



Ministerium für Ländliche Entwicklung,
Umwelt und Verbraucherschutz



Fachbeiträge des Landesumweltamtes

Heft Nr. 103

**Kennzeichnung von Gebieten
mit großflächig siedlungsbedingt
erhöhten Schadstoffgehalten
– Stadt Brandenburg / Havel**



LANDESUMWELTAMT
BRANDENBURG

**Kennzeichnung von Gebieten
mit großflächig siedlungsbedingt
erhöhten Schadstoffgehalten
- Stadt Brandenburg / Havel**

Danksagung

Das Projekt wurde vom Landesumweltamt Brandenburg beauftragt und von Herrn Dr. Wolfgang Dinkelberg und Prof. Rüdiger Schultz-Sternberg fachlich begleitet.

Die Datenerhebung wurde freundlicherweise von Mitarbeitern der Stadt Brandenburg, Frau Anne Baldauf (Untere Bodenschutzbehörde) und Herrn Bernd Gabrysiak (Untere Wasserbehörde) sowie des Landesumweltamtes Brandenburg, Herrn Jörg Lieske (Immissions- und Klimaschutz) und Dr. Frank Hönicke (Koordinator GIS) und des Landesamtes für Bergbau und Geologie Brandenburg unterstützt.

Fachbeiträge des Landesumweltamtes, Titelreihe, Heft - Nr. 103**Kennzeichnung von Gebieten mit großflächig siedlungsbedingt erhöhten Schadstoffgehalten – Stadt Brandenburg/ Havel****Herausgeber:**

Landesumweltamt Brandenburg (LUA)
Berliner Str. 21-25
14467 Potsdam
Tel.: 0331-23 23 259
Fax: 0331-29 21 08
E-Mail: infoline@lua.brandenburg.de
www.mluv.brandenburg.de/info/lua

Verfasser:

Dr. Dipl. Agr.-Biol. Ulrike Meyer, UMWELTKONZEPT DR. MEYER, Fritschestraße 26, 10585 Berlin
Tel.: (030) 34 70 22 99 Fax: (030) 341 33 89
E-mail: umeyer@umweltkonzept-dr-meyer.de

Dipl. Geogr. Hans-Martin Krausmann, greenlab geoinformatics GmbH, Regattastraße 55, 12527 Berlin
Tel.: (030) 679 001 0 Fax: (030) 679 001 20
E-mail: mk@greenlab.de

Fachliche Begleitung und Bearbeitung der Texte:

LUA, Abt. Technischer Umweltschutz, Referat Bodenschutz, Prof. Dr. Schultz-Sternberg
Tel.: 0331-2776 454
E-Mail: Ruediger.Schultz-Sternbeg@lua.brandenburg.de

Endredaktion für Printkopie im LUA:

LUA, Referat Umweltinformation, Öffentlichkeitsarbeit, Dr. Barbara Herrmann

Potsdam, im Juni 2006

Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit des Ministeriums für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlwerbern zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Gleichfalls untersagt ist die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung. Nachdruck, auch auszugsweise, ist nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers gestattet.

Inhalt

1	Einleitung	4
2	Raumanalyse und Entwicklung der Konzeptkarte	5
3	Flächenbeprobung	11
3.1	Probennahmeplanung	11
3.2	Probennahme und Profilansprache	13
3.3	Analysen	13
4	Ergebnisse	13
4.1	Ergebnisse der Probennahme und Bodenprofilansprache	13
4.2	Ergebnisse der deskriptiven Auswertung	27
5	Geostatistische Analyse und Kennzeichnung der Gebiete	29
5.1	Ziele der geostatistischen Auswertung	29
5.2	Datenaufbereitung zur geostatistischen Auswertung	29
5.3	Der Kriging-Prozess	30
5.4	Erstellung der Interpolationskarten	33
5.5	Gebietskennzeichnung für überschrittene Vorsorgewerte	34
5.6	Schema zur Kennzeichnung von überschrittenen Vorsorgewerten	34
5.7	Durchführung des Kriging mit standardisierten Werten	35
5.8	Interpretation der Karten	35
6	Fazit	38
	Literatur	39
	Glossar	39
	Abkürzungen	40

1 Einleitung

Es gibt vielfältige Ursachen dafür, dass großflächige Gebiete erhöhte Schadstoffgehalte aufweisen, die über den natürlichen und ubiquitären Hintergrundgehalten der Region liegen. Beispiele dafür sind Überschwemmungsgebiete, Industrieregionen, Trümmerschuttanreicherungen in Großstädten und ähnliche Gebiete.

Großflächig siedlungsbedingt sind Schadstoffgehalte dann, wenn kein dominierender Einfluss einer Einzelquelle oder Belastungsursache vorhanden ist, also eine diffuse Schadstoffbelastung vorliegt. Großflächig siedlungsbedingt erhöhte Schadstoffgehalte überschreiten Vorsorgewerte, erreichen aber nicht das Niveau von Prüfwerten.

Definitionen der Adjektive „ Großflächig“ , „ siedlungsbedingt“ und „ erhöht“

- **Großflächig:** Gebiete ab einer Größe von 1 km², wobei die Fläche nicht räumlich zusammenhängend sein muss.
- **Siedlungsbedingt:** Schadstoffgehalte in Böden, die durch die Tätigkeit des Menschen verursacht wurden: Hausbrand, Gartennutzung, Siedlungsabfälle, Siedlungsabwässer, Industrie, Gewerbe und Verkehr.
- **Großflächig siedlungsbedingt** sind Schadstoffgehalte nur dann, wenn kein dominierender Einfluss einer Einzelquelle oder einer einzelnen Belastungsursache vorhanden ist, mithin eine diffuse Schadstoffbelastung vorliegt.
- **Erhöht:** wenn der Median-Wert eines Schadstoffes der gesamten flächenrepräsentativen Daten größer ist als der Vorsorgewert.

Wenn Schadstoffgehalte im Boden die Vorsorgewerte überschreiten, entsteht in der Regel die Besorgnis, dass dort zukünftig schädliche Bodenveränderungen auftreten können (§ 9 Abs.1 BBodSchV). Um es der zuständigen Behörde zu ermöglichen, angemessen auf die besondere Belastung solcher Gebiete im Rahmen der Bestimmungen des Bundes-Bodenschutzgesetzes (BBodSchG) und der Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) zu reagieren, wird sie ermächtigt, Gebiete mit siedlungsbedingt erhöhten Schadstoffgehalten festzulegen, in denen Ausnahmeregelungen von Bestimmungen des Bodenschutzrechts gelten (Tab. 1).

Tab. 1: Ausnahmeregelungen des BBodSchG und der BBodSchV für Gebiete mit großflächig, siedlungsbedingt erhöhten Schadstoffgehalten

<p>§ 4 (8) BBodSchV Bewertung:</p> <p>Bei Böden mit großflächig siedlungsbedingt erhöhten Schadstoffgehalten kann ein Vergleich dieser Gehalte mit den im Einzelfall ermittelten Schadstoffgehalten in die Gefahrenbeurteilung einbezogen werden.</p>
<p>§ 9 (3) BBodSchV: Besorgnis schädlicher Bodenveränderungen:</p> <p>Bei Böden mit großflächig siedlungsbedingt erhöhten Schadstoffgehalten besteht die Besorgnis des Entstehens schädlicher Bodenveränderungen bei einer Überschreitung der Vorsorgewerte ... nur, wenn eine erhebliche Freisetzung von Schadstoffen oder zusätzliche Einträge durch die nach § 7 (1) des BBodSchG Verpflichteten nachteilige Auswirkungen auf die Bodenfunktionen erwarten lassen.</p>
<p>§ 12 (10) BBodSchV: Aufbringen von Bodenmaterial:</p> <p>In Gebieten mit großflächig, siedlungsbedingt erhöhten Schadstoffgehalten in Böden ist eine Verlagerung von Bodenmaterial innerhalb des Gebietes zulässig, wenn die Bodenfunktionen nicht zusätzlich beeinträchtigt werden und insbesondere die Schadstoffsituation am Ort des Aufbringens nicht nachteilig verändert wird.</p>
<p>§ 21 (3) BBodSchG: Landesrechtliche Regelungen:</p> <p>Die Länder können darüber hinaus in Gebieten, in denen flächenhaft schädliche Bodenveränderungen auftreten oder zu erwarten sind, die dort zu ergreifenden Maßnahmen bestimmen</p>

In der Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung wird jedoch nicht geregelt, wie die zuständige Behörde betroffene Gebiete abgrenzen soll. Vom Umweltbundesamt wurde auf der Basis eines von der UMEG erstellten Berichts eine "Anleitung zur Kennzeichnung von Gebieten mit großflächig siedlungsbedingt erhöhten Schadstoffgehalten in Böden" (kurz: GSE-Anleitung, Umweltbundesamt 2002) vorgeschlagen. Diese wurde mit der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) abgestimmt, um ein bundeseinheitliches Vorgehen zu erreichen.

Ziel des von uns bearbeiteten Projektes war es, die GSE-Anleitung zur Kennzeichnung von Gebieten mit großflächig siedlungsbedingt erhöhten Schadstoffgehalten in einem Pilotgebiet zu testen und die Anwendbarkeit zu validieren.

Als Pilotgebiet wurde die Stadt Brandenburg an der Havel gewählt, weil sie aufgrund folgender Bedingungen besonders geeignet erschien:

- im Siedlungsgebiet waren altindustrielle Nutzungen mit punktuellen und diffusen Schadstoffeinträgen sowie weitere nutzungsbedingte Einwirkungen nachweisbar.
- Erhöhte Schadstoffgehalte in Böden (Vorsorgewertüberschreitungen) waren daher zu erwarten und teilweise auch bekannt.
- systematische Boden- und Flächendaten von Teilgebieten der Stadt lagen bereits vor.

Die Vorgehensweise zur Kennzeichnung der Gebiete wurde in vier aufeinanderfolgende Arbeitsschritte unterteilt:

- Schritt 1: Raumanalyse und Entwicklung der Konzeptkarte
- Schritt 2: Probennahmeplanung
- Schritt 3: Probennahme und Analyse der Proben
- Schritt 4: Geostatistische Analyse und Kennzeichnung der Gebiete

Die technische Realisierung der Arbeitsschritte (1), (2), und (4) erfolgte mit dem Geographischen Informationssystem ArcView 8.3 und ArcGIS Geostatistical Analyst (ESRI 2001).

2 Raumanalyse und Entwicklung der Konzeptkarte

Grundgedanke bei der Kennzeichnung von Gebieten mit siedlungsbedingt erhöhten Hintergrundgehalten ist, dass der Untersuchungsraum repräsentativ statt rasterförmig oder zufallsverteilt beprobt werden soll.

Bodennutzungstypen (wie Kleingarten oder Gewerbegebiet) und Substrattypen (wie Löss oder Bauschutt) stellen wesentliche Merkmale eines Gebietes dar, die den Schadstoffgehalt im Boden beeinflussen können. Durch eine gezielte Verteilung und eine entsprechend des Flächenanteils der gebietsinternen Merkmale quotierte Auswahl der Probennahmestandorte lässt sich eine repräsentative Probennahme realisieren. So ergeben sich Probenanzahlen, die z.B. in flächenmäßig dominierenden Wohngebieten deutlich größer sind als in den im Siedlungsgebiet spärlich vorkommenden Ackerflächen.

Zur Planung solch einer gezielten Probennahme ist eine Raumanalyse erforderlich, in der relevante Flächendaten zu definierten Raumeinheiten verschnitten werden. Gebietsinterne Merkmale, die zur Analyse herangezogen werden, sind Bodennutzungen, Substrate, Materialauftragsflächen, geogene Strukturen sowie Siedlungs- und Naturraumstrukturen.

Am Beginn der Raumanalyse steht eine Recherche der vorhandenen Flächendaten (wie Bodennutzung, Verwaltungsstrukturen, Altlastenverdachtsflächen) und Punktdaten (wie Schadstoffgehalte, Bodenparameter), die für das weitere Vorgehen im Stadtgebiet nutzbar sind. Als Untersuchungsfläche der Raumanalyse wurden die Ortslagen innerhalb des Stadtgebietes von Brandenburg an der Havel gewählt. Auf dieser Grundlage wurde darauf hin eine Konzeptkarte entwickelt, in der relevante Raumeinheitstypen (RET) einschließlich der Ausschlussflächen ausgewiesen und gekennzeichnet sind.

Tab. 2: Gebietsinterne Merkmale, verwendet zur Bildung von Ausschlussflächen

Quelle der Daten	Merkmale und Verwendung
Altlastenkataster ISAL; Stadt BB	Altlasten- und Altlastenverdachtsflächen
Brachflächenkataster der Stadt Brandenburg	Stillgelegte Industrie- und Gewerbeflächen, die Altlastenverdachtsflächen sind
Aktuelle Nutzungskarte (ATKIS -Daten)	Bestimmte Objektarten, z. B. Brücken, Flugplatz, Gräben, Deponien lt. TABELLE 3; definierte Abstandsflächen zu Straßen und Eisenbahnen

Raumeinheiten (RE) im Sinne der Kennzeichnung von Gebieten mit siedlungsbedingt erhöhten Hintergrundgehalten sind nach der GSE-Anleitung (Umweltbundesamt 2002) Flächen, deren Schadstoffgehalte sich mit vertretbarem Aufwand nicht weiter differenzieren lassen oder bei denen eine weitere Differenzierung im Hinblick auf das Ziel der Kennzeichnung keine qualitative Veränderung bedeuten würde. Raumeinheiten können durch vorhandene Flächendaten oder durch geostatistische Analysen gebildet werden.

Der Begriff der Raumeinheit steht in dieser Untersuchung synonym für den Begriff des Polygons im Geographischen Informationssystem. Raumeinheiten eines Gebietes sind nach der GSE-Anleitung (Umweltbundesamt 2002) so zu gliedern, dass die erwartete Schadstoffverteilung durch den Datenbestand angemessen erfasst wird und flächenhaft dargestellt werden kann. Eine eindeutige Erfassung der Bodennutzung muss durch die Raumeinheiten gewährleistet sein.

Weitere relevante Merkmale wie geogene Besonderheiten oder Überschwemmung können zusätzlich zugeordnet sein.

Ausschlussflächen (AF) sind Flächen mit einem dominierenden Einfluss einer Einzelquelle oder einer einzelnen Belastungsursache innerhalb eines Gebietes mit siedlungsbedingt erhöhten Gehalten (Umweltbundesamt 2002) und daher bei der Untersuchung siedlungsbedingt erhöhter Hintergrundgehalte auszuschließen.

Flächen, die punktuelle Kontaminationen aufwiesen oder erwarten ließen (Altlastenstandorte, Straßenränder u.a., siehe Tab. 2 und 3), wurden als Ausschlussflächen ausgegrenzt und nicht beprobt.

Tab. 3: Liste der ATKIS-Ausschlussobjekte

ATKIS Objekte, auf deren Flächen keine Proben genommen und keine Analysen durchgeführt werden, da sie Raumeinheiten mit eventuell erhöhten Schadstoffgehalten aus identifizierbaren Quellen darstellen.		
Absetzbecken	Hafenbecken	Sonderkultur
Bahnhofsanlage	Halde	Strom
Bergbaubetrieb	Heizwerk	Tagebau
Binnensee	Insel	Truppenübungsplatz
Brücke	Kanal (Schifffahrt)	Umspannstation
Deponie	Kläranlage	Wasserwerk
Ehem. milit. Sperrgebiet	Platz	
Flugplatz	Schleuse	
Graben	Schleusenkammer	

Gemäß GSE-Anleitung gehören Linienquellen wie Straßen und Schienenbahnen aufgrund eventuell erhöhter Schadstoffgehalte zu Raumeinheiten, die ebenfalls ausgeschlossen werden sollten. Je nach Verkehrsweg wird ein Einwirkungsbereich von 3 bis 10 m vom Fahrbahnrand angenommen. Zuzüglich eines Sicherheitsabstandes von 3 m wurden mittels beidseitiger Pufferung Flächen markiert und als Ausschlussflächen definiert:

Straße (3101); innerhalb der Ortslage	6 m
Straßenkörper (3105)	12 m
Straße (3101); außerhalb der Ortslage	13 m
Schienenbahn (3201)	10 m
Bahnstrecke (3205)	10 m

Wichtig für die Bildung von Raumeinheiten und Ausschlussflächen ist eine ausreichende Grundlage an relevanten Geodaten, sowohl Flächen- als auch Punktdaten.

Für die Bildung der Raumeinheiten wurden die Bodennutzungen, die Bodentypen und aufgrund der vielen Gewässer, die die Stadt prägen, auch die Überschwemmungsflächen als gebietsrelevante Merkmale herangezogen (Tab. 4).

Tab. 4: Zur Bildung von Raumeinheiten verwendete gebietsinterne Merkmale

Quelle der Daten	Merkmale und Verwendung
Aktuelle Nutzungskarte; ATKIS – Daten	Objektarten der Bodennutzung
Bodenübersichtskarte; BÜK 300	Legendeneinheiten der Bodentypen
Karte der amtlich ausgewiesenen Überschwemmungsflächen	Rezente und aktuelle Überschwemmungsflächen

Die unterschiedlichen Bodennutzungen sind in den Daten des Amtlichen Topographisch-Kartographischen Informationssystems (ATKIS) (Tab. 6) verzeichnet. Sie wurden vor Verwendung in der Raumanalyse anhand von Luftbildern auf ihre Aktualität hin überprüft.

Hinsichtlich des Bodensubstrates dominieren in der Stadt Brandenburg Sandböden.

Aber auch Böden aus organogenen Sedimenten sowie aus anthropogen abgelagerten Sedimenten kommen häufig vor.

Zur Verwendung in der Raumanalyse wurden daher die insgesamt 99 Legendeneinheiten der Bodentypen der Bodenübersichtskarte BÜK 300 in diese 3 Klassen gruppiert (Tab. 5).

Tab. 5: Klassenbildung von Böden nach Legendeneinheiten

Klasse	Legendeneinheiten	Böden in der Klasse
1	1 – 71	Böden aus Sand, z.T. mit Torf, und aus Lehmsand
2	72 – 83	Böden aus organogenen Sedimenten
3	84 – 99	Böden aus anthropogen umgelagerten Sedimenten

Die Kombination der Merkmale

- Bodennutzung
- Bodentyp
- Überschwemmungsgebiet

ergab nach Verschneidung 44 unterschiedliche Raumeinheitentypen (Tab. 7), die in der Konzeptkarte farbig markiert wurden. Die Ausschlussflächen heben sich als weiße Polygone ab (Abb. 1).

Tab. 6: ATKIS Zuordnung

GE-Objekt	ATKIS-Objekt
1111 Kinderspielflächen	2342 Spielfeld, Spielfläche
1112 Park- und Freizeitanlagen	2202 Freizeitanlage ; 2211 Freilichttheater; 2212 Freilichtmuseum; 2213 Friedhof; 2224 Schwimmbad, Freibad; 2227 Grünanlage; 2201 Sportanlage; 2221 Stadion; 2222 Sportplatz; 2225; Zoo; 2226 Freizeitpark, Wildgehege; 2228 Campingplatz; 2230; Golfplatz; 2303 Freifläche
1121 Reine Wohngebiete	2111 Wohnbaufläche
1122 Wohnmischgebiete	2113 Fläche gemischter Nutzung; 2114 Fläche bes. funkt. Präg.
1132 Kleingärten	4103 Gartenland, FKT 2710 nicht gewerblicher Gartenbau
1140 Industrie- und Gewerbeflächen	2112 Industrie- und Gewerbefläche; 2123 Raffinerie; 2124; Werft; 2125 Lager, Depot; 2126 Kraftwerk; 2127 Umspannstation; 2128 Förderanlage; 2129 Kläranlage, Klärwerk; 2130 Fabrikanlage, Werksanlage; 2131 Ausstell-, Messegelände; 2133 Heizwerk; 2134 Wasserwerk; 3302 Flugplatz, Landeplatz; 3401 Hafen; 3501 Bahnhofsanlage
1210 Ackerbauflächen	4101 Ackerland
1212 Erwerbsgemüsebau	2132 Gärtnerei
1220 Grünlandflächen	4102 Grünland, FKT Landwirtschaftsfläche
1230 Sonderkulturfläche	4109 Sonderkultur
1231 Weinbau	4109, KLT 3000 Weingarten
1232 Obstbau	4109, KLT 4000 Obstbaumplantagen
1233 Hopfenbau	4109, KLT 2000 Hopfen
1235 Gartenbauflächen	2132 Gärtnerei; 4109 Sonderkultur KLT 1000 Baumschule; 4103 Gartenland FKT 2720 gewerblich
1300 Forstfläche	4107 Wald, Forst, VEG 1000 Laubholz, VEG 2000 Nadelholz, VEG 3000 Laub- und Nadelholz
1340 Kahlschlagsflächen	ZUS 2400 Blöße
1400 sonstige Freiflächen	4104 Heide; 5201 Sandbank
1410 Ödland, Gehölz, Brache	4108 Gehölz; 4110 Brachland; 4120 Vegetationslose Fläche
1420 Moor, Sumpf, Ried	4105 Moor, Moos; 4106 Sumpf, Ried; 4111 Nasser Boden
1430 Damm, Wall, Deich, Böschung	5321 Uferbefestigung; 6201 Damm, Wall, Deich; 6203 Damm-, Wall-, Deichkrone.; 6204 Böschung, Kliff
1431 Knick (Wallhecke)	4203 Hecke, Knick (Wallhecke)
1440 Düne, Moräne	6212 Hochgebirgsmoräne; 6215 Düne
1500 bebaute und versiegelte Flächen	2229 Autokino, Freilichtkino; 2313 Vorratsbehälter, Speicher; 2315 Gebäude; 2316 Turm; 2323 Dock; 2341 Bauwerk in Freizeitanlage; 2343 Zuschauertribüne; 2344 Rennbahn, Laufbahn; 2345 Schwimmbecken; 2351 Mauer; 3101 Straße; 3102 Weg; 3103 Platz; 3105 Straßenkörper; 3106 Fahrbahn; 3201 Schienenbahn; 3203 Schienenbahn (komplex); 3204 Bahnkörper; 3205 Bahnstrecke; 3301 Flughafen; 3303 Rollbahn; 3304 Vorfeld
1600 Gewässerflächen	3402 Hafenbecken; 5100 Wasserflächen; 5101 Strom, Fluss, Bach; 5102 Kanal (Schiffahrt); 5103 Graben, Kanal; 5104 Priel; 5105 Quelle; 5106 Wasserlauf; 5111 Meer; 5112 Binnensee, Stausee, Teich; 5121 Watt; 5200 Besondere Objekte in Gewässern; 5202 Stromschnelle; 5203 Wasserfall
2100 Baulich geprägte Flächen	2102 Ortslage
2130 Industrie- und Gewerbegebiete	2112 Industrie- und Gewerbefläche
2141 Truppenübungsgebiet	7403 Truppenübungsplatz
2700 Schutzgebiete	7311 Wasser- oder Heilquellenschutzgebiet; 7303 Geschützter Landschaftsbestandteil
2730 Landschaftsschutzgebiet	7304 Landschaftsschutzgebiet
2740 Naturschutzgebiet	7302 Naturschutzgebiet
2820 Landschaft	7201 Landschaft
2830 Gewinn	7203 Gewinn
4100 genehmigungsb. Anl.	2123 Raffinerie
4200 nicht genehmigungsb. Anl.	2317 Schornstein, Schlot; 2321 Hochfackel; 2322 Hochofen; 2135 Abfallbehandlungsanlage
4300 Bergbauanlage	2121 Bergbaubetrieb
4310 Stollenmundloch	2320 Stollenmundloch, Keller-, Höhleneingang, Schachtöffnung
4400 Kläranlagen	2129 Kläranlage, Klärwerk
4500 Schießplätze	2223 Schießstand
5110 Straßenrandstreifen Innenbereich	3101 Straße; 3102 Weg
5200 Bahnlinienumfeld	3201 Schienenbahn; 3204 Bahnkörper
7200 rezente Überschwemmungsber.	7404 Überschwemmungsgebiet
8100 Altablag., Deponien und Halden	2121 Bergbaubetrieb ; 2301 Tagebau, Grube, Steinbruch; 2302 Halde, Aufschüttung; 2314 Absetzbecken, Schlammteich, Erdfaulbecken
8120 Deponie in Betrieb	2122 Deponie
8300 Rieselfelder	2304 Rieselfeld

Tab. 7: Raumeinheitentypen (RET) inner- und außerhalb von Überschwemmungsgebieten

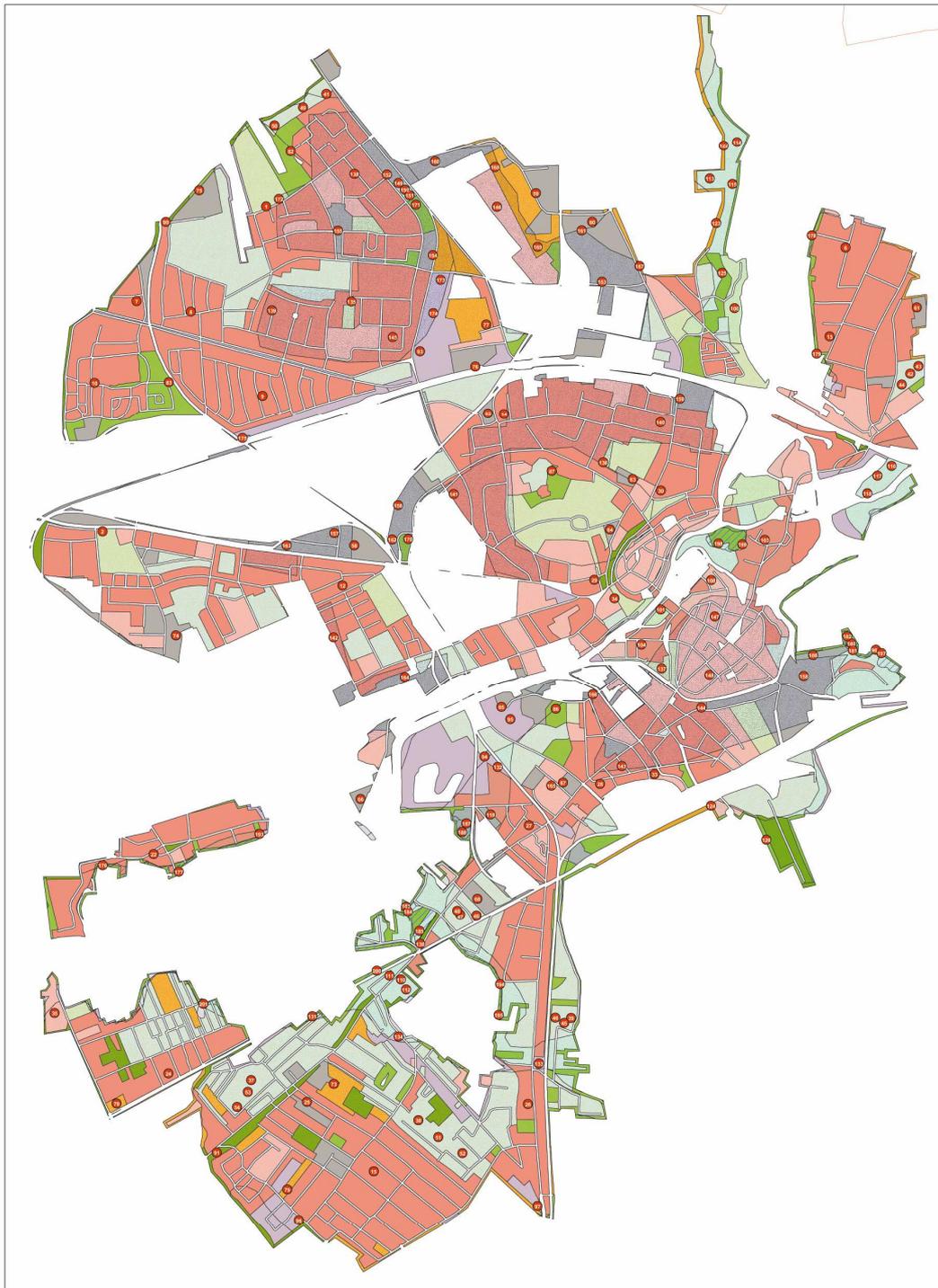
Raumeinheitentypen (RET)					
Böden aus Sand, z. T. mit Torf und aus Lehmsand		Böden aus organogenen Sedimenten		Böden aus anthropogen umgelagerten Sedimenten	
◇ -	Park- / Freizeitanlagen	◇ -	Park- / Freizeitanlagen	◇ -	Park- / Freizeitanlagen
◇ -	Reine Wohngebiete	◇ -	Reine Wohngebiete	◇ -	Reine Wohngebiete
◇ -	Wohnmischgebiete	◇ -	Wohnmischgebiete	◇ -	Wohnmischgebiete
◇ -	Kleingärten	◇ ◇	Kleingärten	◇ -	Kleingärten
◇ -	Industrie-, Gewerbeflächen	◇ ◇	Industrie-, Gewerbeflächen	◇ -	Industrie-, Gewerbeflächen
◇ -	Ackerbauflächen	◇ -	Ackerbauflächen	◇ -	Ackerbauflächen
◇ ◇	Grünlandflächen	◇ ◇	Grünlandflächen	◇ -	Grünlandflächen
◇ -	Forstfläche	◇ -	Forstfläche	- -	Forstfläche
◇ -	sonstige Freiflächen	◇ -	sonstige Freiflächen	◇ -	sonstige Freiflächen

◇ Außerhalb von Überschwemmungsgebieten

◇ Innerhalb von Überschwemmungsgebieten

- = Raumeinheitentyp nicht vorhanden oder aufgrund geringer Flächengröße gestrichen (s. Kap. 3.1)

Konzeptkarte der Raumeinheitentypen mit Probenahmestandorten Stadt Brandenburg - Zentrum



<p> Peil- und Freizeitanlagen Keine Wohngebiete Wohngebiete Gewerbegebiete Industrie- und Gewerbestellen Arbeitsstätten Grünflächen Freizeitanlagen Sonstige Flächen </p>	<p> Stadtgrenze ——— Probeorte ● </p>		<p> Auftraggeber: Landesumweltamt Brandenburg </p> <p> Auftragnehmer: Umweltkonzept Dr. Meyer Fritschestr. 26 10585 Berlin </p> <p> greenlab geoinformatics GmbH Regattastr. 55 12527 Berlin </p>
<p> Böden aus Sand, z.T. mit Torf und aus Lehmland Böden aus organo- genen Sedimenten Böden aus anfruchtbareren organogenen Sedimenten Böden aus Sand, z.T. mit Torf und aus Lehmland Böden aus organo- genen Sedimenten </p>	<p> Kein Überschwemmungsgebiet Kein Überschwemmungsgebiet Kein Überschwemmungsgebiet Überschwemmungsgebiet Überschwemmungsgebiet </p>	<p> N </p>	

Abb. 1: Konzeptkarte der Raumeinheitentypen

3 Flächenbeprobung

3.1 Probennahmeplanung

Für die Probennahmeplanung wurden die bis zu diesem Planungsschritt gebildeten 44 Raumeinheiten der Konzeptkarte anhand ihrer Flächengröße auf ihre gebietsinterne Relevanz geprüft. Hierzu wurden folgende Schritte durchgeführt:

- Vorbereitung der Raumeinheitentypen zur Ermittlung der Probenanzahl,
- Ermittlung der Probenanzahl,
- Auf- und Abrunden der errechneten Probenanzahl,
- Verteilung der Probennahmepunkte.

Als erstes wurden Raumeinheiten mit einer Fläche unter 10.000 m² (= 1 ha) aufgrund der für die Beprobung zu geringen Flächengröße gestrichen. Für die übrige Fläche wurde die Probenanzahl berechnet, wobei die Vorgaben der GSE-Anleitung zur Ermittlung des Mindestprobenumfangs Berücksichtigung fanden. Da die Raumeinheitentypen jedoch häufig eine Flächengröße unter 1 km² aufwiesen, musste der Probenumfang daran angepasst werden. Das angepasste Berechnungsmuster ist in Tabelle 8 aufgeführt.

Tab. 8: Probenumfang – Berechnungsmuster der Probenanzahl

Nutzungen	Berechnungsmuster
Park- und Freizeitanlagen	4 Proben pro km ² (GSE-Anleitung)
Reine Wohngebiete	4 Proben pro km ² (GSE-Anleitung)
Wohnmischgebiete	4 Proben pro km ² (GSE-Anleitung)
Kleingärten	in 5 % der Anlagen je 3 Parzellen
Industrie- und Gewerbeflächen	2 Proben pro 10 ha bzw. 2 Proben pro 1 ha (im Überschwemmungsgebiet)
Ackerbauflächen	1 Probe pro 10 ha bzw. 1 Probe pro 1 ha (im Überschwemmungsgebiet)
Grünlandflächen	1 Probe pro 10 ha bzw. 1 Probe pro 1 ha (im Überschwemmungsgebiet)
Forstfläche	1 Probe pro 10 ha bzw. 1 Probe pro 1 ha (im Überschwemmungsgebiet)
sonstige Freiflächen	1 Probe pro 10 ha

Ergaben sich durch die Berechnung gemäß Tabelle 8 pro Raumeinheitentyp weniger als 3 zu untersuchende Proben, wurde auf- oder abgerundet, das eine solch geringe Probenzahl zur Erfassung von Tendenzen nicht ausreichend ist:

- Abgerundet wurde, wenn der errechnete Probenzahlwert unter 0,44 lag; hier erfolgte keine Beprobung und die Raumeinheit wurde für die weitere Bewertung gestrichen.
- Aufgerundet wurde, wenn der errechnete Probenzahlwert über 0,45 lag; dann wurde die zu erhebende Probenzahl gleich 3 gesetzt.

Tab. 9: Zur Verteilung der Probestandorte berücksichtigte Merkmale

Quelle der Daten	Merkmale	Verwendung
Digitales Ortho-Photo DOP 10 (Luftbild)	Bodennutzung	Hilfe bei der konkreten Positionierung der Probestandorte
digitale TK 25, TK 10	topografische Daten	Hilfe bei der konkreten Positionierung der Probestandorte
Immissionskataster	Emittentenstandorte, Emissionsdaten genehmigungsbedürftiger Anlagen	Hilfe bei der konkreten Positionierung der Probestandorte
Bodendaten Stadt Brandenburg; Bodendaten FH Eberswalde	Punktdaten zu Schadstoffgehalten	Geostatistische Auswertung
Altlastenkataster Stadt Brandenburg	Punktformige Altlastenstandorte	Hilfe bei der konkreten Positionierung der Probestandorte

Durch dieses Vorgehen reduzierten sich die 44 Raumeinheitentypen, die nach Verschneidung entstanden waren, auf 30 für das Untersuchungsgebiet relevante und charakteristische Raumeinheitentypen, in denen eine Beprobung tatsächlich erfolgte.

Die einzelnen Probenahmepunkte innerhalb der Raumeinheiten wurden mit Hilfe des Geographischen Informationssystems (GIS) festgelegt. Zur Verteilung der Probenstandorte wurden die in Tabelle 9 aufgelisteten Merkmale berücksichtigt. Insgesamt wurden 201 Proben zugeordnet. Die ermittelte Probenanzahl pro Raumeinheitentyp ist in Tabelle 10 wiedergegeben.

Um eine gleichmäßige Verteilung der Punkte zu gewährleisten, wurde in der Bearbeitung mit dem GIS jeweils nur ein Raumeinheitentyp eingeblendet, in dem dann die ermittelte Probenanzahl verteilt wurde. So wurde mit allen Raumeinheitentypen verfahren. Immer sichtbar hinterlegt waren dabei die punktförmigen Altlastenstandorte und die Standorte der genehmigungsbedürftigen Anlagen, die bei der Setzung der Probenahmepunkte berücksichtigt wurden. Die Altlastenstandorte wurden umgangen, von den Emittenten wurde wegen des vorherrschenden Westwindes v.A. in östlicher, direkter Entfernung Abstand von ca. 1 km gehalten.

Um zu erkennen, wo ein Probenahmepunkt genau platziert werden konnte, wurden das Luftbild sowie die TK 10 hinterlegt. Nach Positionierung aller Punkte wurde ihre gleichmäßige Verteilung auf die Ortslagen überprüft.

Tab. 10: Probenanzahl pro Raumeinheitentyp (RET) außerhalb und innerhalb der Überschwemmungsgebiete

		Außerhalb Überschwemmungsgebiet				Innerhalb Überschwemmungsgebiet			GESAMT-SUMME Proben
		Anzahl Proben pro RET			Summe	Anzahl Proben pro RET		Summe	
		Böden aus Sand / Lehmsand	organogene Sedimente	anthropogene Sedimente		Böden aus Sand / Lehmsand	organogene Sedimente		
1112	Park- und Freizeitanlagen	3	3	3	9	-	-	-	9
1121	Reine Wohngebiete	27	4	8	39	-	-	0	39
1122	Wohnmischgebiete	5	3	3	11	-	-	-	11
1132	Kleingärten	21	9	3	33	-	6	6	39
1140	Industrie- und Gewerbeflächen	20	3	15	38	-	3	3	41
1210	Ackerbauflächen	5	3	3	11	-	-	-	11
1220	Grünlandflächen	7	4	3	14	4	13	17	31
1300	Forstfläche	4	3	-	7	-	-	-	7
1400	sonstige Freiflächen	7	3	3	13	-	-	-	13
SUMME		99	35	41	175	4	22	26	201

Die Probenahmepunkte wurden dann in die Konzeptkarte (Abb. 1) mit den Raumeinheiten (M 1: 10.000) eingetragen, der die topografische Karte zur Orientierung im Gelände hinterlegt war.

Abschließend wurde zusammen mit der Unteren Bodenschutzbehörde der Stadt Brandenburg abgeklärt, ob Probenahmepunkte im Bereich von punktuellen Kontaminationen geplant waren, die aus den genannten Informationen nicht zu entnehmen waren: Einzelne Punkte mussten somit in Alternativflächen verlegt werden.

3.2 Probenahme und Profilansprache

An jedem der Probennahmestandorte wurde folgendermaßen vorgegangen:

- Der zugewiesene Raumeinheitentyp (RET) wurde auf Übereinstimmung der tatsächlichen Nutzung und der Bodenart mit den kartographischen Angaben hin überprüft. Bei Abweichungen wurde der Standort ersetzt oder der RET wurde geändert und bei der Auswertung entsprechend berücksichtigt.
- Es wurde jeweils ein Bodenprofil bis 1 m Tiefe mit folgenden Kennwerten gemäß Bodenkundlicher Kartieranleitung (KA 4) aufgenommen:
 - a) Bodenart
 - b) Humusgehalt < 8 bzw. > 8 %
 - c) Art und Volumenanteil technogener Substrate (Ziegel, Kohle, Schlacke, Glas u. Ä.).
- Je Probennahmestandort wurde aus 9 Einstichen mit dem Stechzylinder eine Mischprobe (500 g Bodenmaterial) entnommen.
- Die Entnahmetiefen entsprachen den Vorgaben der BBodSchV bzw. denen der LABO zu Ableitung von Hintergrundwerten (BBodSch V 1999, LABO 2004):
 - Park- und Freizeitanlagen, Kinderspielflächen: 0-10 cm Tiefe
 - Wohngebiete: 0-10 cm Tiefe
 - Industrie- und Gewerbeflächen: 0-10 cm Tiefe
 - Nutzgärten, Kleingärten, Ackerland: 0-30 cm Tiefe
 - Grünland: 0-10 cm Tiefe
 - Forstflächen: 0-10 cm Tiefe (Ah-Horizont ohne L/Of/Oh-Horizonte)
 - sonstige Freiflächen: 0-10 cm Tiefe.

3.3 Analysen

Die Proben wurden entsprechend der Methoden der BBodSchV auf folgende Parameter analysiert:

- Cadmium, Blei, Chrom, Kupfer, Quecksilber, Nickel, Zink und Arsen
- PCB, PAK, Benzo(a)pyren
- pH (CaCl₂)

4 Ergebnisse

4.1 Ergebnisse der Probennahme und Bodenprofilansprache

Die Proben aus den verschiedenen Raumeinheitentypen und den entsprechenden Probennahmetiefen sind in Tabelle 11 wiedergegeben.

Die Raumeinheitentypen der 201 Probennahmeorte entsprachen hinsichtlich Nutzung und Boden in der Mehrheit den Planungen. Ob es sich um ein Überschwemmungsgebiet handelte, konnte vor Ort nur in einzelnen Fällen festgestellt werden. Nur 11 % der Raumeinheitentypen wiesen im Gelände eine andere Nutzung oder einen anderen Boden auf als erwartet.

Häufig wurden anthropogene Substrate anstatt der erwarteten organogenen Substrate angetroffen, z.B. *Sonstige Freiflächen* statt *Acker*, *Ödland* oder *Grünfläche* statt *Grünland*.

Die Bodenart wurde bei der Bodenprofilansprache aufgenommen und ist für die einzelnen Bohrpunkte in der Ergebnistabelle (Tab. 11) aufgeführt. Bei den am häufigsten anzutreffenden Bodenarten handelt es sich um schwach lehmige (SI2) bis mittel lehmige (SI3) Sande, selten um Mittelsand oder Feinsand. Lehmböden sind nur in einzelnen Bereichen der Stadt Brandenburg anzutreffen. Die Oberböden weisen jedoch auch dort aufgrund des häufigen Auftrags mit Bodenmaterial höhere Sandanteile auf als der Ausgangsboden.

Ein Auftrag von fremdem Bodenmaterial findet sich häufig. In 66 % der untersuchten 201 Profile konnten Merkmale von aufgetragenem Boden aufgrund technogener Beimengungen (Ziegelsplitter, Kohle, Schlacke, Glas) identifiziert werden. Der Anteil der Beimengungen war mit 2 bis 10 Vol. % meist gering, selten mit bis zu 25 Vol. % mittel bis hoch.

Tab. 11: Analysenergebnisse

Proben Nr.	Raumeinheiten-typ (RET)	Nutzungen	Probennahmetiefe cm	Bodenart KA 4	pH-Wert	Arsen As mg/kg	Blei Pb mg/kg	Cadmium Cd mg/kg	Chrom (ges.) Cr mg/kg	Kupfer Cu mg/kg	Nickel Ni mg/kg	Quecksilber Hg mg/kg	Zink Zn mg/kg	PAK (EPA) mg/kg	Benzo(a)pyren BaP mg/kg	PCB mg/kg
1	011112	Park- und Freizeitanlagen	0-10	SI2	6,9	0,9	36,2	0,23	17,8	10,1	4,9	0,12	103,7	6,56	0,160	0,014
2	011112	Park- und Freizeitanlagen	0-10	SI2	7,1	0,5	65,3	0,03	33,2	20,2	27,5	0,12	77,1	0,74	0,130	0,014
3	011112	Park- und Freizeitanlagen	0-10	SI2	7,2	2,9	27,9	0,24	8,7	9,9	7,5	0,41	72,3	0,40	0,040	0,014
4	011121	Reine Wohngebiete	0-10	SI3	6,2	0,1	13,3	0,03	6,8	5,9	3,6	0,06	45,2	5,94	0,530	0,014
5	011121	Reine Wohngebiete	0-10	SI2	6,5	4,6	16,6	0,04	9,8	11,4	7,6	0,07	97,5	29,32	1,360	0,009
6	011121	Reine Wohngebiete	0-10	fS	6,3	2,4	10,7	0,40	17,0	23,8	6,8	0,16	103,7	0,12	0,040	0,011
7	011121	Reine Wohngebiete	0-10	SI2	6,9	2,0	57,5	0,62	12,1	12,7	5,6	0,18	221,0	0,50	0,040	0,014
8	011121	Reine Wohngebiete	0-10	SI2	6,8	2,1	33,5	0,35	10,7	10,3	4,5	0,37	84,0	0,60	0,020	0,014
9	011121	Reine Wohngebiete	0-10	SI2	6,5	3,6	131,4	2,02	34,9	18,3	8,8	0,21	470,1	0,04	0,040	0,014
10	011121	Reine Wohngebiete	0-10	SI2	5,8	2,4	43,0	0,39	17,6	8,7	6,0	0,26	72,7	0,20	0,040	0,014
11	011121	Reine Wohngebiete	0-10	SI2	7,1	3,3	27,7	0,06	6,9	8,2	4,2	0,08	103,4	0,11	0,040	0,014
12	011121	Reine Wohngebiete	0-10	SI2	7,2	3,3	55,6	0,06	16,2	19,9	6,6	0,22	219,0	0,20	0,030	0,014
13	011121	Reine Wohngebiete	0-10	fS	6,4	1,4	23,9	0,15	12,9	14,4	5,0	0,12	91,6	0,97	0,040	0,014
14	011121	Reine Wohngebiete	0-10	SI2	7,2	1,3	36,7	0,06	9,0	5,8	2,1	0,09	95,0	0,30	0,040	0,014
15	011121	Reine Wohngebiete	0-10	SI2	6,9	4,2	41,6	0,03	8,2	13,7	8,8	0,30	95,5	1,07	0,120	0,014
16	011121	Reine Wohngebiete	0-10	SI2	7,0	1,6	14,5	0,06	5,2	2,2	1,7	0,07	20,4	0,20	0,040	0,014
17	021121	Reine Wohngebiete	0-10	SI3	7,2	2,1	22,9	0,06	9,7	8,9	5,0	0,08	68,0	0,17	0,040	0,014

Proben Nr.	Raumeinheiten-typ (RET)	Nutzungen	Proben-nahmetiefe cm	Boden-art KA 4	pH-Wert	Arsen As mg/kg	Blei Pb mg/kg	Cad-mium Cd mg/kg	Chrom (ges.) Cr mg/kg	Kupfer Cu mg/kg	Nickel Ni mg/kg	Queck-silber Hg mg/kg	Zink Zn mg/kg	PAK (EPA) mg/kg	Benzo(a)pyren BaP mg/kg	PCB mg/kg
18	011121	Reine Wohngebiete	0-10	SI2	7,0	1,0	25,7	0,01	4,9	9,1	3,2	0,10	79,1	0,02	0,040	0,014
19	011121	Reine Wohngebiete	0-10	SI3	6,9	10,6	44,7	0,95	34,6	31,5	18,2	0,71	182,0	0,73	0,040	0,014
20	011121	Reine Wohngebiete	0-10	SI2	6,7	4,2	35,2	0,17	5,7	7,7	2,7	0,53	71,6	3,83	0,360	0,014
21	011121	Reine Wohngebiete	0-10	SI3	6,5	3,4	56,7	0,75	26,9	16,1	5,6	0,68	313,6	0,44	0,040	0,014
22	011121	Reine Wohngebiete	0-10	SI2	5,4	0,5	18,0	0,05	3,7	3,1	2,1	0,06	33,7	0,70	0,070	0,014
23	011121	Reine Wohngebiete	0-10	SI2	6,7	2,4	19,7	0,02	4,8	6,9	3,2	0,06	97,9	2,38	0,230	0,014
24	011121	Reine Wohngebiete	0-10	SI2	6,0	4,0	22,4	0,04	10,2	6,6	2,0	0,12	15,0	0,04	0,040	0,014
25	011121	Reine Wohngebiete	0-10	SI2	6,9	2,7	51,1	0,07	28,1	28,1	11,0	0,43	247,1	0,04	0,040	0,014
26	011121	Reine Wohngebiete	0-10	SI2	7,1	3,5	43,6	0,06	5,5	9,4	2,8	0,29	45,2	2,34	0,290	0,014
27	011121	Reine Wohngebiete	0-10	SI2	6,5	1,3	31,3	0,08	15,6	12,6	5,0	0,16	83,2	1,48	0,240	0,014
28	011121	Reine Wohngebiete	0-10	SI2	6,9	1,8	118,6	0,63	12,2	53,7	0,7	0,40	352,8	14,94	1,280	0,014
29	011121	Reine Wohngebiete	0-10	SI2	6,7	2,7	43,2	0,25	6,2	9,1	4,0	0,42	86,2	15,40	1,200	0,014
30	011121	Reine Wohngebiete	0-10	SI2	7,2	2,4	25,1	0,06	7,9	7,7	4,7	0,12	73,6	1,10	0,100	0,014
31	011122	Wohnmischgebiete	0-10	SI2	7,1	8,7	33,5	0,43	17,0	18,6	8,0	0,11	110,0	0,04	0,040	0,014
32	011122	Wohnmischgebiete	0-10	SI2	7,3	4,2	35,4	0,24	10,3	11,8	6,4	0,45	113,3	0,07	0,040	0,014
33	011122	Wohnmischgebiete	0-10	SI2	6,9	1,3	66,8	0,51	10,2	58,6	7,2	0,11	172,5	8,41	1,120	0,014
34	011122	Wohnmischgebiete	0-10	SI2	6,9	2,4	33,7	0,01	8,1	7,5	3,8	0,12	51,1	0,49	0,050	0,014
35	011122	Wohnmischgebiete	0-10	SI2	7,0	1,3	17,2	0,06	2,9	2,6	1,8	0,05	18,7	0,04	0,040	0,014

Proben Nr.	Raumeinheiten-typ (RET)	Nutzungen	Proben-nahmetiefe cm	Boden-art KA 4	pH-Wert	Arsen As mg/kg	Blei Pb mg/kg	Cad-mium Cd mg/kg	Chrom (ges.) Cr mg/kg	Kupfer Cu mg/kg	Nickel Ni mg/kg	Queck-silber Hg mg/kg	Zink Zn mg/kg	PAK (EPA) mg/kg	Benzo(a)pyren BaP mg/kg	PCB mg/kg
36	011132	Kleingärten	0-30	SI3	7,2	0,7	24,5	0,06	5,1	10,7	2,4	0,05	118,8	0,10	0,040	0,014
37	011132	Kleingärten	0-30	SI2	7,1	1,4	14,4	0,05	5,3	4,7	4,0	0,05	40,0	0,38	0,040	0,014
38	011132	Kleingärten	0-30	SI2	7,3	2,5	20,4	0,02	5,8	4,7	3,8	0,11	34,4	0,15	0,040	0,014
39	011132	Kleingärten	0-30	SI2	7,5	1,6	10,6	0,06	4,2	1,4	0,5	0,05	20,7	0,51	0,040	0,014
40	011132	Kleingärten	0-30	SI2	7,4	4,3	126,7	0,04	6,2	20,3	6,4	0,28	168,3	0,53	0,040	0,014
41	011132	Kleingärten	0-30	SI2	6,5	1,6	15,1	0,18	7,3	5,3	3,4	0,45	37,2	0,04	0,040	0,014
42	011132	Kleingärten	0-30	SI2	6,7	2,2	44,7	0,52	19,5	15,5	4,2	0,35	204,3	1,22	0,230	0,014
43	011132	Kleingärten	0-30	SI2	6,0	2,0	34,5	0,50	12,0	15,2	5,5	0,25	116,3	3,55	0,210	0,014
44	011132	Kleingärten	0-30	SI2	6,2	2,1	48,9	0,45	5,0	12,0	4,0	0,31	175,1	6,55	0,450	0,014
45	011132	Kleingärten	0-30	SI2	7,0	4,1	23,8	0,06	7,6	6,8	5,8	0,10	40,7	0,36	0,040	0,014
46	011132	Kleingärten	0-30	SI2	6,9	4,2	44,1	0,01	6,5	13,5	4,4	0,23	91,7	0,38	0,040	0,014
47	011132	Kleingärten	0-30	SI3	6,9	3,2	24,3	0,06	8,5	11,9	3,9	0,19	66,0	0,47	0,040	0,014
48	011132	Kleingärten	0-30	SI3	7,1	6,1	20,8	0,06	7,1	7,8	3,2	0,12	60,7	0,04	0,040	0,014
49	011132	Kleingärten	0-30	SI2	6,0	1,9	27,7	0,21	8,4	7,6	24,1	0,56	45,0	0,32	0,040	0,014
50	011132	Kleingärten	0-30	SI2	5,9	1,0	30,3	0,18	9,4	10,9	4,7	0,50	50,0	0,20	0,040	0,014
51	011132	Kleingärten	0-30	SI2	5,3	2,0	58,1	0,04	55,3	24,3	7,5	0,58	136,8	0,49	0,040	0,014
52	011132	Kleingärten	0-30	SI2	7,1	2,7	25,6	0,01	5,4	9,0	4,0	0,16	23,2	0,39	0,040	0,014
53	011132	Kleingärten	0-30	SI2	7,2	0,5	19,7	0,04	6,7	6,5	3,8	0,07	51,5	0,44	0,040	0,014

Proben Nr.	Raumeinheiten-typ (RET)	Nutzungen	Proben-nahmetiefe cm	Boden-art KA 4	pH-Wert	Arsen As mg/kg	Blei Pb mg/kg	Cad-mium Cd mg/kg	Chrom (ges.) Cr mg/kg	Kupfer Cu mg/kg	Nickel Ni mg/kg	Queck-silber Hg mg/kg	Zink Zn mg/kg	PAK (EPA) mg/kg	Benzo(a)pyren BaP mg/kg	PCB mg/kg
54	011132	Kleingärten	0-30	SI2	7,3	0,5	24,4	0,01	9,4	11,3	4,5	0,05	104,9	0,39	0,040	0,014
55	011132	Kleingärten	0-30	SI2	7,1	2,4	17,1	0,03	7,0	3,6	1,5	0,04	23,2	0,24	0,040	0,014
56	011132	Kleingärten	0-30	SI2	7,3	2,5	17,1	0,02	19,5	4,9	1,9	0,05	38,4	0,04	0,040	0,014
57	011140	Industrie- und Gewerbe-flächen	0-10	SI2	6,2	2,4	9,4	0,01	6,2	4,6	4,1	0,15	35,0	0,80	0,04	0,014
58	011140	Industrie- und Gewerbe-flächen	0-10	SI2	6,7	4,1	43,4	0,02	11,6	10,0	4,4	0,14	115,1	0,38	0,040	0,014
59	011140	Industrie- und Gewerbe-flächen	0-10	SI3	6,6	0,4	32,1	0,09	12,0	11,3	7,1	0,11	47,0	0,29	0,040	0,014
60	011140	Industrie- und Gewerbe-flächen	0-10	SI3	6,5	1,5	37,3	0,19	23,4	13,9	63,5	0,10	53,8	1,03	0,040	0,014
61	011140	Industrie- und Gewerbe-flächen	0-10	SI2	6,7	2,0	11,4	0,01	6,6	10,2	8,2	0,16	31,4	1,30	0,220	0,008
62	011140	Industrie- und Gewerbe-flächen	0-10	SI2	7,3	1,9	45,0	0,01	10,4	10,7	5,2	0,14	118,7	1,63	0,100	0,014
63	011140	Industrie- und Gewerbe-flächen	0-10	SI2	6,9	4,1	60,1	0,06	20,7	29,8	9,6	0,18	229,5	0,80	0,070	0,011
64	011140	Industrie- und Gewerbe-flächen	0-10	SI2	7,1	3,3	54,8	0,06	9,8	25,6	5,9	0,27	151,5	1,56	0,140	0,014
65	011140	Industrie- und Gewerbe-flächen	0-10	mS	6,9	2,0	24,3	0,34	20,8	31,9	28,2	0,08	93,2	2,65	0,340	0,014
66	011140	Industrie- und Gewerbe-flächen	0-10	SI2	7,3	1,6	32,2	0,01	6,6	27,0	4,3	0,12	66,8	1,84	0,270	0,014
67	011140	Industrie- und Gewerbe-flächen	0-10	SI2	7,2	1,1	34,9	0,18	13,9	14,5	7,8	0,11	63,4	2,82	0,320	0,014
68	011140	Industrie- und Gewerbe-flächen	0-10	SI3	7,2	2,3	42,5	0,03	5,9	11,5	5,9	0,17	103,5	13,25	0,174	0,010
69	011140	Industrie- und Gewerbe-flächen	0-10	SI2	7,3	8,1	18,5	0,06	3,2	6,3	2,2	0,08	97,9	0,31	0,040	0,014
70	011140	Industrie- und Gewerbe-flächen	0-10	SI2	7,0	4,7	47,9	0,31	22,9	37,8	30,9	0,15	101,0	0,99	0,070	0,014

Proben Nr.	Raumeinheiten-typ (RET)	Nutzungen	Proben-nahmetiefe cm	Boden-art KA 4	pH-Wert	Arsen As mg/kg	Blei Pb mg/kg	Cad-mium Cd mg/kg	Chrom (ges.) Cr mg/kg	Kupfer Cu mg/kg	Nickel Ni mg/kg	Queck-silber Hg mg/kg	Zink Zn mg/kg	PAK (EPA) mg/kg	Benzo(a)pyren BaP mg/kg	PCB mg/kg
71	011140	Industrie- und Gewerbe-flächen	0-10	Sl2	7,2	8,4	12,8	0,09	6,7	8,3	8,2	0,05	38,1	0,19	0,040	0,014
72	011140	Industrie- und Gewerbe-flächen	0-10	Sl2	7,3	3,0	14,5	0,03	5,6	3,4	4,3	0,03	24,2	0,07	0,040	0,014
73	011140	Industrie- und Gewerbe-flächen	0-10	Sl2	7,3	4,8	65,3	0,02	20,2	26,9	9,7	0,40	146,7	0,32	0,030	0,006
74	011140	Industrie- und Gewerbe-flächen	0-10	Ls4	7,4	9,5	30,2	0,06	33,2	20,0	11,0	0,13	130,5	0,51	0,040	0,014
75	011140	Industrie- und Gewerbe-flächen	0-10	Sl2	6,0	1,4	17,9	0,14	11,5	2,3	4,5	1,02	43,3	0,30	0,040	0,014
76	011140	Industrie- und Gewerbe-flächen	0-10	Sl2	7,0	1,3	12,9	0,03	4,6	3,1	2,3	0,05	34,3	0,48	0,040	0,014
77	011400	Industrie- und Gewerbe-flächen	0-10	Sl2	7,0	2,4	41,3	0,34	9,3	17,1	6,3	0,81	62,3	0,64	0,040	0,014
78	011210	Ackerbauflächen	0-30	Sl2	6,9	2,8	17,6	0,06	8,6	5,8	2,9	0,13	17,3	0,04	0,040	0,014
79	011210	Ackerbauflächen	0-30	Sl2	7,2	1,3	27,5	0,01	10,4	7,6	4,1	0,15	25,6	0,04	0,040	0,014
80	011210	Ackerbauflächen	0-30	Sl3	7,1	2,5	18,6	0,19	11,3	9,2	6,0	0,47	41,1	0,16	0,040	0,014
81	011210	Ackerbauflächen	0-30	Sl2	5,0	0,9	15,1	0,08	7,3	5,7	4,1	0,03	30,9	2,12	0,200	0,014
82	011400	sonstige Freiflächen	0-10	Sl2	5,6	2,0	26,3	0,14	8,1	5,8	3,2	0,10	38,0	<NG	0,040	0,014
83	011400	sonstige Freiflächen	0-10	Sl2	5,9	5,6	147,1	2,23	49,9	47,2	17,0	0,22	463,6	0,20	0,040	0,014
84	021220	Grünlandflächen	0-10	Mudde	6,5	1,7	87,0	0,07	13,9	25,9	15,7	0,34	114,0	0,15	0,040	0,014
85	011220	Grünlandflächen	0-10	Sl2	6,9	1,5	38,4	0,19	7,2	8,0	3,5	0,33	92,7	0,59	0,040	0,014
86	011220	Grünlandflächen	0-10	Sl2	7,0	1,8	103,6	0,68	13,9	26,4	7,8	0,10	376,0	8,39	0,500	0,014
87	011220	Grünlandflächen	0-10	Ls3	7,2	3,7	31,3	0,02	9,5	9,4	6,9	0,13	77,6	0,31	0,040	0,009

Pro- ben Nr.	Raum- einhei- ten-typ (RET)	Nutzungen	Proben- nahme- tiefe cm	Boden- art KA 4	pH- Wert	Arsen As mg/kg	Blei Pb mg/kg	Cad- mium Cd mg/kg	Chrom (ges.) Cr mg/kg	Kupfer Cu mg/kg	Nickel Ni mg/kg	Queck- silber Hg mg/kg	Zink Zn mg/kg	PAK (EPA) mg/kg	Benzo(a) pyren BaP mg/kg	PCB mg/kg
88	011220	Grünlandflächen	0-10	SI2	6,4	0,1	12,4	0,04	7,8	6,3	5,1	0,13	43,1	6,44	0,660	0,014
89	011300	Forstfläche	0-10	SI2	4,5	1,1	8,7	0,03	3,7	1,7	3,7	0,05	13,5	0,94	0,040	0,014
90	011300	Forstfläche	0-10	SI2	5,5	2,0	43,3	0,19	9,9	5,2	4,0	0,18	61,4	0,04	0,040	0,014
91	021400	sonstige Freiflächen	0-10	SI2	7,0	0,8	32,4	0,03	7,2	6,5	2,8	0,15	31,7	0,02	0,040	0,014
92	011300	Forstfläche	0-10	mS	4,1	4,2	159,0	0,31	7,7	25,8	7,9	0,54	144,0	4,70	0,420	0,014
93	011400	sonstige Freiflächen	0-10	SI2	6,8	0,9	45,9	0,26	8,4	9,1	4,4	1,94	58,4	36,38	1,690	0,014
94	021400	sonstige Freiflächen	0-10	Mudde	6,0	6,9	59,7	0,01	13,3	21,5	7,6	0,31	67,8	0,04	0,040	0,014
95	011400	sonstige Freiflächen	0-10	SI3	6,9	1,2	59,5	0,39	9,7	22,3	6,0	0,16	127,2	8,90	0,660	0,014
96	011400	sonstige Freiflächen	0-10	SI2	7,0	2,9	17,3	0,04	8,0	4,7	4,3	0,09	29,3	0,04	0,040	0,014
97	011400	sonstige Freiflächen	0-10	SI2	6,5	2,2	16,1	0,06	5,0	5,3	2,1	0,10	34,2	41,50	3,360	0,014
98	011400	sonstige Freiflächen	0-10	SI2	7,0	8,3	123,4	1,35	18,7	91,7	11,5	0,39	447,5	7,14	0,620	0,014
99	011400	sonstige Freiflächen	0-10	SI2	7,1	2,1	25,5	0,07	15,4	14,7	5,8	0,18	56,8	0,24	0,040	0,014
100	021112	Park- und Freizeitanlagen	0-10	SI3	7,1	3,6	37,0	0,06	6,5	9,9	3,5	0,28	54,7	0,04	0,040	0,014
101	021112	Park- und Freizeitanlagen	0-10	SI2	7,1	5,6	76,4	0,13	13,9	40,5	9,3	0,20	138,1	11,34	1,650	0,005
102	021112	Park- und Freizeitanlagen	0-10	SI2	7,2	3,6	41,1	0,01	9,5	13,4	7,4	0,08	74,4	19,60	0,240	0,014
103	021121	Reine Wohngebiete	0-10	SI2	6,7	4,4	34,1	0,17	8,3	25,5	6,3	0,70	100,3	1,83	0,240	0,014
104	021121	Reine Wohngebiete	0-10	SI2	7,0	6,8	175,6	0,71	15,4	58,8	11,1	0,70	269,0	35,45	3,240	0,007
105	011121	Reine Wohngebiete	0-10	SI2	6,9	3,2	50,7	0,01	7,6	19,0	4,2	0,16	179,6	0,07	0,040	0,014

Proben Nr.	Raumeinheiten-typ (RET)	Nutzungen	Proben-nahmetiefe cm	Boden-art KA 4	pH-Wert	Arsen As mg/kg	Blei Pb mg/kg	Cad-mium Cd mg/kg	Chrom (ges.) Cr mg/kg	Kupfer Cu mg/kg	Nickel Ni mg/kg	Queck-silber Hg mg/kg	Zink Zn mg/kg	PAK (EPA) mg/kg	Benzo(a)pyren BaP mg/kg	PCB mg/kg
106	021121	Reine Wohngebiete	0-10	SI2	7,2	2,9	38,7	0,27	7,6	60,7	5,2	0,38	172,0	0,30	0,040	0,014
107	011122	Wohnmischgebiete	0-10	SI2	6,5	1,0	17,3	0,04	6,1	6,9	3,3	1,45	81,4	3,74	0,390	0,014
108	011122	Wohnmischgebiete	0-10	SI2	6,8	5,3	60,8	0,06	12,1	24,3	8,6	0,22	154,9	11,68	1,140	0,014
109	011122	Wohnmischgebiete	0-10	SI2	7,1	3,7	75,1	0,06	8,6	14,1	4,8	0,27	103,4	0,49	0,060	0,014
110	021132	Kleingärten	0-30	SI2	7,1	1,7	25,0	0,03	6,7	7,7	4,1	0,21	53,2	0,19	0,040	0,014
111	021132	Kleingärten	0-30	SI2	6,8	2,8	28,1	0,03	16,2	17,5	7,1	0,17	96,4	0,37	0,070	0,014
112	021132	Kleingärten	0-30	SI2	6,9	2,7	16,8	0,05	5,1	4,1	2,0	0,13	29,0	0,30	0,040	0,014
113	021132	Kleingärten	0-30	SI2	6,6	3,1	26,0	0,06	14,8	10,9	7,5	0,23	6,3	0,53	0,040	0,014
114	021132	Kleingärten	0-30	SI2	5,4	4,2	53,9	0,03	11,7	5,9	4,3	0,14	64,5	0,06	0,040	0,014
115	021132	Kleingärten	0-30	SI2	6,8	5,2	42,6	0,08	12,6	11,0	7,6	0,25	93,1	0,56	0,040	0,005
116	021132	Kleingärten	0-30	SI2	7,1	0,9	17,4	0,19	15,2	10,3	2,6	0,08	76,9	1,27	0,180	0,014
117	021132	Kleingärten	0-30	SI2	7,0	0,9	22,7	0,14	8,0	8,8	3,2	0,10	88,5	0,74	0,040	0,011
118	021132	Kleingärten	0-30	SI2	7,0	1,1	33,9	0,42	16,4	20,1	5,4	0,12	153,6	8,98	0,840	0,014
119	021140	Industrie- und Gewerbe-flächen	0-10	mS	6,9	0,4	10,2	0,11	10,7	3,9	6,4	0,02	67,2	0,91	0,060	0,014
120	021140	Industrie- und Gewerbe-flächen	0-10	SI2	6,8	8,3	30,0	0,06	4,3	17,3	3,8	0,02	42,6	0,04	0,040	0,014
121	021140	Industrie- und Gewerbe-flächen	0-10	SI3	6,0	4,0	63,6	0,06	95,3	39,6	14,6	0,17	250,4	0,17	0,040	0,014
122	011210	Ackerbauflächen	0-30	SI3	3,9	4,8	25,7	0,06	6,6	4,1	3,4	0,11	28,2	0,08	0,040	0,014
123	011210	Ackerbauflächen	0-30	SI2	5,0	2,3	31,8	0,01	11,5	5,3	4,2	0,16	30,7	0,04	0,040	0,014

Proben Nr.	Raumeinheiten-typ (RET)	Nutzungen	Probennahmetiefe cm	Bodenart KA 4	pH-Wert	Arsen As mg/kg	Blei Pb mg/kg	Cadmium Cd mg/kg	Chrom (ges.) Cr mg/kg	Kupfer Cu mg/kg	Nickel Ni mg/kg	Quecksilber Hg mg/kg	Zink Zn mg/kg	PAK (EPA) mg/kg	Benzo(a)pyren BaP mg/kg	PCB mg/kg
124	021220	Grünlandflächen	0-10	Mudde	5,6	2,6	58,4	0,01	13,9	35,3	9,4	0,27	158,7	0,04	0,040	0,014
125	011220	Grünlandflächen	0-10	fS	7,0	1,2	7,7	0,02	2,6	0,1	1,3	0,04	17,8	0,04	0,040	0,014
126	011220	Grünlandflächen	0-10	Sl2	6,5	7,1	103,5	0,62	9,7	162,4	14,8	0,61	368,6	7,22	1,120	0,012
127	021220	Grünlandflächen	0-10	Mudde +Sl2	7,0	6,8	230,9	0,06	16,8	73,8	14,6	0,50	179,8	2,75	0,520	0,014
128	021220	Grünlandflächen	0-10	Sl2	7,1	1,0	25,5	0,49	6,8	5,2	2,4	0,38	36,9	1,37	0,260	0,014
129	021300	Forstfläche	0-10	Sl2	7,3	1,8	22,3	0,01	3,2	4,6	2,4	0,06	59,6	1,60	0,140	0,014
130	021300	Forstfläche	0-10	Ls2	6,5	2,0	50,2	0,04	16,2	12,9	4,2	0,14	93,8	2,15	0,190	0,012
131	21300	Forstfläche	0-10	Sl2	6,8	< NG	28,8	0,04	4,5	6,6	2,3	0,05	22,9	0,04	0,040	0,014
132	021400	sonstige Freiflächen	0-10	Mudde	5,9	0,8	28,7	0,03	13,8	12,1	7,4	0,12	66,9	0,04	0,040	0,014
133	021400	sonstige Freiflächen	0-10	Mudde +Sl2	6,8	3,1	67,9	0,01	9,6	18,7	15,7	0,19	80,1	0,04	0,040	0,014
134	021400	sonstige Freiflächen	0-10	Sl2	7,0	1,5	18,9	0,02	5,7	6,0	2,6	0,15	40,5	0,12	0,040	0,014
135	031112	Park- und Freizeitanlagen	0-10	Sl2	7,4	3,0	6,0	0,05	1,7	0,1	0,4	0,10	9,7	0,22	0,040	0,014
136	031112	Park- und Freizeitanlagen	0-10	Sl2	7,0	2,8	53,1	0,06	11,1	18,8	6,5	0,21	111,4	0,90	0,040	0,014
137	031112	Park- und Freizeitanlagen	0-10	Sl2	5,3	3,4	37,6	0,02	6,7	14,9	4,0	0,16	58,0	2,10	0,300	0,014
138	031121	Reine Wohngebiete	0-10	Sl2	7,0	< 0,1	30,4	0,12	0,1	10,4	6,9	0,08	43,8	0,05	0,040	0,014
139	031121	Reine Wohngebiete	0-10	Sl2	7,1	1,8	22,3	0,27	28,8	80,1	4,1	0,45	67,0	0,09	0,040	0,014

Proben Nr.	Raumeinheiten-typ (RET)	Nutzungen	Proben-nahmetiefe cm	Boden-art KA 4	pH-Wert	Arsen As mg/kg	Blei Pb mg/kg	Cad-mium Cd mg/kg	Chrom (ges.) Cr mg/kg	Kupfer Cu mg/kg	Nickel Ni mg/kg	Queck-silber Hg mg/kg	Zink Zn mg/kg	PAK (EPA) mg/kg	Benzo(a)pyren BaP mg/kg	PCB mg/kg
140	031121	Reine Wohngebiete	0-10	SI2	7,4	2,0	32,4	0,06	9,8	10,9	4,8	1,04	91,7	0,92	0,070	0,005
141	031121	Reine Wohngebiete	0-10	SI3	6,4	3,5	48,9	0,01	14,1	18,3	6,8	0,22	142,7	0,43	0,040	0,004
142	031121	Reine Wohngebiete	0-10	SI2	7,4	2,0	55,2	0,06	15,5	14,3	5,7	0,13	250,9	0,51	0,050	0,014
143	031121	Reine Wohngebiete	0-10	SI2	6,9	0,8	33,7	0,22	7,5	9,0	3,9	0,11	99,5	3,12	0,320	0,014
144	031121	Reine Wohngebiete	0-10	fS	6,8	1,0	19,9	0,12	6,0	5,7	3,0	0,10	41,4	1,55	0,190	0,014
145	031121	Reine Wohngebiete	0-10	SI2	6,8	2,6	34,8	0,54	11,0	9,4	6,3	0,18	116,7	0,33	0,030	0,014
146	031122	Wohnmischgebiete	0-10	SI2	6,9	0,2	32,8	0,16	10,9	9,3	5,4	0,13	60,6	0,26	0,040	0,014
147	031122	Wohnmischgebiete	0-10	SI2	6,7	3,8	57,2	0,20	50,6	20,6	10,1	0,42	122,5	<NG	0,040	0,004
148	031122	Wohnmischgebiete	0-10	SI2	6,9	3,3	11,0	0,03	14,0	10,4	6,3	0,08	47,0	2,24	0,280	0,014
149	031132	Kleingärten	0-30	SI3	6,9	3,2	23,9	0,05	14,1	6,3	6,3	0,16	54,1	0,04	0,040	0,014
150	031132	Kleingärten	0-30	SI3	6,8	3,0	27,2	0,03	12,0	5,9	6,4	0,16	63,7	0,19	0,030	0,014
151	031132	Kleingärten	0-30	SI3	6,7	3,9	36,4	0,02	11,6	8,1	6,0	0,20	69,8	0,04	0,040	0,014
152	031140	Industrie- und Gewerbe-flächen	0-10	SI2	6,7	0,1	14,1	0,01	7,3	5,2	3,9	0,08	31,5	0,41	0,020	0,014
153	031140	Industrie- und Gewerbe-flächen	0-10	mS	6,9	0,3	50,6	0,41	16,9	12,7	7,3	0,05	92,3	1,60	0,090	0,014
154	031140	Industrie- und Gewerbe-flächen	0-10	SI2	7,1	1,9	14,2	0,19	6,4	5,9	4,7	0,06	57,3	0,04	0,040	0,014
155	031140	Industrie- und Gewerbe-flächen	0-10	SI2	7,2	1,3	22,5	0,21	5,8	5,1	3,0	0,10	35,6	0,04	0,040	0,014
156	031140	Industrie- und Gewerbe-flächen	0-10	fS	7,2	1,3	16,9	0,26	5,6	0,7	5,5	0,20	63,6	0,34	0,020	0,014
157	031140	Industrie- und Gewerbe-flächen	0-10	SI2	7,7	3,7	98,0	0,01	60,8	22,2	8,1	0,19	219,1	0,64	0,030	0,014

Proben Nr.	Raumeinheiten-typ (RET)	Nutzungen	Probennahmetiefe cm	Bodenart KA 4	pH-Wert	Arsen As mg/kg	Blei Pb mg/kg	Cadmium Cd mg/kg	Chrom (ges.) Cr mg/kg	Kupfer Cu mg/kg	Nickel Ni mg/kg	Quecksilber Hg mg/kg	Zink Zn mg/kg	PAK (EPA) mg/kg	Benzo(a)pyren BaP mg/kg	PCB mg/kg
158	031140	Industrie- und Gewerbe- flächen	0-10	SI2	6,8	1,6	46,8	0,03	8,2	15,1	5,1	0,18	88,3	0,04	0,040	0,014
159	031140	Industrie- und Gewerbe- flächen	0-10	SI2	7,7	2,8	48,6	0,02	52,5	13,7	8,9	0,09	134,5	0,04	0,040	0,006
160	031140	Industrie- und Gewerbe- flächen	0-10	SI3	6,5	0,9	15,1	0,11	15,0	6,6	9,1	0,03	26,2	<NG	0,040	0,014
161	031140	Industrie- und Gewerbe- flächen	0-10	SI2	6,3	1,0	28,9	0,13	10,8	7,6	4,1	0,07	38,1	0,04	0,040	0,014
162	031140	Industrie- und Gewerbe- flächen	0-10	SI2	6,3	1,6	41,9	0,41	11,9	10,5	5,7	0,26	122,5	0,98	0,120	0,014
163	031140	Industrie- und Gewerbe- flächen	0-10	SI2	7,4	6,9	192,7	0,06	42,8	39,5	9,8	0,15	476,8	0,99	0,070	0,025
164	031140	Industrie- und Gewerbe- flächen	0-10	SI2	7,5	5,2	74,3	0,03	33,0	18,2	12,5	0,13	291,1	0,75	0,070	0,011
165	031140	Industrie- und Gewerbe- flächen	0-10	SI2	7,8	1,8	78,7	0,40	9,5	29,8	8,4	0,13	142,0	3,38	0,280	0,014
166	031140	Industrie- und Gewerbe- flächen	0-10	fS	6,9	2,1	41,8	0,25	11,7	33,9	12,6	0,08	107,5	5,04	0,310	0,014
167	031210	Ackerbauflächen	0-30	SI2	5,6	0,9	26,4	0,12	7,0	6,7	2,8	0,04	33,4	3,26	0,320	0,014
168	031210	Ackerbauflächen	0-30	SI2	7,1	0,2	27,2	0,12	10,0	9,3	5,6	0,11	46,1	0,56	0,040	0,014
169	031210	Ackerbauflächen	0-30	SI2	7,3	1,7	29,9	0,17	14,2	12,5	10,6	0,11	46,7	0,46	0,040	0,014
170	031400	sonstige Freiflächen	0-10	SI2	6,6	1,8	63,3	0,65	24,3	12,9	8,3	0,29	173,5	1,42	0,100	0,014
171	031400	sonstige Freiflächen	0-10	SI2	6,2	1,7	23,4	0,17	6,6	7,0	3,9	0,06	37,3	0,45	0,030	0,014
172	031112	Park- und Freizeitanlagen	0-10	SI2	6,1	0,5	27,2	0,16	7,3	8,0	4,2	0,06	50,0	0,44	0,040	0,014
173	031400	sonstige Freiflächen	0-10	SI2	6,2	0,2	23,6	0,20	5,9	7,4	3,4	0,53	36,8	0,04	0,040	0,014
174	031400	sonstige Freiflächen	0-10	SI2	6,9	2,9	27,6	0,31	6,6	7,0	4,4	1,18	49,7	0,36	0,040	0,014

Proben Nr.	Raumeinheiten-typ (RET)	Nutzungen	Proben-nahmetiefe cm	Boden-art KA 4	pH-Wert	Arsen As mg/kg	Blei Pb mg/kg	Cad-mium Cd mg/kg	Chrom (ges.) Cr mg/kg	Kupfer Cu mg/kg	Nickel Ni mg/kg	Queck-silber Hg mg/kg	Zink Zn mg/kg	PAK (EPA) mg/kg	Benzo(a)pyren BaP mg/kg	PCB mg/kg
175	031400	sonstige Freiflächen	0-10	fS	5,4	1,1	21,0	0,20	5,9	3,4	2,8	0,24	51,0	0,20	0,040	0,014
176	111220	Grünlandflächen	0-10	Mudde +SI2	5,9	1,8	26,3	0,01	10,2	12,0	4,8	0,16	70,4	0,04	0,040	0,014
177	111220	Grünlandflächen	0-10	Torf+SI2	6,9	2,2	33,4	0,01	11,9	22,1	6,3	0,18	147,3	0,04	0,040	0,014
178	111220	Grünlandflächen	0-10	fS	5,3	1,7	28,0	0,01	5,4	8,1	3,1	0,09	74,7	2,04	0,040	0,014
179	111220	Grünlandflächen	0-10	fS	4,6	1,4	32,0	0,12	6,8	7,3	3,5	0,06	47,4	0,65	0,250	0,014
180	121132	Kleingärten	0-30	SI3 +Mudde	7,1	3,9	45,5	0,06	24,0	14,7	5,9	0,25	114,8	0,11	0,040	0,014
181	031132	Kleingärten	0-30	SI2	7,1	4,4	175,1	0,06	40,4	27,5	20,1	0,14	311,8	0,04	0,040	0,014
182	031132	Kleingärten	0-30	SI2	7,3	4,6	75,5	0,06	14,2	16,6	8,3	0,79	198,1	0,38	0,040	0,014
183	121132	Kleingärten	0-30	SI3	7,2	6,0	40,4	0,02	6,3	9,3	4,1	0,08	103,8	0,54	0,060	0,014
184	121132	Kleingärten	0-30	SI3 +Mudde	7,1	5,5	72,4	0,01	10,2	15,9	6,6	0,18	164,3	0,67	0,040	0,014
185	121132	Kleingärten	0-30	SI2 +Mudde	7,2	0,1	26,0	0,01	6,0	9,4	3,7	0,08	58,4	0,54	0,060	0,014
186	031140	Industrie- und Gewerbe-flächen	0-10	SI2	7,1	6,5	204,8	0,09	44,8	83,2	28,1	0,44	371,3	0,47	0,070	0,014
187	031140	Industrie- und Gewerbe-flächen	0-10	mS	7,1	0,5	24,7	0,20	27,0	30,4	21,2	0,03	87,5	1,81	0,180	0,014
188	031140	Industrie- und Gewerbe-flächen	0-10	mS	7,0	0,1	21,2	0,14	7,7	6,8	4,1	0,02	69,4	3,53	0,580	0,014
189	121220	Grünlandflächen	0-10	Ls2	7,1	5,4	184,7	0,06	21,1	79,4	13,4	0,91	295,9	0,52	0,050	0,014
190	121220	Grünlandflächen	0-10	SI2 +Mudde	7,1	3,1	34,0	0,06	8,4	13,0	3,9	0,13	125,3	0,56	0,080	0,004
191	121220	Grünlandflächen	0-10	SI3	6,9	0,2	46,1	0,06	9,4	10,1	6,2	0,13	44,6	1,00	0,110	0,010

Pro- ben Nr.	Raum- einhei- ten-typ (RET)	Nutzungen	Proben- nahme- tiefe cm	Boden- art KA 4	pH- Wert	Arsen As mg/kg	Blei Pb mg/kg	Cad- mium Cd mg/kg	Chrom (ges.) Cr mg/kg	Kupfer Cu mg/kg	Nickel Ni mg/kg	Queck- silber Hg mg/kg	Zink Zn mg/kg	PAK (EPA) mg/kg	Benzo(a) pyren BaP mg/kg	PCB mg/kg
192	121220	Grünlandflächen	0-10	Sl2 +Mudde	6,9	0,7	44,8	0,06	7,2	29,2	6,0	0,23	85,5	0,49	0,140	0,014
193	121220	Grünlandflächen	0-10	Sl2	6,1	5,4	19,6	0,06	4,1	5,8	2,6	0,10	56,2	0,04	0,040	0,014
194	121220	Grünlandflächen	0-10	Mudde	5,4	2,5	79,1	0,06	12,1	26,7	7,6	0,42	169,0	0,04	0,040	0,014
195	121220	Grünlandflächen	0-10	Mudde	5,8	9,4	34,7	0,06	10,8	8,7	4,9	0,12	59,7	59,20	4,880	0,014
196	121220	Grünlandflächen	0-10	Mudde	5,8	1,2	85,3	0,06	9,6	29,2	6,1	0,51	168,7	0,04	0,040	0,014
197	121220	Grünlandflächen	0-10	Mudde	6,9	2,0	74,2	0,06	18,7	26,3	8,2	0,44	184,2	0,78	0,040	0,014
198	121220	Grünlandflächen	0-10	Mudde	6,7	1,4	59,8	0,65	16,9	24,0	8,3	0,61	187,5	5,84	0,880	0,014
199	121220	Grünlandflächen	0-10	Mudde	6,7	1,3	86,2	0,69	18,4	31,8	8,2	0,36	184,9	2,44	0,320	0,014
200	121220	Grünlandflächen	0-10	Mudde	7,1	3,01	46,2	0,06	11,7	13,6	4,9	0,16	68,7	0,05	0,040	0,014
201	121220	Grünlandflächen	0-10	Mudde	7,1	7,42	52,5	0,06	14,2	7,4	7,1	0,23	58,3	0,04	0,040	0,014

Bei Werten < NG (siehe Originalanalysenwerte) wurde die halbe Bestimmungsgrenze eingesetzt, da mit dem GIS nur Werte verrechnet werden können (LABO 2003).

Tab. 12: Bewertung der Analyseergebnisse
Vorsorge-, Prüf- und Maßnahmenwerte nach BBodSchV, Anhang 2, 4.1; 4.2; 4.3

Bewertung	Kennzeichnung#	Arsen mg/kg	Blei mg/kg	Cadmium mg/kg	Chrom (ges.) mg/kg	Kupfer mg/kg	Nickel mg/kg	Quecksilber mg/kg	Zink mg/kg	PAK (EPA) mg/kg	Benzo(a)- pyren mg/kg	PCB mg/kg
Vorsorgewert Bodenart Ton			100	1,5	100	60	70	1	200			
Vorsorgewert Bodenart Lehm/Schluff (Ls2, Ls3, Ls4) ^{*1}			70	1	60	40	50	0,5	150			
Vorsorgewert Bodenart Sand (fS, mS, gS, SI2, SI3)			40	0,4	30	20	15	0,1	60			
Vorsorgewert Humusgehalt < 8 %										3	0,3	0,05
Vorsorgewert Humusgehalt > 8 %			*1	*1	*1	*1	*1	*1	*1	10	1	0,1
Prüfwert Boden-Mensch (Kinderspielpl.); 0-10 cm ^{*2}		25	200	10	200,00	k.A.	70	10	k.A.	k.A.	2,0	0,4
Prüfwert Boden-Mensch (Wohngebiet); 0-10 cm ^{*3}		50	400	20	400,00	k.A.	140	20	k.A.	k.A.	4	0,8
Prüfwert Boden-Mensch (Park und Freizeitanlagen); 0-10 cm ^{*4}		125	1000	50	1000,00	k.A.	350	50	k.A.	k.A.	10	2
Prüfwert Boden-Mensch (Industrie- und Gewerbegrundstücke); 0-10 cm ^{*5}		140	2000	60	1000,00	k.A.	900	80	k.A.	k.A.	12	40
Prüfwert Boden-Pflanze (Acker, Nutzgarten) 0-30 cm ^{*6}		200	k.A.	2	k.A.	k.A.	k.A.	5	k.A.	k.A.	1,0	k.A.
Maßnahmenwert Boden-Pflanze (Grünland) 0-10 cm ^{*7}		50	1200	20	k.A.	k.A.	1900	2	k.A.	k.A.	1,0	0,2
Probenkennzeichnung Humusgehalt > 8 % ^{*8}												

= Kennzeichnung bei Überschreitung in Tabelle 11

*1 = Bei Böden der Bodenart Lehm/Schluff mit einem pH-Wert von < 6,0 gelten für Cd, Ni und Zn sowie bei einem pH-Wert < 5,0 für Blei die Vorsorgewerte der Bodenart Sand.

*2 = Prüfwert Boden-Mensch; Wirkungspfad Boden-Mensch (Kinderspielplätze) nach BBodSchV (1999) (Schwermetalle: Extraktion mit Königswasser).

*3 = Prüfwert Boden-Mensch; Wirkungspfad Boden-Mensch (Wohngebiete) nach BbodSchV (1999) (Schwermetalle: Extraktion mit Königswasser).

*4 = Prüfwert Boden-Mensch; Wirkungspfad Boden-Mensch (Park- und Freizeitanlagen) nach BBodSchV (1999) (Schwermetalle: Extraktion mit Königswasser)

*5 = Prüfwert Boden-Mensch; Wirkungspfad Boden-Mensch (Industrie- und Gewerbegrundstücke) nach BBodSchV (1999) (Schwermetalle: Extraktion mit Königswasser)

*6 = Prüfwert Boden-Pflanze; Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze (Acker, Kleingarten, Hausgärten) nach BBodSchV (1999) (Schwermetalle: Extraktion Königswasser)

*7 = Maßnahmenwert Boden-Pflanze; Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze (Grünland) nach BBodSchV (1999) (Schwermetalle: Extraktion Königswasser)

*8 = Die Vorsorgewerte der BBodSchV finden für Bodenhorizonte mit einem Humusgehalt von mehr als 8 Prozent keine Anwendung.

4.2 Ergebnis der deskriptiven Auswertung

Die Analysenergebnisse finden sich in **Tabelle 11 (Seite 14 - 25)**. Bei Messwerten unterhalb der Nachweisgrenze wurde der Wert der halben Bestimmungsgrenze eingesetzt. Dieses ist erforderlich, da die GIS-Berechnung für jede Koordinate zugeordnete Werte erfordert (LABO 2003). Bei Überschreitung eines Vorsorgewertes wurde der Messwert grau markiert.

Zur Kennzeichnung von siedlungsbedingt erhöhten Hintergrundwerten werden die Vorsorgewerte der BBodSchV zur Bewertung der Analyseergebnisse herangezogen und sind in **Tabelle 12 (Seite 26)** zusammen gestellt. Zusätzlich werden die Prüfwerte bzw. Maßnahmenwerte der BBodSchV der für das Untersuchungsgebiet nach Nutzung unterschiedenen Wirkungspfade angegeben:

- Wirkungspfad Boden-Mensch (Kinderspielplätze),
- Wirkungspfad Boden-Mensch (Wohngebiete),
- Wirkungspfad Boden-Mensch (Park- und Freizeitanlagen),
- Wirkungspfad Boden-Mensch (Industrie- und Gewerbegrundstücke),
- Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze (Acker, Kleingarten, Nutzgarten),
- Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze (Grünland)

So können Kontaminationen, die eher punktuelle Schadstoffbelastungen anzeigen, gegenüber den siedlungsbedingt erhöhten Belastungen abgegrenzt und markiert werden.

In Abbildung 2 sind die Schadstoffe, deren Gehalte die gemessenen Vorsorgewerte überschreiten, als Symbole dargestellt. Um einen ersten Eindruck von der Verteilung der Schadstoffgehalte zu erhalten, wurden diese zunächst entsprechend ihrer Höhe mit unterschiedlich großen Symbolen visualisiert.

Überschrittene Vorsorgewerte sind durch ein rotes Kreuz im Symbol markiert.

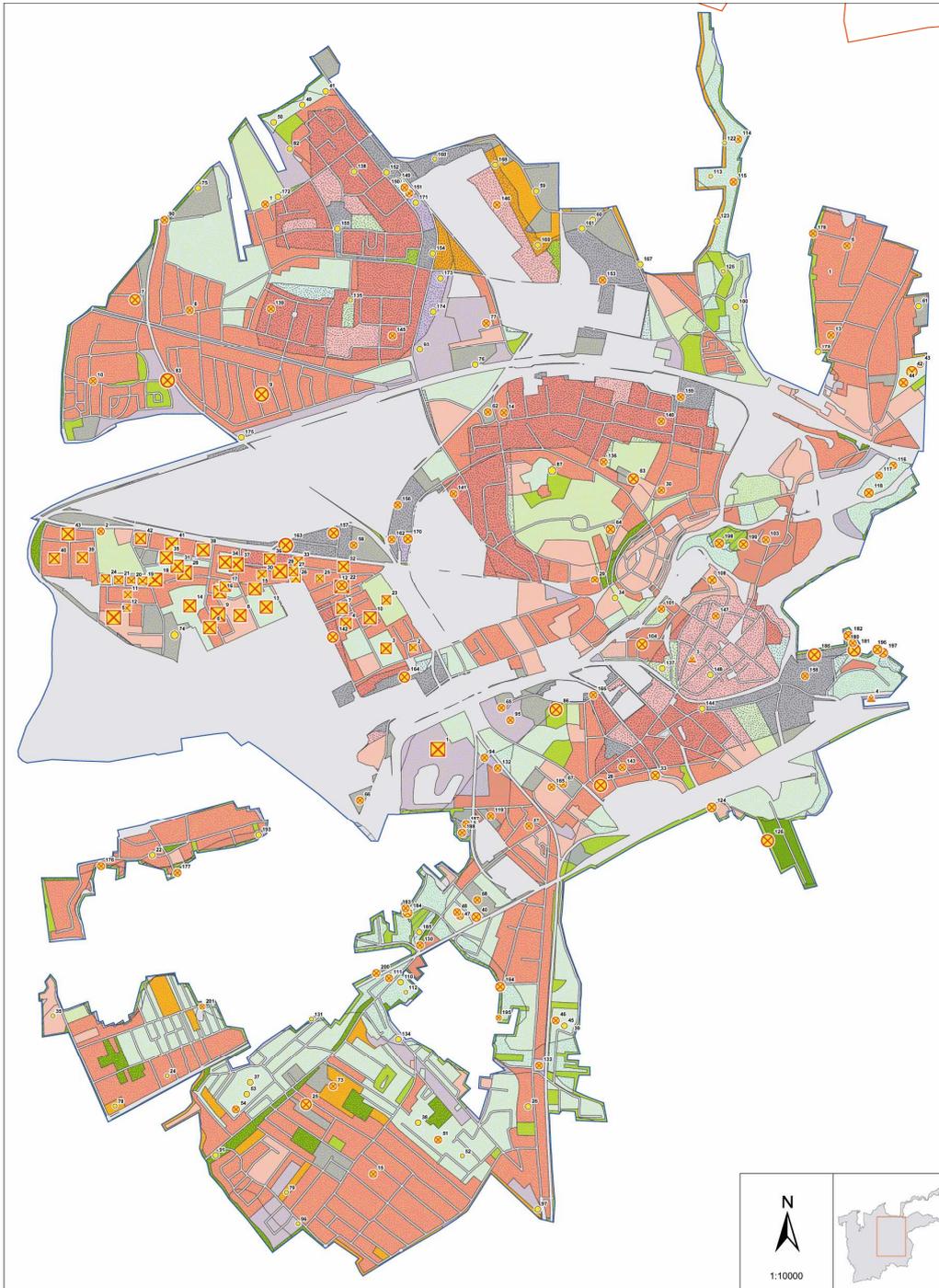
Anhand der deskriptiven Ergebnisse und deren Darstellung in der Karte (Abb. 2 und ANLAGE 1) konnte abgeschätzt werden, für welche Schadstoffe eine Gebietskennzeichnung sinnvoll sein und eine räumliche Interpolation der punktförmig erhobenen Daten einen wesentlichen Informationsgewinn darstellen würde.

Die deskriptiven Ergebnisse ließen folgendes Bild erkennen:

- In 82 % der untersuchten Proben wird mindestens einer der 10 Vorsorgewerte deutlich überschritten.
- Die Quecksilber- und Zink-Gehalte sowie die Blei- und Cadmium-Gehalte überschreiten häufig die entsprechenden Vorsorgewerte. Bodenart und Nutzung haben keinen Einfluss.
- Die Kupfer- und Nickel-Gehalte sowie die PAK-Gehalte sind meist gering, nur in einzelnen Proben wird der Vorsorgewert überschritten.
- PCB ist nur in Spuren nahe der Bestimmungsgrenze zu finden, die Vorsorgewerte werden weit unterschritten.
- Es werden keine Prüf- und Maßnahmenwerte erreicht oder überschritten.
- Die Analyseergebnisse lassen erkennen, dass in der Stadt Brandenburg Gebiete gekennzeichnet werden können, in denen Hintergrundwerte siedlungsbedingt erhöht sind. Erst durch die geostatistische Auswertung kann eine sichere Aussage hierzu getroffen werden.

GSE-Projekt: Zink-Gehalte im Oberboden

Stadt Brandenburg - Zentrum



Raumeinheitentypen	Zinkgehalte in mg/kg TS	Legende	Auftraggeber:
<ul style="list-style-type: none"> Böden aus Sand, z.T. mit Tonf und aus Lehm sand Böden aus organogenen Sedimenten Böden aus anorganogenen ungesättigten Sedimenten Böden aus Sand, z.T. mit Tonf und aus Lehm sand Böden aus organogenen Sedimenten 	<ul style="list-style-type: none"> 0,00 - 30,00 30,01 - 60,00 60,00 - 150,00 150,01 - 200,00 200,01 - 300,00 300,01 - 400,00 > 400,00 	<ul style="list-style-type: none"> Stadtgrenze (Stadt Brandenburg) Ortslage (ATKIS) Ausschüttflächen Daten: Umweltkonzept Dr. Meyer 2002 Daten: FH Eberswalde 1999 Daten: Stadt Brandenburg 2000/2001 Vorsorge-Hintergrundwert überschritten Hintergrundwert Zn (Tonf/Muffde): 30 mg/kg TS Vorsorgewert Zn (Sand): 60 mg/kg TS Vorsorgewert Zn (Lehm): 150 mg/kg TS 	<ul style="list-style-type: none"> Auftraggeber: Landesumweltamt Brandenburg Auftragnehmer: Umweltkonzept Dr. Meyer Fritschstr. 22 10585 Berlin greenlab geoinformatics GmbH Regattastr. 55 12527 Berlin

Abb. 2: Probenstandorte in den Raumeinheiten. Darstellung der Zink-Gehalte mit Kennzeichnung der überschrittenen Vorsorgewerte

5 Geostatistische Analyse und Kennzeichnung der Gebiete

5.1 Ziele der geostatistischen Auswertung

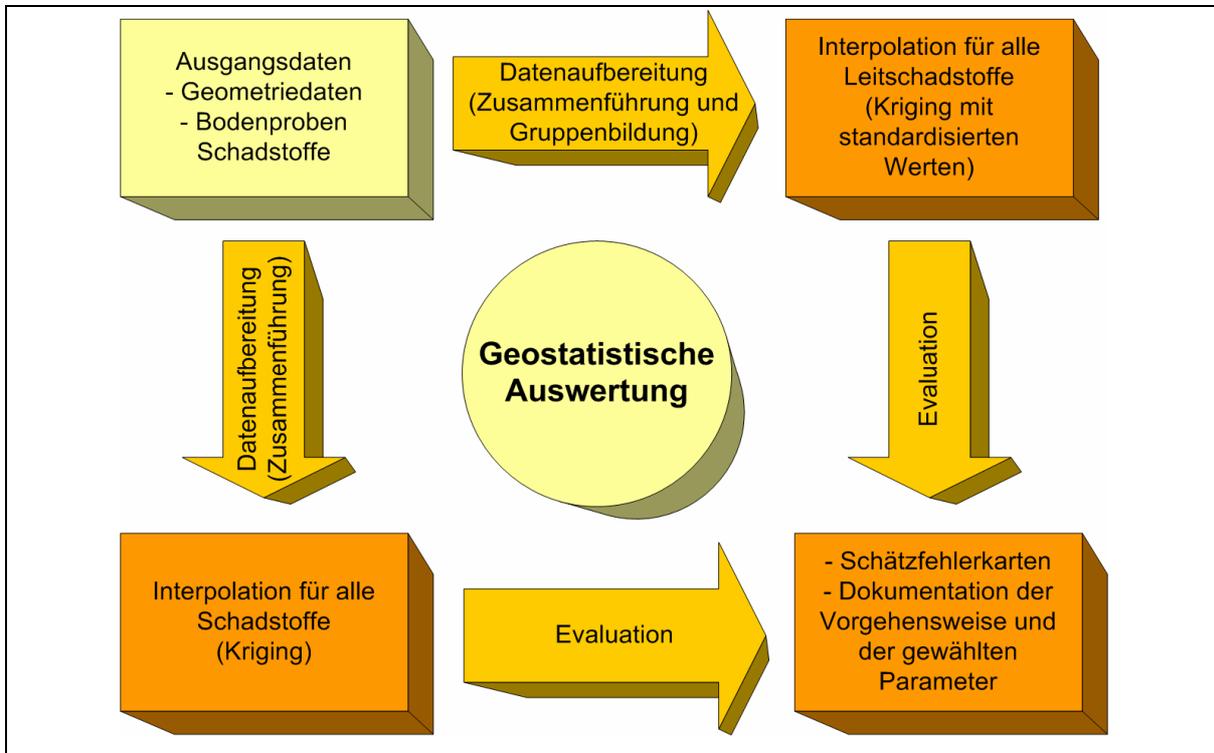


Abb. 3: Geostatistischer Auswertungsprozess

In der deskriptiven Datenauswertung wurden die ermittelten Schadstoffgehalte durch Einbindung in den räumlichen Kontext und den darin lokalisierten Einflussfaktoren (wie Nutzungs- und Bodenarten oder evtl. vorhandene Schadstoffquellen) interpretiert.

Um Gebiete mit erhöhtem Schadstoffgehalt im Untersuchungsraum kennzeichnen zu können, ist darüber hinaus eine geostatistische Auswertung erforderlich. In Abbildung 3 wird der Bearbeitungsprozess, der der geostatistischen Auswertung zugrunde liegt, schematisch dargestellt.

Für die geostatistische Auswertung ist es notwendig, eine räumliche Interpolation der punktförmig erhobenen Daten durchzuführen, d. h. punktuelle Informationen (z.B. Schadstoffgehalte der Probenstandorte wie in Abb. 2) in räumliche Schadstoffgehalte in der Fläche zu überführen. Die Verwendung eines geeigneten und statistisch abgesicherten Interpolationsverfahrens, das so genannte Kriging, gewährleistet eine inhaltlich korrekte Interpretation der Flächendaten, die aus dem Interpolationsprozess resultieren. Ein weiteres Ziel der geostatistischen Auswertung ist, zu erkunden, ob zwischen den Boden- bzw. Nutzungsarten und den ermittelten Schadstoffgehalten ein Zusammenhang besteht.

Im Ergebnis der geostatistischen Auswertung werden Interpolationskarten (Abb. 4, ANLAGE 2) generiert, deren Bewertungssicherheit durch die zusätzliche Erstellung von Schätzfehlerkarten (Abb. 5) ermöglicht wird. Mit Hilfe der Schätzfehlerkarten lassen sich außerdem die Gebiete ermitteln, in denen ein zusätzlicher Beprobungsbedarf besteht. In den Interpolationskarten werden die Gebiete, in denen die nach Bodenart differenzierten Vorsorgewerte überschritten werden, mit einer flächenhaften Kennzeichnung gitterförmig markiert.

5.2 Datenaufbereitung zur geostatistischen Auswertung

Neben den 201 erhobenen Messwerten sollten Daten für verschiedene Schadstoffe aus schon vorhandenen Untersuchungen in die Auswertung einbezogen werden. Als Datengrundlage standen somit für das Stadtgebiet Brandenburg (Ortslage) Daten aus drei Quellen zur Verfügung:

- Daten ermittelt durch Umweltkonzept Dr. Meyer (Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Hg, Zn, PAK, BaP, PCB)
- Daten ermittelt durch die FH Eberswalde (Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn) (FH Eberswalde 2000)
- Daten ermittelt durch die Stadt Brandenburg (Pb, Cd, Cu, Zn).

Zu Beginn der Datenaufbereitung mussten die notwendigen Voraussetzungen auf der Datenebene geschaffen werden, um die statistischen und geostatistischen Verfahren korrekt durchführen zu können. Dabei wurden Datensätze als „Ausreißer“ ermittelt und eliminiert, wenn die Werte die im Gesamtdatenbestand auftretenden Höchstwerte um das Zehn- bis Hundertfache überschritten. Dies war nur in Einzelfällen bei den in die Untersuchung einbezogenen Fremddaten erforderlich.

5.3 Der Kriging-Prozess

Für jeden einzelnen Schadstoff wurde eine Interpolationskarte erstellt. Die Interpolation mittels Kriging setzt voraus, dass bei jedem Interpolationsvorgang die notwendigen Parameter für das Verfahren optimal an die Gegebenheiten im Datenbestand angepasst werden.

Grundlage eines Kriging-Prozesses ist stets ein experimentelles Semivariogramm, in dem die räumliche Korrelation zwischen den vorhandenen regionalen Variablen in Bezug auf ihre Veränderung bei größerer Entfernung zwischen den einzelnen Messwerten dargestellt wird.

Mit zunehmender Entfernung werden die Sachattribute (Schadstoffwerte) der Punkte immer unähnlicher und die Semivarianz wird immer größer. Ab einer gewissen Distanz sind die Punkte so weit voneinander entfernt, dass keine gegenseitigen Abhängigkeiten mehr ermittelt werden können. Die quadrierten Differenzen der Proben nähern sich der Varianz und die Semivarianz steigt nicht weiter an.

Das Semivariogramm entwickelt idealtypisch eine Abflachung in der Kurve (sill). Die Entfernung vom Ursprung des Diagramms bis zum Erreichen der Varianz wird „range“ genannt (vgl. UBA 2002, S. C-9).

Unter der Annahme, dass das experimentelle Variogramm den großen räumlichen Verlauf des räumlichen Zusammenhangs im gesamten Untersuchungsgebiet repräsentiert, wird an das empirisch ermittelte Variogramm ein theoretisches angepasst, um auch in solchen Gebieten Werte interpolieren zu können, für die keine Tupel in den beobachteten Daten vorliegen (vgl. LABO 2003, S. 23).

Auf Grundlage der experimentellen Semivariogramme (Abb. 6) wurden dann die Kriging-Interpolationen mittels geostatistischer Werkzeuge in einem GIS durchgeführt. Eine Dokumentation zu den in den einzelnen Interpolationsvorgängen benutzten theoretischen Variogrammen ist in der Dokumentation zu den jeweiligen experimentellen Semivariogrammen enthalten.

GSE-Projekt: Zink-Gehalte im Oberboden
 Stadt Brandenburg - Zentrum

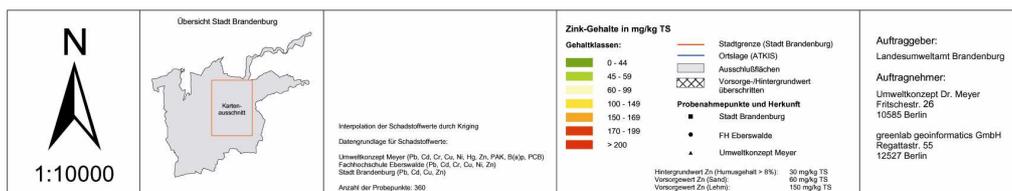
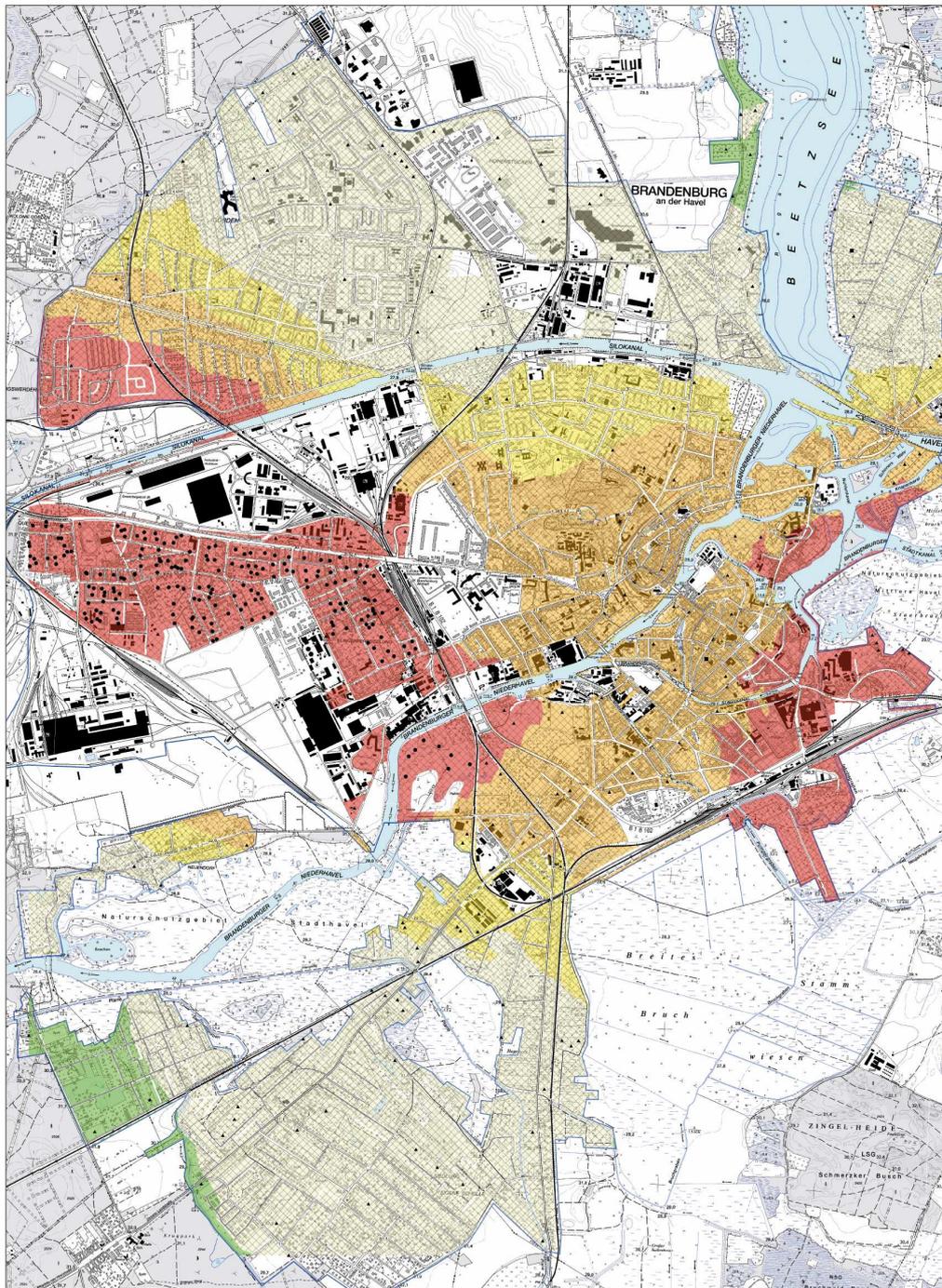
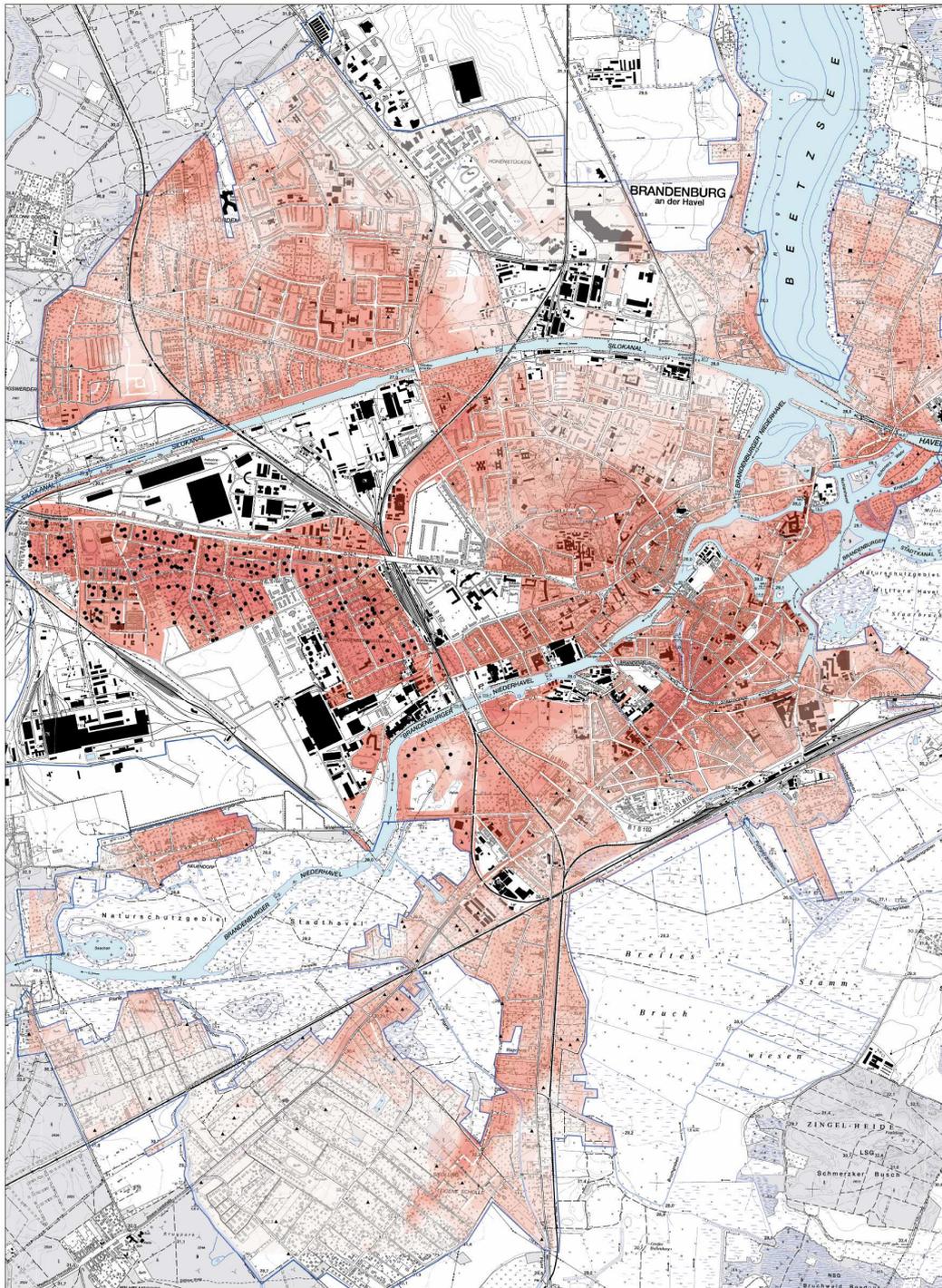


Abb. 4: Interpolationskarte – Gekennzeichnete Gebiete mit überschrittenen Vorsorgewerten für den Schadstoff Zink

GSE-Projekt: Zink-Gehalte im Oberboden Stadt Brandenburg - Zentrum / Schätzfehlerkarte



<p>1:10000</p>	<p>Übersicht Stadt Brandenburg</p> <p>Karte ausschnitt</p>	<p>Interpolation der Schadstoffwerte durch Kriging</p> <p>Datengrundlage für Schadstoffwerte:</p> <p>Umweltkonzept Meyer (Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Hg, Zn, PAK, B[a]p, PCB) Staatliche Ebene (Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn) Stadt Brandenburg (Pb, Cd, Cu, Zn)</p> <p>Anzahl der Probenpunkte: 360</p> <p>Die Schätzfehlerkarte wurde für die bei der zugehörigen Interpolationsmethode verwendeten Modellparameter des experimentellen Geometriogramms berechnet.</p> <p><small>Bei der Interpretation ist zu beachten, dass die Probenpunkte unterschiedlichen Messzeiten entstammen. Sollten die Daten zu unterschiedlichen Messzeiten erhoben worden sein, sind die Schätzfehlerkarten unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Gesamtvarianz in der Schätzfehlerkarte.</small></p>	<p>Zink-Gehalte (Schätzfehler)</p> <p>Schätzfehlerklassen:</p> <ul style="list-style-type: none"> 0 - 75 76 - 104 105 - 132 133 - 150 151 - 179 180 - 227 228 - 307 308 - 658 <p> Stadlgrenze (Stadt Brandenburg) Ortslage (ATKIS) </p> <p> Probenahmepunkte und Herkunft Stadt Brandenburg FH Eberswalde Umweltkonzept Meyer </p>	<p>Auftraggeber: Landesumweltamt Brandenburg</p> <p>Auftragnehmer: Umweltkonzept Dr. Meyer Fritschstr. 20 10585 Berlin</p> <p>greenlab geoinformatics GmbH Regattastr. 55 12527 Berlin</p>
----------------	--	--	---	--

Abb. 5: Schätzfehlerkarte der interpolierten Werte für die Zink-Gehalte

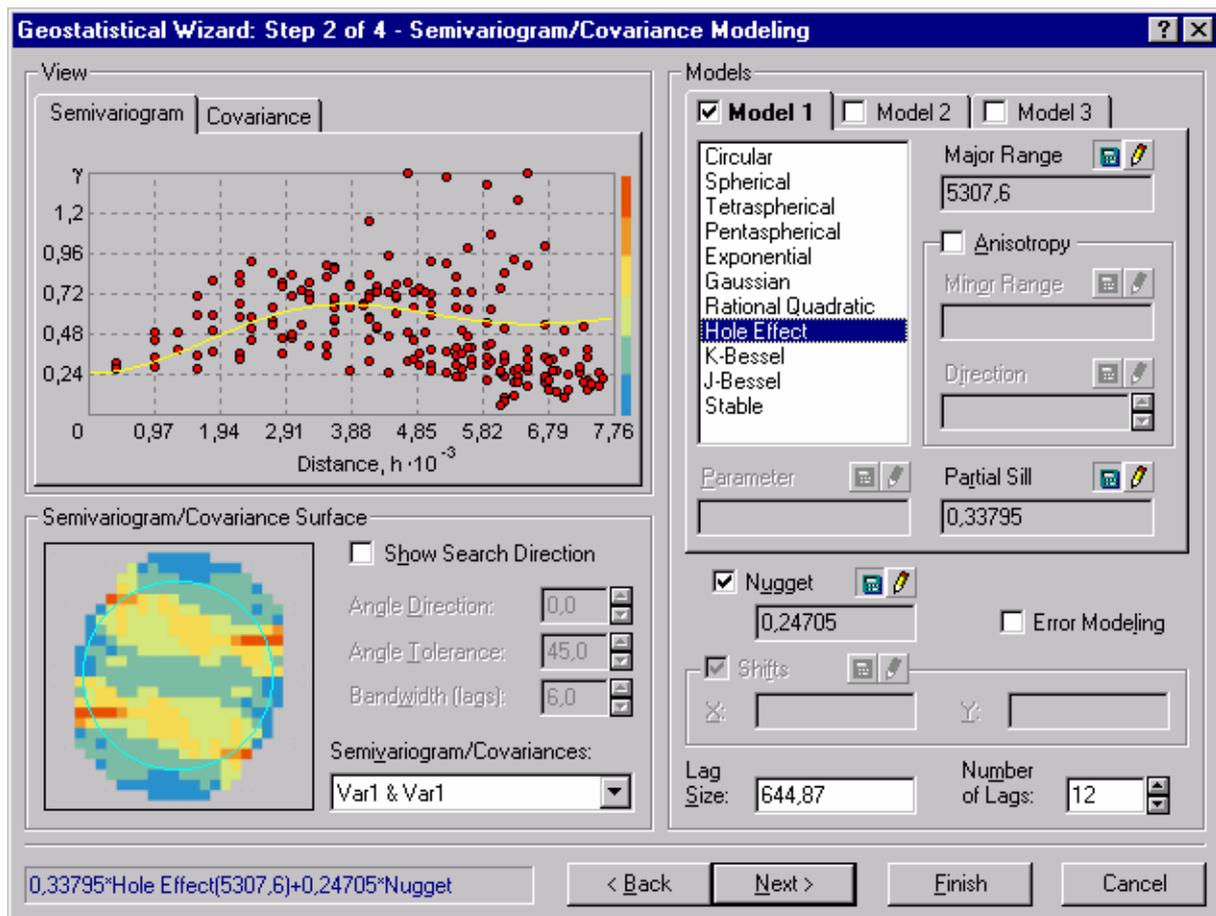


Abb. 6: Experimentelles Semivariogramm

5.4 Erstellung der Interpolationskarten

Die Umsetzung des Kriging erfolgte mit dem ArcGIS Geostatistical Analyst Kriging-Werkzeug (ESRI 2001). Im Ergebnis des Kriging-Prozesses wurde für jeden betrachteten Schadstoff ein Polygon erzeugt, das die Schadstoffwerte des Untersuchungsgebietes flächenhaft interpoliert enthält (Abb. 4).

Dabei wurde zunächst für jeden Schadstoff überprüft, ob eine logarithmische Transformation der Daten zu einer größeren Annäherung an eine Normalverteilung führen würde und gegebenenfalls durchgeführt. Danach erfolgte eine Anpassung der Semivariogramm-Parameter für die Reichweite und die Anzahl der für jeden Punkt einzubeziehenden benachbarten Punkte. Die getroffenen Einstellungen wurden dabei stets an dem aktualisierten experimentellen Semivariogramm kontrolliert.

Die Parameter für die Modellbildung jedes Schadstoffes sind aus Gründen der Überprüfbarkeit mit dem zugehörigen experimentellen Semivariogramm in der Dokumentation enthalten.

Zusätzlich wurden für jede Interpolationskarte Schätzfehlerkarten (Standard prediction error maps) generiert, mit deren Hilfe eine Abschätzung hinsichtlich der zu erwartenden Genauigkeit der erstellten Interpolationskarten ermöglicht wurde. Bei Überschreitung eines Grenzwertes konnte mittels der Schätzfehlerkarten zudem eine Festlegung für die Flächen im Untersuchungsgebiet getroffen werden, in denen eine weitere Beprobung notwendig erschien.

5.5 Gebietskennzeichnung für überschrittene Vorsorgewerte

Die entstandenen Polygone bilden gleichzeitig die Grundlage für die weitere Analyse, um diejenigen Gebiete zu ermitteln, in denen die Vorsorgewerte für Schadstoffe (BBodSchV 1999) überschritten werden.

Um den notwendigen räumlichen Bezug zwischen der Schadstoffkonzentration und der jeweiligen Bodenart herzustellen, wurden alle Schadstoffinterpolationskarten mit der zugehörigen Bodenartenkarte des Untersuchungsgebiets mit Hilfe von Geoprozess-Werkzeugen verschnitten.

5.6 Schema zur Kennzeichnung von überschrittenen Vorsorgewerten

Die in der Bodenübersichtskarte (BÜK300) enthaltenen Böden sind für den beschriebenen Verschneidungsprozess nicht verwendbar, da in der BÜK300 weder eine scharfe Trennung nach Bodenarten für Oberböden erfolgt noch eine konkrete Aussage über den Humusgehalt getroffen wird. Da aber sowohl die Vorsorgewerte nach den Hauptbodenarten Sand, Lehm und Ton unterschieden werden als auch der Humusgehalt zu berücksichtigen ist, ist es notwendig, mittels eines geeigneten Interpolationsverfahrens aus den vorhandenen Probenstandorten eine flächenhafte Hauptbodenartenkarte mit den o.g. Eigenschaften zu erzeugen. Die dafür notwendigen Arbeitsschritte sind in Abbildung 7 dargestellt.

Die Daten hierfür stammen aus der Geländeansprache. Gebiete mit Hauptbodenarten, in denen Vorsorgewertüberschreitungen auftreten, werden in der Karte mit einer Schraffierungssignatur markiert.



Abb. 7: Schema für die Kennzeichnung der Gebiete mit überschrittenen Vorsorgewerten

In der Untersuchung werden die Vorsorgewerte für Schwermetalle anhand der BBodSchV verwendet. Wenn der Humusgehalt > 8 % liegt, gelten diese nicht und die Hintergrundwerte werden herangezogen.

5.7 Durchführung des Kriging mit standardisierten Werten

Für die Darstellung der Zusammenhänge zwischen Boden- und Nutzungsarten sowie den gemessenen Schadstoffwerten war es notwendig, Aggregationen der beprobten Raumeinheitentypen (RET) analog zu der Vorgabe in der GSE (Monse et al. 2000) vorzunehmen, so dass daraus vier neue Raumeinheitentypen A, B, C, D entstanden (Tab. 13).

Die Zusammenlegung war darauf ausgerichtet, „ähnliche“ Nutzungen, wie z.B. „*Wohnen und Freizeit*“, „*Garten, Acker, Forst*“ oder „*Industrie und Gewerbe*“ jeweils zusammenzufassen und mineralische Bodentypen von organogenen Sedimenten abzugrenzen, soweit dies möglich war. Bei den organogenen Sedimenten war der vor Ort bonitierte Humusgehalt (d.h. > 8 %), nicht die Angabe in der BÜK 300, entscheidend für die Zuordnung in die neuen RET.

Da viele der Raumeinheiten sehr klein waren, war ohne eine Aggregation in den meisten Fällen die Probenmenge für eine statistisch korrekte Wertestandardisierung zu gering. Die Aggregation wird in der GSE-Anleitung vorgegeben.

Mit den auf diese Weise standardisierten Werten wird die Kriging-Interpolation für fünf Leitschadstoffe (Blei, Kupfer, Quecksilber, Zink und PAK) durchgeführt. Die Standardisierung der Raumeinheitentypen ermöglicht es, vorhandene Einflüsse zwischen Nutzungsarten, Bodenarten und Schadstoffkonzentration zu ermitteln. Durch die Interpolationspolygone kann schnell erfasst werden, ob für einen bestimmten Raumeinheitentyp generell höhere bzw. niedrigere Schadstoffkonzentrationen festgestellt werden können. Eine Interpolationskarte für die standardisierten Zink-Gehalte im Oberboden ist in ABBILDUNG 8 enthalten.

Auch für die in diesem Verfahrensschritt erstellten Interpolationspolygone wurden Schätzfehlerkarten in einem Verfahren analog zu dem schon beschriebenen Vorgehen erzeugt, um die Evaluation der Ergebnisse zu unterstützen.

5.8 Interpretation der Karten

Die im Endergebnis des geostatistischen Auswertungsprozesses entstandenen Karten ermöglichen unterschiedliche Aussagen, die vom Kartentyp abhängig sind. Für alle Schadstoffe wurden Kriging-Interpolationskarten erstellt, in denen die interpolierten Absolutwerte für die Schadstoffkonzentration ermittelt wurden. Aus diesen Karten lassen sich Aussagen zur geschätzten Schadstoffbelastung für das gesamte Untersuchungsgebiet ableiten. Durch die Berücksichtigung der auf die Bodenarten bezogenen Vorsorgewerte und die Kennzeichnung der Gebiete, in denen diese überschritten sind, ist zudem eine schnelle Identifikation der Gebiete gegeben, in denen eine Grenzwert überschreitende Schadstoffbelastung erreicht wird.

Die Schätzfehlerkarten lassen eine Aussage darüber zu, wie hoch die maximalen Schätzfehler für die interpolierten Werte im Untersuchungsgebiet sind. Eine Ausweisung hoher Schätzfehler kann dabei unterschiedliche Ursachen besitzen: Bei Interpolationsbereichen, in denen Messwerte aus unterschiedlichen Untersuchungen vorliegen, ist aufgrund nicht identischer Auswertungsmethoden und unterschiedlicher Messpunktdichte mit höheren Schätzfehlern zu rechnen. Weiterhin ist auch in Gebieten mit geringer Beprobungsdichte von einem größeren Schätzfehler auszugehen.

Die Karten, in denen für Leitschadstoffe eine Standardisierung der Werte vorgenommen wurde, lassen eine Aussage darüber zu, ob die räumliche Schadstoffverteilung in den Böden unter Ausschluss des nutzungsspezifischen Einflusses einer regionalspezifischen Immissionkomponente zuordenbar ist.

Tab. 13: Aggregation von Raumeinheitentypen – Gruppe A, B, C, D

Gruppe A: Mineralisches Substrat – Wohnen & Freizeit – außerhalb Überschwemmungsgebiet

- 1.) Böden aus Sand / Lehmsand, kein Überschwemmungsgebiet**
 - Park & Freizeit 011112
 - Reine Wohngebiete 011121
 - Wohnmischgebiete 011122
 - sonstige Freiflächen 011400
- 2.) Anthropogene Böden, kein Überschwemmungsgebiet**
 - Park & Freizeit 031112
 - Reine Wohngebiete 031121
 - Wohnmischgebiete 031122
 - Sonstige Freiflächen 031400
- 3.) Organogene Sedimente (Humusgehalt < 8 %), kein Überschwemmungsgebiet**
 - Park & Freizeit 021112
 - Reine Wohngebiete 021121
 - Sonstige Freiflächen 021400 / Humus=0

Hinweis: Bei einem Humusgehalt > 8 % ist der Code Humus=1 vergeben, bei einem geringeren Humusgehalt weist der Attributwert Humus den Wert 0 auf.

Gruppe B: Mineralisches Substrat – Garten, Acker, Forst – außerhalb Überschwemmungsgebiet*

- 1.) Böden aus Sand / Lehmsand, kein Überschwemmungsgebiet**
 - Kleingärten 011132
 - Ackerbauflächen 011210
 - Grünland 011220
 - Forstflächen 011300
- 2.) Anthropogene Böden, kein Überschwemmungsgebiet**
 - Kleingärten 031132
 - Ackerland 031210
- 3.) Organogene Sedimente (Humusgehalt < 8 %), kein Überschwemmungsgebiet**
 - Kleingärten 021132
 - Grünland 021220 / Humus=0
 - Forst 021300 / Humus=0
- 4.) Böden aus Sand / Lehmsand, Überschwemmungsgebiet**
 - Grünlandflächen 111220*

**= Grünland teilweise Überschwemmungsflächen*

Hinweis: Bei einem Humusgehalt > 8% ist der Code Humus=1 vergeben, bei einem geringeren Humusgehalt weist der Attributwert Humus den Wert 0 auf.

Gruppe C: Mineralisches Substrat – Industrie & Gewerbe – außerhalb Überschwemmungsgebiet

- 1.) Böden aus Sand / Lehmsand, kein Überschwemmungsgebiet**
 - Industrie & Gewerbe 011140
- 2.) Anthropogene Böden, kein Überschwemmungsgebiet**
 - Industrie & Gewerbe 031140
- 3.) Organogene Sedimente, kein Überschwemmungsgebiet**
 - Industrie & Gewerbe 021140

Gruppe D: Organogene Sedimente – Grünland / Forst / sonstige Freiflächen – außerhalb Überschwemmungsgebiet

- 1.) Organogene Sedimente (Humusgehalt > 8 %), keine Überschwemmung**
 - Grünland 021220 / Humus=1
 - Forst 021300 / Humus=1
 - Sonstige Freiflächen 021400 / Humus=1

GSE-Projekt: Zink-Gehalte im Oberboden
Stadt Brandenburg - Zentrum / Interpolation standardisierter Werte

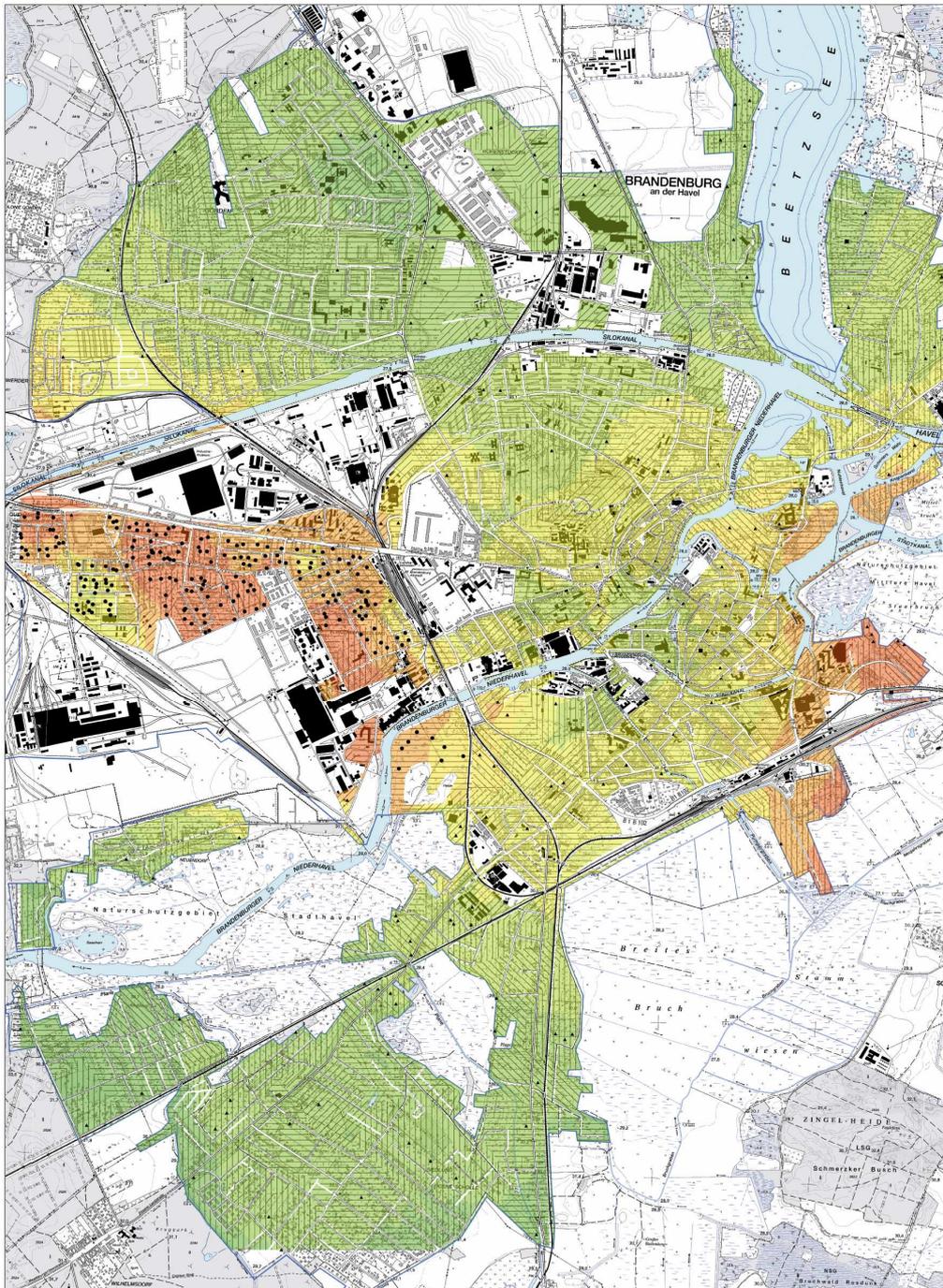


Abb. 8: Interpolationskarte standardisierter Schadstoffwerte für den Schadstoff Zink

6 Fazit

Im Rahmen des Vorhabens wurde eine praxisorientierte Methode zur Kennzeichnung von Gebieten mit siedlungsbedingt erhöhten Schadstoffgehalten aus der GSE-Anleitung entwickelt. Hieraus lässt sich für das Untersuchungsgebiet ableiten:

Innerhalb der Ortslage der Stadt Brandenburg können Gebiete mit erhöhten Hintergrundgehalten (> Vorsorgewerte) für die Schadstoffe Quecksilber, Zink, Blei und Cadmium gekennzeichnet werden, die je nach Schadstoff eine unterschiedliche Flächengröße aufweisen. Die Flächen, in denen der Vorsorgewert für PAK- bzw. Benzo(a)pyren überschritten wird, haben nur eine geringe Ausdehnung.

Die gekennzeichneten Gebiete liegen im Siedlungsbereich und in den ehemaligen Gewerbe- und Industriebereichen. Fast die gesamte weitere Umgebung des früheren Stahlwerkes liegt im gekennzeichneten Gebiet.

Die Schätzfehlerkarten machen deutlich, dass nur ein geringer weiterer Beprobungsbedarf besteht. Die peripheren Bereiche sind ausreichend untersucht. Ein vermeintlicher Bedarf wird durch die GIS-Analyse für die Bereiche signalisiert, in denen entweder wenige Proben genommen wurden (Randbereiche) oder wo Schadstoffuntersuchungen aus verschiedenen Projekten in die Berechnungen mit einfließen. Letzteres trifft vor allem für das Zentrum der Stadt Brandenburg zu.

Für eine künftige Beprobung von Gebieten mit vermutlich siedlungsbedingt erhöhten Schadstoffgehalten sind die folgenden methodische Hinweise zu berücksichtigen:

Mit Hilfe des GIS konnten sowohl die Probestandorte effizient geplant als auch die Flächenanalysen mit der geforderten statistischen Sicherheit durchgeführt werden. Die eingesetzte Software (ArcView 8.3 + Geostatistical Analyst) ist für die Bearbeitung der kartografischen und geostatistischen Aufgaben sehr gut geeignet.

Da es sich um siedlungsbedingt erhöhte Schadstoffgehalte handelt, sollten die für die Raumeinheiten relevanten Objektdaten auf die „Ortslagen“ einer Stadt eingeschränkt werden. Die ausgewählte Beprobungsdichte erwies sich für die meisten Raumeinheiten als ausreichend. Nur bei Forst-, Grünland- und Ackerflächen mit geringen Flächenanteilen in den Ortslagen war die Beprobungsdichte von einer Probe pro 10 ha zu gering. Empfehlenswert wäre hier eine Probe pro 1 ha.

Für die Festlegung der Probenstandorte in die Karte hat es sich bewährt, die Bodennutzung der jeweiligen Raumeinheit durch Überlagerung mit aktuellen digitalen Luftbildern zu überprüfen. So kann bereits im Planungsstadium vermieden werden, dass Punkte in Bereiche gesetzt werden, deren Nutzung sich gegenüber den ATKIS-Daten geändert haben. Dieses Vorgehen spart im Gelände das Aufsuchen von Ersatz-Probestandorten. Bei der Probennahme ist darauf zu achten, dass nicht frisch oder erst kürzlich aufgebrachtes Bodenmaterial beprobt wird.

Die Tatsache, dass an keinem der durch die Raumanalyse ausgewählten Probenstandorte Prüfwerte der BBodSchV überschritten wurden, zeigt, dass durch die Probennahmeplanung Altlasten bzw. schädlichen Bodenveränderungen erfolgreich ausgeschlossen wurden.

Literatur

BACHMANN et al. (1997): Fachliche Eckpunkte zur Ableitung von Bodenwerten im Rahmen des Bundes-Bodenschutzgesetzes. Loseblattsammlung „Bodenschutz“, 24. Lfg. IX/97, Kennziffer 3500, Kap. 4.3.7, S. 69 ff.

BUNDES-BODENSCHUTZ- UND ATTLASTENVERORDNUNG – BBodSchV vom 16. 6. 1999; BGBl, I. Teil, Nr. 36 vom 16.7.1999, S. 1554 ff.

BUNDES-BODENSCHUTZGESETZ – BBodSchG vom 17. 3. 1998, BGBl. I. G 5702, Nr. 16 vom 24. 3. 1998, S. 502-510.

ESRI (2001): ArcGIS Geostatistical Analyst, ESRI White Paper. Redlands, CA (USA) .

MONSE, M., HIRSCH, A.K., SCHMIDT, R. (2000): Regionalisierung von Bodenbelastungen als fachliche Grundlage für gebietsbezogene Maßnahmen nach BBodSchG in Brandenburg. Bericht der Fachhochschule Eberswalde zum Forschungsvorhaben A4 - 1/98 im Auftrag des Landesumweltamtes Brandenburg.

LABO (2003): Geostatistische und statistische Methoden und Auswerteverfahren für Geodaten mit Punkt- bzw. Flächenbezug, Hrsg.: Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO).

LABO (2004): LABO Hintergrundwerte Böden – Brandenburg, Hrsg. Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO). In: Bodenschutz, Ergänzbare Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser. Hrsg. D. Rosenkrantz, G. Bachmann, W. König, G. Einsele, Erich Schmidt Verlag.

UMWELTBUNDESAMT (2002): Kennzeichnung von Gebieten mit großflächig siedlungsbedingt erhöhten Schadstoffgehalten im Boden. Teil A: GSE-Anleitung mit Erläuterungen; Teil B: Objektschlüssel mit Erläuterungen; Teil C Statistische Beispielberechnungen. Hrsg. Umweltbundesamt (UBA-Forschungsbericht 200 71 238).

Glossar

anthropogene Substrate Ausschlussflächen	z.B. Aufschüttungen, Trümmerschutt Flächen, die punktuelle Kontamination aus identifizierbaren Quellen aufweisen oder erwarten lassen, für die Untersu- chung siedlungsbedingter Hintergrundgehalte daher aber nicht verwendbar sind
Bodenkundliche Kartieranleitung	Kartieranleitung der Geologischen Bundesämter und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
Bodenprofilansprache	Erstellung eines Bodenprofils bis 1 m Tiefe mit Hilfe eines Bohrstocks
erhöhter Schadstoffgehalt	der Median-Wert eines Schadstoffes der gesamten flächen- repräsentativen Daten ist größer als der Vorsorgewert
Flächendaten	z.B. Bodennutzung, Verwaltungsstrukturen, Altlastenver- dachtsflächen u. A.
großflächig	Gebiete ab einer Größe von 1 km ² , die Fläche muss nicht räumlich zusammenhängen
Interpolation	hier: Hochrechnen und Überführen punktueller Informatio- nen in räumliche Informationen
Kriging	ein Interpolationsverfahren, s. Darstellung S. 40
Leitschadstoffe	Blei, Kupfer, Quecksilber, Zink und PAK
Linienquellen	linienförmige Quellen von Emissionen, z.B. Straßen und Bahn
organogene Substrate	z.B. Anmoor, Torf
Punktdaten	z.B. Schadstoffe, Bodenparameter
Raumeinheiten (RE)	Synonym für Polygone; definierte Flächeneinheit

Raumeinheitentypen (RET)	entstehen durch die räumliche Überlagerung von Geodaten, z.B.: Überschwemmungsgebiete, Bodentyp und GENutzung
Ruderalfläche	Brachland, z.B. stillgelegter Acker
Schätzfehlerkarten	geben an, wie hoch die maximalen Schätzfehler für die interpolierten Werte in einem Untersuchungsgebiet sind, dienen der Beurteilung der Interpolationsgenauigkeit
Shapeformat	Dateiformat der Fa. Arcview; ein Shape besteht dabei aus mindestens drei Dateien
siedlungsbedingt	Schadstoffgehalte in Böden, die durch die Tätigkeit des Menschen verursacht wurden, z. B. Gartennutzung, Siedlungsabfälle und -abwässer, Immissionen durch Hausbrand, Industrie und Verke
Tupel	Geordnete Zusammenstellung von Objekten, deren Elemente keine festgelegte Reihenfolge haben

Abkürzungen

AF	Ausschlussflächen
ATKIS	Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem
BaP	Benzo(a)pyren
BBodSchG	Bundes-Bodenschutzgesetz (1998)
BBodSchV	Bundes-Bodenschutzverordnung (1999)
BÜK300	Bodenübersichtskarte 1:300.000 des Landes Brandenburg
DOP	Digitale Orthofotos (Luftbilder)
KA4	Bodenkundliche Kartieranleitung der Geologischen Landesämter und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
EN	Erhebungsniveau
GE	Gebiete mit erhöhten Schadstoffgehalten
GSE	Gebiet mit großflächig siedlungsbedingt erhöhtem Schadstoffgehalt
GIS	Geografisches Informationssystem
ISAL	Informationssystem Altlasten
PAK	Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe
PCB	Polychlorierte Biphenyle
RE	Raumeinheit (definierte Flächeneinheit als Synonym für Polygone)
RET	Raumeinheitentypen (entstehen durch die räumliche Überlagerung von Geodaten, z.B.: Überschwemmungsgebiete, Bodentyp und Nutzung)
TK10	Topographische Karte 1:10.000
ÜG	Überschwemmungsgebiet

**Ministerium für Ländliche Entwicklung,
Umwelt und Verbraucherschutz
des Landes Brandenburg**

Landesumweltamt Brandenburg
Referat Umweltinformation/Öffentlichkeitsarbeit

Berliner Straße 21-25
14467 Potsdam
Tel: (03 31) 23 23 259
Fax: (03 31) 29 21 08
E-Mail: info@lua.brandenburg.de
www.mluv.brandenburg.de/info/lua-publikationen