

Flächenhafte Darstellung punktbezogener Daten über Stoffgehalte in Böden

Juni 2004

Dr. Josef Backes, Gunter Blasberg, Dr. Gerd Böttcher, Dr. Frank Glante, Dr. Walter Martin, Dr. Volker Thiele,
Dr. Jens Utermann, Dr. Thomas Vorderbrügge, Dieter Wolf

Gliederung

Zusammenfassung:	2
1. Arbeitsauftrag und Durchführung	4
2. Ergebnisse aus dem Vorhaben „Geostatistische und statistische Methoden und Auswerteverfahren für Geodaten mit Punkt- und Flächenbezug“	6
2.1 Allgemeines Ablaufschema	6
2.2 Landesweite Rastererhebung - Fallbeispiel Sachsen	7
2.3 Regionale Untersuchung - Fallbeispiel Baden-Württemberg	8
3. Schlussfolgerungen aus den Fallbeispielen	9
4. Aussagesicherheit und Fehlerbetrachtung	12
5. Anwendung der statistischen und geostatistischen Verfahren für Aufgaben im Vollzug des Bodenschutzes	13
5.1 Ermittlung von Hintergrundwerten	13
5.2 Ausweisung von großflächig siedlungsbedingt erhöhten Stoffgehalten	13
5.3 Übersicht über die Vollzugsaufgaben	14
Literatur:	17
Anhang	18

Zusammenfassung:

Der Ad hoc Unterausschuss „Flächenhafte Darstellung punktbezogener Daten über Stoffgehalte in Böden“ hatte den Auftrag, Empfehlungen für die Anwendung von Auswerteverfahren zur flächenhaften Darstellung von punktuell erhobenen Stoffgehalten der Böden zu erarbeiten. Zur Schaffung von Grundlagen hierzu führte das Institut für Geoinformatik der Universität Münster (IfGI) das Vorhaben „Geostatistische und statistische Verfahren und Auswerteverfahren für Geodaten mit Punkt- und Flächenbezug“ (Länderfinanzierungsprogramm Wasser und Boden, LAWA-Nr. B 6.02) durch, dessen Ergebnisse in diesem Bericht unter dem Aspekt der Anwendung für bodenschutzfachliche Vollzugsaufgaben mit flächenhafter Ausweisung von Stoffgehalten auf Grundlage von Mess- und Schätzwerten zusammengefasst werden.

Im ersten Schritt wurden auf Grundlage einer Umfrage die beim Bund und in den Ländern eingesetzten Verfahren untersucht. Das Ergebnis war ein allgemeines Ablaufschema für die Vorgehensweise bei der statistischen und geostatistischen Analyse von Daten über Stoffgehalte in Böden.

Auf Grundlage dieses Ablaufschemas wurden die Verfahren an Fallbeispielen aus Sachsen und Baden-Württemberg getestet. Die Ergebnisse sind in Empfehlungen für die Anwendung der statistischen und geostatistischen Verfahren zur Auswertung von Daten über Stoffgehalte in Böden zusammengestellt.

Die Ergebnisse des Vorhabens sind in einem dreiteiligen Abschlussbericht dokumentiert.

Teil 1: Grundlagen (IfGI 2003a)

Teil 2: Auswertbeispiele (IfGI 2003b)

Teil 3: Empfehlungen für die Anwendung statistischer und geostatistischer Verfahren zur flächenbezogenen Auswertung von Daten über Stoffgehalte in Böden (IfGI 2004)

Der hier vorliegende Bericht „Flächenhafte Darstellung punktbezogener Daten über Stoffgehalte in Böden“ fasst die Ergebnisse dieses Vorhabens zusammen und bildet den Brückenschlag zur Anwendung statistischer und geostatistischer Verfahren in den Vollzugsaufgaben des Bodenschutzes.

Die wichtigsten Ergebnisse sind nachfolgend zusammengefasst:

- Nach Festlegung von Untersuchungsziel und Untersuchungsgebiet ist die Bildung der homogenen Raumeinheiten auf der Grundlage der vorliegenden Informationen die Voraussetzung für die statistische und geostatistische Analyse von Daten über Stoffgehalte in Böden.
- Für die Bestimmung statistischer Kenngrößen und die anschließende geostatistische Analyse sollte das Messwertkollektiv für die betrachtete homogene Raumeinheit mindestens einen Stichprobenumfang von $n = 20$ haben. Als Maß für die Aussagesicherheit der Kennwerte wird das 95%-Konfidenzintervall vorgeschlagen. Raumeinheiten mit zu geringem Stichprobenumfang sind ggf. von der Auswertung auszunehmen.

- Der Umgang mit Werten unterhalb der Bestimmungsgrenze wurde am Beispiel der Benzo(a)pyren (B(a)P)-Gehalte in Sachsen behandelt.
- Homogene Raumeinheiten mit ähnlichen Messwertverteilungen können für die geostatistische Analyse zusammengefasst werden.
- Es wurden verschiedene Interpolationsmodelle auf Grundlage von Krigingverfahren getestet. Die Ergebnisse können mit der Kreuzvalidierung zwischen den gemessenen und den an der Probenahmestelle geschätzten Werten überprüft werden.
- Zur Ermittlung der Aussagesicherheit wird das Indikatorkriging herangezogen. Die Krigevarianzen beschreiben die lokalen Schwankungen. Sie sind neben der Höhe der Stoffgehalte Basis für die Messnetzoptimierung.
- Isolinien von Überschreitungswahrscheinlichkeiten für vorgegebene Schwellenwerte umgrenzen Gebiete in denen diese Schwellenwerte (z.B. Vorsorge-, Prüf- oder Maßnahmenwert) mit einer höheren Wahrscheinlichkeit als an der Isolinie überschritten sind. Diese Darstellung wird als Grundlage für die Ermittlung von Gebieten vorgeschlagen, in denen Stoffgehalte im Vergleich zu den überprüften Schwellenwerten erhöht sind.
- Das Block- bzw. Polygonkriging kann für grundstücksbezogene Schätzungen der Stoffgehalte herangezogen werden.

Die Ergebnisse aus dem Vorhaben des IfGI wurden durch die Redaktionsgruppe ausgewertet. Die daraus resultierenden Schlussfolgerungen wurden im Hinblick auf ihre Anwendbarkeit zur Auswertung von Daten über Stoffgehalte zusammengefasst. Daran anschließend wurde eine Fehlerbetrachtung durchgeführt. Die Ergebnisse wurden zu den Vollzugsaufgaben im Bodenschutz in Beziehung gesetzt. Insbesondere wurden dabei das Verfahren zur Ermittlung von Hintergrundwerten und die Vorschläge für die Ausweisung von Gebieten mit großflächig siedlungsbedingt erhöhten Schadstoffgehalten betrachtet. Darüber hinaus wurde eine tabellarische Übersicht mit Hinweisen auf die Anwendung statistischer und geostatistischer Verfahren zusammengestellt.

Mit dem Ablaufschema für die statistische und geostatistische Analyse sowie der Empfehlung zur Anwendung der Verfahren im Vollzug wird lediglich den Rahmen abgesteckt. Für jeden Fall ist individuell festzulegen, in welcher Form die Untersuchungen und die Auswertung der Ergebnisse durchzuführen sind. Wegen der Komplexität der Zusammenhänge wird empfohlen, sich der Beratung durch geeignete Sachverständige zu bedienen.

1. **Arbeitsauftrag und Durchführung**

Bodenanalysen zur Bestimmung der Stoffgehalte in Böden werden in der Regel punktbezogen an definierten Probenahmestellen durchgeführt. Die Bewertung der Ergebnisse erfolgt entweder nach Ermittlung der Messwertverteilungen und Bestimmung der statistischen Kenngrößen oder nach Ableitung der räumliche Verteilung und ihrer flächenhaften Darstellung in thematischen Karten.

Die entsprechenden Auswerteverfahren finden mittlerweile Eingang in die Bereiche

- Vollzug der Bodenschutzgesetze,
- Planungs- und Gestattungsverfahren (Berücksichtigung der Belange des Bodenschutzes) und
- Umweltberichterstattung.

Bereits vor Einführung der rechtlichen Grundlagen zum Bodenschutz wurden statistische und geostatistische Verfahren und Methoden in den Geowissenschaften zur Aus- und Bewertung von punktuell erhobenen Analysenergebnissen / Stoffgehalten eingesetzt. Im Workshop „Flächenhafte Darstellung punktbezogener Daten über Stoffgehalte in Böden“ vom 28. bis 30.03.2000 fand erstmalig nach In-Kraft-Treten des Bundesbodenschutzgesetzes eine Bestandsaufnahme der eingesetzten Auswerteverfahren und ihrer Rahmenbedingungen im Bodenschutz statt (UBA 2000).

Gestützt auf die Ergebnisse des Workshops beschloss die LABO auf ihrer 18. Sitzung vom 11. bis 12.09.2000 die Gründung des Ad hoc Unterausschusses „Flächenhafte Darstellung punktbezogener Daten über Stoffgehalte in Böden“.

Der Auftrag des Ad hoc Unterausschusses umfasste die Erarbeitung von Empfehlungen für die Anwendung von Auswerteverfahren zur flächenhaften Darstellung der stofflichen Belastung von Böden. Die Ergebnisse sollen als Grundlage für die Bewertung von Sachverhalten für die Bearbeitung von Vollzugsaufgaben in verschiedenen Maßstäben und Ebenen der Entscheidungsrelevanz von den unteren Bodenschutzbehörden bis zu den Bundesbehörden dienen.

Zur Erfüllung des Auftrags wurde das folgende Arbeitsprogramm festgelegt:

1. Erstellung einer Liste der Vollzugsaufgaben des Bodenschutzes (BBodSchG, BBodSchV, Bestimmungen der Länder, tangierende Rechtsbereiche wie UVP-Gesetz, Baugesetzbuch usw.).
2. Festlegung der Rahmenbedingungen bezüglich Aussagesicherheit und Flächenschärfe (Rechtssicherheit der Entscheidungsgrundlagen).
3. Zuordnung geeigneter Auswerteverfahren und Abgrenzung der Anwendbarkeit (Anwendungsbereiche).
4. Beschreibung der erforderlichen Datengrundlagen.
5. Vorstellung der Ergebnisse in einem Workshop.

Nach Auswertung des Workshops vom März 2000 und ausgiebiger Diskussion im LABO-StA 2 „Informationsgrundlagen“ wurde ein Leistungsprogramm für die Erarbeitung und Anwendung der geostatistischen und statistischen Methoden und Auswerteverfahren für

Geodaten mit Punkt- und Flächenbezug sowie eine Übersicht über die Vollzugsaufgaben im Bodenschutz erarbeitet.

Im Rahmen des Länderfinanzierungsprogramms Wasser und Boden wurde das Untersuchungsvorhaben „Geostatistische und statistische Methoden und Auswerteverfahren für Geodaten mit Punkt- und Flächenbezug“ (Länderfinanzierungsprogramm Wasser und Boden, LAWA-Nr. B 6.02) beantragt und nach entsprechendem Auswahlverfahren das Institut für Geoinformatik (IfGI) der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster mit Vertrag vom 20.11.2002 beauftragt.

Dieses Vorhaben gliederte sich in vier Phasen:

1. Fachliche Evaluierung von Methoden für Auswerteverfahren.
2. Vorbereitung der Auswertebeispiele (Fallbeispiele Sachsen und Baden-Württemberg).
3. Statistische und geostatistische Auswertung.
4. Erstellung und Dokumentation von Empfehlungen zur Anwendung der Auswerteverfahren.

In der ersten Phase wurde auf Grundlage einer systematischen Umfrage in den Ländern zusammengetragen, welche Verfahren für die Auswertung der Daten über Stoffgehalte in Böden bereits eingesetzt werden. Die fachliche Evaluierung der in den Ländern eingesetzten Verfahren ergab ein allgemeines Ablaufschema. Die angewendeten mathematischen Verfahren wurden im Kontext mit den Arbeitsschritten systematisch beschrieben (siehe Abschlussbericht Teil 1, IfGI 2003a).

In den Fallbeispielen wurden die statistischen und geostatistischen Verfahren praxisnah für ausgewählte Fragestellungen getestet (siehe Abschlussbericht Teil 2, IfGI 2003b). Mit dem ersten Beispiel wurden Daten aus der landesweiten Erhebung des Landes Sachsen zum Aufbau des Umweltmessnetzes aus dem Jahre 1992 ausgewertet. Das zweite Beispiel betraf Daten mit regionalem Bezug aus Baden-Württemberg. Das Untersuchungsgebiet liegt in der Staufener Bucht, einem Gebiet mit historischem Bergbau und erhöhten Schwermetallgehalten aus der Erzgewinnung seit dem frühen Mittelalter. Die Schlussfolgerungen aus den Fallbeispielen sind im Abschlussbericht Teil 3 zusammengefasst und dokumentiert (IfGI 2004).

Als Meilensteine in der Projektabwicklung seitens des IfGI sind anzuführen:

- Projektstart: 01.12.2002
- Zwischenbericht: 13.03.2003 (IfGI 2003a)
- Workshop: 16.10.2003
- Abschlussbericht: 07.11.2003 (IfGI 2004)
- Abnahme: 25.11.2003

Nachfolgend werden die wesentlichen Ergebnisse des IfGI-Vorhabens beschrieben sowie Schlussfolgerungen aus den Fallbeispielen gezogen. Nach einem Fazit zu Aussagesicherheit und Fehlerbetrachtung wird dann auf die Anwendung der statistischen und geostatistischen Verfahren im Bodenschutzvollzug eingegangen, an deren Ende eine tabellarische Übersicht über die Vollzugsaufgaben im Bodenschutz mit Hinweisen auf die geeigneten statistischen und geostatistischen Verfahren steht.

2. Ergebnisse aus dem Vorhaben „Geostatistische und statistische Methoden und Auswerteverfahren für Geodaten mit Punkt- und Flächenbezug“

Das Ziel des Vorhabens war es, Methoden und Auswerteverfahren für Geodaten mit Punkt- und Flächenbezug zu untersuchen und auf ihre Anwendung im Rahmen von Aufgaben im Bodenschutz zu bewerten. Nachfolgend sind die Ergebnisse des Vorhabens zusammengestellt.

2.1 Allgemeines Ablaufschema

Die Auswertung der Umfrage in den Bundesländern zu den angewendeten statistischen und geostatistischen Methoden zur Analyse von Daten über Stoffgehalte in Böden ergab das in Abbildung 1 dargestellte Ablaufschema für die Durchführung der Auswerteverfahren.

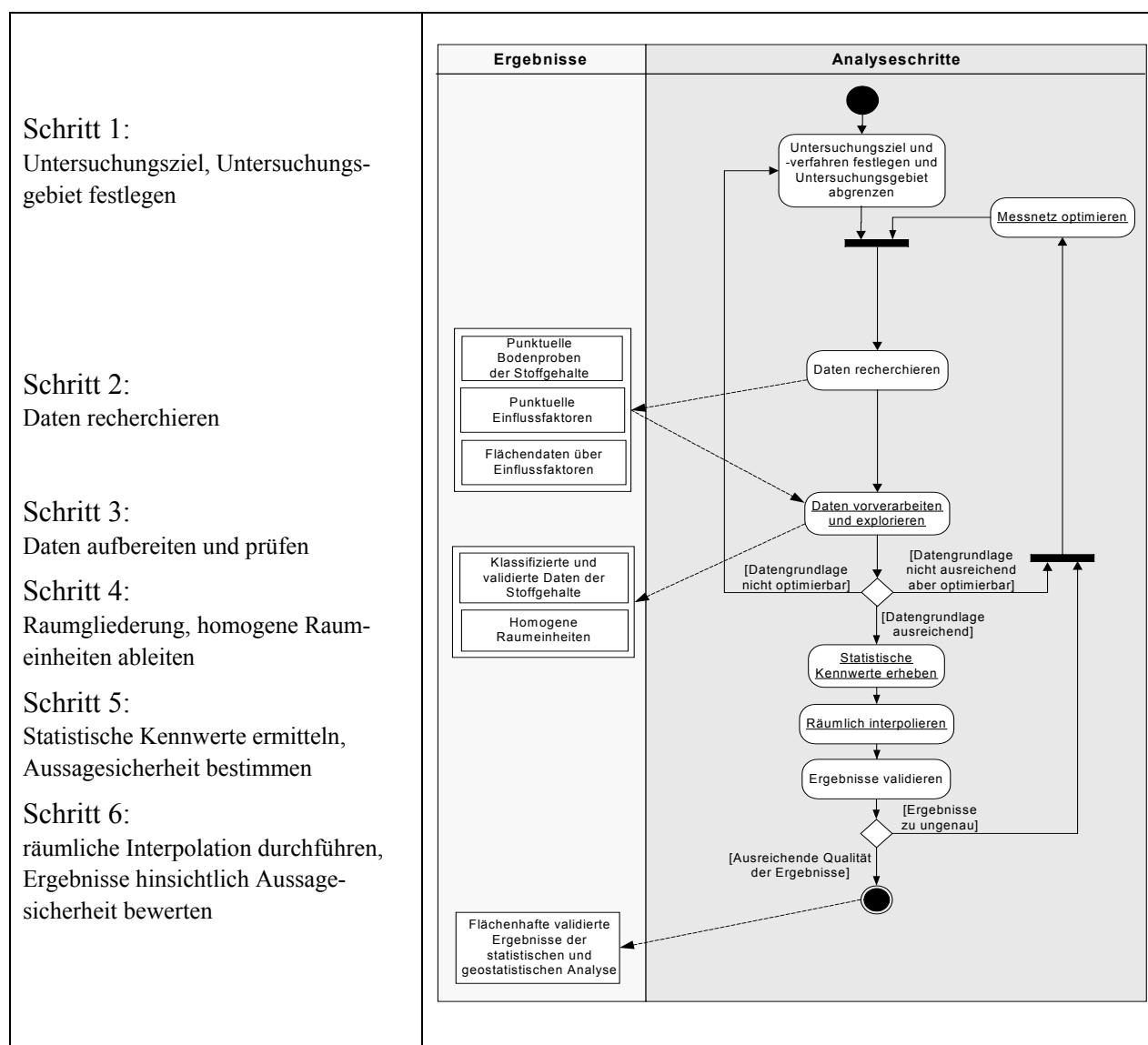


Abbildung 1: Allgemeines Ablaufschema für die statistische und geostatistische Analyse von Daten über Stoffgehalte in Böden (IfGI 2004)

Am Ende der Schritte 3, 5 und 6 findet jeweils eine Qualitätsüberprüfung statt. Sie kann zu der Erkenntnis führen, dass die Qualität und die Aussagesicherheit der Ergebnisse für die zu untersuchenden Fragen nicht ausreichen. In diesen Fällen kann eine Schleife mit den Schritten Messnetzoptimierung und ergänzende Untersuchungen erforderlich werden.

Nach diesem Ablaufschema wurden im Vorhaben des IfGI die Verfahren an Beispielen angewendet und überprüft.

2.2 Landesweite Rastererhebung - Fallbeispiel Sachsen

Für das Fallbeispiel Sachsen wurden die Stoffgehalte von Benzo(a)pyren (B(a)P) und Arsen (As) aus einer landesweiten Rastererhebung des Jahres 1992 ausgewertet.

Nach Sichtung der Daten wurde die Plausibilität der punkt- und raumbezogenen Daten durch Verschneidung geprüft. Nach Festlegung der homogenen Raumeinheiten wurden die punktbezogenen Daten entsprechend klassifiziert. An dieser Stelle wurde festgestellt, dass für B(a)P eine Vielzahl der Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze von $2\mu\text{g}/\text{kg}$ lagen, die dann auf die halbe Bestimmungsgrenze gesetzt wurden. Anschließend wurden die Anzahl der Stichproben und der Anteil der Messwerte pro homogene Raumeinheit ermittelt, der wiederum zwecks Repräsentanzprüfung mit den entsprechenden Flächenanteilen verglichen wurde. Mit Hilfe der Moving-Window-Methode wurde die gleichmäßige Anordnung der Probenahmestellen geprüft. Das Ergebnis ergab wie bei einer Rasterbeprobung zu erwarten keine Unregelmäßigkeiten, weswegen auch auf Prüfung von Clusterbildung verzichtet werden konnte.

Raumeinheiten mit weniger als 20 Stichproben wurden in der weiteren Auswertung nicht mehr berücksichtigt. Die Messwertklassenverteilungen der jeweiligen homogenen Raumeinheiten wurden einer statistischen Analyse unterzogen. An dieser Stelle können z.B. Messwertklassen ähnlicher Verteilungen zusammengelegt werden. Nach endgültiger Festlegung der homogenen Raumeinheiten wurden dann die statistischen Kennwerte ermittelt. Da in der Regel schiefe Verteilungen vorliegen, wurden Median und 90-Perzentil inklusive ihrer 95%-Konfidenzintervalle berechnet. Dabei begrenzt das 95%-Konfidenzintervall den Bereich, in dem mit 95%iger Wahrscheinlichkeit der wirkliche Kennwert der Verteilung liegt.

Die räumliche Interpolation wurde für B(a)P nur in jenen Bereichen durchgeführt, in denen die Messwerte oberhalb der Bestimmungsgrenze lagen. Die Abschätzung der Lage dieser Gebiete erfolgte mittels Indikatorkriging. Wegen der schiefen Verteilungen wurden diese zunächst durch Logarithmieren in Normalverteilungen überführt. Anschließend wurden die für die homogenen Raumeinheiten unterschiedlichen Messwertverteilungen durch Additions- bzw. Subtraktionsoperationen einander angeglichen (Standardisierung). Nach Variogramm-analyse wurde dann mittels entsprechendem Krigingverfahren interpoliert.

Für As ist im Gegensatz zum B(a)P zu berücksichtigen, dass es wie alle Metalle mit einem gewissen Anteil bereits im Ausgangsgestein der Bodenbildung enthalten ist und dies bei der Festlegung der homogenen Raumeinheiten zu berücksichtigen ist. Hierzu werden auf Grundlage bodenkundlicher und geologischer Informationen Gebiete gleicher geogener Grundgehalte ermittelt. In diesem Beispiel wurden dazu die Leitbodengesellschaften herangezogen.

Die statistischen Kenngrößen wurden dann wie beim B(a)P ermittelt. Für die anschließende Interpolation wurden die Verteilungen entsprechend behandelt und standardisiert. Neben der Logarithmustransformation wurde hier auch die Normal-score-Transformation und das Lognormalkriging mit z-Transformation getestet. Mit Hilfe der Kreuzvalidierung auf Grundlage der statistischen Kennwerte wurden die Ergebnisse der Interpolationsvarianten und die ge-

messenen Werte miteinander verglichen. Die Ergebnisse zeigten Vorteile für das Lognormalkriging mit z-Transformation. Gravierende Unterschiede zwischen den Verfahren wurden nicht festgestellt.

2.3 Regionale Untersuchung - Fallbeispiel Baden-Württemberg

Im zweiten Fallbeispiel wurden Daten aus der durch mittelalterlichen Erzabbau geprägten Staufener Bucht südwestlich von Freiburg eingesetzt. Die Daten über Stoffgehalte stammen aus unterschiedlichen Untersuchungsprogrammen, die zur Ermittlung der von den hohen Belastungen ausgehenden Gefahren durchgeführt wurden. Ausgewertet wurden die Daten über die Bleigehalte.

Die Repräsentanzanalyse zeigte, dass die höher belasteten Raumeinheiten (Auengebiete und Schwemmfächer) überproportional beprobt waren. Dies wird auch in der flächenhaften Darstellung der Probenahmestellen sichtbar. Zum Ausgleich des Übergewichts entlang des Flusslaufs wurde eine Entclustering auf Grundlage von Thiessen-Polygonen vorgenommen.

Anschließend wurden die den homogenen Raumeinheiten entsprechenden Messwertkollektive der statistischen Analyse unterzogen. Nach logarithmischer Transformation wurden die Messwerte standardisiert und der Variogrammanalyse zur Vorbereitung der Interpolation unterzogen. Die Variogrammanalyse ergab eine räumliche Anisotropie, die während der Interpolation zu berücksichtigen und mittels Kreuzvalidierung zwischen den gemessenen und geschätzten Werten zu überprüfen ist.

Im Anschluss an die Ermittlung der räumlichen Verteilung der Bleigehalte in den Oberböden wurde für dieses Fallbeispiel das Indikatorkriging zur Ermittlung der Aussagesicherheit getestet. Die Ergebnisse der Berechnungen sind die Überschreitungswahrscheinlichkeit für vorgegebene Schwellenwerte¹ sowie die lokale Varianz am jeweils betrachteten Ort als Maß für die Aussagesicherheit.

Auf Grundlage der Überschreitungswahrscheinlichkeiten kann für eine vorgegebene Wahrscheinlichkeit dargestellt werden, wo der zuvor vorgegebene Schwellenwert über- bzw. unterschritten wird.

Die lokalen Varianzen wiederum liefern Hinweise für die Messnetzplanung. Bei hoher Varianz und hoher Belastung sollten im Falle der Messnetzplanung weitere Probenahmestellen festgelegt werden. Entsprechende Karten zur Darstellung des Untersuchungsbedarfs können durch Verschneidung der Karte der lokalen Varianzen mit Karten von Überschreitungswahrscheinlichkeiten für hohe Belastungen erzeugt werden.

¹ Im mathematischen Sinn bedeutet hier Schwellenwert den Wert, der zur Ermittlung der Überschreitungswahrscheinlichkeit vorgegeben wird. In der Praxis können für die Berechnungen Werte, wie z.B. die Vorsorge-, Prüf- oder Maßnahmenwerte nach BBodSchV oder andere eingegeben werden.

3. Schlussfolgerungen aus den Fallbeispielen

Beide Beispiele zeigen, dass mit der Zielsetzung für die Untersuchung die Qualität der Ergebnisse bereits vorbestimmt wird. In diesem Zusammenhang ist es für die Recherche, Prüfung und Validierung der Daten besonders wichtig, einen Mindestdatensatz (Bestimmungsgröße und Begleitparameter) sowie die Erhebungs- und Analysenmethoden eindeutig vorzugeben. Ebenfalls sind die Raumeinheiten zu definieren, die mit Bezug zu den Stoffgehalten in Böden gleiche Eigenschaften aufweisen (homogenen Raumeinheiten). Die Attribute der entsprechenden Flächen und der zugehörigen Datensätze können mittels Verschneidung auf Plausibilität geprüft werden. Fehlende Begleitparameter der punktbezogenen Daten sind ggf. zu ergänzen. An diese Operationen schließen sich die Repräsentanzprüfung sowie ggf. eine Entclustering für überrepräsentierte Flächen bzw. Nacherhebungen für Flächen mit zu wenig Probenahmestellen an. Eine Messwertklasse sollte mindestens 20 Stichproben umfassen. Für den Fall, dass der Stichprobenumfang geringer ist, können Raumeinheiten zusammengefasst werden. Im Zweifelsfall sind sie von der Auswertung auszunehmen. Für den Fall, dass Messwerte unterhalb der Bestimmungsgrenze liegen, ist zu vereinbaren, wie diese zu behandeln sind.

Nach Abschluss der Vorarbeiten werden die statistischen Auswertungen der Messwertverteilungen und die Bestimmung der statistischen Kenngrößen für die jeweiligen homogenen Raumeinheiten vorgenommen. Die Kenngrößen dienen der Beschreibung der Stoffgehalte der betrachteten Raumeinheiten. Für bestimmte Fragestellungen ist die Auswertung der Messwertverteilungen für homogene Raumeinheiten und die Bestimmung der Kenngrößen das eigentliche Untersuchungsziel. Zum Beispiel sind die Hintergrundwerte als Kenngrößen entsprechender Verteilungen von Hintergrundgehalten definiert.

Für die Charakterisierung der Aussagesicherheit von Messwerten innerhalb der jeweiligen Messwertverteilung wird das 95% Konfidenzintervall vorgeschlagen. Das 95% Konfidenzintervall definiert den Bereich, in dem ein entsprechender Wert mit der vorgegebenen Wahrscheinlichkeit von 95% liegt.

Alternativ liefert die Auswertung der Messwertverteilungen die Basis für die räumliche Interpolation, für deren sachgerechte Durchführung der Ausgleich der für die homogenen Raumeinheiten unterschiedlichen Werteverteilungen eine wesentliche Voraussetzung ist.

Hierfür können im ersten Schritt die Unterschiede der Werteverteilungen nach Transformation in eine Normalverteilung durch mathematische oder physikalische Modelle herausgerechnet werden (Effektbereinigung).

Hier ist allerdings anzumerken, dass die Effektbereinigung mittels physikalischer Modelle im Verlaufe des Vorhabens nicht getestet wurde. Deswegen sei hier auf die Verfahren zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten in NRW hingewiesen (IfGI 2003a bzw. Heidbrink et al 2000), in denen die Bereinigung des geogenen bedingten Anteils an den Stoffgehalten von Schwermetallen durch Abzug der mittleren Grundgehalte der jeweiligen homogenen Raumeinheit vorgenommen wird.

Im zweiten Schritt kann dann die Interpolation mittels ordinary Kriging erfolgen.

Zur Bewertung der Messwertverteilungen können Interpolationsverfahren mit Regressionsansatz, wie z.B. das Kriging with external Drift, eingesetzt werden, in denen die Unterschiede der Messwertverteilungen innerhalb des Interpolationsalgorithmusses ausgeglichen werden.

Vor der Interpolation ist noch die Variogrammanalyse durchzuführen. Sie dient der Überprüfung, ob überhaupt eine räumliche Abhängigkeit vorhanden ist sowie ggf. der Ermittlung

der mathematischen Funktion, welche die ermittelte Punkteschar am besten wiedergibt (theoretisches Variogramm).

Variogramme mit unterschiedlicher räumlicher Ausprägung wie z.B. in Richtung eines Tals und quer dazu (räumliche Anisotropie) sind bei der Bestimmung der räumlichen Verteilung der Stoffgehalte durch Interpolation zu berücksichtigen (siehe Fallbeispiel Baden-Württemberg; IfGI 2003 b).

Im Vorhaben wurden verschiedene Varianten der Interpolation mit dem Krigingverfahren geprüft. Konkrete Empfehlungen für ein bestimmtes Verfahren lassen sich aus diesen Tests nicht unbedingt herleiten. Vielmehr ist anzuraten, die verschiedenen Varianten durchzurechnen und, wie im Fallbeispiel gezeigt, mit Hilfe der Kreuzvalidierung untereinander und mit den gemessenen Werten zu prüfen, welche Variante die Verhältnisse am besten wiedergibt.

Nach Durchführung der Interpolation muss die zuvor durchgeführte Effektbereinigung zurück gerechnet werden.

Neben den Schätzwerten liefern die Interpolationsverfahren auch die Krigevarianzen, die Hinweise auf die Sicherheit der Schätzung liefern. Ebenso können lokale Konfidenzintervalle für die Schätzwerte ermittelt werden. Wegen der hohen Unsicherheit dieser Daten wird ihre Verwendung zur Interpretation der Aussagesicherheit der Schätzwerte allerdings nicht empfohlen. Unabhängig davon können aber daraus abgeleitete Karten des Untersuchungsbedarfs für die Meßnetzoptimierung genutzt werden.

Im Gegensatz dazu liefert die Interpolation mittels Indikatorkriging Hinweise auf die Wahrscheinlichkeitsverteilung der geschätzten Werte. Daraus können Wahrscheinlichkeiten für das Überschreiten vorzugebender Schwellenwerte ermittelt und in Karten dargestellt werden.

In Abbildung 2 ist dieser Sachverhalt am Fallbeispiel Baden Württemberg dargestellt. Die Farbigkeit der Punkte gibt an, ob die Messwerte oberhalb oder unterhalb des vorgegebenen Schwellenwertes (hier Prüfwert Direktpfad Boden-Mensch, Nutzungsart Park- und Freizeitanlagen von 1000 mg/kg) liegen. Die Farbigkeit der Flächen gibt die berechneten Überschreitungswahrscheinlichkeiten wieder. Zum Beispiel entspricht die Wahrscheinlichkeit von 0,9 einer 90%igen Sicherheit dafür, dass innerhalb der betroffenen Fläche die Werte oberhalb des vorgegebenen Schwellenwertes liegen. Dieses Verfahren ist für die Abgrenzung von Gebieten mit erhöhten Stoffgehalten geeignet.

Eine weitere Möglichkeit für die Abschätzung der Aussagesicherheit liefern geostatistische Simulationsverfahren, die im Vorhaben aber nicht weiter betrachtet wurden.

Darüber hinaus wurde im Zusammenhang mit der Aussagesicherheit im Vorhaben immer wieder angesprochen, wie flächenscharfe (grundstücksgenaue) Schätzungen der Werteverteilungen ermittelt werden können. Hierfür wurde das Block- bzw. Polygonkriging vorgeschlagen, konnte aber in den Auswertbeispielen nicht mehr erprobt werden. Mit diesem Verfahren des Block- bzw. Polygonkrigings wird ein vorgegebenes Grundstück durch ein Rechteck oder ein Polygon angepasst. Für dieses geometrische Objekt wird dann ein Punktraster definiert, für welches die Stoffgehalte nach dem Krigingverfahren geschätzt werden. Aus den geschätzten Stoffgehalten können dann die charakteristischen Kenngrößen für das vorgegebene Grundstück abgeschätzt werden. Im übertragenen Sinne entspricht diese Vorgehensweise der Praxis der Probenahme für Stoffgehaltsbestimmungen, wenn eine definierte Fläche flächenbezogen untersucht werden soll.

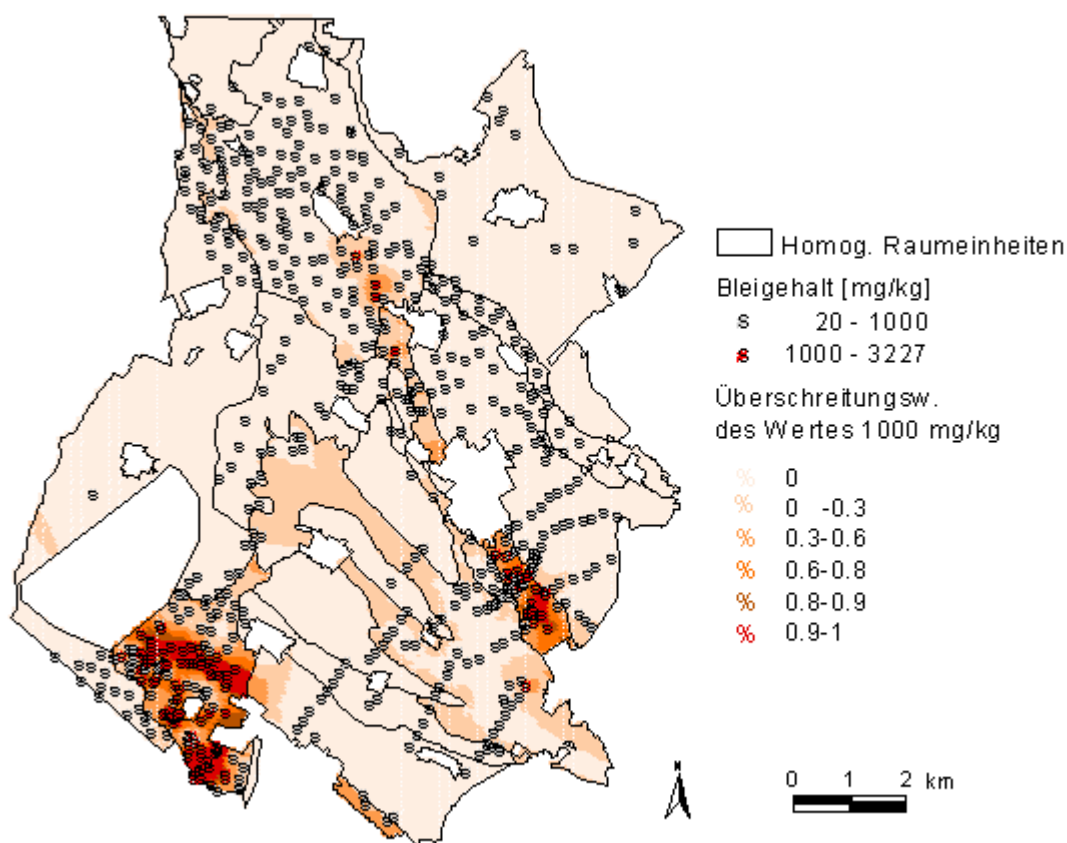


Abbildung 2: Überschreitungswahrscheinlichkeit des Bleigehaltes für den Prüfwert Direktpfad Boden-Mensch, Nutzungsart Park- und Freizeitanlagen von 1000 mg/kg (aus Abschlussbericht, Teil 2, IfGI 2003b)

4. Aussagesicherheit und Fehlerbetrachtung

Mit Hilfe der statistischen und geostatistischen Verfahren werden Messwerte aus Analysen von Stoffgehalten in Böden ausgewertet. Die zugrunde liegenden Daten sind mit Fehlern bzw. Unsicherheiten behaftet, die durch die folgenden Ursachen bedingt sind:

- **Fehler des Messverfahrens:** Das Messverfahren besteht aus den Schritten Probenahme, Probenaufbereitung und Analyse. Zur Charakterisierung des Fehlers sind die Wiederholbarkeit (basierend auf der Standardabweichung für ein Labor mit gleichem Personal und gleichen Geräten für ein Messobjekt) und die Reproduzierbarkeit (basierend auf der Standardabweichung für verschiedene Labors für ein und dasselbe Messobjekt) geeignete Kenngrößen. Die Reproduzierbarkeit ließe sich aus Ringvergleichen für das gesamte Messverfahren ermitteln.
- **Inhomogenität des Messobjekts:** Die Bodeneigenschaften sind nicht homogen. Sie unterliegen kleinräumigen Schwankungen, welche die Messwerte beeinflussen. Die daraus resultierenden Schwankungen der Messwerte lassen sich nicht von den Fehlern des Messverfahrens separieren. Sie bestimmen zusammen mit dem Messfehler die Konfidenzintervalle, die aus der jeweiligen Messwertverteilung während der statistischen Analyse ermittelt werden.
- **Überlagerte systematische Abhängigkeiten:** Die vorab beschriebenen unregelmäßigen durch den Zufall geprägten Messwertschwankungen können durch stetige, systematische Beeinflussung der Messwerte überlagert sein, die in der Regel räumlich abgrenzbar und für die Klassifizierung der Messwerte nach homogenen Raumeinheiten von Bedeutung sind.
- **Modellfehler:** Die bis hier beschriebenen Fehlerursachen betreffen **Messwerte**. Die geostatistischen Analysen basieren auf mathematischen Modellen und liefern **Schätzwerte** für Orte, an denen keine Messwerte vorliegen. Die Schätzwerte repräsentieren in Abhängigkeit vom eingesetzten Modell die Realität. Sie haben im Gegensatz zu den Messwerten noch einmal eine andere Qualität, weil sie eben geschätzt und nicht gemessen sind.

Mit Hilfe der untersuchten Verfahren können sowohl die statistischen Kenngrößen als auch die geschätzten Werte bezüglich ihrer Aussagesicherheit bewertet werden. Zusätzlich kann durch Vergleich von Mess- und Schätzwerten am gleichen Ort mit Hilfe der Kreuzvalidierung die Übereinstimmung von Messung und Schätzung überprüft werden.

Demzufolge sollten die ermittelten Werte immer nur in Kenntnis der Mess- und Modellfehler im Zusammenhang mit den für sie ermittelten Aussagesicherheiten und weiteren Plausibilitätsprüfungen angewendet werden. So kann einerseits mittels Konfidenzintervall ermittelt werden, in welchem Bereich Median und andere Kenngrößen der Messwertverteilung liegen. Damit ist dann z.B. feststellbar, ob und in welchem Ausmaß für die Messwertstichprobe einer homogenen Raumeinheit ein bestimmter, vorgegebener Schwellenwert, wie z.B. Vorsorge-, Prüf- oder Maßnahmenwert, überschritten ist. Andererseits können für interpolierte Schätzwerte mittels räumlicher Darstellung der Wahrscheinlichkeiten für die Überschreitung von Schwellenwerten sehr gut Gebiete bestimmt werden, in denen die Stoffgehalte erhöht sind oder gar Maßnahmen erforderlich sein können.

5. Anwendung der statistischen und geostatistischen Verfahren für Aufgaben im Vollzug des Bodenschutzes

Die Grundlage für die Systematik des Vorgehens bei der Untersuchung der Auswertungsbeispiele im Vorhaben des IfGI lieferte der Abschlussbericht Teil 1 mit dem in Kapitel 2.1 beschriebenen allgemeinen Ablaufschema als generelle Folge von Arbeitsschritten für die Auswertung von Daten über Stoffgehalte in Böden (IfGI 2003a).

Im Abschlussbericht Teil 2 werden mit Bezug auf das allgemeine Ablaufschema die einzelnen Arbeitsschritte zur Untersuchung der Fallbeispiele mit den erforderlichen Operationen ausführlich beschrieben (IfGI 2003b). In diesem Zusammenhang kann festgestellt werden, dass die ausgewählten Fallbeispiele das breite Spektrum der geeigneten statistischen und geostatistischen Verfahren weitgehend abdecken, sodass dieses allgemeine Ablaufschema grundsätzlich für die Anwendung in konkreten Fällen empfohlen werden kann.

Im Abschlussbericht Teil 3 werden daraus Empfehlungen für die Anwendung der Verfahren für die Auswertung von Daten über Stoffgehalte in Böden abgeleitet (IfGI 2004).

Unter Einbeziehung der Ergebnisse aus dem Vorhaben werden hier zuerst der Ansatz zur Ermittlung von Hintergrundwerten sowie die Empfehlungen zur Ausweisung von großflächig siedlungsbedingt erhöhten Stoffgehalten betrachtet, die in Begleitung durch Vertreter der ständigen Ausschüsse der LABO in Projekten des UBA erarbeitet wurden. Im Anschluss daran werden anhand der tabellarischen Übersicht über die Vollzugsaufgaben im Bodenschutz generelle Empfehlungen für die Anwendung der statistischen und geostatistischen Verfahren im Vollzug des Bodenschutzrechts gegeben.

5.1 Ermittlung von Hintergrundwerten

Initiiert durch die LABO wurden bereits 1993 bundesweite und länderspezifische Hintergrundwerte für Oberböden abgeleitet. In der Verwaltungsvereinbarung zwischen Bund und Ländern über den Datenaustausch im Umweltbereich, Anhang II.4 Austausch von bodenschutzrelevanten Daten verpflichteten sich die Länder, ihre Hintergrundwerte dem UBA zu übermitteln. Die methodischen Grundlagen sowie die aktuellen Hintergrundwerte sind in dem Bericht „Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden“ veröffentlicht, der mittlerweile in der 3. überarbeiteten und ergänzten Auflage erschienen ist (LABO 2003).

Das Untersuchungsziel war hier die Ableitung der Hintergrundwerte für persistente Stoffe. Das Untersuchungsgebiet ist entweder die Bundesrepublik Deutschland oder das jeweilige Bundesland. Nach Festlegung der Bestimmungsmethoden für die Stoffgehalte in Böden wurden die homogenen Raumeinheiten mit Hilfe der Kriterien Bodenausgangsgestein, Nutzung und siedlungsstrukturellen Gebietstyp definiert. Die Hintergrundwerte sind dann durch den Medianwert und das 90-Perzentil der jeweiligen Messwertklasse bestimmt.

Die Hintergrundwerte sind also auch das Ergebnis einer statistischen Analyse der Messwerte für das jeweilige Untersuchungsgebiet. Die vorgeschlagene Vorgehensweise ist in voller Übereinstimmung mit den hier vorgestellten Ergebnissen.

5.2 Ausweisung von großflächig siedlungsbedingt erhöhten Stoffgehalten

Neben der Ermittlung von Hintergrundwerten ist die Ausweisung von Gebieten mit großflächig siedlungsbedingt erhöhten Schadstoffgehalten (GSE) eine weitere vollzugsorientierte

Aufgabe von grundsätzlicher Bedeutung. Vor diesem Hintergrund hat das UBA die UMEG in Karlsruhe beauftragt, eine Anleitung zur Ausweisung von Gebieten mit siedlungsbedingt erhöhten Schadstoffgehalten in Böden zu erarbeiten. Das Vorhaben wurde von der Projektgruppe GSE begleitet, in der Mitglieder der ständigen Ausschüsse der LABO vertreten waren. Die Ergebnisse des Vorhabens sind in den Projektberichten niedergelegt. Teil A des Berichts enthält eine Anleitung für die „Kennzeichnung von Gebieten mit großflächig siedlungsbedingt erhöhten Schadstoffgehalten in Böden“ (UMEG 2003).

Die GSE-Empfehlungen enthalten einen „generellen Vorschlag für den Verfahrensablauf der Gebietskennzeichnung“ sowie entsprechend gegliedert die Hinweise zur praktischen Durchführung. Dabei kommt der Abgrenzung der Gebiete mit erhöhten Stoffgehalten eine zentrale Bedeutung zu. Die erforderlichen statistischen und geostatistischen Auswertungen werden in der Untersuchung angerissen. Hierzu liefern die Arbeiten dieses Vorhabens die entsprechende Ergänzung.

Für die Durchführung der Untersuchungen wird auch eine dem im Kapitel 2.1 formulierten allgemeinen Ablaufschema entsprechende Vorgehensweise empfohlen. Nach Festlegen von Untersuchungsziel und Untersuchungsgebiet sind die vorhandenen Daten zu sichten, die homogenen Raumeinheiten festzulegen sowie die Daten entsprechend in die Messwertklassen einzuordnen und statistisch zu analysieren. Nach Interpolation kann die stoffliche Belastung flächenbezogen dargestellt werden. Die entsprechenden thematischen Karten liefern schon erste Hinweise auf Gebiete mit erhöhten Belastungen. Karten des Untersuchungsbedarfs liefern Hinweise auf ggf. erforderliche ergänzende Erhebungen. Am Ende können dann die Überschreitungswahrscheinlichkeiten für spezifisch vorzugebende Schwellenwerte ebenfalls in einer thematischen Karte dargestellt werden, an der letztendlich die Abgrenzung der Gebiete mit siedlungsbedingt erhöhten Schadstoffgehalten festgemacht werden kann.

Hinsichtlich dieses schematischen Vorgehens ist anzumerken, dass in Siedlungsgebieten die Böden häufig durch Abgrabungen und Ablagerungen überprägt sind. Dadurch können sich die Bodenverhältnisse vielfach unregelmäßig und kleinräumig ändern, sodass die hier untersuchten geostatistischen Verfahren nur nach gründlicher Überprüfung ihrer Anwendbarkeit auf Grundlage der vorgelagerten statistischen Analyse der Daten eingesetzt werden können. Dann ist möglicherweise eine Interpolation nicht erlaubt, sodass die Ausweisung der Gebiete mit erhöhten Gehalten nur auf Grundlage der statistischen Analysen der Messwerte für homogene Raumeinheiten festgemacht werden kann, wobei das Untersuchungsgebiet möglicherweise sehr kleinräumig gegliedert werden muss. Das bedeutet, dass jede Fallkonstellation individuell bearbeitet werden muss und dass die Kosten für die Untersuchungen möglicherweise sehr hoch werden.

5.3 Übersicht über die Vollzugsaufgaben

Die bereits erwähnte Übersicht über die Vollzugsaufgaben im Bodenschutz (siehe im Anhang Abschlussbericht Teil 1, IfGI 2003a) war die Grundlage für die Verknüpfung der statistischen und geostatistischen Verfahren mit den Anforderungen aus den Vollzugsaufgaben. Sie wurde zu diesem Zweck herangezogen und befindet sich in weiterentwickelter Form im Anhang dieses Berichts. In ihr werden die gängigen Fallkonstellationen für die Anwendung statistischer und geostatistischer Verfahren im Kontext mit den aus den bodenschutzrechtlichen Regelungen sich ergebenden Vollzugsaufgaben zusammengeführt. Diese Tabelle wiederum stellt die Grundlage für die Empfehlung für die Anwendung der statistischen und geostatistischen Verfahren im Vollzug dar.

Die Empfehlungen haben keinen ausschließlichen Charakter. Vielmehr bieten das Ablaufschema für die statistische und geostatistische Analyse sowie die Empfehlung zur Anwendung der Verfahren im Vollzug lediglich einen Rahmen. Für jeden Fall ist individuell festzulegen, in welcher Form die Untersuchungen und die Auswertung der Ergebnisse durchzuführen sind. Mit der Planung beginnend über die Ausführung von Probenahme, Aufbereitung der Probe und analytische Bestimmung der Stoffgehalte bis zur Auswertung der Ergebnisse ist sachgerecht vorzugehen. Dabei sind die einzelnen Arbeitsschritte nur mit vertieften Kenntnissen der Statistik und Geostatistik umsetzbar. Deswegen wird in den entsprechend komplizierten Problemlagen empfohlen, geeignete Fachunterstützung bzw. Sachverständige einzubeziehen.

Der Ad hoc UA „Flächenhafte Darstellung punktbezogener Daten über Stoffgehalte in Böden“ hat die Vollzugsaufgaben bezüglich der stofflichen Bodenbelastung in der tabellarischen Übersicht nach dieser Systematik geordnet (siehe Anhang).

Dieser Übersicht wurde die Spalte „Anwendung Statistik/Geostatistik“ hinzugefügt, in die Vorschläge für Verfahren der statistischen und geostatistischen Analyse eingetragen sind. Für diesen Zweck wurden diese Verfahren grob wie folgt eingeteilt:

- **Statistische Kennwerte:** Statistische Analyse für homogene Raumeinheiten
- **Interpolation:** Anwendung von Interpolationsverfahren für die flächenhafte Darstellung der Verteilung der Stoffgehalte.
- **Überschreitungswahrscheinlichkeit:** Interpolation mittels Indikatorkriging und Darstellung von Überschreitungswahrscheinlichkeiten für vorzugebende „Schwellenwerte“ (z.B. Vorsorge-, Prüf- oder Maßnahmenwert)
- **Messnetzoptimierung:** Im Vorhaben beschriebene Vorgehensweise zur Planung von Probenahmestellen für ergänzende Untersuchungen.

Die vorliegende Datendichte ist immer zu prüfen, um sicherzustellen, dass sie ausreichend ist. In der Tabelle wird aber nur bei der Detailuntersuchung bei Verdacht auf schädliche Bodenbelastung explizit darauf hingewiesen.
- **Block- bzw. Polygonkriging:** Grundstücksscharfe Interpolation auf Basis von auf dem Grundstück und in seiner Umgebung gelegener Probenahmestellen.

Für die Planung von Mess- und Überwachungsnetzen wird in der Tabelle auch auf die Anwendung von Correlation and Regressionstree (CART) hingewiesen. Dieses Verfahren wurde in einigen Bundesländern eingesetzt, um auf Grundlage der Bodenschätzung bodenfunktionsbezogene Auswertungen vorzunehmen bzw. repräsentative Standorte für die Bodendauerbeobachtung auszuwählen. Dieses Verfahren wurde aber im Rahmen dieses Vorhabens nicht untersucht.

Dem Auftrag für den Ad hoc Unterausschuss „Flächenhafte Darstellung punktbezogener Daten über Stoffgehalte in Böden“ entsprechend sollten die Ergebnisse dieser Arbeit als Grundlage für die Bewertung von Sachverhalten für die Bearbeitung von bodenschutzrelevanten Vollzugsaufgaben in verschiedenen Maßstäben und Ebenen der Entscheidungsrelevanz von den unteren Bodenschutzbehörden bis zu den Bundesbehörden dienen (siehe Kapitel 1).

Der vorliegende Bericht zeigt auf, dass es durchaus möglich ist, Regelungen für die Bewertung von Sachverhalten aufzustellen, die sich auf flächenbezogene statistische Kennwerte oder auf durch Interpolation berechnete Schätzwerte beziehen, und wie dabei vorzugehen ist.

Die Ergebnisse zeigen weiterhin, dass sorgfältig ermittelte flächenbezogene statistische Kennwerte und durch Interpolation berechnete Schätzwerte unter Einbeziehung einer sachgemäßen Fehlerbetrachtung in ihrer Aussagesicherheit durchaus mit Messwerten von Stoffgehalten gleichwertig sind.

Mit den Untersuchungen des Ad hoc Unterausschusses „Flächenhafte Darstellung punktbezogener Daten über Stoffgehalte in Böden“ und des von ihm veranlassten Vorhabens des IfGI wurde somit ein wesentlicher Beitrag geleistet, die fachlichen Grundlagen zum Bodenschutz, die sich bisher ausschließlich auf punktbezogene Messwerte beziehen, um Empfehlungen auf Grundlage flächenbezogener statistischer Kenngrößen oder durch Interpolation berechneter Schätzwerte zu ergänzen. Hierzu sollten auch diese Methoden und Aussagen in geeigneter Form in die rechtlichen Instrumentarien des Bodenschutzes aufgenommen werden.

Literatur:

- UBA 2000: Flächenhafte Darstellung punktbezogener Daten über Stoffgehalte in Böden. Workshop vom 28. – 30.03.2000 in Berlin. UBA-Texte Nr. 49/2000. Hrsg.: Umweltbundesamt, Berlin
- IfGI 2003a: Geostatistische und statistische Methoden und Auswerteverfahren für Geodaten mit Punkt- und Flächenbezug, Abschlussbericht Teil 1: Grundlagen, in Vorbereitung
- IfGI 2003b: Geostatistische und statistische Methoden und Auswerteverfahren für Geodaten mit Punkt- und Flächenbezug, Abschlussbericht Teil 2: Auswertbeispiele, in Vorbereitung
- IfGI 2004: Geostatistische und statistische Methoden und Auswerteverfahren für Geodaten mit Punkt- und Flächenbezug, Abschlussbericht Teil 3: Empfehlungen für die Anwendung statistischer und geostatistischer Methoden zur flächenbezogenen Auswertung von Daten über Stoffgehalte in Böden, in Vorbereitung
- Heidbrink et al 2000: Leitfaden zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten - Teil I: Außenbereiche. Hrsg.: Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Essen. 116 S., http://www.lua.nrw.de/veroeffentlichungen/merkbl/merkbl24_web.pdf
- LABO 2003: Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden. Hrsg.: Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO), <http://www.labo-deutschland.de/LABO-HGW-Text.pdf>
- UMEG 2003: Kennzeichnung von Gebieten mit großflächig siedlungsbedingt erhöhten Schadstoffgehalten in Böden, Teil A: GSE-Anleitung mit Erläuterungen. Forschungsbericht 200 71 238. Hrsg: Umweltbundesamt, Berlin

Anhang

Übersicht über Vollzugsaufgaben im Bodenschutz mit Hinweisen auf die Anwendung der statistischen und geostatistischen Verfahren, Teil 1.

I. Grundlagen, Informationen, Messnetzplanung, Berichte						
Ifd. Nr.	Aufgabe	Anwendungsbereich (Art der Fläche)	Rechtsgrundlage	Produkt	Anwendung statistischer und geostatistischer Verfahren	Bemerkung
1	Ableitung von geogenen Grundgehalten	Alle Flächen mit naturnaher Nutzung		Tabelle / Karte	Statistische Kennwerte	Grundlage für verschiedene Fragestellungen
2	Ableitung von Hintergrundwerten	Alle Flächen	VwV Datenaustausch, Anhang 2.4 Boden	Lokale, regionale, landesweite bzw. bundesweite Hintergrundwerte Tabellen ; ggf. Karten	Statistische Kennwerte	Grundlage für verschiedene Fragestellungen; LABO-Bericht 3. Auflage 2003
3	Planung von Mess- und Überwachungsnetzen (BDF)	Alle Flächen und Maßstabsbereiche	§§ 19, 21 BBodSchG, Ländergesetze	Messnetzplanung z.B. für BDF-Standorte	Statistische Kennwerte Interpolation Überschreitungswahrscheinlichkeit CART-Verfahren	Anwendung in BB mit Correlation and RegressionTree (CART)
4	Bodenzustandsinformationen	Planung, Öffentlichkeitsarbeit		Bericht zum Bodenzustand, Umweltbericht-erstattung	Statistische Kennwerte Interpolation	

Übersicht über Vollzugsaufgaben im Bodenschutz mit Hinweisen auf die Anwendung der statistischen und geostatistischen Verfahren, Teil 2.

II. Vorsorge, Besorgnis schädlicher Bodenveränderungen						
Ifd. Nr.	Aufgabe	Anwendungsbereich (Art der Fläche)	Rechtsgrundlage	Produkt	Anwendung statistischer und geostatistischer Verfahren	Bemerkung
5	Festlegung gebietsbezogener Vorsorgewerte für Schwermetalle	Böden mit Humusgehalten über 8%	Anhang 2, Nr. 4.1 BBodSchV	Karte der räumlichen Abgrenzung	Statistische Kennwerte Interpolation ggf. Überschreitungswahrscheinlichkeit	Festlegung durch die untere Bodenschutzbehörde
6	Prüfung zusätzlicher Frachten, wenn a) Vorsorgewert b) zulässige Zusatzbelastung überschritten ist	a) Flächen, bei denen der Vorsorgewert bei einem Schadstoff überschritten ist b) Berücksichtigung der geogenen oder großflächig siedlungsbedingten Vorbelastung	§ 11 Abs. 1 u. 2 BBodSchV Zulässige Zusatzbelastung indirekt: BImSchG und UVPG	Karte der räumlichen Abgrenzung	Vorbelastung: Statistik, Interpolation Zusatzbelastung: Ermittlung der Frachten Gesamtbelastung: Vorbelastung + Frachten	Anwendung: Zusammenwirken mit anderen Rechtsbereichen ist regelungsbedürftig.

Übersicht über Vollzugsaufgaben im Bodenschutz mit Hinweisen auf die Anwendung der statistischen und geostatistischen Verfahren, Teil 3.

Ifd. Nr.	Aufgabe	Anwendungsbereich (Art der Fläche)	Rechtsgrundlage	Produkt	Anwendung statistischer und geostatistischer Verfahren	Bemerkung
7 a	Prüfen der Besorgnis des Entstehens einer schädlichen Bodenveränderung	Flächen, deren Gehalte die Vorsorgewerte überschreiten oder erhebliche Anreicherung anderer Stoffe	§ 9 Abs. 1 Satz 1, 2 BBodSchV	Maßnahmen nach Besorgnisgrundsatz, Vorsorgeanforderungen gem. § 10 BBodSchV	Statistische Kennwerte Interpolation	einzelfallbezogene Betrachtung
7 b	Prüfen der Besorgnis des Entstehens einer schädlichen Bodenveränderung	Flächen, bei denen der Vorsorgewert bei einem Schadstoff überschritten ist unter Berücksichtigung der geogen bedingt oder großflächig siedlungsbedingten Vorbelastung	BBodSchG § 9 Abs. 2,3 BBodSchV	Maßnahmen nach Besorgnisgrundsatz, Vorsorgeanforderungen gem. § 10 BBodSchV	Statistische Kennwerte Interpolation ggf. Überschreitungswahrscheinlichkeit	Siehe auch Vorhaben des UBA „Kennzeichnung von Gebieten mit großflächig siedlungsbedingt erhöhten Schadstoffgehalten in Böden“

Übersicht über Vollzugsaufgaben im Bodenschutz mit Hinweisen auf die Anwendung der statistischen und geostatistischen Verfahren, Teil 4.

III. Gefahrenabwehr						
Ifd. Nr.	Aufgabe	Anwendungsbereich (Art der Fläche)	Rechtsgrundlage	Produkt	Anwendung statistischer und geostatistischer Verfahren	Bemerkung
8	Orientierende Untersuchung bei Verdacht auf eine schädli. Bodenveränderung oder Verdachtsfläche	a) Abgrenzen der Verdachtsfläche b) Möglichkeit der Schadstoffausbreitung in der Umwelt	§ 9 Abs. 1 BBodSchG („Amtsermittlung“) Sachverhaltsermittlung § 3 Abs. 1-3 BBodSchV	Behördliche Bestätigung des hinreichenden Verdachts einer schädlichen Bodenveränderung	Statistische Kennwerte ggf. Interpolation und Blockkriging (*)	einzelfallbezogen, flurstücksgenaue Abgrenzung;
9	Detailuntersuchung bei hinreichendem Verdacht einer schädlicher Bodenveränderung oder Verdachtsfläche	Räumliche Abgrenzung der schädlichen Bodenveränderung	§ 9 Abs. 2 BBodSchG in Verbindung mit § 3 Abs. 4, 5 BBodSchV	Bestätigung der schädlichen Bodenveränderung bzw. Altast als Grundlage zur Anordnung für Sanierungsuntersuchung / Sanierungsplan	Statistische Kennwerte (Interpolation, (*) Blockkriging, Überschreitungswahrscheinlichkeit) ggf. Messnetzoptimierung	Einzelfallbezogen, flurstücksgenaue Abgrenzung
10	Gebietsbezogene Maßnahmen	Bodenschutzmaßnahmen über einzelfallbezogene Maßnahmen hinaus	§ 21 Abs. 3 BBodSchG	Bodenschutzgebiete, Bodenbelastungsgebiete, Bodenplanungsgebiete	Statistische Kennwerte Interpolation ggf. Überschreitungswahrscheinlichkeit	§ 21 ist eine Ermächtigung für Landesregelungen

(*) Interpolation bei großflächigen schädlichen Bodenveränderungen

Übersicht über Vollzugsaufgaben im Bodenschutz mit Hinweisen auf die Anwendung der statistischen und geostatistischen Verfahren, Teil 5.

IV. Regelungen nach § 12 BBodSchV (Auf- und Einbringen von Materialien / Herstellung einer durchwurzelbaren Bodenschicht)						
Ifd. Nr.	Aufgabe	Anwendungsbereich (Art der Fläche)	Rechtsgrundlage	Produkt	Anwendung statistischer und geostatistischer Verfahren	Bemerkung
11	Prüfen der Flächen-eignung für das Auf- und Einbringen von Materialien	Gebiete a) mit Schadstoffgehal-ten kleiner als Vorsorgewerte b) kleiner als 70 % der Vorsorgewerte bei landw. Nutzung	§ 12 Abs. 2, 4 BBodSchV	Grundlage für bodenschutzfachliche Anforderungen	Statistische Kennwerte Interpolation Vergleich mit den Vorsorgewerten	Untersuchung der Qualität und Herkunft des Bodenmaterials nur durchwurzelbare Bodenschicht
12	Prüfen der Verwer-tungseignung: Verlagerung von Bo-denmaterial innerhalb von Gebieten mit erhöhten Schadstoff-gehalten	Gebiete erhöhter Schadstoffgehalte in Böden können von Behörde festgelegt werden	§ 12 Abs. 10 BBodSchV	Grundlage für boden-schutzfachliche Anforderungen	Statistische Kennwerte Interpolation	nur durchwurzelbare Bodenschicht

Übersicht über Vollzugsaufgaben im Bodenschutz mit Hinweisen auf die Anwendung der statistischen und geostatistischen Verfahren, Teil 6.

V. Baurecht						
lfd. Nr.	Aufgabe	Anwendungsbereich (Art der Fläche)	Rechtsgrundlage	Produkt	Anwendung statistischer und geostatistischer Verfahren	Bemerkung
13	Anhörungsverfahren FNP, Prüfung von Konflikten bei baulicher Nutzung	Kennzeichnungspflicht der für bauliche Nutzung vorgesehenen Flächen, deren Böden erheblich mit umweltgefährdenden Stoffen belastet sind	§ 5 Abs. 3, 3 BauGB	Hinweis zur Kennzeichnung im Flächennutzungsplan	Statistische Kennwerte Interpolation Polygonkriging	Wirkungspfad Boden-Mensch, Boden-Pflanze
14	Anhörungsverfahren zum Bebauungsplan, Prüfen von Flächen, deren Böden erheblich mit umweltgefährdenden Stoffen belastet sind	Kennzeichnungspflicht von Flächen, deren Böden erheblich mit umweltgefährdenden Stoffen belastet sind	§ 9 Abs. 5, 3 BauGB	Hinweis zur Kennzeichnung im Bebauungsplan	Statistische Kennwerte Interpolation Polygonkriging	Wirkungspfad Boden-Mensch, Boden-Pflanze
15	Anhörungsverfahren: Prüfen, ob Bodenverhältnisse gesunde Wohn- und Arbeitsverhältnisse gewährleisten	Beeinträchtigungen des Menschen über Flächen, deren Böden mit umweltgefährdenden Stoffen belastet sind	§ 51 Abs. 5, 1 BauGB Allgem. Vorschriften Bauleitplanung (auch expl. § 34 Abs. 1)	Hinweise, Besorgnis	Statistische Kennwerte Interpolation Polygonkriging	Beurteilung durch die Gesundheitsbehörden Wirkungspfad Boden-Mensch, Boden-Pflanze