

# Kennzeichnung von Gebieten mit großflächig siedlungsbedingt erhöhten Hintergrundgehalten – am Beispiel der Stadt Brandenburg/Havel

Ulrike Meyer und Hans-Martin Krausmann



**Dr. Ulrike Meyer**  
Studium der Agrarbiologie an der Universität Hohenheim/Stuttgart. 1991 Promotion über Anpassungsmechanismen in zentralamazonischen Überschwemmungswäldern in Brasilien, Max-Planck-Institut für Tropenökologie. 1991 Laborleiterin für Umweltanalytik in Ketzin. Seit 1994 selbstständig tätig als Bodengutachterin. 2003 öffentlich bestellte und vereidigte Sachverständige für Bodenkontaminationen, IHK Berlin.



**Dipl. Geogr. Hans-Martin Krausmann**  
greenlab geoinformatics GmbH Berlin. Studium der Geographie und Geoinformatik an der Humboldt-Universität zu Berlin. Seit 2000 Tätigkeit im Bereich Geoinformatik / Schwerpunkte Geodatenmodellierung und Softwareentwicklung.

## Zusammenfassung

Es gibt vielfältige Ursachen dafür, dass großflächige Gebiete erhöhte Schadstoffgehalte aufweisen. Um der zuständigen Behörde zu ermöglichen, angemessen auf diese besondere Belastung zu reagieren, wird sie gemäß Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung ermächtigt, Gebiete mit siedlungsbedingt erhöhten Schadstoffgehalten festzulegen, in denen Ausnahmeregelungen des Bodenschutzrechts gelten. Die GSE-Anleitung des Umweltbundesamtes stellt ein geeignetes Verfahren dar, Gebiete mit siedlungsbedingt erhöhten Hintergrundgehalten zu kennzeichnen. Mit Hilfe eines Geoinformationssystems (GIS) konnten sowohl die Probestandorte effizient und repräsentativ geplant, als auch die Flächenanalysen mit der geforderten statistischen Sicherheit durchgeführt werden.

Für die Stadt Brandenburg/Havel wurden durch die geostatistische Analyse Gebiete gekennzeichnet, die siedlungsbedingt erhöhte Hintergrundgehalten der Schadstoffe Quecksilber, Zink, Blei und Cadmium aufweisen. Diese Gebiete liegen in den Bereichen der ehemaligen Gewerbe- und Industrieansiedlungen und deren Umgebung, unabhängig von Nutzung und Bodenart.

◆ **Schlüsselwörter:** Gebiete mit siedlungsbedingt erhöhten Schadstoffgehalten, Bodenplanungsgebiete, Raumanalyse, Geostatistik, Interpolationskarten, Schätzfehlerkarten.

## Summary

There are many causes why extensive areas show increased levels of soil contaminants. In order to enable authorities to react adequately to this extraordinary soil pollution, they are allowed to define areas with increased background levels of soil contamination due to settlement. In these areas, exceptions to German Soil Protection Law apply. The GSE-instructions are an appropriate procedure to mark areas with such settlement induced increased background levels of contamination. With the aid of GIS, positioning the sampling could efficiently and precisely be planned and the areas could be analysed with the necessary statistical reliability. In the town of Brandenburg, areas were marked by geostatistic analysis that show increased background values due to settlement of pollutants like zinc, mercury, lead and cadmium. These areas are to be found in former trade and industrial estates and their vicinities and are independent of both type of use and type of soil.

◆ **Keywords:** Areas with increased levels of soil contamination due to settlement, soil planning areas, spatial analysis, geostatistics, interpolation maps, prediction error maps.

## 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, Trümmer-schuttanreicherungen in Großstädten u. Ä.

Großflächig siedlungsbedingt sind Schadstoffgehalte nur 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 (BR-Drs. 780/98) [3].

Wenn Schadstoffgehalte im Boden die Vorsorgewerte überschreiten, entsteht nach § 9 Abs.1 BBodSchV [2] in der Regel die Besorgnis schädlicher Bodenveränderungen. Um der zuständigen Behörde zu ermöglichen, angemessen auf die besondere Belastung solcher Gebiete im Rahmen der Bestimmungen des Bundesbodenschutzgesetzes [1] und der Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung [2] zu reagieren, wird sie ermächtigt, Gebiete mit siedlungsbedingt erhöhten Schadstoffgehalten festzulegen, in denen Ausnahmeregelungen von Bestimmungen des Bodenschutzrechts gelten. Insbesondere ist innerhalb solcher Gebiete gemäß § 12 Abs. 10 eine Umlagerung von Bodenmaterial unter bestimmten Voraussetzungen auch bei Überschreitung von Vorsorgewerten möglich.

Diese Ermächtigung soll mit dem Entwurf des Landesbodenschutzgesetz Brandenburg), das die Ausweisung von Bodenplanungsgebieten vorsieht, umgesetzt werden.

In der Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung wird jedoch nicht geregelt, wie die zuständige Behörde betroffene Gebiete abgrenzen soll.

Aus diesem Grund hat das Umweltbundesamt unter Mitwirkung der „Projektgruppe GSE“ 2000 eine „Anleitung zur Kennzeichnung von Gebieten mit großflächig siedlungsbedingt erhöhten Schadstoffgehalten in Böden“ vorgelegt [6].

Ziel des Projektes war es, die GSE-Anleitung zur Kennzeichnung von Gebieten mit großflächig siedlungsbedingt erhöhten Schadstoffgehalten in der Stadt Brandenburg/Havel zu testen und die Anwendbarkeit zu validieren.

Als Pilotstadt wurde Brandenburg ausgewählt, weil es folgende Besonderheiten aufweist:

- ◆ Es handelt sich um ein Siedlungsgebiet mit ortsprägender altindustrieller Nutzung wie z. B. durch das ehemalige Stahlwerk (punktuelle und diffuse Schadstoffeinträge) und nutzungsbedingten Einwirkungen.
- ◆ Erhöhte Schadstoffgehalte in Böden (Vorsorgewertüberschreitungen) sind zu erwarten bzw. bekannt.
- ◆ Boden- und Flächendaten in Teilgebieten der Stadt liegen bereits vor.

Tabelle 1:  
Zur Bildung von Raumeinheiten verwendete gebietsinterne Merkmale

Quelle der Daten	Merkmale und Verwendung
aktuelle Nutzungskarte; ATKIS-Daten; LUA	Bodennutzung
Bodenübersichtskarte; BÜK 300; LUA	Bodentypen
Karte der amtlich ausgewiesenen Überschwemmungsflächen	Rezente und aktuelle Überschwemmungsflächen

Tabelle 2:  
Zur Bildung von Ausschlussflächen verwendete gebietsinterne Merkmale

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); LUA	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Bestimmte Objektarten (z. B. Brücken, Flugplatz, Gräben, Deponien).</li> <li>◆ Abstandsflächen zu Straßen und Eisenbahnen</li> </ul>

Das Verfahren lässt sich in 4 chronologische Arbeitsschritte unterteilen:

Schritt 1: Raumanalyse und Entwicklung der Konzeptkarte

Schritt 2: Probenahmeplanung

Schritt 3: Probenahme und Analyse der Proben

Schritt 4: Geostatistische Analyse und Kennzeichnung der Gebiete

Die Arbeitsschritte (1), (2), und (4) wurden mit ArcView 8,0 bzw. ArcGIS Geostatistical Analyst [4] realisiert.

Ausnahmeregelungen des BBodSchG und der BBodSchV für Gebiete mit großflächig, siedlungsbedingt erhöhten Schadstoffgehalten sind:

- ◆ § 21 (3) BBodSchG
- ◆ § 4 (8) BBodSchV
- ◆ § 9 (3) BBodSchV
- ◆ § 12 (10) BBodSchV

## 2. Raumanalyse und Entwicklung der Konzeptkarte

Als Untersuchungsraum wurden die Ortslagen innerhalb des Stadtgebietes von Brandenburg/Havel gewählt.

Grundgedanke des Verfahrens ist, dass der Untersuchungsraum repräsentativ statt rasterförmig oder zufallsverteilt beprobt werden soll.

Nutzungen (wie Kleingarten oder Gewerbegebiet) und Substrate (wie Löss oder durch Bauschutt verunreinigte Stadtböden) sind beispielsweise wesentliche

Tabelle 3:  
Klassenbildung von Bodentypen der BÜK 300

Klasse	Bodentypen	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

Merkmale eines Gebietes und können den Schadstoffgehalt im Boden beeinflussen. Durch eine gezielte Verteilung der Probestandorte, quotisiert entsprechend dem Flächenanteil der gebietsinternen Merkmale, kann eine repräsentative Probenahme realisiert werden. So war die Probenanzahl z. B. in den flächenmäßig dominierenden Wohngebieten deutlich größer als in den spärlich vorkommenden Ackerflächen.

Für diese gezielte Probenahme ist eine Raumanalyse erforderlich, in der relevante Flächendaten zu definierten Raumeinheiten (RE) = Polygonen verschnitten werden. Raumeinheiten stellen den Grundstein für die Gebietskennzeichnung dar und sind nach der GSE-Anleitung so zu gliedern, dass die erwartete Schadstoffverteilung angemessen am Datenbestand flächenhaft abgebildet werden kann.

Gebietsinterne Merkmale für Raumeinheiten sind Bodennutzung, Materialauftragsflächen, geogene Strukturen, Siedlungs- und Naturraumstrukturen u. a.

Ausschlussflächen sind Raumeinheiten mit eventuell erhöhten Schadstoffgehalten aus identifizierbaren Quellen. 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 (Tab. 1) wurden die Bodennutzungen, die Bodentypen und aufgrund der vielen Gewässer, die die Stadt prägen, auch die Überschwemmungsflächen als gebietsrelevante Merkmale herangezogen. Flächen, die punktuelle Kontaminationen aufwiesen oder erwarten ließen (Altlastenstandorte, Straßenränder u. a.) wurden als Ausschlussflächen (Tab. 2) ausgegrenzt und nicht beprobt.

Die Bodennutzung, aus den ATKIS-Daten, wurde anhand von aktuellen Luftbildern (Tab. 5) überprüft.

Da in der Stadt Brandenburg Sandböden dominieren und Böden aus organogenen sowie anthropogen abgelagerten Sedimenten häufig vorkommen, wurden die 99 Bodentypen der Bodenübersichtskarte BÜK 300 in diese 3 Klassen gruppiert (Tab. 3).

Die Kombination der Merkmale Bodennutzung, Bodentyp, Überschwemmungsgebiet ergab nach Verschneidung 44 unterschiedliche Raumeinheitentypen (Tab. 4). Da Raumeinheiten mit einer Gesamtfläche < 10.000 m<sup>2</sup> für die Beprobung zu klein und für das Gebiet wenig repräsentativ, wurden sie gestrichen. So entstanden 30 relevante Raumeinheitentypen, die in der Konzeptkarte farbig markiert wurden. Die Ausschlussflächen hoben sich als weiße Polygone ab.

## 3. Probenahmeplanung

Die Probenanzahl wurde, wenn möglich, entsprechend den Vorgaben der GSE-Anleitung berechnet, in der für die verschiedenen Nutzungen unterschiedliche Probenzahlen pro km<sup>2</sup> bzw. ha angegeben sind. Da die Raumeinheitentypen häufig eine Flächengröße von < 1 km<sup>2</sup> aufwiesen, musste der Probenumfang daran angepasst werden. Die 201 geplanten Probestandorte wurden mittels eines geografischen Informationssystems (GIS) gesetzt. Sichtbar waren dabei immer die punktförmigen Altlastenstandorte (ISAL) und die Standorte der genehmigungsbedürftigen Anlagen, die bei der Setzung der Probestandorte berücksichtigt

wurden. Die Altlastenstandorte wurden umgangen, von den Emittenten wurde wegen des vorherrschenden Westwindes ca. 1 km Abstand (v.a. in östlicher, direkter Entfernung) gehalten.

Um zu erkennen, wo ein Punkt genau platziert werden konnte, wurden das Luftbild sowie die TK 10 hinterlegt (Tab. 5). Danach wurde eine gleichmäßige Verteilung der gesamten Probestandorte auf die Ortslagen überprüft. Die Probestandorte wurden in die Konzeptkarte eingetragen, der die topografische Karte zur Orientierung im Gelände hinterlegt war.

#### 4. Probenahme und Analyse der Proben

Um belastbare Bodendaten zu gewinnen, wurde besonderes Augenmerk auf eine definierte Probenahmestrategie gelegt.

An jedem der 201 Standorte wurde folgendermaßen vorgegangen:

- ◆ Der Raumeinheitentyp wurde auf die tatsächliche Nutzung sowie Bodenart überprüft. Der Standort wurde u. U. ersetzt oder der RET wurde geändert und bei der Auswertung berücksichtigt.
- ◆ Es wurde ein Bodenprofil bis 1 m Tiefe gemäß Bodenkundlicher Kartieranleitung (KA 4) mit folgenden Kennwerten aufgenommen:
  - a) Bodenart, b) Humusgehalt < 8 bzw. > 8 %, c) Art und Volumenanteil technogener Substrate.
- ◆ Aus 9 Einstichen wurde eine Mischprobe (500 g Bodenmaterial) entnommen.
- ◆ Die Entnahmetiefen entsprachen den Vorgaben der BBodSchV bzw. der LABO-Hintergrundwerte [2, 7], d. h. 0–30 cm Tiefe in Kleingärten und Ackerland, in allen anderen Nutzungen 0–10 cm Tiefe.
- ◆ 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 (CaCl<sub>2</sub>).

#### 5. Ergebnis der deskriptiven Auswertung

Um einen ersten Eindruck von der Verteilung der Schadstoffgehalte zu bekommen, wurden sie entsprechend ihrer Höhe mit unterschiedlich großen Symbolen dargestellt. Überschrittene Vorsorgewerte wurden durch ein rotes Kreuz im Symbol markiert (Bsp. Zink-Gehalte). So konnte man abschätzen, 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 überschreiten sehr häufig, die Blei und Cadmium-Gehalte häufig die entsprechenden Vorsorgewerte. Bodenart und Nutzung scheinen dabei keine Rolle zu spielen.
- ◆ 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

Raumeinheitentypen (RET)		
◆ Außerhalb Überschwemmungsgebiet ◆ Innerhalb Überschwemmungsgebiet		
Böden aus Sand, z. T. mit Torf; u. aus Lehmsand (1)	Böden aus organogenen Sedimenten (2)	Böden aus anthropogen umgelagerten Sedimenten (3)
◆ Park- / Freizeit- – anlagen	◆ Park- / Freizeitanlagen –	◆ Park- / Freizeitanlagen –
◆ Reine Wohngebiete –	◆ Reine Wohngebiete –	◆ Reine Wohngebiete –
◆ Wohnmischgebiete –	◆ Wohnmischgebiete –	◆ Wohnmischgebiete –
◆ Kleingärten –	◆ Kleingärten ◆	◆ Kleingärten –
◆ Industrie-, Gewerbeflä- – chen	◆ Industrie-, Gewerbeflä- – chen	◆ Industrie-, – Gewerbflächen
◆ Ackerbau-flächen –	◆ Ackerbauflächen –	◆ Ackerbauflächen –
◆ Grünlandflächen ◆	◆ Grünlandflächen ◆	◆ Grünlandflächen –
◆ Forstfläche –	◆ Forstfläche –	◆ Forstfläche –
◆ sonstige Freiflächen –	◆ sonstige Freiflächen –	◆ sonstige Freiflächen –

zu finden, die Vorsorgewerte werden weit unterschritten.

Tabelle 4:  
Raumeinheitentypen (RET) inner- und außerhalb von Überschwemmungsgebieten (– = RET < 10.000 m<sup>2</sup> wurden gestrichen)

#### 6. Geostatistische Analyse und Kennzeichnung der Gebiete

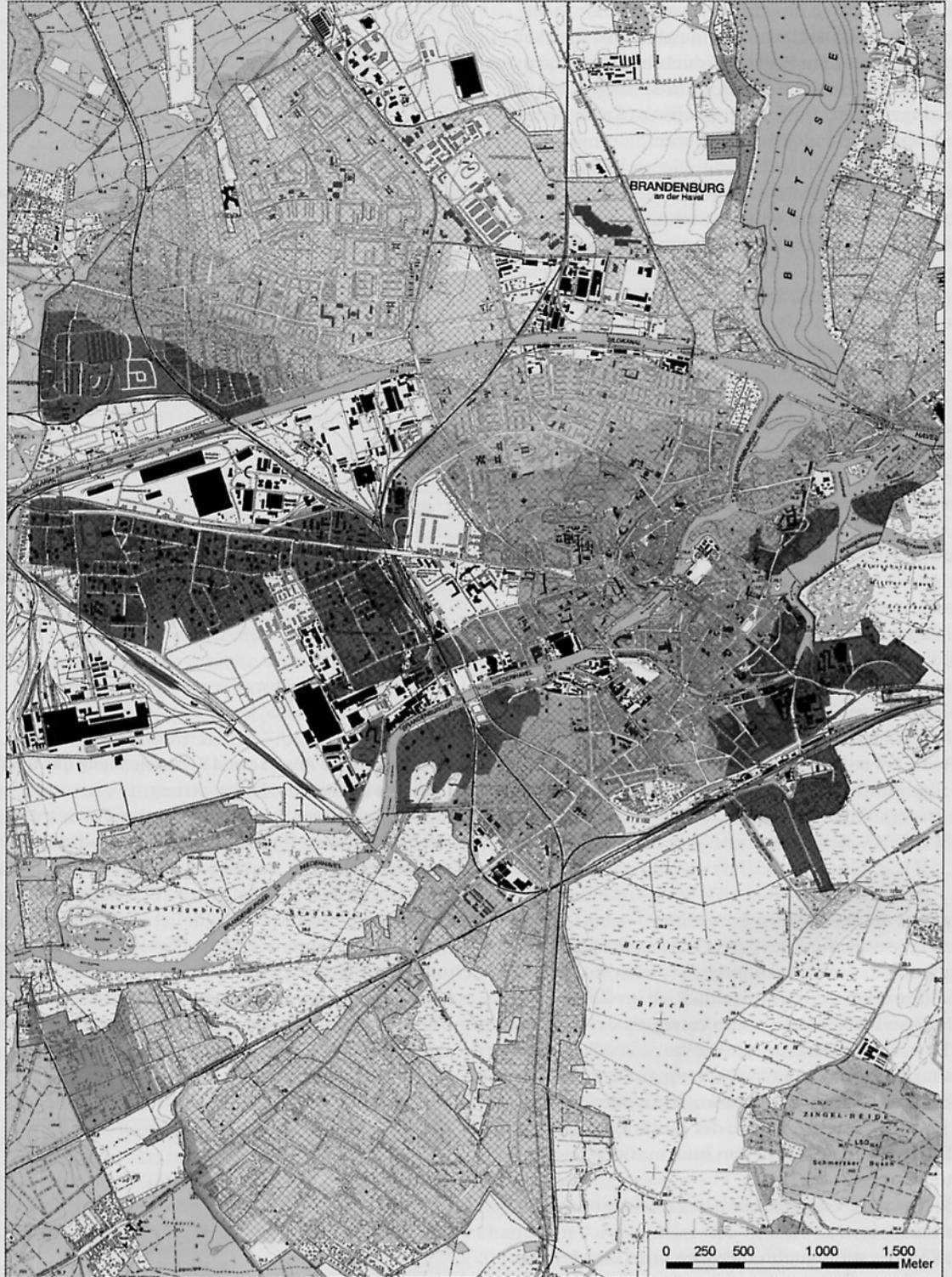
##### 6.1 Ziele der geostatistischen Auswertung

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 (Abb. 4). Dazu ist es notwendig, eine räumliche Inter-

Tabelle 5:  
Zur Verteilung der Probestandorte berücksichtigte Merkmale

Quelle der Daten	Merkmale	Verwendung
Digitales Ortho-Photo DOP 10 (Luftbild); LUA	Bodennutzung	Hilfe bei der konkreten Positionierung der Probestandorte
digitale TK 25, TK 10; LUA	topografische Daten	Hilfe bei der konkreten Positionierung der Probestandorte
Immissionskataster; LUA	Emittentenstandorte, Emissionsdaten genehmigungsbedürftiger Anlagen	Probestandorte außerhalb des Einflussbereichs der Emittenten
Bodendaten Stadt Brb.; Bodendaten FH Eberswalde	Punktdaten zu Schadstoffgehalten	In der geostatistischen Auswertung
Altlastenkataster, Stadt Brb.	Punktförmige Altlastenstandorte	Probestandorte außerhalb der Altlastenstandorte

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



<p>N</p> <p>1:10000</p>	<p>Übersicht Stadt Brandenburg</p>	<p>Interpolation der Schadstoffwerte durch Kriging</p> <p>Datengrundlage für Schadstoffwerte:</p> <p>Umweltkonzept Meyer (Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Hg, Zn, PAK, Bspg, PCB)</p> <p>Fachhochschule Eberswalde (Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn)</p> <p>Stadt Brandenburg (Pb, Cd, Cu, Zn)</p> <p>Anzahl der Probestellen: 300</p>	<p>Zink-Gehalte in mg/kg TS</p> <p>Gehaltsklassen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>0 - 44</li> <li>45 - 59</li> <li>60 - 99</li> <li>100 - 149</li> <li>150 - 199</li> <li>170 - 199</li> <li>&gt; 200</li> </ul> <p>  Stadtgrenze (Stadt Brandenburg)   Ortslage (ATKIS)   Ausschüttflächen   Vorsorge-Rückpunktwert überschritten   Probestellenpunkte und Herkunft  <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Stadt Brandenburg</li> <li>● FH Eberswalde</li> <li>▲ Umweltkonzept Meyer</li> </ul> </p> <p>                 Hintergrundwert Zn (Pflanzgut) + 9%: 30 mg/kg TS                  Vorsorgewert Zn (Luft): 60 mg/kg TS                  Vorsorgewert Zn (Boden): 100 mg/kg TS             </p>	<p>Auftraggeber:                  Landesumweltamt Brandenburg</p> <p>Auftragnehmer:                  Umweltkonzept Dr. Meyer                  Fritschestr. 65                  10565 Berlin                  greenlab geoinformatics GmbH                  Regattastr. 55                  12527 Berlin</p> <p>November 2003</p>
-------------------------	------------------------------------	---	--	--

Abb. 1:  
 Interpolationskarte –  
 Gekennzeichnete  
 Gebiete mit über-  
 schrittenen Vorsorge-  
 werten für den Schad-  
 stoff Zink

polation der punktförmig erhobenen Daten durchzuführen, d. h. punktuelle Informationen (hier: Schadstoffgehalte der Probestandorte) in räumliche Schadstoffgehalte in der Fläche (Abb. 1) zu überführen. Die Verwendung eines optimal geeigneten und statistisch abgesicherten Interpolationsverfahren, das sogenannte 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. 1) generiert, deren gesicherte Bewertung durch die zusätzliche Erstellung von Schätzfehlerkarten 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 Vorsorgewerte, differenziert nach Bodenart, überschritten werden, mit einer flächenhaften Kennzeichnung gitterförmig markiert.

### 6.2 Datenaufbereitung zur geostatistischen Auswertung

Zu Beginn dieses Projektabschnittes 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 sie die im Gesamtdatenbestand auftretenden Höchstwerte um das Zehn- bis Hundertfache überschritten (nur bei den einbezogenen Fremddaten erforderlich).

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:

1. Daten ermittelt durch Umweltkonzept Dr. Meyer (Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Hg, Zn, PAK, B(a)p, PCB);
2. Daten ermittelt durch die FH Eberswalde (Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn) [5];
3. Daten ermittelt durch die Stadt Brandenburg (Pb, Cd, Cu, Zn).

### 6.3 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. Auf Grundlage der experimentellen Semivariogramme wurden dann die Kriging-Interpolationen mittels geostatistischer Werkzeuge in einem GIS durchgeführt.



Abb. 2: Geostatistischer Auswertungsprozess

### 6.4 Erstellung der Interpolationskarten

Die Umsetzung des Kriging erfolgte mit dem ArcGIS Geostatistical Analyst Kriging-Werkzeug [4]. Im Ergebnis des Kriging-Prozesses wurde für jeden betrachteten Schadstoff ein Polygon erzeugt, das die Schadstoffwerte des Untersuchungsgebietes flächenhaft interpoliert enthält (Abb. 1). Um die Genauigkeit der erstellten Interpolationskarten bewerten zu können, wird für jede Interpolationskarte eine Schätzfehlerkarte (standard prediction error map) generiert.

### 6.5 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) [2] überschritten werden.

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

### 6.6 Schema zur Kennzeichnung mit 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 Daten hierfür stammen aus der Geländeansprache. Gebiete mit Hauptbodenarten, in denen Vorsorgewertüberschreitungen auftreten, werden in der Karte mit einer Schraffierungssignatur markiert. In der Untersuchung werden die Vorsorgewerte für Schwermetalle anhand der BBodSchV verwendet. Wenn der Humus-

gehalt > 8 % liegt, gelten diese nicht und die Hintergrundwerte werden herangezogen.

#### 6.7 Durchführung des Kriging mit standardisierten Werten

Für die Darstellung der Zusammenhänge zwischen Boden- und Nutzungsarten sowie den gemessenen Schadstoffwerten ist es notwendig, Aggregationen der beprobten Raumeinheitentypen (RET) analog zu der Vorgabe in der GSE [5] vorzunehmen, sodass daraus vier neue Raumeinheitentypen entstehen. 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 (hier nicht als Karte mitgeteilt).

### 7. Fazit

In enger Zusammenarbeit des Auftraggebers mit den beteiligten Firmen wurde eine praxisorientierte Methode zur Kennzeichnung von Gebieten mit siedlungsbedingt erhöhten Schadstoffgehalten aus der GSE-Anleitung entwickelt.

Die eingesetzte Software (ArcGIS 9.0 + Geostatistical Analyst) ist für die Bearbeitung der kartografischen und geostatistischen Aufgaben sehr gut geeignet. Mit Hilfe des GIS konnten sowohl die Probestandorte effizient geplant als auch die Flächenanalysen mit der geforderten statistischen Sicherheit durchgeführt werden.

Mit der GSE-Anleitung wurden folgende Erfahrungen gemacht:

- ◆ Da es sich um siedlungsbedingt erhöhte Schadstoffgehalte handelt, sollte man die für die Raumeinheiten relevanten Objektdaten auf die „Ortslagen“ einer Stadt einschränken.
- ◆ Die Beprobungsdichte der meisten Raumeinheiten ist, wie vorgesehen, praktikabel. Da aber Forstfläche, Grünlandfläche und Ackerfläche in den Ortslagen einer Stadt nur sehr geringe Flächengrößen aufweisen, wird die Beprobungsdichte von 1 Probe pro 10 ha als zu gering eingeschätzt. Empfehlenswert wäre 1 Probe pro 1 ha.
- ◆ Bei der Setzung der Probestandorte in die Karte hat sich bewährt, dass die jeweilige Raumeinheit noch einmal durch Überlagerung der digitalen Luftbilder überprüft wurde.

#### fundierte Ergebnisse

- Dieses Vorgehen spart im Gelände das Aufsuchen von Ersatz-Probestandorten.
- ◆ Bei der Probenahme ist wichtig, dass alte Bodenbereiche beprobt werden, jedoch nicht frisch oder erst kürzlich aufgebrachtes Bodenmaterial.
  - ◆ An keinem der 201 Probestandorte wurden Prüfwerte der BBodSchV überschritten, was auf die definierte Probenahmeplanung zurückzuführen ist.
- Folgende Ergebnisse wurden aus der geostatistischen Analyse abgeleitet:
- ◆ 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 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 das GIS dort signalisiert, wo aufgrund des Randbereichs der Ortslagen wenige Proben genommen wurden und wo Schadstoffgehalte aus 3 Messreihen in die Berechnungen mit eingehen. Letzteres ist vor allem im zentralen Bereich der Stadt Brandenburg gegeben.
- ◆ Es konnte festgestellt werden, dass zwischen dem Raumeinheitentyp und den Schadstoffgehalten kein direkter Zusammenhang besteht. Das bedeutet, dass Nutzung und Bodenart nicht die Schadstoffgehalte beeinflussen.

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

#### Literatur

- [1] Bundes-Bodenschutzgesetz – BBodSchG vom 17. 3. 1998, BGBl. I. G 5702, Nr. 16 vom 24. 3. 1998, S. 502–510.
- [2] Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung – BBodSchV vom 16. 6. 1999; BGBl. I. Teil, Nr. 36 vom 16.7.1999, S. 1554 ff.
- [3] BR-Drs. 780/98: Drucksache des Bundesrates 1998, Nr. 780.
- [4] ESRI (2001): ArcGIS Geostatistical Analyst (2001), ESRI White Paper.
- [5] FH Eberswalde (2000): Regionalisierung von Bodenbelastungen als fachliche Grundlage für gebietsbezogene Maßnahmen nach BBodSchG in Brandenburg (2000), Hrsg.: FH Eberswalde im Auftrag des Landesumweltamtes Brandenburg.
- [6] UBA (2002): Kennzeichnung von Gebieten mit großflächig siedlungsbedingt erhöhten Schadstoffgehalten im Boden (2002), Teil A: GSE-Anleitung mit Erläuterungen; Teil B: Objektschlüssel mit Erläuterungen; Teil C: Statistische Beispielberechnungen. Hrsg. Umweltbundesamt (UBA-Forschungsbericht 200 71 238).
- [7] LABO (2004): LABO Hintergrundwerte Böden – Brandenburg (2004), Hrsg. Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO).

#### Anschrift der 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