalkungsversuche in Bollschweil und Münstertal, unveröffentlichter Kurzbericht.
- Regierungspräsidium Karlsruhe, 1999: Bodenversauerung und Aluminiummobilität in Böden des badischen Landesteils von Baden-Württemberg, unveröffentlichter Bericht.
- Schmidt Ulrich, 2002: Festlegung von Schwermetallen in Böden – Feldversuche 2001, Zweiter unveröffentlichter Zwischenbericht im Auftrag des Regierungspräsidiums Freiburg, 15 S.
- Scholl W. & R. Enkelmann, 1984: Zum Kupfergehalt von Weinbergsböden. Landwirtschaftliche Forschung 37, S. 286-297.
- Schreiner Albert, 1996: Landschaftliche Gliederung. In: LGRB Baden-Württemberg (Hrsg.): Geologische Karte von Baden-Württemberg 1 : 50 000, Erläuterungen zum Blatt Freiburg i. Br. und Umgebung, S. 3-4.
- Stadt Freiburg i. Br., 1999a: Rieselfeld – Natur aus zweiter Hand. In: Stadt Nachrichten Mai 1999.
- Stadt Freiburg i. Br., 1999b: Drucksache UA 00005, Untersuchung von Kinderspielplätzen auf altlastverdächtigen Flächen.
- Stadt Freiburg i. Br, Informationsbroschüre: Schwermetallbelastung in Freiburg – Blei, 16 S.
- Stadt Freiburg, Landkreise Emmendingen und Breisgau-Hochschwarzwald (Hrsg.): Informationsbroschüre Naturverträgliche Regenwasserbewirtschaftung, 52 S.
- UVM (Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg), 1995a: Bodenzustandsbericht Karlsruhe. Schadstoffgehalte der Böden, 68 S. ([www.xfaweb.baden-wuerttemberg.de/bofaweb/](http://www.xfaweb.baden-wuerttemberg.de/bofaweb/)).
- UVM (Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg), 1995b: Bodenzustandsbericht Kehl. Schadstoffgehalte der Böden, 60 S. (<http://www.xfaweb.baden-wuerttemberg.de/bofaweb/>).
- UVM (Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg), 1995c: Bodenzustandsbericht Pforzheim. Schadstoffgehalte der Böden, 62 S. (<http://www.xfaweb.baden-wuerttemberg.de/bofaweb/>).
- UVM (Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg), 1998: Bodenzustandsbericht Großraum Mannheim / Heidelberg. Schadstoffgehalte der Böden, 108 S. (<http://www.xfaweb.baden-wuerttemberg.de/bofaweb/>).
- UVM (Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg), 1999: Bodenzustandsbericht Großraum Stuttgart. Schadstoffgehalte der Böden, 107 S. (<http://www.xfaweb.baden-wuerttemberg.de/bofaweb/>).
- UVM (Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg), 2000: Umweltplan Baden-Württemberg, 245 S.
- Unger Hans Jürgen & Dieter Prinz, 1992: Verkehrsbedingte Immissionen in Baden-Württemberg – Schwermetalle und organische Fremdstoffe in straßennahen Böden und Aufwuchs. In: Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg (Hrsg.): Reihe Luft Boden Abfall Heft 19, 191 S.
- Utermann Jens, Olaf Düwel, Heinz-Eike Göbler & Roland Hindel, 2000: Beziehung zwischen Totalgehalten und königswasserextrahierbaren Gehalten von Schwermetallen in Böden. In: Dietrich Rosenkranz, Gerhard Einsele, Heinz-Michael Harreß (Hrsg.): Bodenschutz. Ergänzbare Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser, Beitrag 1600, S.1-36, Erich Schmidt Verlag, Berlin.
- VwV Anorganische Schadstoffe, 1993: Dritte Verwaltungsvorschrift des Umweltministeriums zum Bodenschutzgesetz über die Ermittlung und Einstufung von Gehalten anorganischer Schadstoffe im Boden, GABI. vom 29. September 1993 (<http://www.xfaweb.baden-wuerttemberg.de/bofaweb/>).
- VwV Organische Schadstoffe, 1996: Vierte Verwaltungsvorschrift des Umweltministeriums zum Bodenschutzgesetz über die Ermittlung und Einstufung von Gehalten organischer Schadstoffe im Boden, GABI. vom 10. Dezember 1995 (<http://www.xfaweb.baden-wuerttemberg.de/bofaweb/>).

Wirtschaftministerium Baden-Württemberg, 2002:  
Landesentwicklungsplan Baden-Württemberg.



**Veröffentlichungen der Reihe  
Bodenschutz  
ISSN 0949-0256**

<b>Titel</b>	<b>Band</b>	<b>Jahr der Herausgabe</b>	<b>Preis (falls lieferbar)</b>
<b>Bodendauerbeobachtung in Baden-Württemberg</b> Untersuchungen ausgewählter organischer Schadstoffe und mikrobiologische Charakterisierung der Standorte	1	1999	nur noch online verfügbar
<b>Ermittlung atmosphärischer Stoffeinträge in den Boden</b> Nutzung neuer Sammel- und Nachweisverfahren – Verbundvorhaben Ergebnisse 1998	2	1999	12 €
<b>Bodenaushub ist mehr als Abfall</b>	3	1999	12 €
<b>Erhebungsuntersuchungen zur Qualität von Geländeauffüllungen</b> Bewertung von Auftragsböden nach ihrer Leistungsfähigkeit	4	2000	11 €
<b>Geologische Naturdenkmale im Regierungsbezirk Karlsruhe</b> Eine Zusammenstellung geschützter und schutzwürdiger geologischer Objekte (Nachdruck der Originalversion von 1984)	5	2000	15 €
<b>Arbeitshilfe zur Bearbeitung von Verdachtsflächen/altlastverdächtigen Flächen und schädlichen Bodenveränderungen/Altlasten nach BBodSchG</b>	6	2001	9 €
<b>Erhebung von Entsiegelungspotential in Kommunen</b> Studie und Verfahrensanleitung am Beispiel der Stadt Ettlingen	7	2000	nur online verfügbar
<b>Kommunales Flächenmanagement</b> Arbeitshilfe Vollständig überarbeitete Neuauflage des Berichts „Flächenressourcen-Management, Werkstattbericht“	8	2003	nur online verfügbar
<b>Maßnahmen zum Bodenschutz</b> Umgang mit schädlichen Bodenveränderungen – Sanierungsverfahren -	9	2001	nur noch online verfügbar
<b>Dioxinfall Crailsheim-Maulach</b>	10	2001	kostenfrei
<b>Moore in Baden-Württemberg</b> Eigenschaften, Inventur und Funktionen	11	2002	nur online verfügbar
<b>Geotope im Regierungsbezirk Stuttgart</b>	12	2002	18 €
<b>Kommunales Flächenmanagement Strategie und Umsetzung</b>	13	2003	kostenfrei

<b>Titel</b>	<b>Band</b>	<b>Jahr der Herausgabe</b>	<b>Preis (falls lieferbar)</b>
<b>Schadstoffe in klärschlammgedüngten Ackerböden Baden-Württembergs</b>	14	2003	kostenfrei
<b>Kurzbericht zur Studie: Schadstoffe in klärschlammgedüngten Ackerböden Baden-Württembergs</b>	15	2003	kostenfrei
<b>Kurzbericht zur Studie: Schadstoffe in Klärschlammgedüngten Ackerböden Engl.Version</b>	16	2003	kostenfrei

