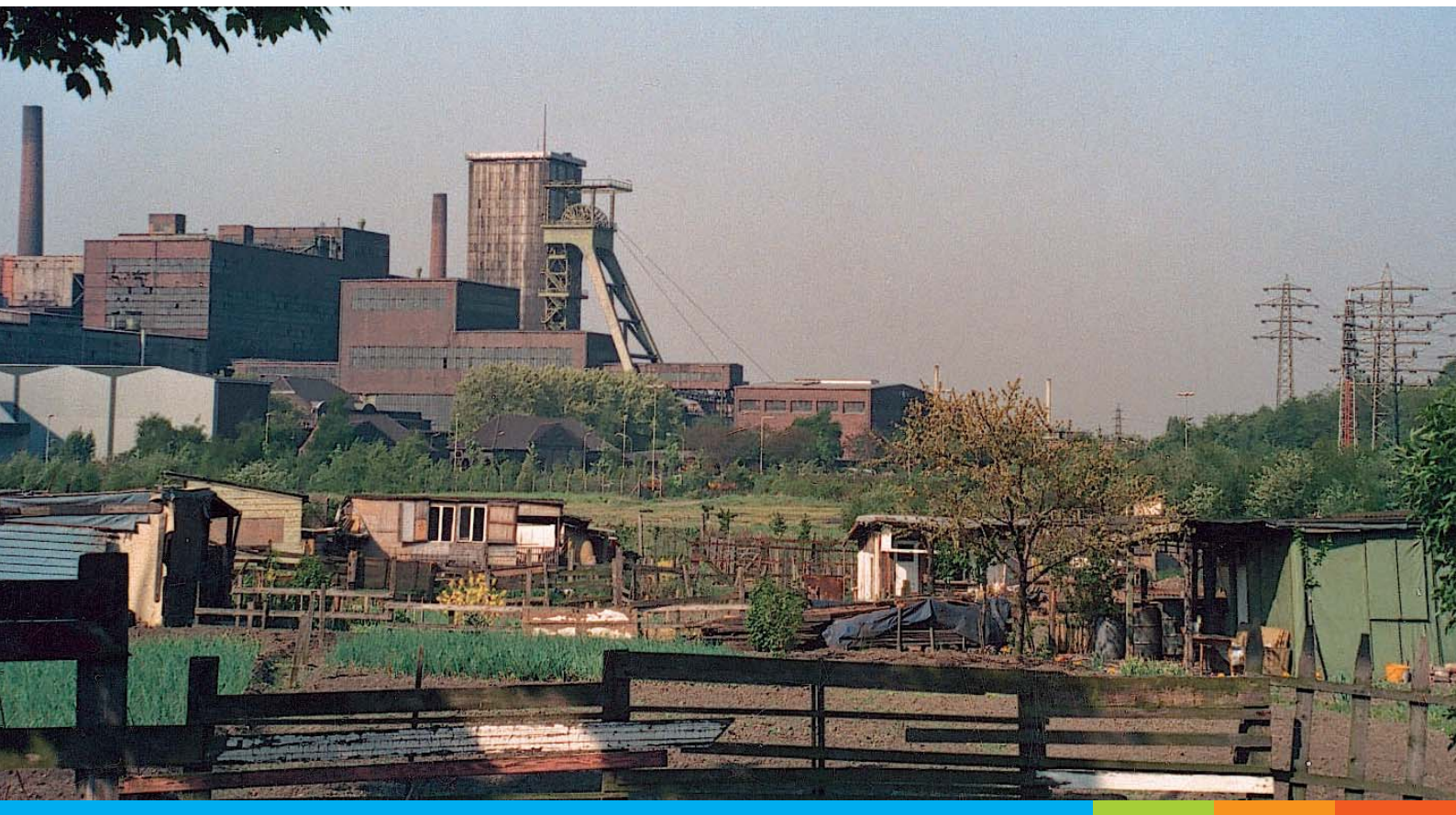




Leitfaden zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten

Teil II: Siedlungsbereiche

[LANUV-Arbeitsblatt 1](#)

Leitfaden zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten

Teil II: Siedlungsbereiche

LANUV-Arbeitsblatt 1

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen
Recklinghausen 2007

IMPRESSUM

Herausgeber: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NordrheinWestfalen (LANUV NRW)
Leibnitzstr. 10, 45659 Recklinghausen
Telefon (0 23 61) 30 50
Telefax (0 23 61) 30 52 15
E-Mail: poststelle@lanuv.nrw.de

Das vorliegende Merkblatt basiert in weiten Teilen auf dem Abschlussbericht des Projektes „Leitfaden zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten im Siedlungsbereich“, das von der IFUA-Projekt GmbH (Bielefeld) in Zusammenarbeit mit ISB (Witten) und Herrn Prof. Meuser (FH Osnabrück) im Auftrag des Landesumweltamtes NRW durchgeführt wurde.

Redaktion: Dr. Heinz Neite, LANUV NRW

Fotos: LANUV NRW, Prof. Meuser (S. 11, 42)
IFUA-Projekt GmbH (S. 59, 85, 90)

ISSN: 1864-8916 LANUV-Arbeitsblatt

Informations-
dienste: Informationen und Daten aus NRW zu Natur, Umwelt und Verbraucherschutz unter

- www.lanuv.nrw.de

Aktuelle Luftqualitätswerte zusätzlich im

- Telefonansagedienst (02 01) 1 97 00
- WDR-Videotext Tafeln 177 bis 179

Bereitschafts-
dienst: Nachrichtenbereitschaftszentrale des LANUV NRW
(24-Std.-Dienst): Telefon (02 01) 71 44 88

Nachdruck – auch auszugsweise – ist nur unter Quellenangaben und Überlassung von Belegexemplaren nach vorheriger Zustimmung des Herausgebers gestattet.
Die Verwendung für Werbezwecke ist grundsätzlich untersagt.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	7
1. Einleitung	9
2. Charakterisierung städtischer Böden und deren Belastung	11
3. Zielsetzung	17
4. Methodische Ansätze	19
5. Grundlagen	23
5.1. Daten- und Kartengrundlagen	23
5.1.1. Fachspezifische Karten	23
5.1.2. Substrate der Bodenbildung	27
5.1.2.1 Natürliche Einheiten und geogene Grundgehalte	27
5.1.2.2 Hintergrundwerte	27
5.1.2.3 Technogene Substrate	27
5.1.2.4 Verbreitung natürlicher und technogener Substrate	30
5.1.3. Aktuelle Flächennutzung	33
5.1.4. Nutzungsgeschichte	36
5.1.5. Emissionen	38
5.1.6. Immissionen	38
5.1.7. Verwendung natürlicher und technogener Substrate	40
5.1.8. Überschwemmungen	41
5.1.9. Klärschlamm- und Bioabfallverwertung	43
5.1.10. Altstandorte und Altablagerungen	43
5.1.11. Einzelflächenbezogene Bodendaten	44
5.2. Software	47
6. Arbeitsschritte zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten im Siedlungsbereich	49
6.1. Validierung und Aufbereitung der Karten- und Datengrundlagen	50
6.1.1. Rauminformationen	50
6.1.2. Bodendaten	50
6.1.2.1 Generelle Kriterien der Validierung	50
6.1.2.2 Weiterreichende Kriterien der Validierung bei Anwendung des Immissionsansatzes	52
6.1.2.3 Weiterreichende Kriterien der Validierung bei Anwendung des raumanalytischen Ansatzes	52
6.1.3. Datenaufbereitung / Konzeptkarte	53
6.2. Auswahl des Testgebietes	54
6.3. Auswahl der Probennahmeflächen (Probennahmeplanung)	56
6.3.1. Immissionsansatz	56
6.3.2. Substratansatz	57
6.3.3. Raumanalytischer Ansatz	58
6.4. Durchführung der Probennahme	58
6.5. Allgemeiner Arbeitsablauf zur Auswertung der Bodendaten	59
6.5.1. Immissionsbezogene Auswertung	62

6.5.2.	Substratbezogene Auswertungen	63
6.5.3.	Raumanalytische Auswertungen	63
6.6.	Erstellung der BBK Siedlungsbereich im Testgebiet	64
6.6.1.	Immissionsansatz	65
6.6.2.	Substratansatz	66
6.6.3.	Raumanalytischer Ansatz	66
6.7.	Übertragung auf das gesamte Stadtgebiet	67
7.	Auswertungen und Anwendungen	69
7.1.	Ermittlung und Abgrenzung von Gebieten mit erhöhten Schadstoffgehalten	69
7.2.	Ermittlungen zur Erfassung von schädlichen Bodenveränderungen und Verdachtsflächen sowie deren Abgrenzung	71
7.3.	Abwägungs- und Kennzeichnungsgrundlage im Rahmen der Bauleitplanung	72
7.4.	Ermittlung schutzwürdiger Böden	73
8.	Literatur	75
	Anhang	83
A.1	Verzeichnis der Abkürzungen	83
A.2	Bodenansprache, Probennahme und Analytik	84
A.2.1	Flächenbegehung	84
A.2.2	Feldansprache (Überblickssondierung)	87
A.2.3	Probennahme (Mischprobe)	90
A.2.4	Probenvorbereitung und Lagerung	93
A.2.5	Analytik und Qualitätssicherung	95
A.3	Statistische Methoden	97
A.3.1.	Moving-Window-Verfahren	97
A.3.2.	Statistische Kenngrößen	97
A.3.3	Ausreißertests	97
A.3.4.	Box-Whisker-Plots	98
A.3.5.	Chi-Quadrat-Test (χ^2)	99
A.3.6.	Kruskal-Wallis-Test	99
A.3.7.	Clusteranalyse	100
A.3.8.	Variogrammanalyse	101
A.3.9.	Kriging	103
A.3.10.	Kreuzvalidierung	104
A.3.11.	Aussagesicherheit und Vertrauensbereiche der Interpolation	105

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Bearbeitungsgebiete digitaler Bodenbelastungskarten in NRW (Stand: Dezember 2006); in den gelb markierten Gebieten wird auch der Siedlungsbereich bearbeitet	10
Abbildung 2:	Allgemeine Vorgehensweise zur Erstellung der BBK Siedlungsbereich	21
Abbildung 3:	Anteil technogener Substrate (in %) bei Gartenböden im obersten Horizont (*Gemeinden Detmold, Lemgo, Börsingfeld)	31
Abbildung 4:	Verteilung der Einzelkomponenten (in %) im Testgebiet von Wuppertal	32
Abbildung 5:	Bleigehalte (mg/ kg) in Wuppertaler Böden	37
Abbildung 6:	Interpolation der Staubdeposition 1964-1999 in Duisburg (aus IFUA 2000)	40
Abbildung 7:	Ablaufdiagramm zur Erstellung der BBK Siedlungsbereich	49
Abbildung 8:	Schematische Darstellung einer Konzeptkarte (nach SCHNEIDER et al. 2000, verändert)	54
Abbildung 9:	Allgemeines Ablaufschema zur Auswertung vorliegender BBK-Daten; HRE = homogene Raumeinheit	62
Abbildung A1:	Formblatt Flächenbegehung	86
Abbildung A2:	Formblatt Bodenansprache	89
Abbildung A3:	Probenvorbehandlung Bodenmischproben, Aufteilung des Feinbodens für die Analyse und Kontrolluntersuchungen (nach LUA 2000, verändert und erweitert)	94
Abbildung A4:	Beispielhaftes Kastendiagramm (Box-and-Whisker Plot) für Schwermetallgehalte im Oberboden (logarithmierte Werte)	98
Abbildung A5:	Clusteranalyse der Substrate zur Erzeugung von Einheiten oberflächennaher Gesteine	100
Abbildung A6:	Darstellung eines Variogramms (aus HEINRICH 1992, ergänzt)	101
Abbildung A7:	Fallunterscheidung der Unter- bzw. Überschreitung von Prüfwerten bei einseitigen Konfidenzintervallen	106

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Quellen von stofflichen Bodenbelastungen in urbanen Böden (MEUSER & BLUME 2004)	16
Tabelle 2:	Charakterisierung der methodischen Ansätze der BBK Siedlungsbereich	22
Tabelle 3:	Kartengrundlagen und ihre Bezugsquellen	26
Tabelle 4:	Systematik der technogenen Substrate einschließlich Bergematerial (nach MEUSER 2002)	28
Tabelle 5:	Spannweiten und Mittelwerte von Schadstoffgehalten in technogenen Substraten (nach MEUSER 1996a)	29
Tabelle 6:	Kontaminationspotenzial technogener Substrate in Böden (nach MEUSER 2002)	30
Tabelle 7:	Nutzungsarten und Beprobungsbereiche im Siedlungsbereich	35
Tabelle 8:	Einzelflächenbezogene Bodendaten und Bezugsquellen	47
Tabelle 9:	Abstufungen der Messpunktdichte bei der Probennahmeplanung für die Bodenbelastungskarten im Außen- und Siedlungsbereich	56
Tabelle 10:	Vorsorgewerte der BBodSchV	70

Zusammenfassung

In innerstädtischen Siedlungsbereichen sind bei der Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten – im Gegensatz zu den Nutzungen Acker, Grünland und Wald des Außenbereichs – weitere Bodennutzungen (z.B. Wohngebiete, Kleingärten, Park- und Freizeitanlagen oder Gewerbegebiete) zu berücksichtigen. Zudem sind Stadtböden in der Regel stark anthropogen überformt. Die Erstellung einer BBK für die Siedlungsbereiche (BBK-S) erfordert daher eine angepasste Vorgehensweise.

Das **Untersuchungsgebiet** umfasst den Siedlungsbereich (oder Teilgebiete) von kreisfreien oder kreisangehörigen Städten. Hierfür sind die relevanten Karten- und Datengrundlagen zu recherchieren und aufzubereiten. Die daraufhin zu erstellende **Konzeptkarte** entsteht durch Verschneiden wesentlicher Grundlageninformationen. In der Regel ist es sinnvoll, ein **Testgebiet** auszuwählen und abzugrenzen.

In den nächsten Arbeitsschritten ist zu prüfen, inwieweit im Testgebiet parallel die Umsetzung der **drei methodischen Ansätze** (Substratansatz, Immissionsansatz und raumanalytischer Ansatz) erfolgen soll.

Der **Substratansatz** hat zum Ziel, Flächen mit vergleichbaren Schadstoffgehalten bedingt durch das Auftreten natürlicher und technogener Substrate zu ermitteln. Als Grundlage der Abgrenzung dienen aktuelle Flächennutzungen und/ oder historische Nutzungsabfolgen, die eine Übertragbarkeit von stichprobenhaft ermittelten Aussagen zur Bodenbelastung auf nicht untersuchte Flächen gleichen Typs erwarten lassen.

Die Erfassung der auf Immissionen zurückzuführenden Bodenbelastung (**Immissionsansatz**) erfolgt unabhängig vom Substrateinfluss insbesondere auf Flächen, die für lange Zeit ungestört der Immission ausgesetzt waren. Die immissionsbedingte Bodenbelastung ist – sofern geostatistische Auswertungen dies anzeigen – in die Fläche interpolierbar.

Der **raumanalytische Ansatz** geht davon aus, dass das Ausmaß der Bodenbelastung dem steuernden Einfluss von Nutzungsarten, teilweise in Kombination mit der Nutzungsdauer, unterliegt. Sofern homogene Raumeinheiten signifikant unterschiedliche Belastungen aufweisen, kann ggf. nach Standardisierung interpoliert werden.

Methoden zur Umsetzung und insbesondere Prüfung der genannten Ansätze sind im Leitfaden beschrieben. In Abhängigkeit vom Ergebnis dieser Auswertungen in einem Testgebiet sind verdichtende Probennahmen, ergänzende Auswertungen und die **Übertragung auf das gesamte Untersuchungsgebiet** zu planen und umzusetzen.

Hinsichtlich der **Anwendungsbereiche** der BBK im Siedlungsbereich ist insbesondere auf Fragen der Gebietsabgrenzung in Bezug auf Hintergrund-, Vorsorge- und Prüfwerte hinzuweisen. Des Weiteren ist die Anwendung der BBK als Abwägungs- und Kennzeichnungsgrundlage im Rahmen der Bauleitplanung bedeutsam. Darüber hinaus kann eine Fülle von Rauminformationen und Bodendaten digital in einem fortschreibungsfähigen Bodeninformationssystem für vielfältige Fragestellungen verfügbar gemacht werden (Beispiel: schutzwürdige Böden).

Der vorliegende Leitfaden ist nicht als starre Handlungsanleitung zu verstehen. Vielmehr verlangen die Rahmenbedingungen und historischen Besonderheiten jeder Stadt spezifische Lösungen für den Einzelfall.

1. Einleitung

In digitalen Bodenbelastungskarten (BBK) wird die Belastung von Oberböden mit Schwermetallen und ausgewählten organischen persistenten Schadstoffen flächenhaft dargestellt. Sie werden in der Regel für das Gebiet eines Kreises oder einer kreisfreien Stadt erstellt. Digitale Bodenbelastungskarten sollen die behördliche Ermittlungspflicht nach § 9 BBodSchG unterstützen und können insbesondere zur Erfassung von Flächen mit schädlichen Bodenveränderungen nach § 5 LBodSchG erstellt werden. Sie liefern darüber hinaus zahlreiche Informationen für die Gefahrenabwehr, den vorsorgenden Bodenschutz und für planerische Zwecke.

Ein weiterer wichtiger positiver Effekt der BBK ist zudem, dass im Rahmen ihrer Bearbeitung eine Fülle von Daten digital in einem geographischen Informationssystem (GIS) für die weitere Verwendung bei einer Vielzahl von Fragestellungen verfügbar gemacht werden kann. Unter diesem Aspekt ist die BBK ein fortschreibungsfähiges Bodeninformationssystem.

Für die Bearbeitung der Außenbereiche, d.h. für naturnahe Böden mit weitgehend ungestörtem Profilaufbau der Nutzungen Acker, Grünland und Wald, wurde vom Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (LUA NRW) eine einheitliche Methode zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten entwickelt und im LUA-Merkblatt Nr. 24 (LUA 2000) dokumentiert.

In innerstädtischen Siedlungsbereichen sind vorrangig andere Bodennutzungen, wie Wohngebiete, Kleingärten, Park- und Freizeitanlagen, Kinderspielflächen oder Gewerbegebiete, von Bedeutung. Die Böden im Siedlungsbereich sind häufig überprägt und aufgrund des kleinräumigen Wechsels der Nutzungen und der sehr heterogenen Bodenverhältnisse im Vergleich zu den Außenbereichen differenzierter zu betrachten. Auch nimmt die Bedeutung anderer Belastungsursachen zu, wie insbesondere die durch Immissionen oder kleinräumige Materialauf- und -einträge.

Das Bearbeitungsgebiet umfasst alle Bereiche eines Stadtgebietes, die nicht durch die BBK Außenbereich abgedeckt sind und keine Ausschlussflächen darstellen.

Wegen der unterschiedlichen Belastungsursachen und der anderen Nutzungssituation ist die bislang vorliegende Methodik zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten im Außenbereich für das gesamte Gebiet einer Stadt oder eines Kreises in der Regel nicht anwendbar. Die Bearbeitung in den Siedlungsbereichen erfordert eine angepasste Vorgehensweise.

In drei Pilotprojekten (Düsseldorf, Duisburg und Wuppertal) wurden methodische Ansätze zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten im Siedlungsbereich erprobt. Die dabei gewonnenen Erfahrungen wurden 2002 im Auftrag des LUA NRW als „Grundlagen und Empfehlungen zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten im Siedlungsbereich“ zusammengeführt (IFUA 2002a).

Auf dieser Basis wurden weitere Bodenbelastungskarten in Siedlungsbereichen erstellt und wertvolle methodische Erkenntnisse gewonnen. Dabei zeigte sich insbesondere, dass die Rahmenbedingungen und (historischen) Besonderheiten jeder Stadt bei der Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten im Siedlungsbereich zu beachten sind und eine Anpassung der Methode auf den Einzelfall erfordern. Dies ist bei der Anwendung des vorliegenden Leitfadens zu berücksichtigen.

Derzeit liegen in Nordrhein-Westfalen digitale Bodenbelastungskarten für den Außenbereich in ca. 40 Kreisen, kreisfreien und kreisangehörigen Städten vor oder sind in Bearbeitung. In 19 Gebieten werden darüber hinaus Bodenbelastungskarten im Siedlungsbereich bearbeitet. Insgesamt decken Bodenbelastungskarten zurzeit ca. 45% der Landesfläche ab (Abbildung 1).

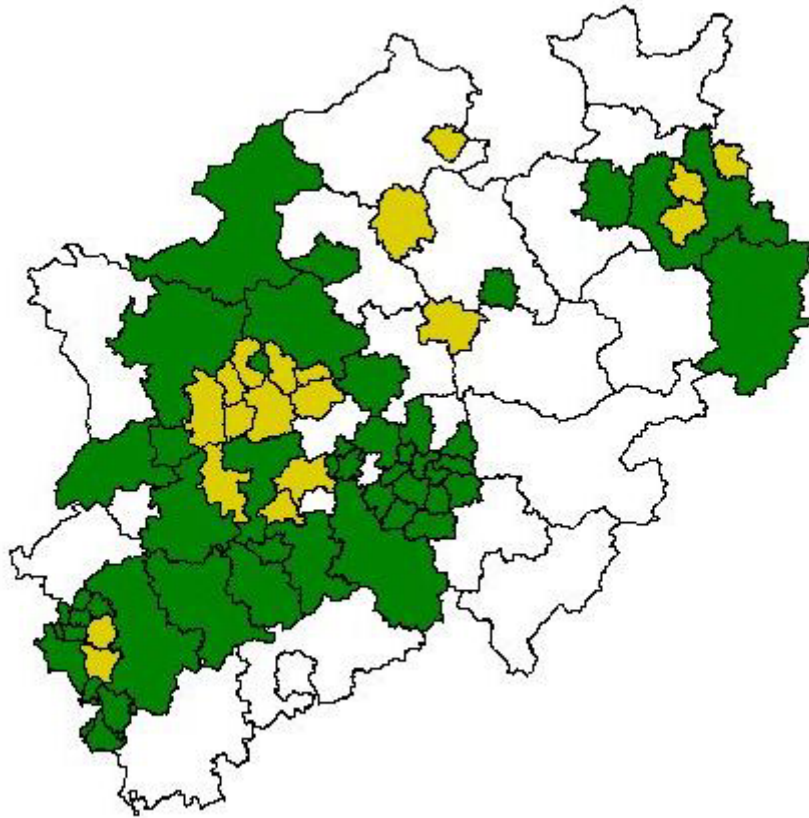


Abbildung 1: Bearbeitungsgebiete digitaler Bodenbelastungskarten in NRW (Stand: Dezember 2006); in den gelb markierten Gebieten wird auch der Siedlungsbereich bearbeitet

Der Leitfaden ist so aufgebaut, dass nach der allgemeinen Charakterisierung städtischer Böden (Kapitel 2) die Zielsetzung einer Bodenbelastungskarte im Siedlungsbereich (Kapitel 3) und die methodischen Ansätze (Kapitel 4) erläutert werden. Daran anschließend werden im Kapitel 5 die zu recherchierenden Daten- und Kartengrundlagen sowie im Kapitel 6 die zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten im Siedlungsbereich wesentlichen Arbeitsschritte benannt. Auswertungen und Anwendungen der BBK Siedlungsbereich schließen im Kapitel 7 den Textteil ab.

In den Anhängen sind wichtige Details zu Geländearbeiten, Probennahme und Analytik zusammengestellt. Es werden außerdem Hinweise zur Anwendung statistischer Methoden gegeben.

Der Leitfaden ist eine Arbeitshilfe für die Kreise und Städte, die digitale Bodenbelastungskarten im Siedlungsbereich erstellen.

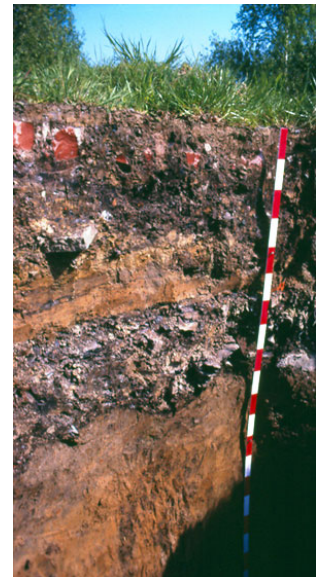
2. Charakterisierung städtischer Böden und deren Belastung

Als **anthropogene Böden** werden Böden bezeichnet, die entweder durch unmittelbare Arbeit des Menschen eine so starke Umgestaltung im Profilaufbau erfuhren, dass die ursprüngliche Schichtung (Horizontabfolge) stark verändert wurde (z.B. Gartenböden) bzw. verloren ging (z.B. Tiefumbruchböden) oder die vollständig aus anthropogenen Materialaufträgen bestehen. Urban, gewerblich, industriell oder montan überformte Böden werden als **Stadtböden** bezeichnet (AK STADTBÖDEN 1997). In Siedlungsbereichen gibt es anthropogene Böden, aber auch natürliche Böden.

Bei den anthropogenen Materialaufträgen lässt sich grundsätzlich zwischen natürlichen und technogenen Substraten unterscheiden. Die **natürlichen Substrate** lassen sich differenzieren in Festgesteine (z.B. Granit) und Lockergesteine (z.B. Sand). Zu den natürlichen Substraten sind der humose Oberboden („Mutterboden“), Torfe, humusarmes Unterbodenmaterial (Kies, Sand, Lehm, Ton), Festgesteine, Abraummaterial des Braunkohlentagebaus sowie das Bergematerial (Nebengestein der Rohstoffförderung) des Steinkohlen-, Salz- und Erzbergbaus zu zählen.

Unter **technogenen Substraten** versteht man Materialien, die durch menschliche Tätigkeit entstanden sind. Sie kommen in dieser Form in Böden nicht natürlich vor. Als Hauptkomponentengruppen sind Bauschutt, Schlacken (Verhüttungsprodukte), Aschen (Verbrennungsprodukte), Müll und Schlämme zu differenzieren; diese Gruppen teilen sich weiter in Einzelkomponenten auf (MEUSER 2002).

Bei der Erstellung einer BBK Siedlungsbereich ist davon auszugehen, dass der Anteil der anthropogenen Böden dominant ist, während im Außenbereich diese meist nur auf das unmittelbare Umfeld von Siedlungen konzentriert sind. Umgekehrt finden sich im Siedlungsbereich auch natürliche Böden, die im Rahmen der BBK ebenfalls betrachtet werden.



Ein (nicht stoffliches) Charakteristikum der Böden in Verdichtungsräumen ist der **hohe Versiegelungsgrad** in Form von Gebäude-, Freiflächen- (Verkehrswege, Parkplätze) und Unterflurversiegelung (Tiefgaragen, U-Bahn- und Straßentunnel). Hydrologisch führt der erhöhte Versiegelungsgrad zu einer Abnahme der Transpiration (weniger Vegetation), aber auch der Grundwasserneubildung und damit des Schadstoffaustrags (WITTIG & SUKOPP 1998). Der versiegelte Anteil lässt sich auf Grundlage von Versiegelungskarten oder Entwässerungsplänen erfassen.

Generell ist in Stadtgebieten mit einer **großen Heterogenität** physikalischer und chemischer Eigenschaften in vertikaler und horizontaler Richtung zu rechnen. Diese bezieht sich auch auf den Nährstoff- und den Schadstoffgehalt.

Im Rahmen der BBK Siedlungsbereich kann dieser Heterogenität, die sich in zahlreichen Stadtbodenkartierungen (z.B. in Berlin – GRENZIUS 1987, Kiel – GLA Schleswig-Holstein 1988, Stuttgart – HOLLAND 1995, Krefeld – BAUMGARTEN et al. 1997) zeigte, nur begegnet werden, wenn großmaßstäbig (1:5.000 bis 1:10.000) gearbeitet wird und das Beprobungsraster aufwändiger konzipiert wird als bei der BBK Außenbereich. Die bislang durchgeführten Felderhebungen im Rahmen der BBK Siedlungsbereich haben die hohe räumliche Variabilität der Bodeneigenschaften bestätigt. Es können zwar nutzungsbezogene Gesetzmäßigkeiten vorkommen, die aufzeigen, dass innerhalb des gleichen Nutzungstyps annähernd vergleichbare Bodenverhältnisse zumindest im Oberboden vorliegen (z.B. Gärten einer Einfamilienhaussiedlung), während bei Nutzungstypenwechsel (z.B. Übergang von der Einfamilienhaussiedlung zur benachbarten Gewerbefläche) abrupte Bodenveränderungen auftreten können. Trotzdem muss bei der Erstellung der BBK Siedlungsbereich klar sein, dass lokale kleinräumige Heterogenitäten auch bei einer Maßstabsgrundlage von 1:5.000 nicht erfasst werden können.

Für die Auswertung der BBK Siedlungsbereich können die Messergebnisse des C-Gehalts, pH-Werts und auch der Körnung (Textur) Bedeutung erlangen, da diese Parameter die Mobilität von Schadstoffen erheblich beeinflussen. Insofern ist eine Erfassung dieser so genannten Verfügbarkeitsparameter in der Regel erforderlich.

Hinsichtlich des Nährstoffhaushaltes ist zu bemerken, dass Gartenböden bei langer Nutzungsdauer (insbesondere bei Kompostgaben) und Auftragsböden aus bestimmten technogenen Substraten (z.B. Aschen) als stark angereichert zu charakterisieren sind. Manche Substrate (z.B. Bergematerial des Steinkohlenbergbaus) verfügen demgegenüber nur über ein sehr geringes Nährstoffpotenzial (HILLER & MEUSER 1998). Auf Gartenstandorten oder Standorten mit humosem Bodenauftrag (z.B. in Grünanlagen) sind hohe humusbürtige **Kohlenstoff-Gehalte** nachweisbar. Bei technogenen Auftragsböden finden sich auch im Unterboden zum Teil sehr hohe Kohlenstoff-Gehalte bei weitem Kohlenstoff/Stickstoff-Verhältnis, die technogenen Ursprungs sind (Aschen, Kohle, Straßenaufbruch). Da alle technogenen Substrate in Folge hoher Calciumcarbonat-Gehalte hohe **pH-Werte** aufweisen (Bauschutt 7-11, Schlacken und Aschen 8-12), reagieren die Auftragsböden in der Regel neutral bis alkalisch (MEUSER 2002, MEUSER & BLUME 2004). Bergbaugeprägte Standorte (Kippen des Braunkohlentagebaus, Halden des Steinkohlenbergbaus) sind durch Pyritverwitterung oft versauert. Durch Säureinträge aus der Luft oder bodenbürtiger chemischer Prozesse (Nitrifizierung, Oxidation) kann es im Laufe der Zeit zu einer Versauerung und damit einhergehender Entcarbonatisierung von anthropogenen Böden kommen, was wiederum zu einer Residualakkumulation anorganischer Stoffe wie Schwermetallen führen kann.

Generell sollte bedacht werden, dass Prozesse der Bodenentwicklung (Pedogenese) die Schadstoffgehalte im Boden verändern können und somit die erhobenen Werte der BBK Siedlungsbereich auch deshalb nicht als statisch anzusehen sind. Insbesondere sind die Verwitterung, Bioturbation, Redoximorphose und die Stoffumlagerung zu nennen. Durch die physiko-chemische Verwitterung werden grobe Bodenbestandteile (z.B. Schlacken) mit der Zeit mechanisch zerkleinert und ihre Inhaltsstoffe physiko-chemisch mobiler. Bioturbation bedeutet, dass Bodenmaterial durch Tiere (z.B. Regenwürmer, Maulwürfe) horizontal und

vertikal durchmischt wird. Bei der Redoximorphose ändern sich die Sauerstoffverhältnisse und damit auch die Stoffmobilität entweder durch Grund- und Stauwasser oder durch Gase (z.B. Methan) im Zeitverlauf. Eine Umlagerung von Bodenmaterial kann durch Windverdriftung (Deflation) oder Erosion am Hang erfolgen (BLUME 2004).

Für die BBK Siedlungsbereich bedeutet die zeitliche Komponente, dass eine Aktualisierung und Pflege des Datenbestandes der Bodenbelastungskarten mittelfristig geprüft werden sollte – insbesondere auch dann, wenn es zu gravierenden Nutzungsänderungen gekommen ist.

Das **Schadstoffbelastungsniveau** städtischer Böden muss im Vergleich zu dem ländlich geprägten Umland tendenziell als erhöht eingestuft werden. Der hohe Anteil von Böden, die mit belasteten technogenen Substraten aufgeschüttet wurden, ist dabei eine Quelle der Belastung. Diese Kontaminationsquelle überlappt sich jedoch auch im Siedlungsbereich mit anderen Einflussfaktoren, so dass eine klare Zuordnung oft erschwert ist, was bei der Ursachenermittlung Probleme bereiten kann (BLUME 2004).

Als weitere **Belastungsquellen** kommen in Betracht:

- Aufschüttung und Umlagerung belasteter natürlicher und technogener Substrate sowie deren Einsatz im Straßen-, Garten- und Landschaftsbau
- Kriegsschäden (z.B. Trümmerschuttf Flächen)
- Immissionseinträge (z.B. Staubdeposition)
- Überschwemmungen in Auengebieten
- Rieselfeldbewirtschaftung
- unsachgemäße Materialaufbringung (z.B. auf Spiel- und Sportplätzen)
- übermäßiger Einsatz von Mineraldüngern, Wirtschaftsdüngern, Bioabfällen, Hausbrandaschen zur Gartendüngung
- Leckagen an unterirdischen Versorgungsleitungen
- Singulärereignisse (Unfälle und Havarien)

Die Gewichtung der Belastungsquellen variiert, wobei den ersten drei Belastungsquellen in der Regel die größte Bedeutung zukommt.

Die aufgeführten Belastungsquellen spiegeln sich zum Teil in den registrierten Altstandorten und Altablagerungen wieder. Bei der Darstellung der BBK Siedlungsbereich sollten diese stets nachrichtlich übernommen und gekennzeichnet werden. Ob sogar eine Verwendung der Daten der Altstandorte und Altablagerungen für die BBK Siedlungsbereich möglich ist, hängt von verschiedenen Faktoren ab.

Voraussetzung für die Ermittlung der durch Aufschüttungen und Umlagerungen unterschiedlicher Substrate hervorgerufenen Belastungen ist die exakte Bestimmung **natürlicher und technogener Substrate** im Gelände. Natürliche Substrate können geogen bereits ein erhöhtes Belastungsniveau anorganischer Schadstoffe (Metalle) aufweisen (LABO 2003). Die Ein-

zelkomponenten der technogenen Substrate unterscheiden sich hinsichtlich ihrer ökologischen Eigenschaften auch innerhalb der Komponentengruppen erheblich (MEUSER 2002).

Für die Erstellung der BBK Siedlungsbereich erfahren damit Kenntnisse über die geologischen Verhältnisse im betrachteten Untersuchungsgebiet und die Substratansprache große Bedeutung. Das Auftreten technogener Substrate ist meist regionalspezifisch determiniert. Im betreffenden Untersuchungsgebiet sollten die dominant hervortretenden, regional spezifischen Substrate (Leitsubstrate) organoleptisch und analytisch bekannt sein.

Die bisherigen Untersuchungen im Rahmen der BBK Siedlungsbereich ergaben, dass sowohl in Ballungskernen (z.B. Bochum, Essen, Gelsenkirchen, Herne, Mülheim, Wuppertal) als auch im eher kleinstädtischen Umfeld (z.B. Detmold) technogene Substrate sehr häufig in den Bodenproben ermittelt wurden. Insgesamt – von Monosubstratablagerungen abgesehen – machen diese jedoch meist weniger als 10 Masse-% der Bodenmatrix der einzelnen Bodenproben aus (GARBE 2002, HEIMANN 2005, HEINRICH 2005, IFUA 2005c, IFUA 2005d, ISB 2003, ISB 2005a, ISB 2005b).

Bei den **Immissionen** ist zwischen den diffusen und kleinflächigen Einträgen zu differenzieren. Auch außerhalb der unmittelbaren Ballungskerne werden Schadstoffe über den Luftpfad diffus in (Ober)böden eingetragen, so dass auch in industriefernen land- oder forstwirtschaftlich geprägten Räumen im Vergleich zu den geogenen Grundgehalten in der Regel erhöhte Bodengehalte festgestellt werden.



Kleinflächige Einträge sind auf spezifische Quellen (z.B. Industriebetrieb bzw. -komplex) zurückzuführen und nehmen mit der Entfernung von der Quelle ab. Die auf Immission zurückzuführenden Schadstoffe können praktisch das komplette Schadstoffspektrum (z.B. Metalle, PAK, PCB, PCDD/F) betreffen. Auch die linearen Einträge entlang von Verkehrsstrassen gehören zu diesen Belastungsquellen, da sie ebenfalls mit der Entfernung vom Emittenten abnehmen; die Parameter Cd, Cu, Cr, Ni, Zn (Abrieb von Bremsbelägen und Reifen, Korrosionsprodukte), Pb (Verbrennungsaerosole), PAK (Verbrennungsaerosole, Abrieb von Asphaltstraßen) und MKW (Tropfverluste) sind dabei als die wichtigsten anzusehen (UNGER & PRINZ 1997).

Für die Erstellung der BBK Siedlungsbereich ist es daher notwendig, Kenntnisse über die Immissionseinträge (vornehmlich in Form der Staubmessprogramme) für den betrachteten Raum zu nutzen. Bisherige BBK-Untersuchungen konnten in einigen Fällen (Duisburg, Lengerich) nachweisen, dass die immissionsbezogene Schadstoffbelastung im Siedlungsbereich eine herausragende Bedeutung haben kann (IFUA 2002b, IFUA 2004, WESSING 2001).

Weitere Belastungsquellen sind **Überschwemmungen** (auch in industriegeprägten Räumen) und aktive oder ehemalige **Rieselfeldflächen**. Bei beiden Quellen kann davon ausgegangen werden, dass die Metalle eine große Bedeutung erlangen (MEUSER et al. 1996, SOWA et al. 1992); häufig spielen auch organische Schadstoffe wie PAK und PCB eine Rolle (ISB

2002). Den Einfluss von Überschwemmungsereignissen auf die Auenbodenqualität belegen auch die zahlreichen Bodenbelastungskarten im Außenbereich (z.B. Ruhraue in Essen, Hagen, Duisburg, Mülheim und Oberhausen; Wupperaue in Leverkusen, Solingen und Wuppertal). Untersuchungen in ehemaligen Fluss- und Bachverläufen, die früher zur Abwasserableitung genutzt wurden (z.B. in Mönchengladbach und Dortmund), haben hohe Schadstoffbelastungen gezeigt (BERIEF 2005a). Die ehemaligen Überschwemmungsflächen aus einer Zeit industrieller Prägung weisen auch heute noch insbesondere im Unterboden erhöhte Schadstoffgehalte auf.

Vornehmlich auf landwirtschaftlichen Flächen und in Haus- oder Kleingärten sind auch die **düngungsverursachten Schadstoffquellen** aufzuführen. Die (sehr langjährige und zum Teil überhöhte) Applikation von Phosphatdüngern steht im Zusammenhang mit erhöhten Bodenwerten bei Cd, (Be und V), die von Horn-, Knochen-, Ledermehl und Hüttenkalk mit erhöhten Werten bei Cr (und Ni) und die von Wirtschaftsdüngern (speziell Schweinegülle) bei Cu (BOYSEN 1992). In städtischen Grünanlagen eingesetzter Kompost und Rindenmulch (Einträge an Cd und Chlorpestiziden) stellt ebenso eine Eintragsquelle wie die in der Landwirtschaft eingesetzten Klärschlämme dar. Schließlich ist die besonders in den 1950er bis 1970er Jahren verursachte Anwendung von Hausbrandaschen in Gärten, die das Belastungsniveau von Metallen und PAK gleichermaßen betreffen, zu erwähnen (HÖKE & WALLOSSEK 1995).

Räumlich begrenzte Kontaminationszonen können auch das Ergebnis **defekter Versorgungsleitungen** (insbesondere Metallausträge aus Abwasserleitungen, vgl. KLEMMER & STEIN 1988) oder von Singulärereignissen (**Unfälle**) sein. Diese Eintragswege erlangen im städtischen Raum jedoch nur dann Bedeutung, wenn akute Sicherungsmaßnahmen nicht oder unzureichend stattgefunden haben.

Während im Rahmen der Erstellung der BBK Siedlungsbereich die Recherche der Belastungsquellen Überschwemmungen, Rieselfelder sowie Düngung durch Bioabfall und Klärschlamm auf Grund der Datenlage meist systematisch erfolgen kann, dürfte die Erfassung der anderen genannten Quellen in der Regel schwieriger sein; für die Interpretation der BBK Siedlungsbereich kann jedoch die Kenntnis der übrigen Quellen bedeutsam sein.

Zur Interpretation der Belastungssituation ist es ratsam, bodenkundliche Parameter, die bei der Feldarbeit erfasst werden, mit dem festgestellten Schadstoffbelastungsmuster abzugleichen. In Tabelle 1 sind mögliche Belastungsquellen, im Boden sichtbare morphologische Erkennungszeichen und typische, von den Schadstoffquellen abhängige Schadstoffmuster zusammengestellt.

Tabelle 1: Quellen von stofflichen Bodenbelastungen in urbanen Böden (MEUSER & BLUME 2004)

Quelle	Erkennungszeichen, morphologische Hinweise	Kontaminationsmuster	Beispiele
Staubdeposition (Immission)	oberflächennahe Staubbpartikelakkumulation (<2 µm), Staublessivierung	Abnahme mit der Tiefe bei ungestörten Profilen	Grünanlagen im Einzugsgebiet von staubemittierenden Betrieben
Ablagerung fester technogener Substrate	Diagnose des Substrats	vgl. Tab. 5	Bauschuttverfüllungen
Anthropogene Profilgestaltung (gebaute Profile)	Profildifferenzierung nach DIN-Vorschriften, scharfe Horizontgrenzen	indifferent (baustoffabhängig)	Bolzplatz
Überschwemmungen	Auenbodencharakter, Auedynamik der Landschaft	indifferent, abhängig von Überschwemmungsereignissen, Topographie der Aue, Sedimentbeschaffenheit (Textur, C, pH), Hydrologie des Aquifers, Industriegeschichte des Flusses, Einleitorsituation	Auen, Vordeichland
Leckagen an Versorgungsleitungen	defekte Leitungen, Redoximorphie (durch Abwasser, Gase), Geruchsauffälligkeiten	Abwasserleitungen: Borate, $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$, CKW, Metalle, bakterielle Belastung Gasleitungen: Reduktgase wie CH_4 , H_2S ,	Straßenränder
Einsatz von Kompost und Rindenmulch	erhöhter Fremdstoffanteil (z.B. Kunststoff) im Oberboden, C-Anreicherung im Oberboden	Anreicherung im Oberboden Kompost: Metalle > Organika Rindenmulch: Cd, Chlorpestizide	Grünanlagen, Rabatten, Gehölzflächen
Einsatz von Hausbrandaschen (Düngung)	Aufweitung C/N	Anreicherung im R, Ap Metalle (außer Hg) > PAK	Haus- und Kleingärten
Rieselfeldbewirtschaftung	Humusschlieren, Redoximorphie, erhöhter Fremdstoffanteil	indifferent (tendenziell Abnahme mit der Tiefe)	Eingedeichte Flächen (Grünland)

3. Zielsetzung

Adressaten der digitalen Bodenbelastungskarten sind in erster Linie die Unteren Bodenschutzbehörden. Sie arbeiten im Rahmen ihrer Zuständigkeiten mit den übrigen kommunalen Behörden zusammen und stellen für die jeweiligen spezifischen Anforderungen die Informationen zur stofflichen Belastung der Böden ihres Zuständigkeitsgebietes bereit.

Die Ergebnisse digitaler Bodenbelastungskarten können durch geoinformatrische Verarbeitung und Präsentation in Verbindung mit weiteren Geobasisdaten und Fachinformationen in ein kommunales Boden- bzw. Umweltinformationssystem eingebunden werden, welches u.a. dezidierte Aussagen zur stofflichen Belastung und deren räumlicher Verteilung in den Gebietskörperschaften enthält. Daneben ist eine Vielzahl von Zusatzinformationen zusammengestellt, die für viele Einzelfragen des Bodenschutzes mit herangezogen werden können.

Digitale Bodenbelastungskarten liefern den Unteren Bodenschutzbehörden wichtige Erkenntnisse sowohl für die Gefahrenabwehr als auch für den vorsorgenden Bodenschutz. Stellungnahmen für Planungs- und Genehmigungsverfahren werden dadurch erleichtert. Außerdem enthalten sie auch wichtige Informationen für den Verbraucherschutz, z.B. für die Lebensmittelüberwachung. Sie sind damit eine umfassende Grundlage für den stofflichen Bodenschutz.

Erste Erfahrungen im Umgang mit Bodenbelastungskarten zeigen, dass diese einen systematischen Umgang mit vorhandenen Bodenbelastungen in hohem Maße erleichtern. So liefert die Bodenbelastungskarte im Gegensatz zu einem aufwändigen Vorgehen im Einzelfall die notwendigen Grundlagen für ein gebietsbezogenes Handlungskonzept zur Gefahrenabwehr bei flächenhaften Bodenbelastungen und schafft damit auch eine erhöhte Sicherheit bei planerischen Entscheidungen auf Flächen mit einem Belastungsverdacht.

Digitale Bodenbelastungskarten sollen so aufgebaut und erstellt werden, dass zusätzliche Auswertungen unter Hinzuziehung weiterer Informationen ohne großen Aufwand möglich sind. Die bisherigen Ergebnisse aus digitalen Bodenbelastungskarten zeigen diese Möglichkeiten auf.

Die Anwendungsmöglichkeiten digitaler Bodenbelastungskarten im Siedlungsbereich sind in Kapitel 7 vertiefend dargestellt.

4. Methodische Ansätze

Die Methode zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten ist in den 1990er Jahren zunächst für den Außenbereich entwickelt und seitdem im praktischen Einsatz erprobt und fortgeführt worden. Mit dem entwickelten Verfahren gelingt es, aus punktuell erhobenen Daten über Stoffgehalte in Böden durch Zuordnung zu homogenen Raumeinheiten eine Verbreitungskarte für jeden einzelnen Stoff zu erstellen.

Dabei wird die Stoffkonzentration als Variable im Raum aufgefasst, deren absolute Höhe am jeweiligen Ort durch eine bekannte Kombination von Einflussfaktoren bestimmt ist. Als wesentliche Einflussfaktoren sind von Anfang an die Bodennutzung, das Ausgangssubstrat sowie Immissionen aus der Luft und über fließendes Wasser (Überschwemmungen) berücksichtigt worden (LUA 2000).

Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass die einzelnen Einflussfaktoren sich in ihren Eigenschaften unterscheiden. Sie sind zu trennen in statische und dynamische Einflussfaktoren. Zu den statischen gehören z.B. die Ausgangssubstrate hinsichtlich ihrer Eigenschaft, bestimmte Konzentrationen einzelner Schwermetalle aufzuweisen, oder die Bodennutzungen. Zu den dynamischen zählen die Immissionen (LABO 2004).

Im Folgenden sind die methodischen Ansätze zur Erstellung einer BBK Siedlungsbereich in knapper Form skizziert. Das Bearbeitungsgebiet umfasst alle Bereiche eines Stadtgebietes, die nicht durch die BBK Außenbereich abgedeckt sind und keine Ausschlussflächen (s.u.) darstellen. Auch Teilgebiete können bearbeitet werden. Innerhalb des Bearbeitungsgebietes sollen alle relevanten Nutzungen berücksichtigt werden. Betrachtung finden dabei Bodentiefen bis maximal 1 Meter.

Die Bodenbelastungssituation im besiedelten Bereich bewegt sich zwischen vergleichsweise naturnahen Verhältnissen, die sich näherungsweise mit der Methode für den Außenbereich fassen lassen, und sehr komplexen Bereichen, die kaum Gesetzmäßigkeiten zu erkennen geben und eine Übertragbarkeit von Untersuchungsergebnissen in die Fläche erschweren.

Die hier vorgestellten Ansätze beruhen auf der Annahme, dass die Einflussgrößen der Bodenbelastung bestimmten Gesetzmäßigkeiten unterliegen, dass diese zu fassen sind und damit zur flächenhaften Darstellung der Bodenbelastung genutzt werden können.

Da die Entstehungsgeschichte der Bodenbelastungssituation von Kommunen nicht einheitlich ist, erfolgt die Bearbeitung modular. Je nach Fallgestaltung kommen dann speziell zugeschnittene Herangehensweisen in Betracht, die sich in problemangepasster Intensität den verschiedenen Steuergrößen der Bodenbelastung widmen, um im Ergebnis ein umfassendes Bild über die flächenhafte Bodenbelastung zu erlangen. Jedem Zuschnitt der Herangehensweise liegen spezielle Anforderungen an die Messnetzplanung und die Probennahme sowie bestimmte Schritte der Auswertung und Rahmenbedingungen hinsichtlich der Übertragbarkeit auf die Fläche zugrunde. Grundlegende Anforderungen an die Ausgangsdaten, die Qualität von Probennahme und Analytik, die zu verwendenden statistischen und geostatistischen Methoden und die Notwendigkeit einer Prüfung, inwieweit eine Übertragbarkeit von Punktda-

ten in flächenhafte Darstellungen statthaft ist, gelten jedoch übergreifend. Es lassen sich drei methodische Ansätze unterscheiden:

Substratansatz

Die Erfassung der substratbedingten Bodenbelastung hat zum Ziel, im Siedlungsbereich Flächen mit vergleichbarer Bodenbelastung, die durch das Auftreten natürlicher und technogener Substrate bedingt sind, abzugrenzen. Im Unterschied zur immissionsbezogenen Bodenbelastung (s.u.) können sich die Aussagen auch auf tiefere Bodenhorizonte beziehen.

Als Grundlage zur Abgrenzung der Flächen dient die aktuelle Flächennutzung, wobei zum einen weiter nach Subnutzungen, zum anderen nach historischen Nutzungsabfolgetypen differenziert werden kann. Ziel ist es, jeweils Regelmäßigkeiten und Gesetzmäßigkeiten herauszuarbeiten, die eine Übertragung von stichprobenhaft ermittelten Aussagen zur Bodenbelastung auf nicht untersuchte Flächen vergleichbarer (Sub)Nutzung bzw. Nutzungsabfolge zulassen. Ohne den Beleg solcher Gesetzmäßigkeiten im Einzelfall ist die Übertragbarkeit nicht gegeben.

Immissionsansatz

Die Erfassung der auf Immissionen zurückzuführenden Bodenbelastung erfolgt unabhängig vom Substrateinfluss. Der Ansatz geht von der Annahme aus, dass die depositionsbedingte Bodenbelastung wie die Deposition selbst interpolierbar sein sollten. Der Immissionsansatz bezieht sich naturgemäß auf die oberen Dezimeter des Bodens, da insbesondere dort der Einfluss der Deposition wirksam werden konnte. Voraussetzung für die Erfassung einer derartigen Bodenbelastung ist allerdings, dass dabei der Einfluss anderer Belastungsfaktoren minimiert wird (z.B. durch gezielte Auswahl von Probennahmeflächen). Die depositionsbedingte Bodenbelastung kann außerdem quantitativ nur auf denjenigen Flächen erfasst werden, die für lange Zeit ungestört der Immission ausgesetzt waren. Im Umkehrschluss lassen sich die so gewonnenen Aussagen deshalb uneingeschränkt nur auf diejenigen Flächen beziehen, die den erwähnten Voraussetzungen genügen.

Raumanalytischer Ansatz

Der raumanalytische Ansatz geht davon aus, dass das Zusammenwirken von Belastungsursachen und typischen Schadstoffverteilungsmustern in den Böden dem steuernden Einfluss von Nutzungsarten, teilweise in Kombination mit der Nutzungsdauer, unterliegt. Die Nutzungsdauer beschreibt dabei, wie lange der anstehende Oberboden Immissionseinflüssen und zugleich nutzungstypischen Einträgen und Durchmischungen ausgesetzt war. Ferner werden die natürlichen oder technogenen Substrate der Bodenbildung und mögliche Überschwemmungseinflüsse berücksichtigt. Starke Streuungen der Bodenbelastung innerhalb der zunächst als homogen angenommenen Raumeinheiten deuten auf nicht erkannte Einflussfaktoren und erschweren die Anwendbarkeit des Ansatzes.

Die konkrete Vorgehensweise zur Erstellung einer Bodenbelastungskarte Siedlungsbereich erfordert eine den jeweiligen Gegebenheiten angepasste mehrstufige Bearbeitung (vgl. Kapitel 6). In einem Testgebiet sind die spezifischen Rahmenbedingungen und Einflussfaktoren zu ermitteln und die geeignete Methode abzuleiten. Hierbei spielen statistische und geosta-

tistische Prüfungen und Absicherungen eine entscheidende Rolle, um die Nachvollziehbarkeit der methodischen Festlegungen zu gewährleisten. Die allgemeine Vorgehensweise ist in Abbildung 2 veranschaulicht.

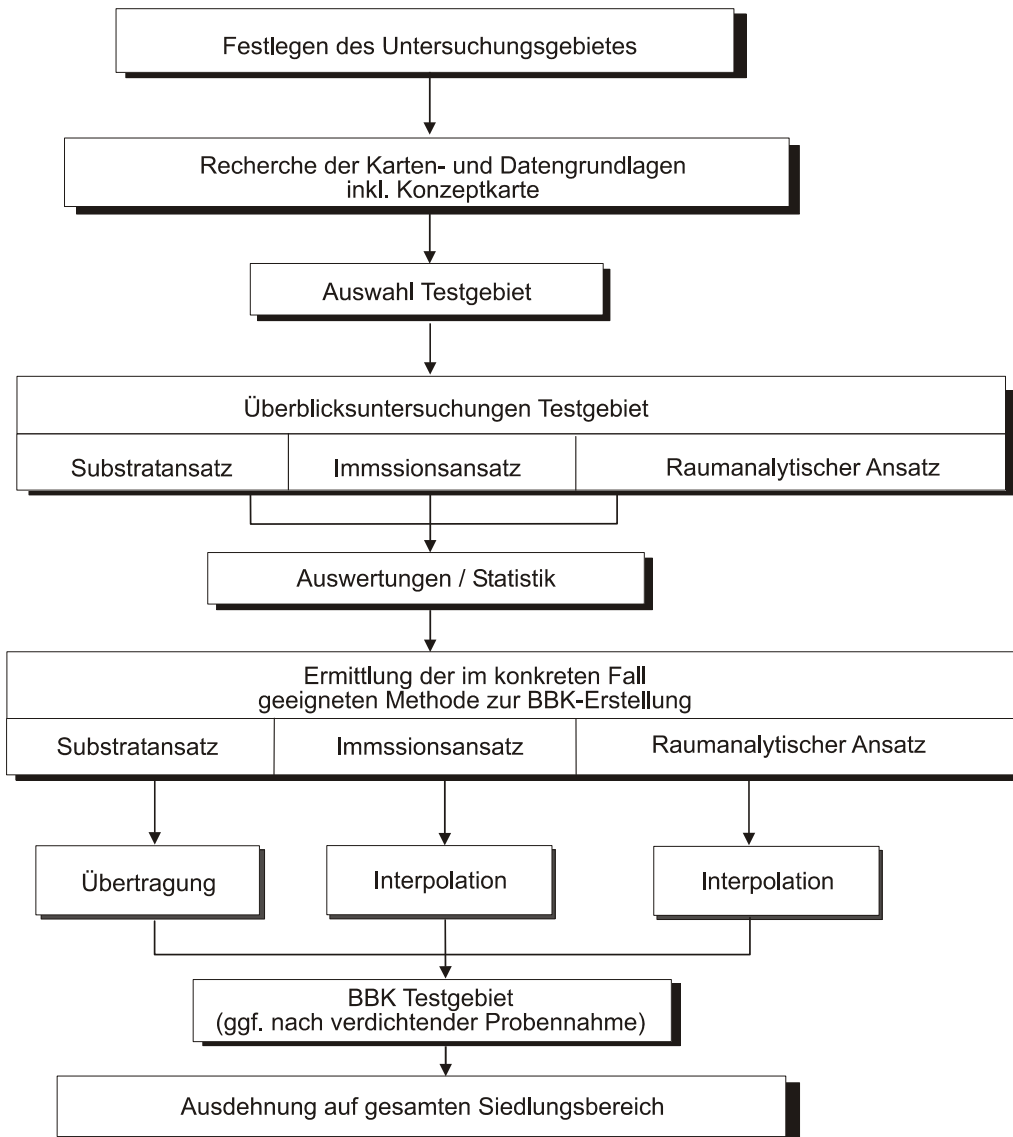


Abbildung 2: Allgemeine Vorgehensweise zur Erstellung der BBK Siedlungsbereich

Zusammenfassend lassen sich die methodischen Ansätze zur Erstellung einer BBK Siedlungsbereich wie folgt charakterisieren (vgl. Tabelle 2):

Tabelle 2: Charakterisierung der methodischen Ansätze der BBK Siedlungsbereich

	Substratansatz	Immissionsansatz	Raumanalytischer Ansatz
Ziel	Erfassung der substratbedingten Belastung	Erfassung der immissionsbedingten Belastung	Erfassung der nutzungsdifferenzierten Belastung
Anwendbarkeit	bei prägender und statistisch abgesicherter Substratbelastung	für Flächen, die lange Zeit der Immission ausgesetzt waren	bei signifikant unterschiedlicher Belastung verschiedener homogener Raumeinheiten
Tiefenbezug	Auffüllungsmächtigkeit	0 – 30 cm	0 - 30 cm
Methodische Voraussetzungen	Übertragung nach Korrelationsanalyse	Interpolation nach Variogrammanalyse	Interpolation nach Standardisierung und Variogrammanalyse
Beispiel für die Umsetzung	BBK Herne	BBK Duisburg	BBK Wuppertal

5. Grundlagen

5.1. Daten- und Kartengrundlagen

Als wichtige Voraussetzung zur Erstellung der BBK Siedlungsbereich sollte unbedingt die systematische Erfassung und Auswertung aller in Frage kommenden Daten- und Kartengrundlagen erfolgen. Dieser Rechenschritt kann zunächst alleine für das Testgebiet oder bereits für das Gesamtstadtgebiet durchgeführt werden. Da in der Regel die Erstellung der BBK Außenbereich vorausgegangen ist und dabei bereits stadtweit Daten erhoben worden sind, wird in den meisten Fällen die Erhebung der Daten- und Kartengrundlagen für den gesamten Siedlungsbereich erfolgen.

5.1.1. Fachspezifische Karten

Von großer Bedeutung sind die topographischen Basisdaten als Hintergrund der visualisierten Ergebnisse und für die Identifizierung anthropogener Bodenaufträge (z. B. Auswertung von relevanten Böschungssignaturen). Wegen der hohen Heterogenität im Verdichtungsraum wird empfohlen, die **Deutsche Grundkarte DGK 5** im Maßstab 1 : 5.000 auszuwählen, die für NRW flächendeckend digital im tiff-Format vorliegt. Die DGK 5 gibt ergänzende Informationen zur aktuellen Bodennutzung von Flächen, die bei der Vorbereitung der späteren Probennahme bekannt sein muss. Für die spätere Messnetzplanung sind zudem Flurstückskarten hilfreich.

Eine weitere wichtige Größe stellen die ebenfalls landesweit und digital vorliegenden **Bodenkarten** des Geologischen Dienstes im Maßstab 1 : 50.000 dar (BK 50); für Teilgebiete liegen diese auch im Maßstab 1 : 5.000 (BK 5) vor. Aus ihnen können Daten zu Ausgangsgestein (C-Horizont), Bodentyp (Profildifferenzierung), Bodenart (Textur), Grund- und Stauwasserverhältnissen sowie Humus- und Kalkgehalt entnommen werden. Die Parameter Textur, Humusgehalt und pH-Wert sind für die Bewertung der Schadstoffgehalte (Mobilität) unter Umständen von Bedeutung. Bei der Auswertung der BBK Siedlungsbereich sind die Daten der BK 50 zwar hilfreich, im Gegensatz zur Bearbeitung des Außenbereichs ist jedoch im Siedlungsbereich hinsichtlich der Übertragbarkeit ihrer Daten aus folgenden Gründen Vorsicht geboten:

- Der Maßstab wird nicht der Bearbeitung des Siedlungsbereichs gerecht; Daten im Maßstab 1 : 50.000 können nicht ohne Weiteres auf den Maßstab der BBK Siedlungsbereich übertragen werden (gegebenenfalls BK 5 verwenden).
- Die Kartierer des Geologischen Dienstes haben während der Erstellung der Bodenkarten zum Teil die aufgeschütteten und abgetragenen Bereiche und die unmittelbaren Siedlungsschwerpunkte mit hohem Versiegelungsgrad ausgespart; diese Flächen, die für die BBK Siedlungsbereich aber bedeutungsvoll sind, liegen dann als weiße Flächen ohne bodenkundliche Daten vor.

- Häufig sind Flächen im Siedlungsraum als Böden natürlicher Pedogenese gekennzeichnet, obwohl sie (inzwischen) anthropogen überformt wurden. Eine Ursache dafür ist der frühe Zeitpunkt der Kartierung. Eine weitere Ursache ergibt sich daraus, dass die Kartierer während der Aufnahme stark generalisierten. Besonders bei den Nutzungsarten siedlungsnahe Grünanlagen/Parks, Abstandsgrünflächen, Sportanlagen und gewerbenahe Brachflächen, zum Teil auch Hausgärten entspricht daher häufig die Kartengrundlage nicht der inzwischen eingetretenen Realität.

Im Einzelfall ist zu prüfen, inwieweit andere fachspezifische Karten zum Einsatz kommen können. Dazu gehören Karten zur **Geologie**, **Hydrogeologie** und **Hydrologie** sowie zur **Ingenieurgeologie**. Geologische Karten geben ab 2 m unter Geländeoberfläche Auskunft über das natürliche Ausgangsgestein der Bodenbildung (oberflächennahe Gesteine), das bekannt sein sollte, bevor die spätere Probennahmekampagne beginnt. Aus hydrogeologischen Karten sind ggf. Flächen der Abwasserverrieselung zu entnehmen. Ingenieurgeologische Karten sind im Vergleich zu den Geologischen Karten in Bezug auf künstliche Auffüllungen etc. zwar umfangreicher, aber keineswegs vollständig (LUA 2001).

In Gebieten mit Bergbau oder Lagerstättenbau sind die **bergbaulichen Karten** der Bergämter mit Informationen zu Halden, Abgrabungen und Erzgängen hinzuzufügen. Das Material liegt meist großmaßstäblich im Vektorformat vor, so dass es bei einer Berücksichtigung einen erhöhten Arbeitsaufwand erfordert.

Zum Teil existieren in Kommunen Aufzeichnungen über die **Trümmerräumung** nach dem 2. Weltkrieg bzw. **Kriegsschadenskarten**, die digital zu erfassen und auszuwerten sind, da sie Hinweise auf die Ablagerung von Trümmerschutt (Hauptkomponentengruppe Bauschutt) geben.

Viele Kommunen verfügen über **Versiegelungskarten** bzw. Karten zum **Generalentwässerungsplan** (Zuständigkeit: Wasser- bzw. Abwasserverbände) in digitaler Form. Diese Karten sind unerlässlich, um großflächige Versiegelungen (Gebäudekörper, Straßen und Plätze) zu kennzeichnen. Versiegelte Flächen werden in der Regel in der BBK Siedlungsbereich nicht berücksichtigt.

Im Zusammenhang mit der Recherche zur Historie einer Probennahmestelle und zur Bearbeitung der Nutzungsabfolge haben historische Karten, Luftbilder und ggf. behördliches und gewerbliches Archivmaterial Bedeutung. Als **historische Karten** liegen in den meisten Kommunen bis in die Mitte des 19. Jahrhunderts zurückreichende historische topographische Karten (TK 25) vor, aus denen sich das ungefähre Alter entstandener Nutzungen (z.B. Errichtung von Siedlungen, Anlage von Gärten und Parks) ableiten lässt. Ihre Informationen können ggf. durch Einsicht in historische Stadtpläne ergänzt werden. Die **Luftbilder** reichen bis in die 1920er Jahre zurück. Die stereoskopische Auswertung der Luftbilder ist insbesondere für die Zeit nach dem 2. Weltkrieg interessant, da danach vielfach Bombentrichter wiederverfüllt wurden.

Generell ist die multitemporale Auswertung von Luftbildern und historischen Karten für die Festlegung der **Nutzungsabfolgetypen** unerlässlich (vgl. Kapitel 5.1.4). Hierbei werden zunächst unter Beachtung der Ausschlussflächen (z.B. versiegelte Bereiche, Kleinstflächen)

die relevanten Flächennutzungsabfolgen definiert. Um die Anzahl der Abfolgetypen zu reduzieren, ist es notwendig, diese zu aggregieren, wobei die im Stadtgebiet relevanten, sensiblen Flächennutzungen (z.B. Wohnbebauung, Kleingärten) höchste Priorität haben. Als Ergebnis sollten nur die flächenmäßig bedeutenden, eine ausreichende Datenanzahl vorhaltenden, primär sensibel genutzten Nutzungsabfolgetypen (mit wenigen Zeitschnitten) weiter behandelt werden (IFUA 2005c).

Gewerbliches Archivmaterial einschließlich aktueller Gewerbekataster wird bei der Erfassung von Altstandorten ausgewertet und kann ebenfalls wichtige Hinweise auf die historische Abfolge im Untersuchungsgebiet geben. Da in manchen Kommunen im Rahmen der Erstbewertung von Altstandorten große Stadtgebiete bereits abgearbeitet wurden, empfiehlt sich die Einsicht in Unterlagen dieser Art, falls der dafür zu veranschlagende Zeitaufwand verhältnismäßig ist. Eine Beachtung der Kataster über Altstandorte und Altablagerungen ist auch schon deshalb angezeigt, um eventuelle Ausschlussflächen bei der Erarbeitung der BBK zu kennzeichnen; solche Ausschlussflächen sind nachrichtlich zu übernehmen. Das Material kann helfen, Abgrabungen und Aufschüttungen zu lokalisieren und damit die Standortfestlegungen für die Probennahmekampagnen zu unterstützen. Die multitemporale Auswertung der o.g. Daten ist jedoch zeitaufwändig.

Im Siedlungsbereich kann es insbesondere dann, wenn die Kartengrundlagen insgesamt nicht als sehr ergiebig einzustufen sind, hilfreich sein, **Baugrunderkarten** auszuwerten, die Hinweise zu Aufschüttungen (Substratvorkommen), Bodenart und Grundwasserverhältnissen geben. Dabei sollte aber berücksichtigt werden, dass die erfassten Daten oft nur schlecht kompatibel zu bodenkundlichen Erhebungen sind (Unterschiede in der Bodenansprache) und ihre Auswertung zudem ebenfalls zeitaufwändig ist. In Zusammenhang mit der Bewertung eines Substrateinflusses geben auch von den Bauämtern in Auftrag gegebene Substratuntersuchungen (Baustoffverwendung) Aufschluss über ein mögliches Kontaminationspotenzial.

Die bereits im Außenbereich verwendeten Karten bzw. die bereits erstellte **Bodenbelastungskarte für den Außenbereich** können für Teilflächen des Siedlungsbereichs ebenfalls Anwendung finden; dazu gehören **Karten der Überschwemmungsgebiete** (vgl. Kapitel 5.1.8), **Karten der Bodenschätzung** landwirtschaftlicher Flächen, **forstliche Standortkarten** und Karten, die Aufschluss über die Entsorgung von Klärschlämmen (vgl. Kapitel 5.1.9) geben (**Karten zu Klärschlämmflächen**). Bei den Karten der Bodenschätzung ist zu berücksichtigen, dass die Angaben zur Bodenartbestimmung zunächst auf die der Bodenkundlichen Kartieranleitung (AG BODEN 2005) zu übersetzen sind.

Inwieweit weitere fachspezifische Karten aus dem Bereich der Ökologie bzw. Grünflächenbewirtschaftung auszuwerten sind, bleibt im Einzelfall zu prüfen (z.B. **Biotoptypenkarten**, **Karten schutzwürdiger Biotope**); sie können bei der Festlegung der aktuellen Bodennutzung unbebauter Flächen hilfreich sein und Angaben zu verwendeten organischen Bodenverbesserungsmitteln (Kompost, Rindenmulch), die prinzipiell ebenfalls Quelle von Bodenbelastungen sein können, machen.

In Tabelle 3 sind die wesentlichen fachspezifischen Karten bzw. Materialien zusammengestellt:

Tabelle 3: Kartengrundlagen und ihre Bezugsquellen

Fachspezifische Karte / Material	Bezugsquellen
Deutsche Grundkarte DGK 5 bzw. andere Topografische Karten	Städtische Katasterämter
Bodenkarten (BK 5, BK 25, BK 50)	Geologischer Dienst (vormals GLA)
Geologische Karten (Karten oberflächennaher Gesteine), Hydro(geo)logische Karten	Geologischer Dienst (vormals GLA)
Ingenieurgeologische Karten	Geologischer Dienst (vormals GLA)
Bergbauliche Karten	Regierungspräsidium Arnsberg
Trümmerschuttkataster, Kriegsschadenskarten	Stadtverwaltung (unterschiedliche datenführende Stellen)
Versiegelungskarten, Generalentwässerungsplan	Kommunale Umweltverwaltung (Untere Bodenschutzbehörde, Untere Wasserbehörde)
Historische (topographische) Karten	Städtische Katasterämter/Landesvermessungsamt
Luftbilder	Städtische Katasterämter
Kataster der Altstandorte und Altablagerungen(einschließlich gewerbliches Archivmaterial)	Kommunale Umweltverwaltung (Untere Bodenschutzbehörde)
Baugrundkarten	Stadtplanungsämter, Bauämter
Bodenbelastungskarte des Außenbereichs, ggf. Karten der Reichsbodenschätzung, Karten zu Überschwemmungsflächen und zur Klärschlammanwendung	Kommunale Umweltverwaltung (Untere Bodenschutzbehörde)
ggf. Biotoptypenkarten, Karten schutzwürdiger Böden	Kommunale Umweltverwaltung (Untere Bodenschutzbehörde, Untere Landschaftsbehörde)

Über die Grundbucheinträge der Liegenschaftsämter (ggf. ergänzt um Daten der Steuerämter) lassen sich die Eigentümer der zu beprobenden Flächen im Vorfeld der feldbodenkundlichen Arbeiten ermitteln.

Wie oben ausgeführt liegen unterschiedliche Verwendungszwecke für die einzelnen Karten vor. Die meisten Karten dienen der allgemeinen Hintergrundinformation im Vorfeld der Messnetzplanung bzw. der Messnetzplanung selbst. Bereits ermittelte Stoffgehalte lassen sich aus der bereits erstellten Bodenbelastungskarte des Außenbereichs und zuvor erhobenen Einzelflächenuntersuchungen (Bodendatenbank, vgl. Kapitel 5.1.11) ablesen.

Das unterschiedliche Karten- und Datenmaterial liegt im Regelfall bei verschiedenen Behörden vor (Untere Bodenschutzbehörde, Untere Wasserbehörde, Untere Landschaftsbehörde, Abfallbehörden, Planungs- und Bauämter). Es sollten in jedem Fall größere Zeitspannen für die Beschaffung und Auswertung der Karten- und Datengrundlagen eingeplant werden.

5.1.2. Substrate der Bodenbildung

5.1.2.1 Natürliche Einheiten und geogene Grundgehalte

Im Hinblick auf die Verbreitung der natürlichen Substrate der Bodenbildung und die Ermittlung der geogenen Grundgehalte dieser Substrate wird auf die BBK-Methodik im Außenbereich verwiesen (LUA 2000). Grundlage für die Bearbeitung dieser Fragestellung ist der Fachbeitrag des Geologischen Dienstes (GD 2003). Im Siedlungsbereich sind insbesondere auch Bodenkarten im Maßstab 1:5.000 von Bedeutung (vgl. Kapitel 5.1.1).

Der Fachbeitrag des GD enthält Angaben zu Art und Mächtigkeit von bis zu vier der obersten Deckschichten sowie für die oberste Schicht weiterführende Angaben zur Korngrößenverteilung, zum Grobbodenanteil sowie zum Gehalt an Torf, Humus und Kalk. Die Zuordnung zu den Substraten gemäß BBK erfolgt über die oberste Schicht, wobei häufig auch Kombinationen vorkommen.

Im Rahmen der gutachterlichen Auswertung ist es beispielsweise mit Hilfe der Clusteranalyse möglich, die im Untersuchungsgebiet häufig in Vielzahl vorkommenden Substrate auf eine überschaubare Anzahl an Einheiten oberflächennaher Gesteine zu reduzieren. Zur weiteren Verwendung können dann gewichtete Mittelwerte aus denjenigen Substraten, die zu einem Cluster zusammengefasst sind, berechnet werden. Ein Beispiel hierzu enthält der Anhang (A.3.7).

Problematisch im Siedlungsbereich ist generell, dass für große Flächen auf Grund anthropogener Überprägung Angaben fehlen. Wenn Angaben vorhanden sind, sind diese oft nur lokal brauchbar, da es sich in der Realität vielfach um Böden aus inzwischen (seit der Kartenerstellung) anthropogen zugeführten allochthonen Substraten handelt. Die Angaben des GD sind folglich häufig als potenziell vorhandene Bodenverhältnisse einzustufen, die anzutreffen wären, wenn der Mensch nicht bereits eingegriffen hätte. Die anthropogene Überprägung beschränkt sich meistens auf die oberen Bodenhorizonte. In diesen Fällen gibt der Fachbeitrag des GD zumindest Auskunft über das anstehende Material, kann jedoch eine erforderliche Feldkartierung nicht ersetzen.

5.1.2.2 Hintergrundwerte

Landesweite Angaben über Hintergrundwerte in Oberböden des Landes NRW liegen für viele Schwermetalle und einige organische Schadstoffe vor (LUA 2003). Die Hintergrundwerte (angegeben werden die 50. und 90. Perzentile) sind nach Ausgangssubstraten, Gebietstypen (Ballungskern, Ballungsrandzone und solitäre Verdichtungsgebiete, Gebiete mit überwiegend ländlicher Raumstruktur) und Nutzungen (Acker, Grünland, Wald und Garten) differenziert. Landesweite Angaben über Hintergrundwerte für Siedlungsböden liegen zurzeit noch nicht vor.

5.1.2.3 Technogene Substrate

Technogene Substrate sind durch anthropogene Prozesse entstanden. Zu unterscheiden sind die Hauptkomponentengruppen Bauschutt, Schlacken, Aschen, Müll und Schlämme.

Das Bergematerial kann auf Grund seines starken anthropogenen Überprägungsgrades ebenfalls dazu gezählt werden. Genaue Angaben zu Art, Herkunft und Belastungspotenzial der unterschiedlichen technogenen Substrate finden sich bei HILLER & MEUSER (1998) und MEUSER (2002)

Tabelle 4: Systematik der technogenen Substrate einschließlich Bergematerial (nach MEUSER 2002)

Hauptkomponentengruppe	Komponentengruppe	Einzelkomponenten
Bauschutt	Siedlungs- und Gewerbebauschutt	Ziegel, Gips, Mörtel, Beton, Stahlbeton
	Bauschutt des Straßenbaus	Teerasphalt, Bitumenasphalt, Mischasphalt
Schlacken	Hochofenschlacken	Hochofenstückeschlacke, Hüttensand, Hüttenbims, Hüttenwolle
	Stahlwerksschlacken	Siemens-Martin-, Linz-Donawitz-, Elektroofenschlacke
	Metallhüttenschlacken	Chrom-, Blei-, Kupfer-, Zinkoxidschlacke, Walzofenschlacke
	Gießereischlacken	Kupolofenschlacke, Gießereisand
Aschen	Steinkohlenkraftwerksaschen	Rostasche (Kesselasche, koksartige Asche), Schmelzkammergranulat, Flugasche, Ofenausbruch, Hausbrandasche
	Braunkohlenkraftwerksaschen	Rostasche (Kesselasche, koksartige Asche), Flugasche, Ofenausbruch, Hausbrandasche
	Verbrennungsrückstände von Koks	koksartige Asche
	Müllverbrennungaschen (MV-Aschen)	Rohasche, Flugasche
Bergematerial	Bergematerial Steinkohlen- und Uranbergbau	Haldenberge, Waschberge, Gebrannte Berge
	Kohleprodukte Steinkohlenbergbau	Brikettkohle, Koks
	Bergematerial Erzbergbau	Haldenberge
	Bergematerial Salzbergbau	Haldenberge
Müll	Haus- und Gewerbemüll	Kunststoff, Gummi, Glas, Keramik, Metall, Holz, Vegetabilien, Verbundmaterialien
	Sperrmüll	Verbundmaterialien
Schlämme	Schlämme der Wasseraufbereitung	Klärschlamm, Fäkalschlamm
	Baggerschlämme	Fluss-, Seesediment-, Hafenschlamm
	Industrieschlämme	z.B. Skoroditschlamm, Deinking-Schlamm, Lösungsrückstände des Erz- und Salzbergbaus

In Tabelle 4 ist die Systematik technogener Substrate dargestellt. Hinsichtlich der Verteilung technogener Substrate kann z.B. für Gelsenkirchen angegeben werden, dass Bauschutt bei weitem vor Bergematerial, Aschen, Müll und Schlacken dominiert (IFUA 2005c).

Tabelle 5: Spannweiten und Mittelwerte von Schadstoffgehalten in technogenen Substraten (nach MEUSER 1996a)

Komponente	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	B(A)P
Ziegel	0,5-1,8 1,0	13-31 22	12-66 38	n.n.-0,3 0,1	13-18 15	40-113 64	21-55 37	n.n.-0,8 0,4
Mörtel/Beton	n.n.-0,2 0,1	12-48 26	k.A.	n.n. n.n.	11-22 17	13-42 31	k.A.	n.n. n.n.
Teerasphalt	1,0-1,2 1,1	11-81 36	k.A.	k.A.	k.A.	81-94 86	k.A.	2,0-148 22
Hochofenstückeschlacke ¹⁾	n.n. n.n.	10-44 36	n.n.-10 4	n.n. n.n.	k.A.	n.n.-11 3	14-70 28	n.n. n.n.
Stahlwerksschlacken	0,1-0,7 0,3	667-5780 1980	23-178 75	0,1-0,2 0,1	18-121 80	31-170 80	127-410 198	n.n.-0,3 0,1
Zinkschlacke ²⁾	22-51 32	13-110 38	140-647 285	0,8-3,1 1,5	35-51 43	960-5.570 2.780	5.200-22.000 11.200	n.n.-2,6 1,2
Rostasche (Kohle)	n.n.-1,0 0,6	21-57 30	87-103 91	n.n.-0,1 <0,1	26-76 54	9-179 57	11-233 150	n.n.-0,8 0,3
Schmelzkammergranulat (Kohle)	n.n.-0,6 0,2	38-100 66	41-88 65	n.n. n.n.	40-77 59	11-26 19	100-115 108	k.A.
Flugasche (Kohle)	2,4-8,8 -	k.A.	92-124 105	k.A.	k.A.	232-397 329	435-1.830 1.030	k.A.
Rohasche (Müllverbrennung)	2,5-77 33	472-1.390 1.040	509-989 844	k.A.	82-282 192	2.090-4.320 2.890	2.640-6.830 4540	k.A.
Flugasche (Müllverbrennung)	267-336 316	673-3.600 1.790	687-1.550 988	k.A.	103-380 198	5.670-8.290 6.840	15000-27000 21000	k.A.
Bergematerial (Steinkohle)	0,2-1,2 0,7	19-47 32	k.A.	n.n.-0,3 <0,1	24-39 31	31-180 121	k.A.	n.n.-0,5 0,1
Kohleprodukte ³⁾	n.n.-0,7 0,3	8-27 18	11-43 27	n.n.-1,2 0,6	5-21 13	22-310 110	96-303 200	n.n.-0,2 <0,1

alle Angaben in mg/kg

n.n. nicht nachweisbar

k.A. keine Angaben

¹⁾ ähnliche Gehalte bei Hüttensand und Hüttenbims²⁾ ähnliche Gehalte bei Cu- und Pb-Schlacken³⁾ ähnliche Gehalte bei Koks

In Auftragsböden finden sich nur selten Monosubstrate dieser Komponenten. Im Regelfall handelt es sich um **Gemengeformen** aus natürlichen und technogenen Substraten. Auf Grund dieser Tatsache schwanken die Schadstoffgehalte von Bodenproben, die aus natürlichen und technogenen Substraten zusammengesetzt sind, in weiter Amplitude. Dies ist zum einen darauf zurückzuführen, dass die Gemengeanteile der einzelnen Substratkomponenten von Bedeutung sind. Da im Regelfall nur die Feinfraktion < 2 mm zur Analytik kommt, ist zum anderen primär der in diese Fraktion bereits verwiterte Anteil der jeweiligen Substrate von Bedeutung. Der Verwitterungsgrad hängt aber vom Substrat selbst ab: poröse Rostaschen vermögen beispielsweise schneller in die Feinfraktion zu verwittern als inerte, eisenhaltige Stahlwerksschlacken. Außerdem spielt natürlich die Länge der Zeitspanne, seitdem das Material abgelagert wurde, eine Rolle.

Sogar bei Monosubstratablagerungen muss von gewissen Streuungen bei den Schadstoffgehalten ausgegangen werden, da Substrate wie Aschen und Schlacken je nach Herstellungsprozess und eingesetzten Rohstoffen auch innerhalb der Einzelkomponenten unterschiedliche Gehalte aufweisen können. In Tabelle 5 sind die Spannweiten und Mittelwerte der wichtigsten technogenen Komponenten zusammengestellt.

Das vorherrschende Kontaminationspotenzial der Substrate findet sich zusammenfassend in Tabelle 6.

Tabelle 6: Kontaminationspotenzial technogener Substrate in Böden (nach MEUSER 2002)

Hauptkomponenten- gruppe	Belastete Substrate		Hauptparameter
Bauschutt	Gemeengeformen > Einzelkomponenten Ziegel, Mörtel, Beton		
		Flugaschenzementbeton	Metalle
		Asbestzementmörtel	Fasern
		Bleirohre	Pb
		Brandschutt	PAK
		Asphaltaufbruch	PAK, Phenole
Schlacken	Metallhüttenschlacken > Stahlwerksschlacken > Hochofenschlacken		
		Metallhüttenschlacken	Cd, Cu, Cr, Pb, Zn
		Stahlwerksschlacken	Cr, Ni
		Gießereischlacken	Phenole
Aschen	Flugaschen > Rostaschen, Ofenausbruch > Schmelzkammergranulat Müllverbrennungsaschen > Kohlekraftwerkaschen		
		Flugaschen	Metalle
		Rostaschen, Ofenausbruch	Metalle, PAK
Müll		Kunststoffe	Metalle
		Holz	Chlorpestizide
		Vegetabilien	Methanbildung
		Verbundmaterialien	Metalle
Schlämme		Klärschlämme	Metalle
		Baggerschlämme	Metalle

5.1.2.4 Verbreitung natürlicher und technogener Substrate

In Ballungskernen treten anthropogene Böden dominant hervor. Auf der einen Seite handelt es sich dabei um Böden, deren anthropogene Überprägung primär auf Kulturmaßnahmen zurückzuführen ist (so genannte Kultursole wie Garten- oder Friedhofsböden). Auf der anderen Seite sind anthropogene Auftragsböden (Deposole) gemeint, die aus natürlichem oder technogenem Material oder aus einer Mischung beider Substratgruppen zusammengesetzt sind.

Systematische stadtbodenkundliche Kartierarbeiten in verschiedenen Städten unterstreichen, dass ein Großteil der Böden in Ballungskernen anthropogen aufgetragen ist und dass mit hohen technogenen Anteilen zu rechnen ist. In Stuttgart und Essen wurden nur in ca. einem Drittel der abgeteuften Bohrungen natürliche Böden angetroffen; in der Mehrzahl der Fälle bestanden die Aufträge aus Gemengen von natürlichen und technogenen Substraten (HOLLAND 1995, MEUSER 1996a). Auch die Kartierarbeiten im Oberhausener Brücktorviertel ergaben, dass ca. zwei Drittel der beprobten Böden aus aufgetragenem Material mit hohem technogenem Anteil bestanden (SCHRAPS et al. 2000). Die Hauptkomponentengruppe Bauschutt trat bei allen bislang erstellten stadtbodenkundlichen Arbeiten und den bisherigen Bodenbelastungskarten des Siedlungsbereichs dominant hervor.

In vielen Fällen steht der anthropogene Überprägungsgrad in Zusammenhang mit der aktuellen Bodennutzung. Tennenflächen (Sportanlagen) weisen baubedingt in Deck- und Trag-schicht häufig technogene Substrate auf. Gleiches gilt für Industrie- und Gewerbebrachen, insbesondere wenn Pioniervegetation erkennbar ist, was auf einen hohen Fremdmaterialanteil und eine hohe Bodenverdichtung schließen lässt. Je nach Vorgeschichte können auch öffentliche Grünanlagen (Rasenflächen, Gehölzflächen) hohe Anteile aufweisen, während Gärten nutzungsbedingt weniger hervortreten. Die vereinzelt vorkommenden Acker- und Grünlandflächen sind in den Städten meistens weniger anthropogen beeinflusst.

Die bislang durchgeführten Untersuchungen im Rahmen der BBK Siedlungsbereich bestätigten, dass die Böden im Siedlungsbereich häufig aus anthropogenen Auftragsböden bestehen. Unabhängig davon, ob es sich um eine Stadt im unmittelbaren Agglomerationsbereich (z.B. Herne) oder um kleinere Städte mit ländlichem Umfeld (z.B. Detmold, Lemgo, Bösingfeld) handelt, sind in der Mehrzahl der entnommenen Bodenproben im Siedlungsbereich technogene Materialien angetroffen worden. Dabei dominierte stets der Bauschutt vor den Aschen. Die anderen Hauptkomponentengruppen zeigen eine starke regionalspezifische Bindung (z.B. Bergematerial nur in Herne, vgl. Abb. 3) (HEIMANN 2005, HEINRICH 2005).

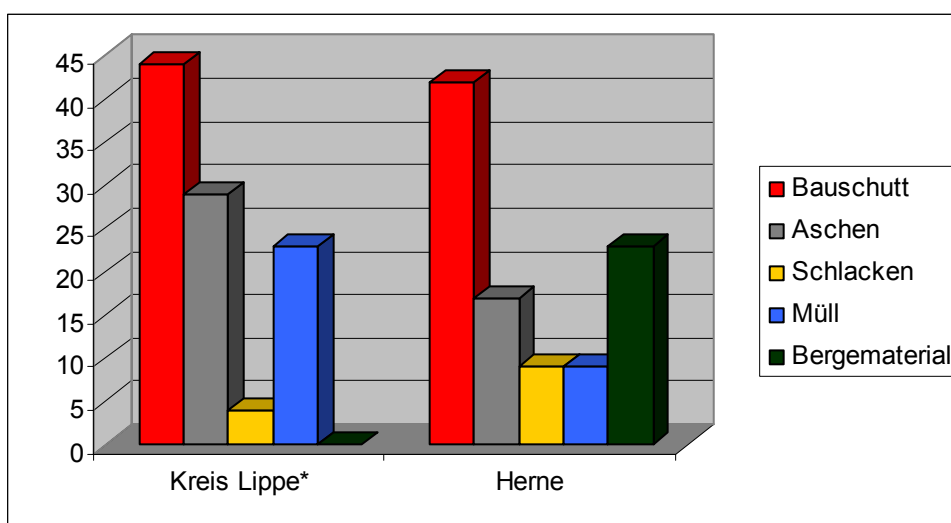


Abbildung 3: Anteil technogener Substrate (in %) bei Gartenböden im obersten Horizont (*Gemeinden Detmold, Lemgo, Bösingfeld)

Auf alle Bodenhorizonte bezogen beträgt der Anteil der Bodenhorizonte mit technogenen Substraten (Anteil > 1 %) im Kreis Lippe ca. 70 % (HEINRICH 2005). In Herne ließen sich in 96 % aller Oberbodenhorizonte technogene Substrate nachweisen; im zweiten Horizont waren es 68 %, im dritten 31 % (HEIMANN 2005). Auf die Einzelkomponenten heruntergebrochen, sind, wie das Beispiel Wuppertal (Abbildung 4) zeigt, insbesondere Ziegel, Mörtel/Beton, Rostaschen (einschließlich koksartiger Aschen), Hausbrandaschen, Müll und ggf. Abraummateriale des Bergbaus (Kohle-, Erzbergbau) zu nennen (GARBE 2002).

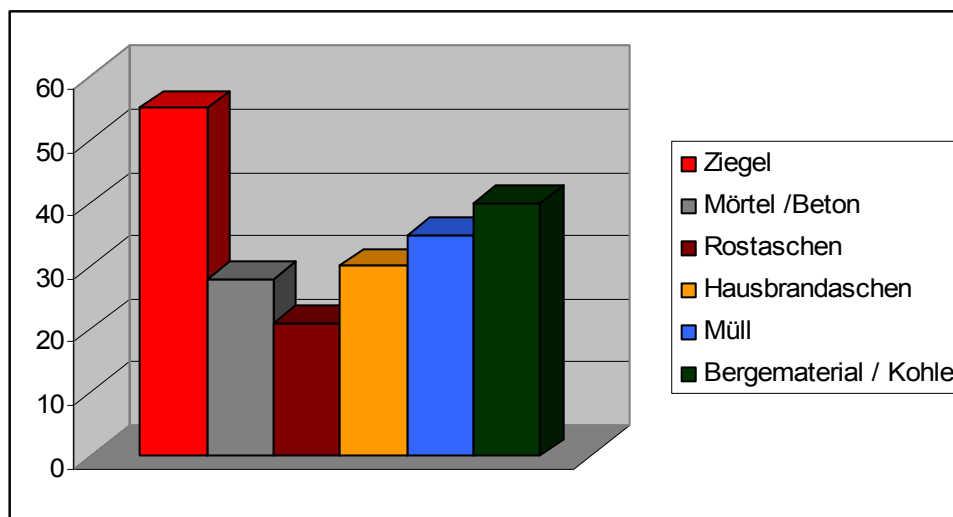


Abbildung 4: Verteilung der Einzelkomponenten (in %) im Testgebiet von Wuppertal

Ein eindeutiger Zusammenhang zwischen dem Alter der Nutzung der Fläche und dem Anteil technogener Substrate im Boden konnte nicht nachgewiesen werden (HEIMANN 2005, HEINRICH 2005).

Wird nach Bodenhorizonten differenziert, zeigten im Testgebiet Münster der zweite und dritte Horizont unterhalb des humosen Oberbodens im Regelfall höhere Anteile technogener Substrate, da die Nutzung (z.B. als Gartenfläche oder Grünanlage) im Oberboden keine technogenen Anteile erlaubt (IFUA 2005e). Im Untergrund waren keine technogenen Anteile erkennbar. Der quantifizierte Anteil der technogenen Grobkomponenten an der Gesamtbodenmatrix liegt im Regelfall unter 10 Masse-%. Ausnahmen bilden Monosubstratablagerungen (z.B. überdeckte ehemalige Wegeführungen aus Aschen, lokale Verfüllungen). Es lassen sich auch im Oberboden Fremdsubstrate antreffen, wenngleich es sich häufig lediglich um Einzelfunde handelt.

Zwischen dem quantifizierten Anteil technogener Substrate im Boden und den Schadstoffgehalten existieren zwar qualitative Zusammenhänge, hohe Korrelationen sind aber nicht zu erwarten, da:

- bestimmte Substrate im Gelände zwar makroskopisch angesprochen und quantifiziert werden können, ihr bereits in der für die Analytik entscheidenden Feinfraktion vorliegen-

der Anteil aber noch sehr gering ist (Überschätzen der Schadstoffgehalte durch die Feldansprache z.B. bei verwitterungsresistenten Schlacken) (RITTER 2005)

- andere Substrate bereits vollständig in die Feinfraktion verwittert sind (z.B. Hausbrandaschen) bzw. von Beginn an schluffig-tonig ausgebildet waren (z.B. Flugaschen und Stäube) und sich von daher einer organoleptischen Ansprache weitgehend entziehen (Unterschätzen der Schadstoffgehalte durch die Feldansprache) (RITTER 2005)
- der nicht kontaminierte Anteil im Boden (z.B. sandige Matrix, unbelastete Substrate wie Ziegelmehl) Verdünnungseffekte bei den Schadstoffen bewirkt (Überschätzen der Schadstoffgehalte durch die Feldansprache); dass auch technogene Komponenten wie Ziegel die Schadstoffgehalte heruntersetzen können, wurde durch die Korrelationsrechnungen im Rahmen der BBK Herne bestätigt; hier bestand beispielsweise zwischen dem Pb-Gehalt und dem Anteil an Ziegel eine negative Korrelation.

Entsprechend ergaben Korrelationsrechnungen für das Verhältnis quantifizierter Anteil technogener Substrate / Schadstoffgehalte relativ geringe Koeffizienten, die sich wie im Falle der BBK Münster und Herne im Bereich 0,3 bis 0,6 bewegen. Wird zwischen den einzelnen Komponenten nicht differenziert, erhöhen sich die Korrelationskoeffizienten geringfügig.

Die Korrelationsrechnungen sind nur für Unterböden sinnvoll. Bei der Auswertung ist nämlich zu berücksichtigen, dass Oberböden gleichzeitig durch Immissionseinfluss belastet sein können, so dass eine differenzierte Interpretation nach Substrat- und Immissionseinfluss erschwert würde.

5.1.3. Aktuelle Flächennutzung

Bei allen einzubeziehenden Nutzungsarten wird bei der Erstellung der BBK Siedlungsbereich im Regelfall die Untersuchungstiefe 0-100 cm berücksichtigt. Damit geht der Betrachtungsraum der BBK Siedlungsbereich über den der BBK Außenbereich hinaus, bei der im Regelfall nur die obersten 30 cm berücksichtigt werden. Der Wunsch einiger Unterer Bodenschutzbehörden speziell in Hinblick auf Bodenumlagerungen bei Baumaßnahmen, Informationen über Bodendaten aus dem Unterboden zu erhalten, kann mit der BBK Siedlungsbereich teilweise erfüllt werden (AHU 2005).

Wegen der Vielfalt der Nutzungsarten ist im Siedlungsbereich eine genaue Erfassung der einzelnen Einheiten von großer Bedeutung. Grundlage der Erfassung können – wie schon bei der BBK Außenbereich – die **ATKIS-Daten** (ATKIS = Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem) des Landesvermessungsamts sein. Grundsätzlich sind aber auch andere Datengrundlagen verwendbar, z.B. Realnutzungskartierungen des Regionalverbandes Ruhr (RVR), die in der Regel etwas differenzierter als die ATKIS-Daten sind, oder die Biotoptypenkartierung.

Bei einigen Nutzungsarten kann es sinnvoll sein, sie in Subnutzungen zu differenzieren, da der Boden innerhalb dieser Subnutzungen erfahrungsgemäß vergleichbare Werte aufweist, zwischen den Subnutzungen aber Unterschiede auftreten. Dies könnte beispielsweise bei der Bewertung des Immissionseinflusses von Bedeutung sein, wenn dichte Gehölzbestände,

die einen höheren Auskämmeffekt aufweisen, innerhalb einer Grünanlage direkt benachbart zu Rasenflächen vorkommen. Bisherige Untersuchungen im Rahmen der Bodenbelastungskarten im Siedlungsbereich haben jedoch diesen Effekt nicht durchgängig bestätigen können.

In Tabelle 7 sind alle Nutzungsarten der ATKIS-Datei zusammengestellt; allen weiteren in der ATKIS-Datei vorliegenden Nutzungsarten ist keine Bedeutung beizumessen, weil:

- die Gesamtfläche praktisch vollkommen versiegelt ist (z.B. Nr. 2127 Umspannstation),
- die betroffene Fläche sehr klein ist (z.B. Nr. 2316 Turm),
- die Nutzungsart im Siedlungsbereich nicht von Belang ist (z.B. Nr. 2346 Sprungschanze, Nr. 2223 Schießstand),
- ausschließlich lineare Strukturen vorliegen (z.B. Nr. 3101 Straße),
- das Medium Boden nicht direkt betroffen ist (z.B. Nr. 3531 Fernleitung, Nr. 4105 Moor, Nr. 4106 Sumpf, Nr. 5112 Binnensee, Teich).

Ausnahmen können die folgenden **gewerblichen Nutzungsarten** der ATKIS-Datei darstellen, wenn ihr unversiegelter Freiflächenanteil relevant ist. In diesen Fällen bietet sich eine Berücksichtigung an:

- Nr. 2123 Raffinerie, Nr. 2124 Werft, Nr. 2126 Kraftwerk, Nr. 2129 Klärwerk / Kläranlage, Nr. 2131 Ausstellungsgelände / Messegelände, Nr. 2133 Heizwerk, Nr. 2134 Wasserkwerk, Nr. 2311 Gradierwerk, Nr. 3401 Hafen.

Durch betriebliche Maßnahmen (z.B. Erweiterungen, Gebäuderückbau, Bodenumlagerungen) kann bei diesen Nutzungsarten auch im Freiflächenbereich von anthropogenen Böden ausgegangen werden. Aus diesen Gründen wie auch durch betriebliche Emissionen kann ein erhöhtes Belastungspotenzial erwartet werden.

Für die im Siedlungsbereich vorkommenden Nutzungsarten (Tabelle 7) sind jedoch nur diejenigen interessant, die flächenmäßig im gesamten Stadtgebiet einen bestimmten Mindestanteil aufweisen, da eine flächendeckende Erfassung im Rahmen der Bearbeitung der BBK Siedlungsbereich nicht realisierbar ist. Nutzungstypen, die einen sehr geringen Flächenanteil aufweisen (< 1 %), wurden bislang im Regelfall bei der Bearbeitung verworfen. Weiterhin sollten diejenigen Flächennutzungen Priorität haben, die eine höhere Sensibilität aufweisen. Dies sind in erster Linie Flächen des Wohnungsbaus (einschließlich Abstandsgrün), Grün- und Parkanlagen, Sport- und Freizeitanlagen (einschließlich Spielanlagen), Gartenland und Kleingartenanlagen sowie nachgeordnet Industrie- und Gewerbeflächen.

In Ausnahmefällen ist es sinnvoll, auch Bodennutzungen zu berücksichtigen, die zwar auf die gesamte Stadtfläche bezogen weniger als 1 % ausmachen, die jedoch lokal von Bedeutung sein können, z.B. alte Dorfkerne, die bei der BBK Außenbereich nicht berücksichtigt wurden.

Tabelle 7: Nutzungsarten und Beprobungsbereiche im Siedlungsbereich

Nr.	Nutzungsart (ATKIS)	Beprobungsbereich
1808	Fußgängerzone	unversiegelter Anteil 3)
1802	Parkplatz	nur bei fehlender Versiegelung (Schotterfläche)
2111	Wohnbaufläche	Hausgärten 4), Abstandsgrün 3)
2112	Industrie- u. Gewerbefläche	Abstandsgrün 6)
2113	Fläche gemischter Nutzung	Abstandsgrün 3)
2114	Fläche besonderer Prägung	Abstandsgrün 6)
2121	Bergbaubetrieb (obertägig)	1)
2122	Deponie	1)
2132	Gärtnerei	
2201/2222	Sportanlage	Rasen- und Tennenanlagen
2202	Freizeitanlage	3)
2212	Freilichtmuseum	3)
2213	Friedhof	2)
2224	Freibad	Liegewiesen
2225	Zoo	3)
2226	Freizeitpark, Wildgehege	3)
2227/5101	Grünanlage, Park	3)
2228	Campingplatz	unversiegelter Anteil 3)
2230	Golfplatz	
2301	Tagebau, Grube, Steinbruch	1)
2302	Halde, Aufschüttung	1)
2303	(sonstige) Freifläche	
2304	Rieselfeld	
2314	Absetzbecken, Schlammteich	1)
2342	Spielfeld, Spielfläche	3)
3501	Bahnhof	unversiegelter Bereich, Gleiskörper bei Bahnbrachen
3301	Flughafen	unversiegelter Bereich
3302	Flugplatz, Landeplatz	unversiegelter Bereich
4101	Ackerland	
4102	Grünland	
4103	Gartenland	4)
4104	Heide	
<i>4107</i>	<i>Wald, Forst</i>	
<i>4108</i>	<i>Gehölz</i>	
4109	Sonderkultur, Baumschule	
4110	Brachland	unversiegelter Anteil 5)
4111	Nasser Boden	
4120	Vegetationslose Fläche	
6201	Damm, Wall, Deich	unversiegelter Anteil

Tabelle 7: Anmerkungen

- 1) Beprobung optional (temporäre Veränderungen)
- 2) Beprobung optional (Pietät)
- 3) Differenzierung in Subnutzungstypen a) Rasenfläche, b) Rabatte / Gehölz und c) Sandspielbereiche ggf. sinnvoll
- 4) Keine Differenzierung in Zier- und Nutzgarten
- 5) Differenzierung in Subnutzungstypen a) Fläche mit Pioniervegetation, b) Fläche mit Hochstaudenvegetation oder Birken-Vorwald und c) bewaldete Fläche ggf. sinnvoll
- 6) Differenzierung in Subnutzungstypen a) Rasenfläche und b) Rabatte / Gehölz ggf. sinnvoll

Die in Tabelle 7 fett gedruckten Nutzungen sind im Siedlungsraum als die dominant hervortretenden Freiflächen anzusehen und sollten bevorzugt bearbeitet werden; die *kursiv* gedruckten Nutzungen treten im Siedlungsbereich ebenfalls auf, haben aber ihren Verbreitungsschwerpunkt im Außenbereich (LUA 2000).

5.1.4. Nutzungsgeschichte

Die feststellbare Bodenbelastung ist das Resultat der jeweiligen Nutzung und deren Dauer unter Berücksichtigung der ursprünglich anstehenden oberflächennahen Gesteine, der lokalen Immissionssituation sowie eines möglichen Überschwemmungseinflusses. Dabei gilt für Böden im Siedlungsbereich im Besonderen, dass die Höhe von Stoffgehalten ein Abbild des Zusammenspiels von nutzungstypischen Durchmischungen und nutzungstypischen Einträgen mit Einträgen aus lokalen Immissionen ist. Räumliche Vergleiche festgestellter Stoffkonzentrationen insbesondere von Böden in Wohn- und Mischgebieten belegen zusätzlich, dass die jeweilige spezifische Nutzungsdauer mit ausschlaggebend ist für die absolute Höhe der Schadstoffbelastung (z.B. GARBE et al. 2003).

Folglich sind Zeitschnitte als integrative Komplexfaktoren ein weiteres Abgrenzungskriterium für Raumeinheiten. Vorstellbar sind z.B. folgende in verschiedenen Städten bereits verwendete Unterscheidungen (IFUA 2005c, ISB 2004a, ISB 2005a, ISB 2005b):

bis 1918	oder	bis 1926
1919 - 1948		1927 - 1945
1949 - 1960		1946 - 1959
1961 - 1980		1960 - 1969
1981 bis heute		1970 - 1978
		1987 bis heute

Angesichts individueller Stadtentwicklungen und der Stadtgeschichte wird zu prüfen sein, ob auch weitere Altersdifferenzierungen vor 1918 sinnvoll sein können.

In Anlehnung an die multitemporalen Auswertungen von Luftbildern im Rahmen der Erhebung von Altstandorten und Altablagerungen können auch Zeitschnitte definiert werden, die

sich an der Existenz von Karten- oder Luftbildgrundlagen orientieren. In Gelsenkirchen sind daher die Zeitschnitte bis 1926, 1927 – 1945, 1946 – 1959, 1960 – 1969, 1970 – 1978 und 1987 bis heute verwendet worden (IFUA 2005c).

Die Berücksichtigung der Nutzungsgeschichte erfordert weitere digitale Datengrundlagen. Zusätzlich zu den Rauminformationen ist die Altersdifferenzierung mindestens für Wohn- und Mischgebiete digital erforderlich. Sie lässt sich aus vorhandenen Daten der Städte und Gemeinden erzeugen. In Frage kommen die Informationen aus der amtlichen Statistik und Grundstücksabgrenzungen aus dem automatisierten Liegenschaftskataster (ALK).

In Wuppertal hat die altersdifferenzierte Betrachtung von Bodenuntersuchungsergebnissen bereits eine lange Tradition. So konnte bereits 1993 auf unterschiedliche Wertenniveaus von Schadstoffgehalten in altersdifferenzierten Nutzungstypen hingewiesen werden (BANG & GIERSE 1993). Neben den Wohnbauflächen sind damals Kleingärten und Gewerbegebiete so betrachtet worden. Allerdings konnte nur eine Unterteilung in alt und neu vorgenommen werden. Der Zeitschnitt dieser Auswertungen liegt im Jahr 1928. Diese Überlegungen sind im Rahmen der Fortschreibung der digitalen Bodenbelastungskarte Wuppertal weitergeführt worden (ISB 2000, GARBE 2002, GARBE et al. 2003).

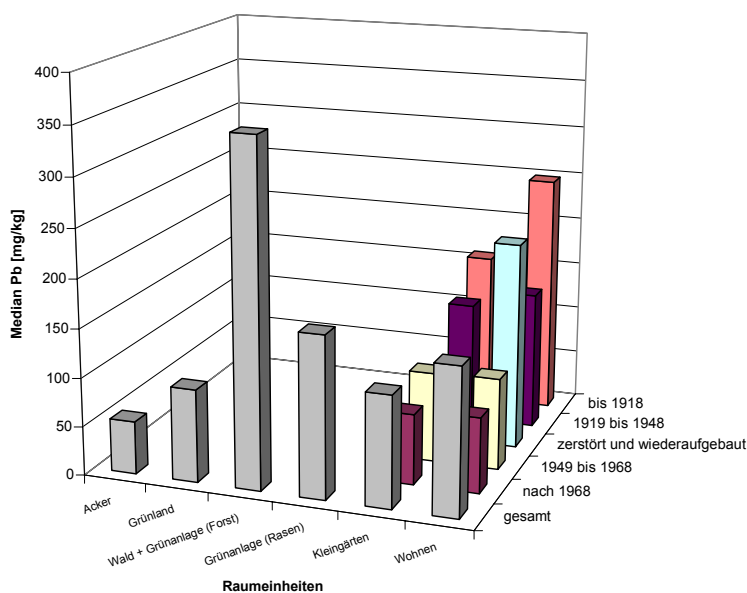


Abbildung 5: Bleigehalte (mg/ kg) in Wuppertaler Böden

Die Abbildung 5 zeigt die Medianwerte der Bleigehalte in Wuppertaler Böden, die nach Raumeinheiten und Altersdifferenzierungen angegeben sind. In die Auswertung sind die Untersuchungsergebnisse von 280 Bodenproben aus dem Jahr 2005 eingeflossen. Vergleichbare Untersuchungen sind in den Städten Bochum und Essen vorgenommen worden (ISB 2005b). Die Ergebnisse für Benzo(a)pyren bestätigen die im Rahmen landesweiter Zusammenstellungen gemachten Aussagen zum Einfluss der Immissionen auf die Bodenbelastung mit PAK (FLIEGNER & REINIRKENS 1993). Eine Altersdifferenzierung der Stoffgehalte

konnte auch in den Städten Essen und Bochum nachgewiesen werden (ISB 2002, ISB 2004b). Im Vergleich der drei Städte wurden in Wuppertal höhere Stoffgehalte in Böden ermittelt.

Untersuchungen zum Einfluss technogener Substrate auf Schwermetallgesamtgehalte in Bochumer Gartenböden belegen einen nur geringen Einfluss des Schadstoffpotenzials der Grobfraktionen auf den Boden (alle Körnungsklassen) und den Feinboden (< 2mm) (STALLMANN 2005).

5.1.5. Emissionen

Die in den Böden gemessenen auf die Deposition zurückzuführenden Schadstoffgehalte sind am genauesten über die Immission selbst zu erfassen. Dennoch kommt der Kenntnis der Emittenten eine gewisse Bedeutung zu. Sie können als Interpretationshilfe und zur Erklärung von Schwerpunkten der Deposition und entsprechender Bodenbelastungen herangezogen werden. Dies gilt insbesondere für historische Emittenten, da Aufzeichnungen über die Immission selbst nicht über den Anfang der 1960er Jahre hinaus in die Vergangenheit zurückreichen. Eine wichtige Quelle insbesondere im Hinblick auf historische Emittenten stellen die Altablagerungs- oder Altstandortverzeichnisse bzw. -kataster dar, wobei Informationen über Altstandorte von besonderem Interesse sind. Daten zu Emittenten nach 4. BImSchV sind über das Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz (LANUV NRW, Nachfolgebehörde des LUA NRW) erhältlich (inkl. Angaben zum Typ der Anlage, Koordinaten, Parameter, Auswurfmengen etc.). Das Emissionskataster wird dabei in einem Turnus von 4 Jahren aktualisiert. Die Emissionsdaten ab 1996 finden sich weiterhin im Internetangebot des LANUV (<http://www.lanuv.nrw.de>).

Auswertungen im Zusammenhang mit den Emittenten im Rahmen der BBK Siedlungsbereich sind sicher nur qualitativ möglich. Die flächenhafte Deposition durch einen Emittenten ist als komplexes Phänomen nicht nur von emittentenspezifischen Parametern (Raumkoordinaten, Quellhöhe, Austrittstemperatur, Schadstoffinventar und Schadstofffrachten der Abgase), sondern von einer Vielzahl weiterer v. a. klimatologischer Parameter abhängig (z.B. Außentemperatur, Windrichtung, Großwetterlage). Linienquellen (z.B. Straßen) oder diffuse Flächenquellen (Abgase durch Hausbrand etc.) gestalten sich im Vergleich zu Punktquellen noch schwieriger, da die emittentenspezifischen Parameter nicht bekannt, sondern nur ungenau geschätzt werden können.

5.1.6. Immissionen

Der Eintrag von Schadstoffen über den Luftpfad trägt merklich zur Bodenbelastung bei; dies gilt insbesondere für industriell geprägte Städte der Rhein- und Ruhrschiene, wo der Immissionsbeitrag dominierend werden kann. Auch im eher ländlichen Raum können einzelne größere Emittenten - wie im Fall Lengerich - zu großflächigen Immissionen führen (IFUA 2004).

Der Boden kann vereinfacht und unter Vernachlässigung pedogener Transport- und Transformationsprozesse als Speicher luftbürtiger Schadstoffe angesehen werden. Ob sich der Schadstoffbeitrag der Deposition der letzten Jahrzehnte tatsächlich im Boden wieder findet, ist in der Realität davon abhängig, wie lange der Boden mehr oder weniger ungestört der Deposition ausgesetzt war.

Nur im Falle langjährig ungestörter Böden wird sich die Deposition in den Bodengehalten deutlich widerspiegeln.

Für die Erfassung dieses Beitrages stehen im Idealfall langjährige Messreihen aus dem Immissionskataster des LUA bzw. LANUV NRW zur Verfügung, die im Zuge der Luftreinhalteplanung erhoben wurden.

Mit offenen Sammlern (VDI 2119, Blatt 2 1996) erfasste Daten für die trockene und nasse Staubdeposition liegen für die Gebiete der Rhein- und Ruhrschiene in der Regel seit 1964 vor, die Daten für die Inhaltsstoffe Blei und Cadmium im Staubbiederschlag erst seit Anfang der 1980er Jahre; für andere Schadstoffe sind nur einzelne Jahrgänge verfügbar. Die Daten werden für die Gebiete der Luftreinhalteplanung im 1 x 1 km² Raster erhoben, in den Randbereichen zum Teil auch im 2 x 2 km² Raster.

Die Daten zur Immission existieren prinzipiell in zwei Varianten:

- Ursprungsdaten der Messstellen selbst (für die Staubinhaltsstoffe als Jahreswerte, für den Staubbiederschlag als Monatswerte);
- Daten der Beurteilungsflächen (Jahres- bzw. Monatsmittelwert für eine 1 x 1 bzw. 2 x 2 km² Rasterfläche berechnet als arithmetisches Mittel der Messstellen an den vier Eckpunkten).

Die Depositionsdaten können beim LANUV NRW oder gegebenenfalls auch bei den zuständigen kommunalen Behörden angefordert werden. Die Daten ab 1996 finden sich in Form von Excel-Tabellen bzw. Karten im pdf-Format im Internet (<http://www.lanuv.nrw.de>).

Um einen Überblick über die Ausprägung der Deposition über das Untersuchungsgebiet zu bekommen, ist eine Interpolation der Depositionsdaten an den Messstellen für Staub, Blei und Cadmium zweckmäßig. Bei der Staubbiederschlag handelt es sich zwar in der Regel um eine interpolierbare Größe, die Interpolierbarkeit im konkreten Fall ist jedoch mittels Variogrammanalyse erst nachzuweisen (vgl. Anhang A.3.8).

Um die im Vergleich zu den Staubinhaltsstoffen längere Zeitreihe für Staub auch für Blei und Cadmium nutzbar zu machen, kann eine Extrapolation unter Zuhilfenahme der mittleren Blei- bzw. Cadmiumgehalte im Staub durchgeführt werden. Von hohen Staubbelastungen direkt auf einen hohen Eintrag an Blei, Cadmium oder anderen Staubinhaltsstoffen zu schließen, ist nicht zulässig, da in der Realität die Schadstoffkonzentrationen im Staub je nach Emissionsquelle sehr unterschiedlich sein können. Ein Beispiel für solch eine Auswertungskarte in Duisburg zeigt Abbildung 6.

Die Kenntnisse der Immissionssituation sind insbesondere für eine Optimierung des Messnetzes zur Erfassung der Bodenbelastung von Bedeutung (Immissionsansatz und raumanalytischer Ansatz). Weiterhin bietet sich so die Möglichkeit, die Schadstoffgehalte im Oberbo-

den eines Standortes mit der dortigen Deposition zu korrelieren. Dazu sind die Standorte mit Angaben zu Bodengehalten mit den interpolierten Immissionssummen zu verschneiden.

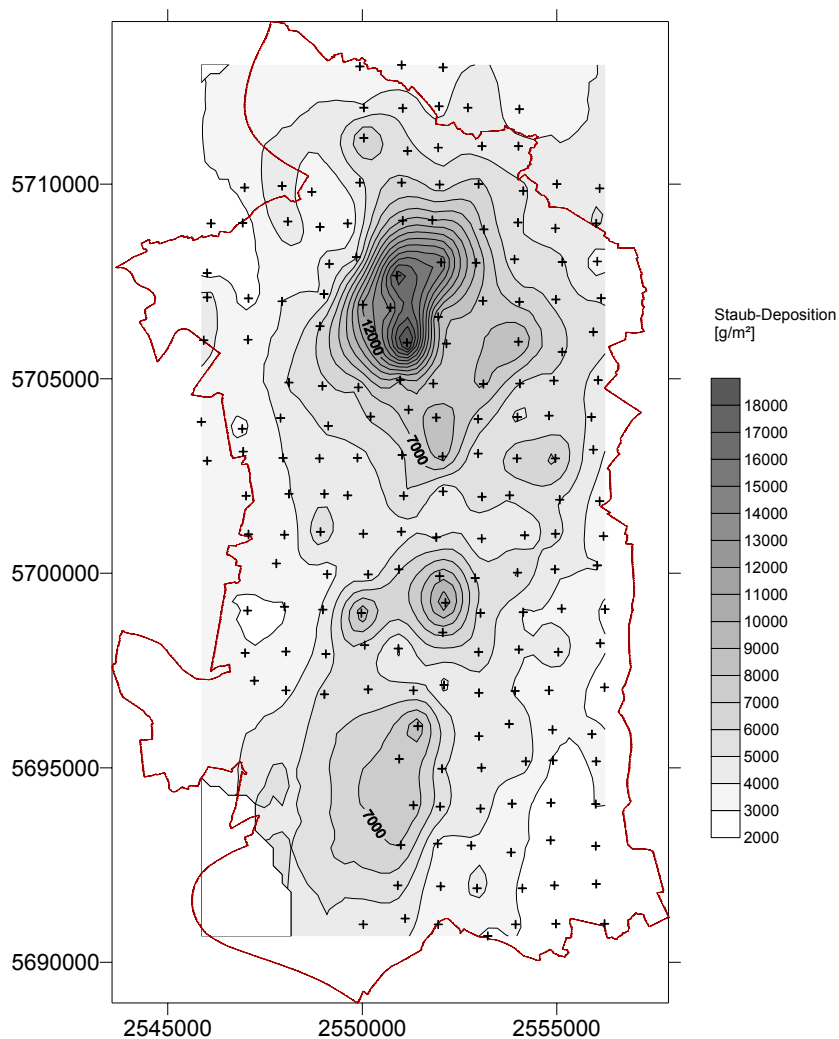


Abbildung 6: Interpolation der Staubdeposition 1964-1999 in Duisburg (aus IFUA 2000)

5.1.7. Verwendung natürlicher und technogener Substrate

Wie in Kapitel 5.1.2 ausgeführt, finden sich im Siedlungsbereich unterschiedliche natürliche und technogene Substrate in den Böden, die Einfluss auf den Kontaminationsgrad der Standorte haben. Technogene Komponenten im Boden vermögen dabei das Belastungspotenzial je nach Quantität und Verwitterungsgrad der Substrate zu erhöhen oder auch zu senken. Neben der ungeordneten Verkipfung solcher Substrate spielt auch der geordnete Einbau eine nicht zu unterschätzende Rolle. Dazu zählen:

- Verwendung als Baustoff, durchgeführt nach DIN-Normen: Bau von Sportanlagen (Tennisplätze), Wegeführungen (wassergebundene Decken), Sandspielbereichen (Dränschichten).

- Verwendung als Auftrags- oder Verfüllungsmaterial im Landschaftsbau, häufig ebenfalls durchgeführt nach genormten Regelwerken: Bau von Lärmschutzwällen, Bau von Dämmen und Deichen, Nivellierung von Oberflächen (baugrundverbessernde Maßnahmen), Rekultivierungsmaßnahmen (Bergbau, Deponiebau, Bodensanierung), Geländenivellierungen zum Ausgleich von Bergsenkungen.

Hinsichtlich der Verwendung als Baustoff, Auftrags- und Verfüllungsmaterial kann erwartet werden, dass das bauausführende Amt (z.B. Tiefbauamt, Bauordnungsamt, U-Bahn-Bauamt) Unterlagen zu den Maßnahmen vorliegen hat (Bauakten). Diese sollten eingesehen und ausgewertet werden. Genaue Substratangaben und Schadstoffanalysen liegen den Bauakten in vielen Fällen bei; sie helfen auch die stadtypischen Substrate zu identifizieren.

Neben den Bauakten der zuständigen behördlichen Einrichtungen ist es ratsam, weitere Quellen, die bereits in Kapitel 5.1.1 erwähnt wurden, spezifisch für die Fragestellung nach der bautechnischen Verwendung belasteter Substrate auszuwerten, die in den Kommunen vorliegen können:

- In einigen Kommunen wurden Kataster über den Verbleib des Kriegstrümmerschutts nach dem 2. Weltkrieg angelegt.
- Nicht selten wurden Substrate auf der Basis abfallrechtlicher Entscheidungen trotz eines Belastungspotenzials verbaut, so dass die Genehmigungsbescheide Auskunft über die Verwendung unterschiedlicher Substrate geben können (abfallrechtliche Genehmigungen, Betriebsakten der Abfallerzeuger, wasserrechtliche Erlaubnisse, Bauartenzulassungen).
- **Luftbilder** unterschiedlicher zeitlicher Befliegungen erlauben ebenfalls, Flächen, auf denen Materialien aufgetragen oder verfüllt wurden, zu identifizieren (vgl. [Kapitel 5.1.1](#)); allerdings lassen sich aus den Luftbildern meist nur qualitative Aussagen herausfiltern, da genaue Angaben zu Substrattypen und deren Belastungen nicht entnommen werden können.

Im Rahmen der Erstellung der BBK Siedlungsbereich kann eine systematische, beprobungslose Ermittlung von Flächen mit erheblichen Materialablagerungen (z.B. Geländenivellierungen), wie sie beispielhaft in Oberhausen und Gelsenkirchen durchgeführt wurde (MSP 2001, IFUA 2005c), sinnvoll sein. Der Beprobungsaufwand in einem späteren Schritt der Bearbeitung kann dadurch reduziert werden.

5.1.8. Überschwemmungen

Die Schadstoffgehalte in Oberböden der Fluss-, Bach- und Talauen werden durch Einträge aus Oberflächengewässern beeinflusst. Betroffen sind nicht nur die unmittelbaren Uferstreifen der Gewässer, sondern auch die Böden, die mehr oder weniger regelmäßig überschwemmt werden oder wurden.

Fließendes Wasser transportiert nicht nur im Wasser gelöste Stoffe, sondern auch feste Partikel, insbesondere ist die Sedimentfracht bei Hochwasserereignissen besonders groß. Bei abnehmenden Wasserständen werden diese Partikel in den überfluteten Gebieten abgelagt.

gert. So können Anreicherungen von Schwermetallen oder organischen Stoffen in diesen Böden auftreten.

Hochwasserereignisse können auch zu Erosion führen. Daher sind Überschwemmungsgebiete sowohl durch Ablagerungen als auch Abtragungen gekennzeichnet. Zahlreiche Untersuchungsergebnisse belegen zudem, dass stoffspezifisch mit dem Sediment insgesamt ein Transport von Schadstoffen flussabwärts erfolgt.



Um diese Einflüsse korrekt abzugrenzen und in die Bearbeitung einfließen zu lassen, wird eine Karte benötigt, die die Verbreitung der Überschwemmungsgebiete zeigt. Die digitalen Informationen zu Überschwemmungsgebieten werden von den Staatlichen Umweltämtern (inzwischen eingegliedert in die Bezirksregierungen) vorgehalten. Unterschieden werden zwei Abgrenzungen. Einmal handelt es sich um die gesetzlichen Überschwemmungsgebiete, deren Abgrenzung zu Beginn des 20. Jahrhunderts von den damaligen königlich-preußischen Meliorationsbeamten kartographisch erfasst worden sind. Die zweite Information beruht auf Auswertungen von Hochwasserereignissen und wasserwirtschaftlichen Berechnungen, welche Überschwemmungsgebiete bei extremen Hochwasserereignissen (Jahrhundert-Hochwasser) ausweisen.

Die übermittelten Daten sind hinsichtlich ihrer Plausibilität zu prüfen und in Einzelfällen in ihren Abgrenzungen an die realen topographischen Gegebenheiten anzupassen. Für den Fall, dass innerhalb der Gebietskörperschaft unterschiedliche Fließgewässer mit Überschwemmungsgebieten auftreten, ist zu prüfen, ob hinsichtlich des Sedimentes oder der Schadstoffbelastung der Gewässer Unterschiede vorhanden sind oder waren. Dann ist es sinnvoll, die Überschwemmungsgebiete hinsichtlich der Fließgewässer oder einzelner Abschnitte zu differenzieren. Auch kann es erforderlich sein, die verschiedenen (in der Regel historischen) Abwassereinleiter zu berücksichtigen.

Umfasst das Untersuchungsspektrum auch Arsen, dann sind zusätzlich bodenwasserhaltliche Informationen mit auszuwerten (PERONNE 2003). Arsen ist bekanntlich unter reduzierenden Bedingungen im Boden mobil. Die Folge sind zum Teil erhebliche Anreicherungen. Vergleichende Untersuchungen belegen, dass diese Anreicherungen nicht auf Überschwemmungsgebiete beschränkt sind (REINIRKENS et al. 2003). Hier sind in Kombination mit den oberflächennahen Gesteinen Auswertungen der Bodenkarten hinsichtlich des Schwankungsbereichs des Grund- oder Stauwassers erforderlich (ISB 2006).

Neben aktuellen Überschwemmungsgebieten können auch historische Überschwemmungsgebiete von Bedeutung sein. Dies gilt z.B. auch für Vorfluter, die in der Vergangenheit eine Verlegung erfahren haben (vgl. BERIEF 2005b). Die Rekonstruktion der Überschwemmungsgebiete kann anhand historischer Textquellen, Karten usw. erfolgen. Im Fall der BBK Siedlungsbereich Oberhausen fanden z.B. die rekonstruierten Überschwemmungsgebiete der historischen Emscher im Rahmen der Messnetzplanung Berücksichtigung (vgl. IFUA 2006a).

5.1.9. Klärschlamm- und Bioabfallverwertung

Unter diese Rubrik fallen Flächen mit Verwertung von Bioabfall (z.B. Kompost) und Klärschlamm (einschließlich Klärschlammkompost). Für Klärschlammflächen liegen häufig Bodendaten vor, die den Bodenuntersuchungen im Rahmen der Abfallklärschlammverordnung (AbfKlärV 1992) entstammen. Sie umfassen in der Regel nur diejenigen Schwermetalle, für die Grenzwerte in der AbfKlärV genannt sind. Zusätzlich sind Informationen zum pH-Wert und zum Nährstoffstatus sowie zur Bodenart vorhanden. Inwieweit diese Daten einbezogen werden können, hängt insbesondere davon ab, wie genau die Entnahmestellen der Bodenproben zu lokalisieren sind (mindestens 6-stellige Gauss-Krüger-Koordinaten). Die Verwertung von Klärschlämmen erfolgt im Rahmen der Abfallklärschlammverordnung (AbfKlärV 1992) auf landwirtschaftlichen Nutzflächen. In den bebauten Gebieten einer Gemeinde kommen in Einzelfällen Biokomposte im Erwerbsgartenbau oder Gartenbau allgemein zum Einsatz.

Die relevanten Daten dazu (v.a. Bodenuntersuchungsergebnisse) sind bei den Unteren Abfallbehörden oder Unteren Bodenschutzbehörden als Aufsichtsbehörden zu recherchieren und hinsichtlich ihrer Verwendung zu prüfen.

5.1.10. Altstandorte und Altablagerungen

Altstandorte und Altablagerungen sind im Regelfall nicht Gegenstand der BBK. Um die notwendige Abgrenzung vornehmen zu können, sind die digitalen Umriss der Altstandorte und Altablagerungen erforderlich. Ihre Geometrien liegen in einigen Kommunen bereits digital im Vektorformat vor; trifft dies nicht zu, müssen sie digitalisiert werden. Die Sachdaten zu den Flächen sind meist in Altablagerungs- oder Altstandortverzeichnissen bzw. Katastern über altlastverdächtige Flächen und Altlasten bei den Unteren Bodenschutzbehörden eingestellt.

Im Zuge der Auswertung können Informationen zu Stoffgehalten und Bodenaufbau, die auf Altstandorten oder Altablagerungen bereits erhoben wurden, für die Bearbeitung der BBK Siedlungsbereich zwar prinzipiell genutzt werden; im Regelfall ist jedoch davon auszugehen, dass die im Rahmen der Gefährdungsabschätzung erhobenen Daten nur bedingt für die BBK geeignet sind (z.B. fehlender Flächenbezug bei Punktbohrungen, Qualität der bodenkundlichen Angaben).

Abgeschlossene Erhebungen über Altstandorte sollten auch unter dem Gesichtspunkt ausgewertet werden, dass diese stillgelegten Betriebe Quellen für im Untersuchungsgebiet flächenhaft ausgebrachte technogene Substrate darstellen können.

Informationen über Flächen, auf denen in der Vergangenheit oberirdisch Bergbau betrieben wurde, auf denen Halden mit Bergematerial angelegt wurden sowie Informationen über oberirdisch austretende Erzgänge werden in digitalen Bodenbelastungskarten als Zusatzinformation benötigt. Gegebenenfalls sind Informationen über bergbauliche Altstandorte und Altablagerungen (bauliche Anlagen, Halden, Erzgänge, Stollenmundlöcher etc.) aus dem Bergbau-Altlast-Verdachtsflächenkataster bzw. dem Verzeichnis der Tagesöffnungen des Berg-

baus zu berücksichtigen; als erste Anlaufstelle für diese Daten dient die Abt. 8 der Bezirksregierung Arnsberg (ehemals Landesoberbergamt).

Grundsätzlich ist eine enge Abstimmung zwischen der altlastenrechtlichen Bearbeitung von Altstandorten und Altablagerungen und der Bearbeitung der BBK-Siedlungsbereich erforderlich. Dies wird in der Praxis häufig dadurch begünstigt, dass die Zuständigkeit für beide Bereiche bei derselben Behörde liegt.

5.1.11. Einzelflächenbezogene Bodendaten

Im Fachinformationssystem Stoffliche Bodenbelastung (FIS StoBo) werden Daten über die stoffliche Belastung der Böden in NRW zusammengeführt (LUA 2005). Es umfasst zurzeit ca. 60.000 Probandaten mit punktbezogenen Informationen über Stoffgehalte in Böden.

Die meisten Kommunen haben darüber hinaus eine ganze Reihe bodenkundlicher Daten und punktueller Untersuchungsergebnisse erhoben, die im Rahmen von Sonderprogrammen gewonnen wurden und für die Zwecke der BBK Siedlungsbereich dienlich sein können:

- Spielplatzuntersuchungsprogramme, die bestehende und geplante Spielanlagen und Kindertagesstätten betreffen (Zielrichtung Direktkontakt Boden – Mensch)
- Programme zur Schulhofumgestaltung, häufig ebenfalls bewertet wie Bodenuntersuchungen auf Spielplätzen, da Schulhöfe in der unterrichtsfreien Zeit als Spielanlagen benutzt werden (Zielrichtung Direktkontakt Boden – Mensch)
- Kleingartenuntersuchungsprogramme, die bestehende und geplante Kleingärten und Grabeländer umfassen (Zielrichtung Direktkontakt Boden – Mensch und Transfer Boden – Nutzpflanze – Mensch)
- Waldbodenuntersuchungsprogramme, die auch die stadtnahen Wälder betreffen (Zielrichtung Kalkungsempfehlungen zur Reduzierung der Bodenversauerung)
- Bodenmessprogramme zur Feststellung von Immissionseinträgen (insbesondere von Staubeinträgen) in die Oberböden

Alle systematischen Erhebungen haben den Vorteil, erhebliche Flächenanteile im bebauten Bereich abzudecken und umfangreiche Schadstoffanalysen vorzuweisen. Sie beinhalten meist dezidierte Daten der obersten Bodentiefen (0-35 cm bei Spielanlagen und Schulen, 0-30 cm bei Kleingärten, O- und A-Horizonte bei Waldböden), erfassen aber häufig auch die darunter liegenden Bodentiefen (z. B. Tiefen 30-60 und 60-100 cm bei Kleingärten). Als unzureichend ist jedoch häufig die bodenkundliche Feldarbeit anzusehen. Verwaltet werden die Daten von unterschiedlichen kommunalen Ämtern (z.B. Untere Landschaftsbehörde, Grünflächenamt, Schulamt usw.).

In zunehmendem Maße liegen seit Mitte der 1990er Jahre auch **Bodengutachten** im Rahmen der **Bauleitplanung** (Aufstellung oder Änderung von Bebauungsplänen) vor, die Hausgärten und Abstandsgrünflächen betreffen. Sie können bei den Umweltämtern oder den Stadtplanungsämtern vorgefunden werden. Die Qualität der Daten ist unterschiedlich.

Darüber hinaus liegen in den zuständigen Stadtämtern weitere Ergebnisse von Bodenuntersuchungen als **Gutachten** vor, die nicht auf systematischen Erhebungen beruhen. Ohne Anspruch auf Vollständigkeit sind zu nennen:

- Untersuchungen von Teichsedimenten zur Klärung der Frage einer Entsorgung im Rahmen von Entschlammungsmaßnahmen; Zuständigkeit: Untere Bodenschutzbehörde oder Grünflächenamt
- Bodenuntersuchungen im Rahmen der Baugenehmigung von Einzelmaßnahmen, die auch Hausgärten betreffen (Baugrundkarten); Zuständigkeit: Bauordnungsamt
- Bodenuntersuchungen auf bestehenden Friedhöfen oder bei geplanten Friedhofserweiterungen, die jedoch primär nicht-stoffliche Belastungen zum Gegenstand haben; Zuständigkeit: Grünflächenamt oder Geologischer Dienst
- Bodenuntersuchungen auf Unfallstandorten (punktuell) oder deren Einzugsgebiet, wenn nach betrieblichen Unfallereignissen bzw. Bränden Emissionen befürchtet wurden; Zuständigkeit: Untere Bodenschutzbehörde, Ordnungsamt oder Feuerwehr
- Untersuchungen von verwendeten Baustoffen (den Bauakten zu entnehmen), wenn Belastungsverdacht zu besorgen war (z. B. Kieselrotbelag auf Sportplätzen) oder im Rahmen der Abfallgesetzgebung (z.B. Einhaltung der Richtlinie der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall - LAGA für Recyclingbaustoffe); Zuständigkeit: Grünflächen-, Tiefbau-, Sportamt oder andere Bauämter
- Untersuchungen von organischen Abfallstoffen vor deren Einsatz im Freiflächenbereich, insbesondere bei Kompost und Rindenmulch; Zuständigkeit: Grünflächenamt
- Untersuchungen im Zusammenhang mit Anträgen zur Regenwasserversickerung; Zuständigkeit: Untere Bodenschutzbehörde, Stadtplanungsamt
- Bohrgutansprache bei punktuellen Aufschlüssen (Bohrungen, Altlastensondierungen, Grundwassermessstellen), die Aussagen über Materialarten und Auffüllungsmächtigkeiten erwarten lassen; Zuständigkeit: Untere Bodenschutzbehörde, Untere Wasserbehörde

Nicht selten kommt bei der Auswertung der unterschiedlichen Gutachten der Fall vor, dass zwar umfangreiche Laboranalysen des betroffenen Standortes vorliegen, die bodenkundliche Ansprache aber nicht den Qualitätskriterien der BBK Siedlungsbereich entspricht. In diesem Fall ist zu prüfen, ob durch eine gezielte feldbodenkundliche Nachbeprobung die Datenlücken nachträglich geschlossen werden können. Einen solchen Ansatz verfolgten die Städte Herne und Gelsenkirchen bei der Erstellung der BBK. Wenn die Laboranalysen zeitlich nicht zu weit zurückliegen, es außerdem sicher gestellt ist, dass es keine Standortveränderungen z.B. durch Massenumlagerungen gegeben hat und die Lage der für die Analyse entnommenen Bodenproben durch exakte Rechts- /Hochwertzuordnung reproduziert werden kann, ist eine nachträgliche Feldansprache möglich, die insgesamt kostengünstiger ausfällt als eine komplette Nachuntersuchung mit Analytik.

In der Vorstudie zur Ergänzung digitaler Bodenbelastungskarten für Unterböden und Untergrund (AHU 2005) werden Profilansprachen nach DIN 4022¹ und Bodenkundlicher Kartieranleitung (AG BODEN 2005) verglichen und dargestellt, dass Ansprachen nach DIN 4022 unter Berücksichtigung ihrer im Detail begrenzten Aussagekraft für eine BBK Siedlungsbereich verwendet werden können.

Bei der Recherche der verfügbaren Daten kann sich das Problem ergeben, dass die Zuständigkeiten mehrfach gewechselt haben; durch die Umorganisation in der Verwaltung haben sich zudem in den letzten Jahren die Namen der Ämter häufig vollkommen verändert. Der Aufwand zur Klärung der Datengrundlage kann daher beträchtlich sein. Nicht selten verfügen aber auch die beauftragten privaten Ingenieurbüros über große Bohrdatenmengen (AHU 2005), die verwendbar sind, wenn keine datenschutzrechtlichen Gründe dagegen sprechen.

Es muss davon ausgegangen werden, dass die Datenfülle sehr umfangreich ist, dass aber digital nur wenige Angaben zur Verfügung stehen. Bei den systematischen Untersuchungsprogrammen ist die Wahrscheinlichkeit, Daten digital zur Verfügung zu haben, größer. Im Allgemeinen dürften die für die BBK Siedlungsbereich relevanten Schadstoffparameter bei den genannten Untersuchungen erhoben worden sein.

Die feldbodenkundlichen Aufnahmen erfüllen häufig nicht den benötigten Standard, was ihre weitere Verwendung im Rahmen der BBK einschränken kann. Dies gilt insbesondere für Untersuchungen auf Altstandorten und Altablagerungen, die oft keine Mischprobendaten, sondern nur Einzelprobendaten liefern und keine zufrieden stellende Substratansprache enthalten. Da Altstandorte und Altablagerungen im Regelfall als Ausschlussflächen zu behandeln sind, sollte zu Beginn geprüft werden, ob die spezifischen Altlastengutachten trotz ihrer hohen Anzahl eine vollständige Berücksichtigung in der BBK-Bearbeitung rechtfertigen.

Untersuchungen auf landwirtschaftlichen Nutzflächen und Naturschutzflächen (Biotopkartierung), die in die Zuständigkeit von Landwirtschaftskammern und Umweltämtern/ Untere Bodenschutzbehörden fallen, sind demgegenüber im Regelfall nicht verwertbar, da sie allein Nährstoffparameter beinhalten.

Im Einzelfall ist zu entscheiden, inwiefern auch **wissenschaftliche Erhebungen** (z.B. Doktorarbeiten, Diplomarbeiten, Praktika, Publikationen), die von Universitäten und Fachhochschulen erstellt wurden, in die Auswertung einbezogen werden können. Eine diesbezügliche Anfrage sollte in jedem Fall bei den standortnahen Hochschulen erfolgen.

Die folgende Tabelle 8 enthält eine Zusammenstellung der möglichen einzelflächenbezogenen Bodendaten mit ihren Bezugsquellen.

¹ DIN 4022 Teile 1-3: Baugrund und Grundwasser, Benennen und Beschreiben von Boden und Fels. September 1987.

Tabelle 8: Einzelflächenbezogene Bodendaten und Bezugsquellen

Einzelflächenbezogene Bodendaten	Bezugsquellen
Bodenuntersuchungen auf Spielplätzen, Schulhöfen, Kleingärten	Untere Bodenschutzbehörden, Grünflächen- und Schulämter
Waldbodenuntersuchungen	Untere Bodenschutzbehörden, Grünflächenämter
Bodenmessprogramme zur Immissionsbelastung	Untere Bodenschutzbehörden
Bodengutachten im Rahmen von Bauleitplanung und Baugenehmigung (einschl. Untersuchungen zur Regenwasserversickerung)	Untere Bodenschutzbehörden, Stadtplanungs- und Bauordnungsämter
Sondergutachten zu Teichentschlammungen, Friedhofsgestaltung	Untere Bodenschutzbehörden, Grünflächenämter, Geologischer Dienst (Friedhöfe)
Gutachten bei Unfällen	Ordnungsämter, Untere Bodenschutzbehörden, Feuerwehr
Substratuntersuchungen (Baustoffe, organische Abfallstoffe)	Bauämter (z.B. Tiefbau-, Sport-, Grünflächenämter)
Punktuelle Aufschlüsse (bei Grundwassermessstellen, Bohrungen, Altlastensondierungen)	Untere Bodenschutzbehörden, Untere Wasserbehörden
Wissenschaftliche Erhebungen	Universitäten, Fachhochschulen

5.2. Software

Die Basis der Bearbeitung von Bodenbelastungskarten bilden vorhandene bzw. neu aufgenommene Daten, die in einer Datenbank verwaltet werden. Die Eingabe der Rohdaten (Daten zu Probennahmestellen, Mischproben, Schichtenverzeichnissen etc.) erfolgt zweckmäßigerweise manuell über Datentabellen einer Tabellenkalkulation; ebenso möglich ist die Nutzung individuell konzipierter Eingabemasken im Rahmen einer Datenbank. Eine Nutzung des Erfassungsbausteins des FIS StoBo (LUA 2005) zur Dateneingabe ist aufgrund der Komplexität der Informationen im Siedlungsbereich ohne weiteres nicht möglich. Die Datenhaltung selbst sollte in jedem Fall in einer Datenbank erfolgen, um eine flexible Verwaltung, Verknüpfung und Abfrage der Daten zu ermöglichen. Für die Datenerfassung und Datenhaltung kann beispielsweise auf die Produkte der MS-Office-Familie zurückgegriffen werden (MS Excel, MS Access).

Zur Darstellung und Bearbeitung der digitalen Bodenbelastungskarten im Siedlungsbereich ist die Nutzung Geographischer Informationssysteme (GIS) zur Verwaltung, Analyse und Visualisierung räumlicher Daten unabdingbar. Als geeignet haben sich z. B. die Programme ArcView bzw. ArcGIS (beide ESRI) als vektorbasierte Systeme erwiesen, die als GIS relativ große Verbreitung gefunden haben. Für die Vektor/Rasterkonvertierung, die Datenhaltung, Analyse sowie Visualisierung von Rasterinformationen kann bei ESRI-Produkten auf die Erweiterung des Spatial-Analyst zurückgegriffen werden.

Ein großer Stellenwert kommt dem Datenaustausch zu, hier bieten sich für Vektor- bzw. Rasterdaten das shape- oder dxf-Format bzw. das ASCII-Format an, wenngleich teilweise mit Informationsverlust gerechnet werden muss.

Zur statistischen Auswertung, insbesondere im Rahmen der multivariaten Statistik, sind entsprechende Statistikprogramme zu empfehlen (z.B. UNISTAT oder SPSS).

Die räumliche Analyse der Daten (Variogrammanalyse) sowie die Durchführung der Interpolation im Block-Krigingverfahren erfolgt mit Hilfe von Geostatistik-Programmen, z.B. Gstat (free-ware zur Analyse und Bestimmung von Variogrammen, Kriging; <http://www.gstat.org>), VarioWin (interaktive Software zur Analyse und Bestimmung von Variogrammen), Geostatistical Analyst (geostatistische Erweiterung zu ArcView/ ArcGIS).

Es ist darauf hinzuweisen, dass spezifische DV-Tools für digitale Bodenbelastungskarten im Siedlungsbereich nicht entwickelt werden und daher von einem im Vergleich zum Außenbereich erhöhten Aufwand für die Auswertung und Visualisierung der Daten auszugehen ist. Zugleich bietet die Verwendung von Standardsoftware aber eine weitaus größere Flexibilität, was insbesondere angesichts der Unterschiedlichkeit der einzelnen Untersuchungsgebiete von großer Bedeutung ist.

Einen guten Überblick über Leistung, Bezugsquellen und Kostenrahmen kommerzieller und als free-ware verfügbarer GIS- und Geostatistik-Programme bietet der Zentrale Informationsdienst für Geostatistik der Europäischen Kommission (<http://www.ai-geostats.org>).

6. Arbeitsschritte zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten im Siedlungsbereich

In diesem Kapitel sollen die Arbeitsschritte zur Erstellung einer BBK Siedlungsbereich skizziert werden. Der Ablauf entspricht grundsätzlich dem vereinfachten Fließschema in Abbildung 7.

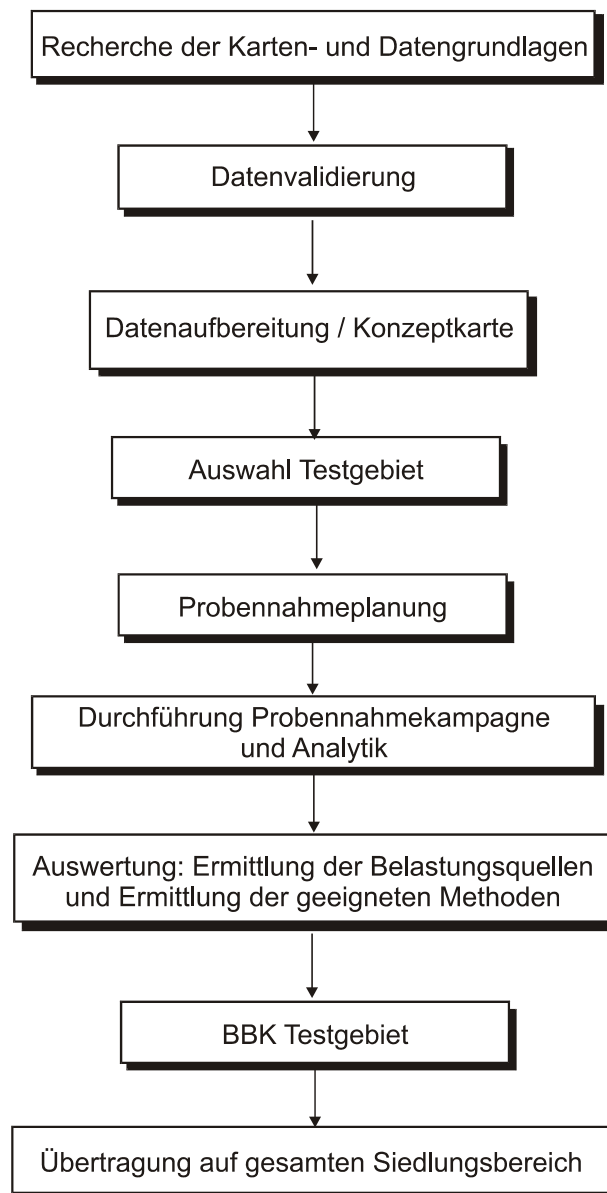


Abbildung 7: Ablaufdiagramm zur Erstellung der BBK Siedlungsbereich

Bei Bedarf ist innerhalb des Testgebietes ein Verdichtungsschritt vorzusehen. Die Übertragung der an die spezifischen Verhältnisse im Untersuchungsgebiet angepassten Methodik auf den übrigen Siedlungsbereich erfolgt in einer dem Testgebiet vergleichbaren Weise.

Wiederum kann ein Verdichtungsschritt notwendig sein. Die einzelnen Arbeitsschritte sind im Folgenden weiter ausgeführt.

6.1. Validierung und Aufbereitung der Karten- und Datengrundlagen

6.1.1. Rauminformationen

Die recherchierten Rauminformationen bilden die Grundlage für die Erstellung der Raumeinheiten. Benötigt werden Karten:

- zur aktuellen Nutzung
- zur Altersdifferenzierung von Nutzungen
- zur Abgrenzung von Überschwemmungsgebieten
- der natürlichen Einheiten oberflächennaher Gesteine
- mit Abgrenzungen der Altstandorte und Altablagerungen
- zur Verbreitung von Auffüllungen
- des Staubniederschlags (Immission) aus der Luftreinhalteplanung
- zur Versiegelung
- Grundstücksgrenzen aus dem automatisierten amtlichen Liegenschaftskataster (ALK)
- topographische Karten verschiedener Maßstäbe (in der Regel die DGK 5 als Grundlagenkarte)
- Luftbildpläne

Ferner ist die digitale Bodenbelastungskarte des Außenbereichs mit heranzuziehen, wenn sie in der Stadt bereits vorhanden ist. Ihre Grundlagen-, Arbeits-, Ergebnis- und Auswertungskarten enthalten wertvolle Hinweise auch für die Bearbeitung der Böden im Siedlungsbereich.

Die genannten Daten sollten aus Gründen der Effizienz für die gesamte Fläche der Gebietskörperschaft recherchiert werden. Bei der anschließenden Aufbereitung, insbesondere bei aufwändigen Digitalisierungen analoger Kartengrundlagen, ist es sinnvoll, sich zunächst auf einen aussagefähigen Teil (Testgebiet) zu konzentrieren.

6.1.2. Bodendaten

6.1.2.1 Generelle Kriterien der Validierung

Es können in der Regel nur Daten von Standorten verwendet werden, die ausreichend genau zu lokalisieren und zu charakterisieren sind. Es sollten mindestens folgende Angaben vorliegen:

Angaben zum Untersuchungsprogramm

- Datum der Probennahme
- Probennehmende Stelle (und ggf. Probennehmer)

Angaben zur Untersuchungsfläche

- Gauß-Krüger-Koordinaten (Rechts-/Hochwert siebenstellig, ggf. sechsstellig)
- Gemeinde, Ortsbezeichnung
- detaillierte Angaben zu Nutzung und Subnutzung
- Angaben zur Nutzungsgeschichte (ggf. nachträglich aus Luftbildern abzuleiten)
- Angaben zur Umgebungssituation (Belastungsverdacht inkl. Überschwemmungseinfluss)

Angaben zu verwendeten Karten als Zusatzinformation

- DGK 5

Angaben zur Bodenprofilbeschreibung und zur Probennahme

- Entnahmetiefe
- Entnahmehorizont
- Probennahmetechnik
- Angaben zum Bodenprofil (z.B. Bodentyp, Bodenart, Farbe etc.)
- Substrat der Bodenbildung
- Art und Anteil technogener Substrate
- Skelettgehalt

Angaben zur Probenvor- und -aufbereitung, Analytik

- Analyse der Fraktion < 2 mm gemäß Vorgaben (Königswasseraufschluss etc.)
- Labor

Angaben zu Begleitparametern (wünschenswert)

- pH-Wert, Bodenart, Carbonatgehalt, Gehalt an org. Substanz, ggf. Trockenrohdichte

Die genannten Kriterien sind meist nur dann erfüllt, wenn die Bodenansprache auf Basis der Stadtbodenkartierung (AK STADTBÖDEN 1997) erfolgte. Daten, die beispielsweise im Rahmen von Baugrunduntersuchungen gewonnen wurden, genügen den Anforderungen in der Regel nicht (vgl. AHU 2005). Zudem müssen die Angaben zur Bodenprofilbeschreibung, zu den bodenkundlichen Begleitparametern und den Schadstoffgehalten der Böden untereinander plausibel sein. Erst dann können die Bodendaten als valide bezeichnet werden.

Es ist zweckmäßig, die Stammdaten zu den Probennahmestellen, die Daten zu den Mischproben, zu den Schichtenabfolgen und zur Analytik in jeweils getrennte Tabellen der Datenbank abzulegen. In Analogie zum Fachinformationssystem Stoffliche Bodenbelastung (FIS StoBo, LUA 2005) ist es sinnvoll, die Angaben zur Analytik und insbesondere den technoge-

nen Substraten in Tabellen derart anzuordnen, dass die einzelnen Parameter bzw. Komponenten untereinander aufgelistet sind. Bei Werten kleiner Bestimmungsgrenze ist es sinnvoll, die halbe Bestimmungsgrenze anzugeben, wenn gleichzeitig die Bestimmungsgrenze genannt wird und sie dem heutigen Stand der Technik entspricht. Insgesamt sollten möglichst Zahlenwerte eingetragen werden, um Berechnungen durchführen zu können. Grundsätzlich geeignete Datensammlungen sollten vollständig eingegeben werden.

Auch wenn in der Vergangenheit erhobene Daten den geforderten Kriterien nicht genügen, können sie dennoch Hinweise über den Aufbau der für die BBK Siedlungsbereich relevanten Bodenschicht bis 1 m Tiefe geben. Hieraus lassen sich unter Umständen Auffüllungskarten konstruieren.

In Einzelfällen kann es sinnvoll sein, die Qualität vorhandener Bodendaten durch die nachträgliche Erhebung fehlender Information im Rahmen einer erneuten Sondierung zu verbessern (z.B. durch die nachträgliche Ansprache der technogenen Substrate; vgl. PANKRATZ 2005, IFUA 2005c).

6.1.2.2 Weiterreichende Kriterien der Validierung bei Anwendung des Immissionsansatzes

Ob vorliegende Daten als Stützpunkt für eine Interpolation im Rahmen des Bausteins zur Erfassung der immissionsbedingten Bodenbelastung herangezogen werden können, hängt davon ab, ob weitere konkrete Vorgaben eingehalten sind. Dies ist selbstverständlich nur für diejenigen Daten zu prüfen, welche die generellen Kriterien bereits erfüllen.

Als weitergehende Anforderungen sind zu nennen:

- Lange Zeit ungestörter Boden (vgl. Nutzungshistorie)
- Rasen, Brache, Grünland, Wiese als Vegetationsbedeckung
- Einhaltung der Mindestabstände zu Nutzungsgrenzen bzw. die Immission beeinflussenden vertikalen Objekten (mindestens 10 m)
- Flächenbezogene Mischprobe einer Probennahmefläche geringer Ausdehnung (bis 1000 m²)
- Geringe Anteile technogener Substrate in der Probe
- keine Standorte mit nach unten deutlich zunehmenden Gehalten (inverse Gradienten)
- keine Proben im Bereich besonderer Belastungssituationen (insbesondere Überschwemmungsgebiete und ehemalige Überschwemmungsgebiete)

6.1.2.3 Weiterreichende Kriterien der Validierung bei Anwendung des raumanalytischen Ansatzes

Zur Anwendung dieses Ansatzes muss insbesondere auch dokumentiert sein, dass die Probe flächenrepräsentativ gewonnen wurde.

Da für Böden unter Wohnnutzung die Dauer der Exposition hinsichtlich Immission und nutzungsspezifischen Schadstoffeinträgen von besonderer Relevanz ist, muss die exakte Zu-

ordnung der Probe zum Flurstück und zum Alter der auf diesem errichteten Gebäude vorhanden sein. Unter Umständen kann eine Zuordnung zum Baublock ausreichen, wenn die Gebäude hinsichtlich ihres Baualters einheitlich sind.

6.1.3. Datenaufbereitung / Konzeptkarte

Die räumlichen Daten sind in ein GIS zu überführen, wobei vom Prinzip Vektordaten (Abgrenzung von Flächennutzungseinheiten, Nutzungsabfolgetypen, Altstandorte und Altablagerungen usw.), Rasterdaten (Interpolationen etc.) und Bilddaten (z.B. Topographie als tiff-Dateien) vorkommen können. Das GIS sollte mit allen drei Datentypen umgehen können.

Nicht digital vorhandene flächenhafte Daten sind zunächst zu digitalisieren. Bei umfangreichen Digitalisierungsarbeiten bietet es sich an, sich zunächst auf das Testgebiet (vgl. Kapitel 6.2) zu konzentrieren. Punktuelle Daten können bei vielen GIS-Systemen direkt über ihre Rechts- und Hochwerte eingelesen werden. Wichtig ist, dass die einzelnen Objekte eindeutig zu identifizieren sind, um sie mit den Attributen und den Daten der Datenbank verknüpfen zu können.

Die digitalen Daten sind gegebenenfalls noch zu georeferenzieren; zur Reduktion der Datenfülle bietet es sich weiterhin an, die digitalen Karten der einzelnen Grundlagendaten (Layer) mit den Grenzen des Untersuchungsgebietes zu verknüpfen und als Inselkarte auszuschneiden.

Die Verbreitung der Substrate der Bodenbildung und die Bodenbelastung selbst sind von einer Vielzahl von Faktoren abhängig, die sich zu einem wesentlichen Teil in den genannten Daten und Kartengrundlagen widerspiegeln. So ist es zweckmäßig, die Grundlagendaten miteinander in Beziehung zu setzen (zu verschneiden), um letztlich hinsichtlich bestimmter Parameter homogene Raumeinheiten zu erhalten. Das Ergebnis dieses Arbeitsschrittes stellt die digitale Konzeptkarte dar (vgl. Abbildung 8).

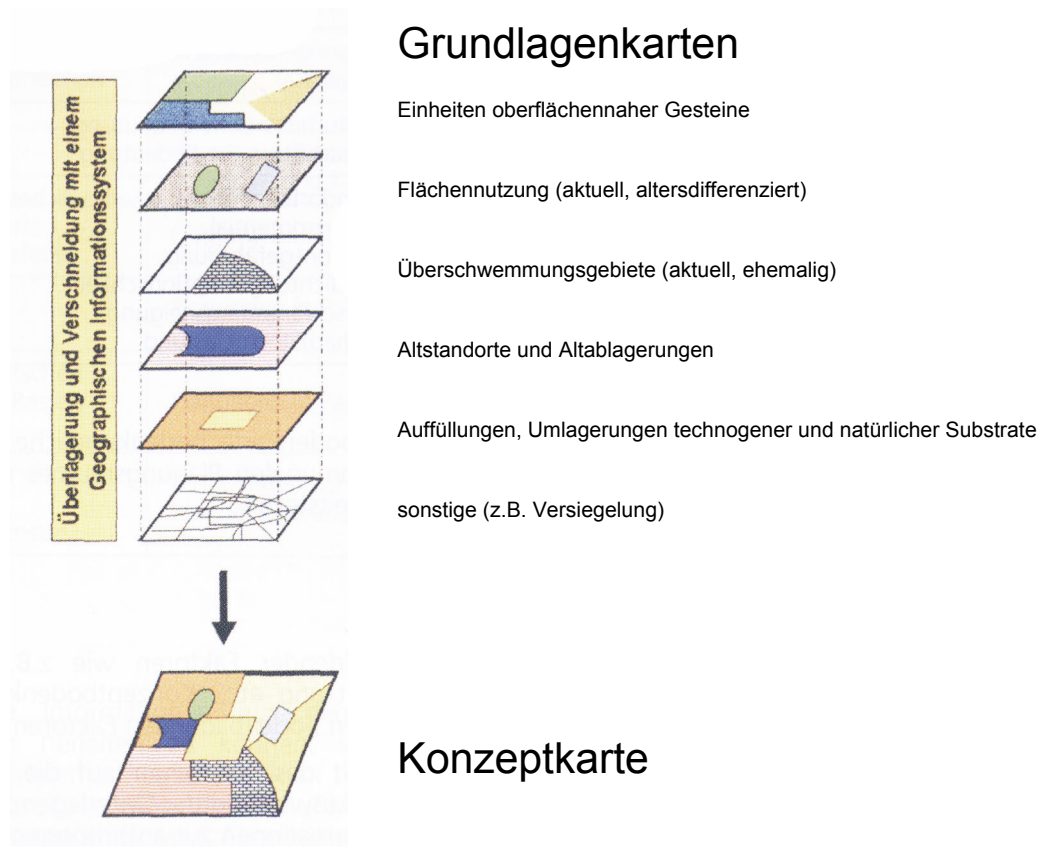


Abbildung 8: Schematische Darstellung einer Konzeptkarte (nach SCHNEIDER et al. 2000, verändert)

Die so erstellte digitale Konzeptkarte bietet den Vorteil der raschen Ergänzzbarkeit, Aktualisierung und bedarfsgerechten Ausgabe von Arbeits- und Präsentationskarten sowie Möglichkeiten verschiedener Auswertungen. Sie kann insbesondere auch zur Auswahl der Probenahmeeflächen (Probenahmeplanung) herangezogen werden.

Die Erstellung der Konzeptkarte ist als iterativer Prozess zu sehen. Bestimmte Einheiten können wieder zusammengefasst oder aufgetrennt werden. Letztlich ist entscheidend, ob die Auswertung der Punktdaten belastbare Hinweise in Richtung Aggregierung oder weitergehende Differenzierung ergibt. Bevor großer Aufwand in die Verfügbarmachung oder gar Digitalisierung flächenhafter Daten verwendet wird, sollte zunächst im Rahmen der punktbezogenen Auswertung der beprobten Standorte selbst geklärt werden, ob der jeweiligen Information ein signifikanter Einfluss auf die Bodenbelastung zukommt (z.B. welche Zeitschnitte sind überhaupt notwendig).

6.2. Auswahl des Testgebietes

In der Regel ist es sinnvoll, zu Beginn der Erstellung der BBK Siedlungsbereich ein Testgebiet auszuwählen. Dies gilt insbesondere für den Fall, dass die zur Verfügung stehenden Datengrundlagen weniger umfangreich oder für die BBK nicht direkt verwertbar sind. Erst

über den Schritt eines Testgebietes kann man sich konkret ein Bild über die Bodenverhältnisse und Belastungsursachen machen. Verzichtbar ist die Auswahl eines Testgebietes,

- wenn das Stadtgebiet klein ist ($< 50 \text{ km}^2$) oder
- wenn die verwertbaren Datengrundlagen über die Belastungssituation der Böden bereits zu Beginn der BBK Siedlungsbereich sehr umfangreich sind.

Bei der Auswahl des Testgebietes sind verschiedene Kriterien zu beachten, die im Weiteren vorgestellt werden.

Repräsentativität für das Gesamtstadtgebiet

Das Testgebiet sollte repräsentativ für den gesamten Siedlungsbereich sein. Geographisch sollte sich das Testgebiet vom Kerngebiet bis in Stadtrandlage erstrecken, um die wichtigsten städtebaulichen Phasen abzudecken.

Im Hinblick auf die Repräsentativität des Testgebiets für die BBK Siedlungsbereich sollten alle wesentlichen Nutzungen und Nutzungsabfolgetypen vorhanden sein. Weder ein reines Industriegebiet noch stark landwirtschaftlich geprägte Gebiete eignen sich. Wenn das Kriterium der Nutzungsheterogenität erfüllt ist, sollte auch darauf geachtet werden, dass die naturkundlichen Grundlagen und die Immissionssituation des Gebiets möglichst repräsentativ berücksichtigt werden. Zu nennen sind:

- die Topographie / Geländemorphologie,
- die geologischen und bodenkundlichen Verhältnisse auf Basis der Bodenkarten des Geologischen Dienstes (alle wesentlichen natürlichen Substratabfolgen sollten vorhanden sein),
- ggf. das Vorkommen von Überschwemmungsgebieten und
- das Vorkommen bedeutender aktueller bzw. historischer Emittenten.

Größe und Form des Testgebiets

Um der Forderung nach ausreichender Repräsentativität Rechnung zu tragen, sind damit auch Ansprüche an die Größe des Testgebiets verknüpft. Das Testgebiet sollte 10 - 20% des gesamten Stadtgebietes einnehmen und mindestens 50% Siedlungsbereich umfassen. Da letztlich auch eine Interpolation der Bodengehalte angestrebt wird, ist ein Testgebiet mit ähnlicher Erstreckung in Richtung Nord-Süd und in Richtung Ost-West sinnvoll. Die gegebenenfalls im Testgebiet vorhandenen großflächigen Wald-, Acker- und Grünlandflächen sind aus der zuvor erstellten BBK Außenbereich zu übernehmen.

Grenzen des Testgebiets

Die Grenzen des Testgebiets können sowohl die administrativ-politischen Grenzen (Stadtteilgrenzen) als auch die Gitternetze der Gauß-Krüger-Koordinaten sein. Für die erste Variante spricht, dass Nutzungsarten im Testgebiet seltener durchschnitten werden.

6.3. Auswahl der Probennahmeflächen (Probennahmeplanung)

Planung und Umsetzung der Felduntersuchungen laufen methodisch für das Testgebiet und später für das übrige Stadtgebiet in gleicher Weise ab. Beim Testgebiet wird allen methodischen Ansätzen zunächst gefolgt. Stellt sich bei der Bearbeitung des Testgebiets heraus, dass ein oder zwei Ansätze keine Relevanz bei der Bearbeitung haben, werden diese Ansätze bei der Bearbeitung des restlichen Stadtgebiets nicht mehr berücksichtigt.

Zur Berücksichtigung von Alter und Abfolge der Nutzungen wird im Vorfeld der Beprobung bereits festgestellt, welche Nutzungsabfolgen zu berücksichtigen sind (vgl. Kapitel 5.1.4). Im Rahmen der Feldbeprobung sollten ergänzend Angaben zum Alter der jeweiligen Untersuchungsfläche erfasst werden (Alter der Gebäude, Alter des Baumbestandes). Hilfreich ist die Berücksichtigung eingescannter historischer TK 25 im Rahmen der Messnetzplanung (Hinweise auf das Nutzungsalter sowie lange Zeit unberührte Areale).

Im Siedlungsbereich wechseln die Nutzungen sehr kleinräumig bei gleichzeitig nur geringer Parzellengröße. Dies erfordert in der Messnetzplanung variable Messpunktdichten. Als Abstufungen bei den Messpunktdichten kommen Untersuchungsmaßstäbe für den Übergang zur digitalen Bodenbelastungskarte Außenbereich von 1:30.000 über 1:25.000 und 1:15.000 bis 1:5.000 in Frage (vgl. Tabelle 9).

Tabelle 9: Abstufungen der Messpunktdichte bei der Probennahmeplanung für die Bodenbelastungskarten im Außen- und Siedlungsbereich

	AUSSENBEREICH	↔	SIEDLUNGSBEREICH
Maßstab	1:50.000	↔	1:5.000
Messpunktdichte	0,25 pro km ²	↔	10 pro km ²

6.3.1. Immissionsansatz

Die Probennahmestellen zur Erfassung der immissionsbedingten Komponente der Bodenbelastung sollten bestimmten Kriterien genügen. Da alle Nutzungsarten für die Beprobung dieses Ansatzes auf Grund anthropogener Störungen nicht in Frage kommen können, beschränken sich die relevanten Beprobungsareale auf Flächen, bei denen vermutet werden kann, dass sie langfristig ungestört blieben (keine Umlagerungen durch den Menschen). Nach bisherigen Erfahrungen können folgende Flächen in Frage kommen:

- Rasenflächen in älteren (möglicherweise repräsentativen) Grün- und Parkanlagen,
- Rasenflächen in Wohngebieten und Hausgärten,
- Brachflächen, deren Vegetation bereits im Verbuschungsstadium ist, also keine Brachen mit Pioniervegetation oder alleiniger Kraut- und Staudenvegetation,
- Gemeinbedarfsflächen (Rasen) in Kleingartenanlagen, die zuvor keiner Gartennutzung unterlagen,
- innerstädtische Grünlandflächen.

Aber auch bei diesen Flächen muss davon ausgegangen werden, dass die natürliche Bodenhorizontierung Störungen durch Bioturbation (wühlende Tiere) oder andere Formen der Turbation (Quellung/Schrumpfung, Gefrieren/Tauen) aufweisen.

Es ist in jedem Fall wichtig, dass die Böden keine Bearbeitungshorizonte (Ap-, R-Horizont) und allenfalls geringe Anteile von technogenen Beimengungen aufweisen.

Zur Sicherstellung einer langfristigen Unberührtheit bieten sich die Auswertung von historischen topographischen Karten, Luftbildern und ggf. Zeugenbefragungen an. Es ist anzustreben, dass die Beprobungsflächen möglichst seit dem 2. Weltkrieg keine Umlagerungen erfahren, um einen tatsächlichen Immissionsseinfluss insbesondere der emissionsintensiven Nachkriegszeit (1950er bis 1980er Jahre) zu erkunden.

Die Flächengröße der Einzelflächen sollte 200 bis 1000 m² betragen (Repräsentativität). Innerhalb des Testgebiets bzw. des übrigen Stadtgebiets sollten die Flächen des Immissionsansatzes möglichst gleichmäßig positioniert werden. Sind lokale Emittenten bekannt, kann die Lage der Beprobungsflächen auch entsprechend angepasst werden.

6.3.2. Substratansatz

Zur Erfassung technogener Substrate im Untersuchungsgebiet sollte das Testgebiet alle wesentlichen stadtypischen Nutzungsarten (vgl. Kap. 5.1.3) jeweils zunächst 5- bis 10-mal aufweisen. Im übrigen Stadtgebiet ist von einer höheren Anzahl von Beprobungsflächen pro Nutzungsart auszugehen (mindestens 20).

Nach bisherigen Erfahrungen sind folgende Nutzungstypen auf Grund ihres flächenmäßigen Vorkommens besonders bedeutsam:

- Grünanlagen oder Parks (Rasen- und Rabattenflächen)
- Gebäudenahe Abstandsgrünflächen (insbesondere Rasenflächen) im Bereich von Wohnbebauung, Bebauung mit öffentlichen Gebäuden und Industrie-/ Gewerbeflächen
- Sportanlagen (insbesondere Rasenflächen)
- Kleingartenanlagen (Beete, Rasenflächen)
- Wohnungsnahe Hausgärten (insbesondere Rasenflächen) in Block-, Zeilen-, Reihenhaus- und Einfamilienhaussiedlungen

Die Auflistung ist ggf. um weitere, eher seltener anzutreffende Nutzungsarten zu ergänzen (vgl. Kapitel 5.1.3).

Bei Wald-, Acker- oder Grünlandflächen auf natürlichen Böden (größer 1 ha) ist zu prüfen, ob diese im Rahmen der Erstellung der BBK Siedlungsbereich unbeachtet bleiben und die Bearbeitungskriterien der BBK Außenbereich angewendet werden, auch wenn die Flächen im unmittelbaren Siedlungsbereich liegen.

6.3.3. Raumanalytischer Ansatz

Grundlage der Messnetzplanung und der Beprobungen ist eine Raumanalyse. Gleichzeitig werden die versiegelten und überbauten Böden identifiziert und von der weiteren Bearbeitung ausgeschlossen. Ergebnis der Raumanalyse ist die Karte der homogenen Raumeinheiten (Konzeptkarte, vgl. Kap. 6.1.3), in der die Einflussfaktoren der Bodenbelastung in ihrer Kombination räumlich dargestellt und abgegrenzt sind.

Eines der wesentlichen Abgrenzungskriterien für die Raumeinheiten im Siedlungsraum ist die Bodennutzung in ihrer zeitlichen Differenzierung. Die Maßstäblichkeit der BBK Siedlungsbereich erfordert ggf. eine gesonderte Betrachtung der sehr kleinräumigen Nutzungsarten. So können Spielplätze, Bolzplätze etc. mit ihren Informationen zur Bodenbelastung nur nachrichtlich in das Informationssystem BBK übernommen werden. Sollten in einer Stadt zusätzliche spezifische Bodennutzungen vorhanden sein, die hinsichtlich ihrer Bodenbelastung relevant sind, lassen sie sich entweder in das Verfahren integrieren oder nachrichtlich darstellen.

6.4. Durchführung der Probennahme

Die gestufte Methodik zur Erstellung der BBK Siedlungsbereich spiegelt sich in einer gestuften Probennahmekampagne (Testgebiet, übriges Stadtgebiet) wider. Im Einzelfall ist zu prüfen, ob sowohl beim Testgebiet als auch im übrigen Stadtgebiet die Probennahme in jeweils zwei Schritten erfolgen soll (Überblicksuntersuchung, Verdichtungsschritt), oder ob auf einen Durchgang verzichtet werden kann, wenn es gelingt mit dem vorhandenen Datenbestand eine „vorläufige“ BBK zu erstellen.

Die Durchführung des Verdichtungsschrittes erfolgt nach einer statistischen bzw. geostatistischen Auswertung der Ergebnisse des vorangegangenen Durchgangs. Der Verdichtungsschritt ist für diejenigen Fälle zweckmäßig, in denen die Überblicksuntersuchung relevante Bodenbelastungen ergab und eine Verbesserung der Ergebnisse durch eine höhere Probendichte zu erwarten ist. Insbesondere im Testgebiet besteht auf diese Weise auch die Möglichkeit, Korrekturen an der Beprobung (ausgewählte Nutzungstypen, festgelegte Nutzungsabfolgetypen) vorzunehmen.



Es ist zu beachten, dass die verdichtenden Untersuchungen nicht unbedingt für alle Nutzungen erfolgen müssen, sondern sich auf diejenigen Teilflächen beschränken, die im Rahmen der Überblicksuntersuchungen als relevant erkannt wurden.

Im Zuge der Probennamekampagne werden sowohl die Proben zur Erfassung der immissionsbezogenen Komponente und zur Erfassung der substratbezogenen Komponente der Bodenbelastung als auch für den raumanalytischen Ansatz genommen.

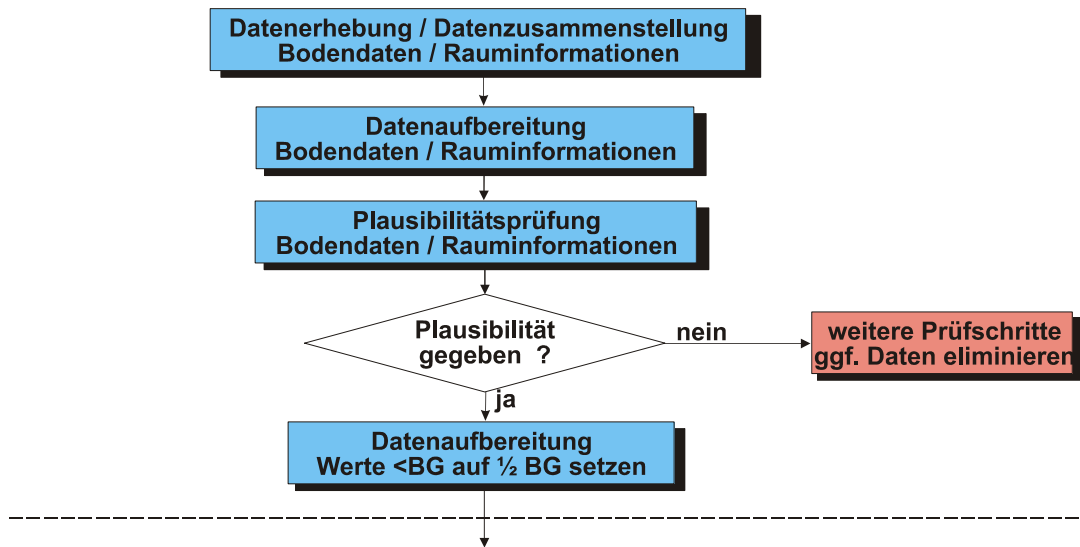
Die genaue feldbodenkundliche Vorgehensweise ist dem Anhang (A 2.1 bis A 2.3) zu entnehmen.

6.5. Allgemeiner Arbeitsablauf zur Auswertung der Bodendaten

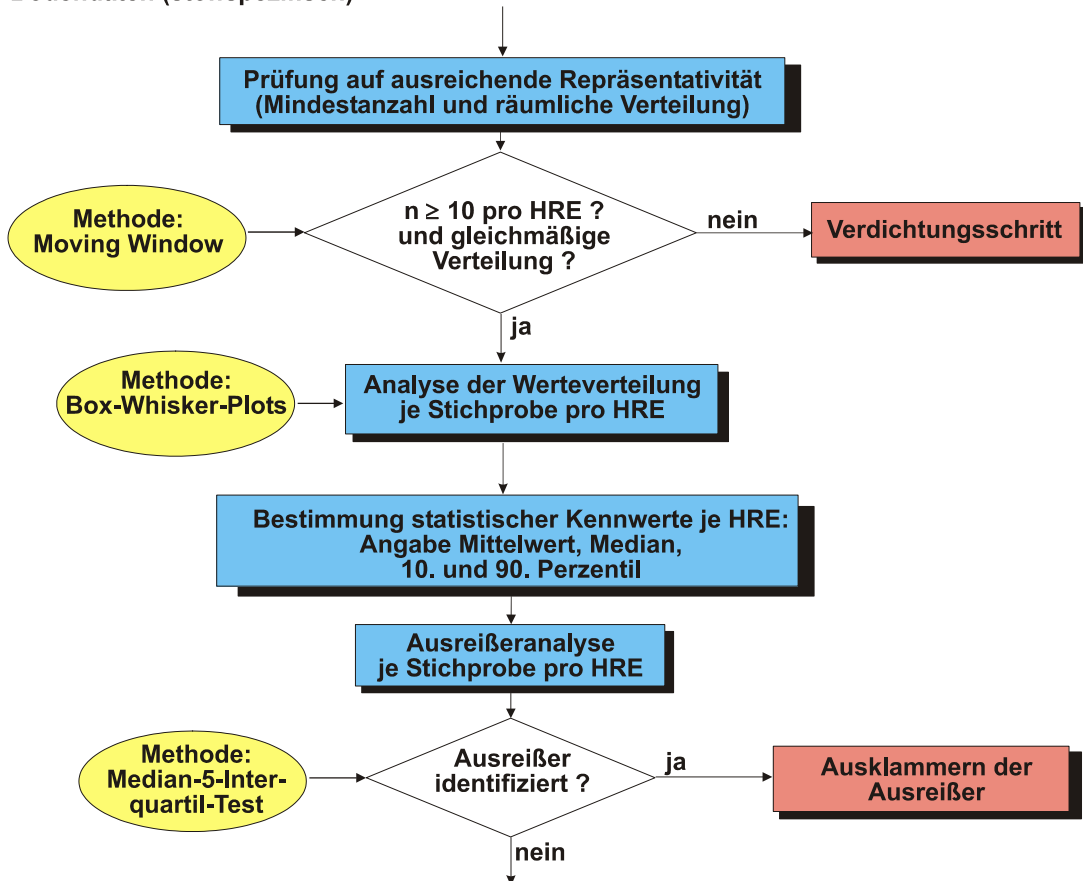
Die zur Erstellung der BBK Siedlungsbereich existierenden methodischen Ansätze zielen darauf ab, je nach vorherrschender Belastungsursache in entsprechend unterschiedlicher Art und Weise die ermittelten Punktdaten in die Fläche zu übertragen.

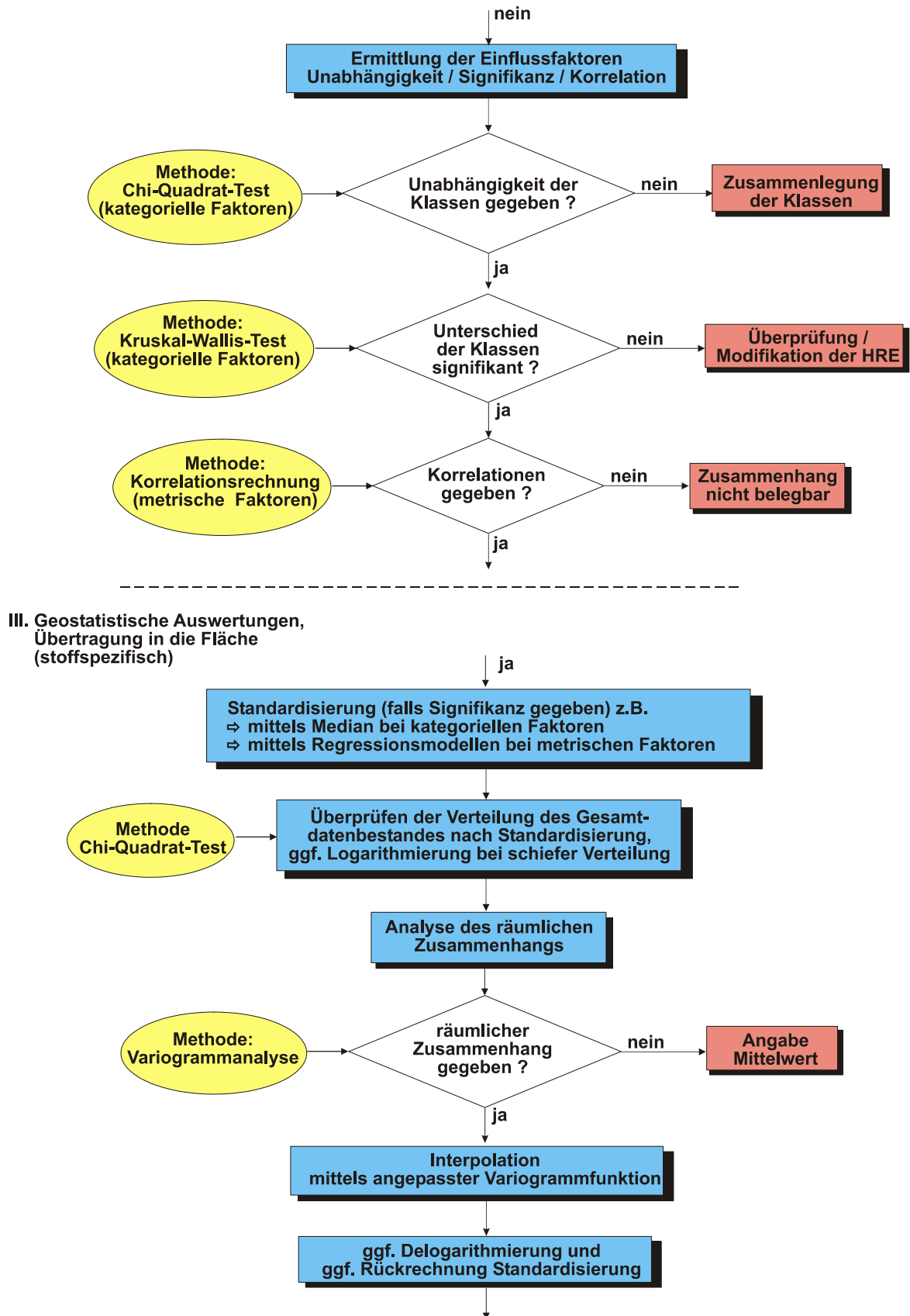
Als Hilfsmittel zur Beantwortung der Frage, welcher Ansatz für welchen Teil des Stadtgebietes angezeigt ist, sind mit dem Datenbestand eine Reihe von statistischen Tests vorzunehmen, um die Methodenentscheidung objektivieren zu können und nachvollziehbar zu machen. Sie können in Form eines allgemeinen Ablaufschemas der Exploration der Daten zusammengefasst werden (vgl. Abbildung 9). Das Schema enthält sowohl die notwendigen Arbeitsschritte, als auch die beispielhaft empfohlenen statistischen Hilfsmittel (vgl. auch Anhang A.3) und fasst die Erläuterungen der folgenden Kapitel zusammen.

**I. Zusammenstellen, Aufbereiten
und Auswahl der Datengrundlagen**



**II. Statistische Auswertungen
der Bodendaten (stoffspezifisch)**





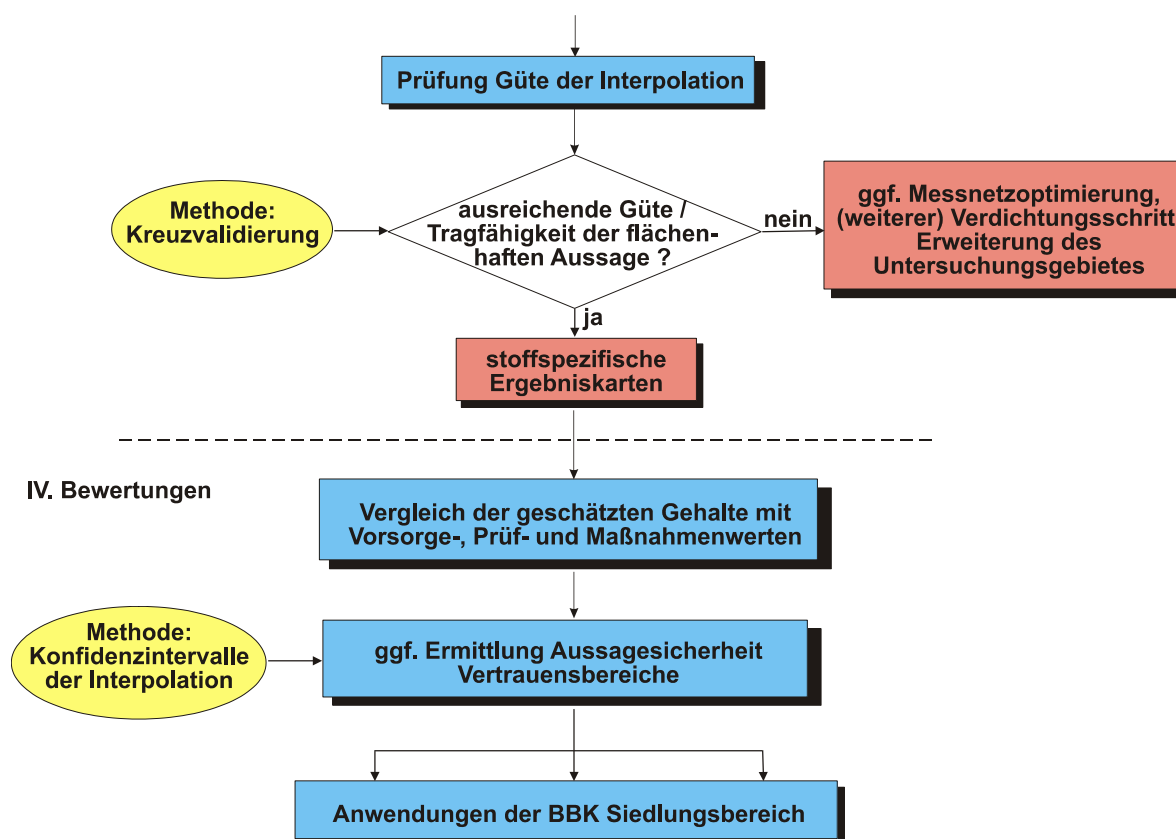


Abbildung 9: Allgemeines Ablaufschema zur Auswertung vorliegender BBK-Daten;
HRE = homogene Raumeinheit

6.5.1. Immissionsbezogene Auswertung

Zur Beurteilung, inwieweit die Immission zu relevanten Bodenbelastungen geführt hat, dienen in einem ersten Schritt vorhandene Immissionsdaten selbst (vgl. Kapitel 5.1.6). Über die Umrechnung des Cadmium- bzw. Bleieintrags in den Boden (unter Verwendung der Lagerungsdichte) gelingt eine erste Einschätzung des Immissionsanteils für die oberste Bodenschicht. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass Messungen zur Immission nur für die letzten Jahrzehnte vorliegen, der immissionsbürtige Schadstoffeintrag aber häufig viel weiter in die Vergangenheit zurückreicht.

Den nächsten Schritt stellt die Auswertung der Bodenproben zur Erfassung der immissionsbedingten Bodenbelastung dar. Zunächst erfolgt eine statistische Auswertung der Bodendaten. Die Bezugstiefe ist zum einen die Schicht 0-10 cm Tiefe und zum anderen die über die beiden Schichten integrierte Tiefe 0-30 cm, wobei dazu ein gemäß der unterschiedlichen Mächtigkeit gewichteter Mittelwert gebildet wird. Soweit vorliegend, findet dabei auch die Trockenrohdichte Berücksichtigung. Standorte mit hohen Anteilen technogener Substrate sowie Standorte mit deutlich höheren Schadstoffgehalten der Schicht 10-30 cm gegenüber der Schicht 0-10 cm (inverse Gradienten) sind von der weiteren Auswertung auszuschließen.

Ein wichtiger Aspekt kommt der Frage zu, ob es sich bei den (bereinigten) Daten um eine Normalverteilung (als Voraussetzung des Krigings) handelt, oder ob eine Transformation der Daten (z.B. eine Logarithmierung) erforderlich ist. Dazu stehen verschiedene statistische Methoden zur Verfügung, so der Chi-Quadrat-Anpassungstest (LABO 2004; vgl. Anhang A.3.5). Für die weiteren Auswertungen ist der Datensatz hinsichtlich potenzieller Ausreißer zu untersuchen. Dazu bieten sich insbesondere der Median-5-Interquartil-Test (vgl. Anhang A.3.3) an, der keine bestimmte Verteilung der Daten voraussetzt; eine Alternative für normalverteilte Grundgesamtheiten stellt der $3\text{-}\sigma$ Test dar (LABO 2004; vgl. Anhang A.3.3).

Mit Hilfe multivariater Statistik ist der Zusammenhang zwischen der Bodenbelastung und den anderen Variablen zu testen. Dabei bieten sich auf der einen Seite bodenbedingte Parameter (wie pH-Wert, TOC, Gehalte an technogenen Substraten) an, andererseits auch externe Daten, insbesondere die Deposition. Die Analyse sollte eine deutliche Korrelation zwischen den Bodengehalten insbesondere bei den Parametern Blei und Cadmium und Depositionssummen der entsprechenden Schwermetalle zeigen.

Bei merklich von der Immission beeinflussten Bodengehalten ist davon auszugehen, dass ein räumlicher Zusammenhang der Bodenbelastung besteht. Dies besagt, dass die Bodenbelastung benachbarter Standorte insgesamt ähnlicher ausfällt als die weiter entfernter Standorte. Dies gilt es mittels Variogrammanalyse (vgl. Anhang A.3.8) nachzuweisen. Bei einem ausreichend ausgeprägten räumlichen Zusammenhang der Daten ist das experimentelle Variogramm an ein geeignetes theoretisches anzupassen, das die Grundlage für die anschließende Interpolation mittels Kriging darstellt. Durch Interpolation erfolgt die Übertragung der Punktinformation auf die Fläche. Beim Kriging sind dabei bestimmte Rahmenbedingungen zu beachten, die ausführlicher im Anhang (vgl. Anhang A.3.9) dargestellt sind.

Die so ermittelte interpolierte Oberfläche stellt demnach die immissionsbedingte Bodenbelastung dar, die für seit langer Zeit unberührte Böden (vgl. Kap. 6.3.1) zu erwarten ist (IFUA 2002b, IFUA 2005b, IFUA 2006a).

6.5.2. Substratbezogene Auswertungen

Bei der Auswertung der substratbezogenen Belastungsursachen werden die Proben der Messkampagne im Hinblick auf Art und Umfang technogener Substrate, Höhe der Bodenbelastung und den Zusammenhang beider Größen ausgewertet. Die Relevanz des Einflusses technogener Substrate ist durch Korrelationsanalysen nachzuweisen (vgl. IFUA 2005a).

Ebenso wie im Fall der Immissionen sollte sich eine Beurteilung, inwieweit die technogenen Substrate für die jeweilige Stadt eine wesentliche Belastungsursache darstellen, schon im Rahmen der Überblicksuntersuchung des Testgebietes ergeben.

6.5.3. Raumanalytische Auswertungen

Grundlage für die raumanalytischen Auswertungen der Bodendaten sind die Vorinformationen zu den Standorten der Probennahme. Sie sind in der Konzeptkarte räumlich abgebildet. Alle auftretenden Fallunterscheidungen (homogene Raumeinheiten) werden statistisch aus-

gewertet. Berechnet werden die statistischen Kennwerte (Mittelwert, Median, geometrisches Mittel), die Varianzen und Standardabweichungen der Verteilungen genauso wie die Extremwerte und zur Einschätzung von Ausreißern auch das 90. und 95. Perzentil. Jede Verteilung wird zusätzlich als Histogramm dargestellt. Eine erste Identifikation von Ausreißern ist mit Hilfe der ebenfalls dargestellten Box-Whisker Plots möglich (vgl. Anhang A.3.4). Zusätzlich erfolgt der Test hinsichtlich des Vorliegens von Normalverteilungen (vgl. Anhang A.3.5). Die Ergebnisse dieser Tests werden auch graphisch dargestellt.

Kriterien für die Bildung der Fallunterscheidungen sind sowohl die oberflächennahen Gesteine, einschließlich der technogenen Substrate, als auch Immissionen sowie Überschwemmungseinflüsse, aber auch nutzungsspezifische Belastungsursachen. Zu den nutzungsspezifischen Belastungsursachen zählen Einträge durch Düngung genauso wie spezifische Bodenbearbeitungen zum Beispiel in Gärten.

Zusätzlich können für die stadttypischen Nutzungen (Wohnen, Park, Grünanlage, Kleingärten etc.) Zeitschnitte definiert werden. Für Wohngebiete zum Beispiel wird dabei der Frage nachgegangen, ob es Unterschiede in der feststellbaren Bodenbelastung gibt, die in unterschiedlich langer Exposition der Böden und Dauer ihrer Nutzung bedingt sind. Dafür werden Zeitintervalle gebildet, die in enger Verbindung zur Siedlungsentwicklung der Stadt oder des Stadtteils stehen. Lassen sich signifikante Unterschiede in der Bodenbelastung feststellen (vgl. Anhang A.3.6), wird zudem geprüft, ob sie stoffspezifisch auch statistisch signifikant unterschiedlich sind. Wenn die Auswertungen entsprechende Unterschiede bestätigen, wird stoffspezifisch festgelegt, dass diese Fallunterscheidung in der weiteren Bearbeitung mit berücksichtigt wird.

Im Stadtgebiet von Wuppertal zeigen diese Auswertungen für Wohn- und Mischgebiete sowie Sonderbauflächen, dass die gebildeten Fallunterscheidungen - bezogen auf das gesamte Stoffspektrum - statistisch signifikant sind (ISB 2004a).

Einschränkungen dieser Vorgehensweise können insbesondere in der anfänglichen Bearbeitung des Testgebietes auftreten, wenn nicht ausreichend Bodendaten vorliegen. Dann sind gezielte Beprobungen erforderlich. Auf Grundlage der so stoffspezifisch erarbeiteten Ergebnisse wird entschieden, ob und welche Fallunterscheidungen letztendlich gebildet und auch räumlich weiterverfolgt werden. Sie sind dann das Gerüst sowohl der Messnetzplanung (Testgebiet oder Stadtgebiet) als auch später der fertigen Karten.

6.6. Erstellung der BBK Siedlungsbereich im Testgebiet

Die Grundlage für die flächenhafte Darstellung der Bodenbelastung stellen die punktbezogenen bzw. stichprobenbasierten Daten zur Bodenbelastung dar, die in die Fläche übertragen werden. Dazu werden, wenn die erforderlichen Rahmenbedingungen erfüllt sind, beim Immissionsansatz und beim raumanalytischen Ansatz Interpolationsverfahren verwendet. Beim Substratansatz findet demgegenüber eine Übertragung von Untersuchungsergebnissen auf andere vergleichbare Flächen statt.

Vor Durchführung der Interpolation sind zunächst mittels Variogrammanalyse (vgl. Anhang A.3.8) die Interpolierbarkeit der Daten zu prüfen und die Parameter für die Interpolation zu bestimmen (Reichweite, Variogrammfunktion etc.). Empfehlungen im Hinblick auf die zu verwendende Software enthält Kapitel 5.2.

6.6.1. Immissionsansatz

Die Übertragung der Punktinformation in die Fläche geschieht im Falle des Immissionsansatzes mittels Interpolation der entsprechenden Bodendaten für die Schicht 0-10 und 10-30 cm Tiefe, wobei bei eher log-normalverteilten Daten die logarithmierten Werte verwendet werden. Es ist in der Regel günstiger, an Stelle der separaten Interpolation der Schicht 10-30 cm eine integrierende Betrachtung für die Schicht 0-30 cm (vgl. Kapitel 6.5.1) durch gewichtete Mittelung des Wertes 0-10 cm und des Wertes 10-30 cm gegebenenfalls unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Trockenrohdichten durchzuführen. Die Interpolierbarkeit kann in der Regel durch Ausschluss der Überschwemmungsflächen und derjenigen Flächen, die deutlich inverse Gradienten der Bodenbelastung aufweisen², verbessert werden. Für die Interpolation wird das Verfahren des Block-Krigings empfohlen (vgl. Anhang A.3.9).

Zwar werden üblicherweise bei der Betrachtung von Einzelflächen differenziertere Tiefengradienten (z.B. 5 cm-Schritte) zur Prüfung eines Immissionseinflusses herangezogen, doch reicht die Berücksichtigung der Schichten 0-10 cm und 10-30 cm im vorliegenden Fall aus, da die Auswertung räumlicher Zusammenhänge im Mittelpunkt steht.

Auf Basis der Variogrammodelle werden die Schadstoffgehalte des Oberbodens mittels Block-Kriging interpoliert. Jeder Block besitzt eine Kantenlänge von 25 m x 25 m bzw. 50 m x 50 m. Für die Schätzung werden mindestens 12 und maximal 24 benachbarte Datenpunkte verwendet. Der Suchradius orientiert sich an der Reichweite der Variogrammodelle (z. B. 3000 m). In der Regel wird dabei zunächst von einer isotropen (d.h. richtungsunabhängigen) räumlichen Struktur ausgegangen.

Das Ergebnis der Interpolation stellen Abschätzungen der immissionsbezogenen Oberbodengehalte an den betrachteten Schadstoffen dar. Gegebenfalls sind die Werte zunächst zu entlogarithmieren und zu entzerren. Die Klassifikation der Bodengehalte sollte sich an relevanten Vorsorge-, Prüf- und Maßnahmenwerten der BBodSchV orientieren.

Zur Untersuchung der Aussagesicherheit der durchgeführten Interpolationen können mit Hilfe der Schätzvarianz Konfidenzintervalle berechnet werden. Auf diese Weise können Bereiche ausgewiesen werden, in denen ein bestimmter Wert, z.B. ein Prüfwert, mit vorgegebener Irrtumswahrscheinlichkeit bzw. Aussagesicherheit über- oder unterschritten wird. Eine detaillierte Darstellung zu diesem Verfahren enthält Anhang A.3.11.

² d.h. die Schadstoffgehalte der Schicht 0-10 cm liegen deutlich unter denen der darunter liegenden Schicht; dies ist ein Hinweis darauf, dass vergleichsweise unbelastetes Material auf relativ belasteten Boden aufgebracht wurde

Wie bereits erwähnt erfolgt die Untersuchung des Testgebietes im Regelfall in zwei Durchgängen: Überblicksuntersuchung und Verdichtungsschritt. Eine verdichtende Probennahme bietet sich insbesondere an

- in Bereichen, in denen aufgrund geringer Schätzgüte zunächst keine Aussagen möglich sind;
- in Bereichen geringer Aussagesicherheit;
- in Bereichen relativ hoher Belastung;
- bei geringer Anzahl von Wertepaaren pro Distanzklasse im Rahmen der Variogrammanalyse (vgl. Anhang A.3.8).

Ergibt die Überblicksuntersuchung, dass die Immission im Testgebiet keine relevante Belastungsursache darstellt, kann auf den anschließenden Verdichtungsschritt verzichtet werden.

6.6.2. Substratansatz

Im Falle des Substratansatzes sind zunächst die Stichproben innerhalb einer Nutzung bzw. Subnutzung statistisch getrennt für Ober- und Unterbodendaten auszuwerten. Notwendig ist dazu allerdings ein ausreichender Umfang der Stichprobe. Eine Übertragung der Ergebnisse der Stichprobe auf andere vergleichbare Flächen ist nur dann möglich, wenn nachgewiesen werden kann, dass die Probennahmeflächen innerhalb gegebener Raumeinheiten einheitlichen Bodenaufbau und einheitliche Bodenbelastungen aufweisen und mit ausreichender Sicherheit erwartet werden kann, dass eine Übertragung der Ergebnisse auf Flächen gleicher Nutzung bzw. Subnutzung oder Nutzungsabfolge möglich ist.

Sind technogene Substrate für das Untersuchungsgebiet prägend, jedoch keine nutzungsbezogenen Gesetzmäßigkeiten im Hinblick auf die Bodenbelastung feststellbar, müsste einzelfallbezogen jede Fläche nach der Methode der aufwändigen Stadtbodenkartierung betrachtet werden (AK STADTBÖDEN 1997).

6.6.3. Raumanalytischer Ansatz

Die Grundlage für die flächenhafte Darstellung der Bodenbelastung dieses Ansatzes ist das raumanalytische Modell, welches flächenhaft vorhandene Rauminformationen zu einzelnen Belastungsursachen mit punktbezogenen Untersuchungsergebnissen zur Bodenbelastung verbindet. Die Übertragung einzelner Untersuchungsergebnisse in die Fläche geschieht in zwei Stufen. Im ersten Schritt wird durch rechnerische Berücksichtigung der Vorinformationen, was durch Standardsoftware geschehen kann, der Datensatz bereinigt (Standardisierung). Es folgt die Prüfung der notwendigen statistischen Bedingungen, unter denen die Interpolation durchgeführt werden kann (vgl. Anhang A.3.8). Sind diese erfüllt, kann unmittelbar interpoliert werden. Im zweiten Schritt wird das Interpolationsergebnis wiederum unter Berücksichtigung der Vorinformationen in die Karte der Raumeinheiten berechnet.

Für die geostatistische Bearbeitung und Interpolation kommen handelsübliche GIS-Werkzeuge in Frage (vgl. Kap. 5.2), wenn sichergestellt ist, dass das Krigingverfahren imp-

lementiert ist. Die Grundlagenkarten werden in 5 m x 5 m Raster aufbereitet. Als Ergebniskarten entstehen Karten der geschätzten Stoffgehalte in Oberböden, welche die Bodenbelastung in den Grenzen der Raumeinheiten wiedergeben. Grundsätzlich sind auch andere Tiefenstufen in gleicher Weise bearbeitbar.

Die Ergebniskarte selbst besteht aus einzelnen Rasterzellen mit 5 m x 5 m Quadraten. Jedem Quadrat ist ein geschätzter Wert zugeordnet. Um diese Werte in ihrer räumlichen Verteilung in der Karte darstellen zu können, müssen Werteklassen gebildet werden. Diese können ganz unterschiedlich sein. Generell gilt, je mehr Klassen gebildet werden, umso differenzierter wird die räumliche Verteilung dargestellt.

6.7. Übertragung auf das gesamte Stadtgebiet

Die Übertragung der in den Kap. 6.6.1 bis 6.6.3 genannten Ansätze vom Testgebiet auf den gesamten Siedlungsbereich ist dann möglich, wenn innerhalb des Testgebietes belastbare Ergebnisse erreicht wurden. Im Einzelfall kann es erforderlich sein, im Stadtgebiet auch mehrere Ansätze für unterschiedliche Teilgebiete anzuwenden.

Die Bearbeitung im Stadtgebiet erfolgt in Analogie zum Testgebiet. Zunächst ist eine Überblicksuntersuchung durchzuführen, die gegebenenfalls in Teilbereichen im Zuge eines Verdichtungsschrittes weitergeführt wird. Es ist jedoch davon auszugehen, dass der Beprobungsaufwand mit zunehmender Bearbeitungsdauer immer stärker abnimmt, da mehr Informationen vorliegen und Analogieschlüsse leichter möglich sind.

Sowohl hinsichtlich der Immissionen als auch der technogenen Substrate ist zu beachten, dass sich die Bodenbelastung innerhalb des Stadtgebietes verschieben kann, da z.B. in der Vergangenheit bestimmte technogene Substrate nur im Umfeld ihrer Produktionsstätte ausgebracht wurden. Sollten derartige Verschiebungen festgestellt werden, ist eine Übertragung der Ergebnisse auf vergleichbare Flächen nur innerhalb des jeweiligen Stadtteils bzw. der jeweiligen Teilfläche des Siedlungsbereichs möglich.

7. Auswertungen und Anwendungen

Die im Rahmen der BBK Siedlungsbereich ermittelten Ergebnisse sind insbesondere den verschiedenen Beurteilungswerten der BBodSchV gegenüberzustellen (Vorsorge-, Prüf- und Maßnahmenwerte). Neben den flächenhaften Schätzungen der Stoffgehalte selbst kann dabei auch die Frage der Aussagesicherheit für Anwendungen der BBK Siedlungsbereich von Bedeutung sein (vgl. hierzu Anhang A 3.11).

Im Hinblick auf die derzeit gültigen rechtlichen Rahmenbedingungen sind verschiedene Anwendungsbereiche zu unterscheiden, die in den folgenden Kapiteln umrissen sind.

7.1. Ermittlung und Abgrenzung von Gebieten mit erhöhten Schadstoffgehalten

Die Vorsorgewerte nach Anhang 2 Nr. 4 der BBodSchV gelten für alle Böden und Bodenmaterialien, die in Böden eingebracht oder aufgetragen werden sollen. Ferner dienen sie zur Abschätzung von Auswirkungen im Rahmen von Planverfahren, wenn zusätzliche Schadstoffeinträge zu erwarten sind.

Gemäß § 9 (1) BBodSchV ist das Entstehen schädlicher Bodenveränderungen in der Regel zu besorgen, wenn Schadstoffgehalte gemessen werden, die die Vorsorgewerte überschreiten; dies gilt nicht bzw. eingeschränkt in Gebieten mit naturbedingt oder großflächig siedlungsbedingt erhöhten Schadstoffgehalten (§ 9 (2) und (3) BBodSchV).

Wichtig bei der Anwendung der Vorsorgewerte der BBodSchV ist ihre Differenzierung gemäß der Bodenart im Falle der anorganischen Schadstoffe bzw. gemäß dem Humusgehalt im Falle der organischen Schadstoffe. Weitere Modifikationen sind für einzelne Parameter je nach pH-Wert vorgesehen. Für Humusgehalte > 8 % (dies entspricht einem TOC-Gehalt von 4,64 % bei einem Umrechnungsfaktor von 1,724; vgl. SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2002) finden die Vorsorgewerte für Schwermetalle keine Anwendung. Einen Überblick über die differenzierten Vorsorgewerte der BBodSchV gibt Tabelle 10.

Um Gebiete mit erhöhten Schadstoffgehalten zu ermitteln (sog. „GE-Gebiete“), in denen naturbedingt und/oder großflächig siedlungsbedingt die Vorsorgewerte der BBodSchV überschritten sind, wird die Karte der geschätzten Stoffgehalte mit den Vorsorgewerten abgeglichen. Weitergehende Erläuterungen dazu finden sich im LUA-Merkblatt 57 (LUA 2006b). Die dort beschriebene Methodik kann im Übrigen auch allgemein zur Abgrenzung von Gebieten einheitlicher Hintergrundwerte genutzt werden.

Tabelle 10: Vorsorgewerte der BBodSchV

Element	pH-Wert	Humusgehalt	Vorsorgewerte in mg/kg		
			Ton	Lehm / Schluff	Sand
Cadmium (Cd)	< 6	≤ 8 %	1,0	0,4	0,4
	≥ 6		1,5	1,0	
Chrom (Cr)	–	≤ 8 %	100	60	30
Kupfer (Cu)	–	≤ 8 %	60	40	20
Quecksilber (Hg)	–	≤ 8 %	1,0	0,5	0,1
Nickel (Ni)	< 6	≤ 8 %	50	15	15
	≥ 6		70	50	
Blei (Pb)	< 5	≤ 8 %	70	40	40
	≥ 5		100	70	
Zink (Zn)	< 6	≤ 8 %	150	60	60
	≥ 6		200	150	
Benzo(a)pyren [B(a)P]	–	≤ 8 %	0,3		
		> 8 %	1		
Polycycl. Aromatische Kohlenwasserstoffe nach US EPA (PAK ₁₆)	–	≤ 8 %	3		
		> 8 %	10		
Polychlorierte Biphenyle (PCB ₆)	–	≤ 8 %	0,05		
		> 8 %	0,1		

Beim Auf- und Einbringen von Materialien auf bzw. in den Boden (durchwurzelbare Schicht; § 12 (10) BBodSchV) kann in GE-Gebieten gemäß § 12 Abs. 10 BBodSchV von den Anforderungen gemäß § 12 Abs. 2 insoweit abgewichen werden, als die Umlagerung innerhalb des GE stattfindet und keine zusätzliche Beeinträchtigung der Bodenfunktionen erfolgt; dort können weiterhin Erleichterungen von Untersuchungspflichten zugelassen werden. Die Anforderungen an die Verwertung von Bodenmaterial sind im Einzelnen in LUA-Merkblatt 44 (LUA 2004) aufgeführt.

Das unter Zuhilfenahme der Raumeinheiten bzw. durch Interpolation ermittelte GE kann auch als Anhaltspunkt zur Abgrenzung von Bodenschutzgebieten gemäß § 12 Abs. 1 LBodSchG dienen. Zu einer präzisen Abgrenzung sind allerdings weitergehende Schritte notwendig (vgl. MUNLV 2004).

Schließlich können die abgegrenzten GE-Gebiete auch im Zusammenhang einer Abfallverwertung nach AbfKlärV und BioAbfV relevant sein. Diese Fragestellung ist zwar primär auf landwirtschaftlich oder gärtnerisch genutzten Böden im Außenbereich relevant. Jedoch können auch im Siedlungsbereich solche Problemlagen zum Beispiel im Erwerbsgartenbau oder im Rahmen von Bodenauffüllungen in Wohnbaugebieten gegeben sein.

7.2. Ermittlungen zur Erfassung von schädlichen Bodenveränderungen und Verdachtsflächen sowie deren Abgrenzung

Eine Erfassung von Verdachtsflächen schädlicher Bodenveränderungen nach § 5 (1) LBodSchG kann auch durch die Auswertung der Bodenbelastungskarten im Hinblick auf die wirkungspfad- und nutzungsdifferenzierten Prüf- und Maßnahmenwerte nach Anhang 2 BBodSchV erfolgen (LUA 2000).

Konkrete Anhaltspunkte, die den hinreichenden Verdacht für das Vorliegen einer schädlichen Bodenveränderung begründen, liegen gemäß § 3 (4) BBodSchV in der Regel vor, wenn die Prüfwerte (gemäß Anhang 2 BBodSchV) auf einer konkret untersuchten Fläche überschritten werden. Wenn aufgrund einer Schätzung eine Prüfwertüberschreitung zu erwarten ist, ein konkretes Untersuchungsergebnis der Fläche mithin nicht vorliegt, liegt lediglich ein Anhaltspunkt für das Bestehen einer schädlichen Bodenveränderung vor. Insofern liefern entsprechende BBK-Auswertungen in der Regel lediglich Anhaltspunkte. Hinsichtlich des Vergleiches mit Maßnahmenwerten besteht gemäß LUA-Merkblatt 24 (LUA, 2000) die Empfehlung, diese mit dem halben Wert und Prüfwertcharakter anzuwenden.

Liegen die durch BBK geschätzten Gehalte unterhalb der Prüfwerte, ist gemäß § 4 (2) BBodSchV insoweit der Verdacht einer schädlichen Bodenveränderung ausgeräumt.

Für den weiteren Umgang mit ermittelten Anhaltspunkten für das Vorliegen schädlicher Bodenveränderungen sind gemäß § 4 (8) und (9) BBodSchV naturbedingt und/oder großflächig siedlungsbedingt erhöhte Schadstoffgehalte zu berücksichtigen.

Entscheidend ist, dass die gefahrenbezogenen Beurteilungswerte der BBodSchV nutzungs- und wirkungspfadspezifisch festgelegt sind. Daher muss bei der Gegenüberstellung der flächenhaft geschätzten Werte auch die Nutzung der jeweiligen Fläche Berücksichtigung finden. Die Nutzungen gemäß BBodSchV stimmen jedoch nicht exakt mit den üblicherweise für ein Untersuchungsgebiet kartierten Nutzungen (z.B. ATKIS, RVR) überein. So können in einem als Wohnbaufläche charakterisierten Gebiet z.B. die Subnutzungen Abstandgrün, Wohngärten (die sowohl dem Kinderspiel, als auch dem Anbau von Nahrungspflanzen dienen können) oder Kinderspielfläche auftreten. Während für Abstandgrün der Prüfwert Wohngebiete heranzuziehen ist, gilt z. B. für Hausgärten der jeweils niedrigere Prüfwert bzgl. Kinderspiel und Nutzpflanzenanbau, sofern nicht ein spezieller pfadübergreifender Prüfwert anzuwenden ist wie im Falle des Cadmiums (2 mg/kg als Prüfwert für Haus- und Kleingärten, die sowohl als Aufenthaltsbereiche für Kinder als auch für den Anbau von Nahrungspflanzen genutzt werden (Anh. 2 Nr. 1.4 BBodSchV)).

Aus allen stoffspezifischen Einzelkarten kann dann durch Kombinationen eine Karte erstellt werden, die Gebiete abgrenzt, in denen Anhaltspunkte dafür bestehen, dass mindestens für einen Stoff Überschreitungen der gefahrenbezogenen Beurteilungswerte der BBodSchV bestehen. Diese Karte liefert damit Flächen bzw. Gebiete, in denen weitere Nachforschungen bzw. Untersuchungen zur Klärung des Verdachts auf das Vorliegen schädlicher Bodenveränderungen erforderlich sind. Werden Schätzwerte durch weitere Auswertungen qualifiziert, wie z.B. eine statistische oder geostatistische Betrachtung der Aussagesicherheit (vgl. An-

hang A.3.11), so können derart abgesicherte Schätzwerte auch als konkrete Anhaltspunkte angesehen werden (MUNLV 2004), die damit Einzelgrundstücks-bezogene Untersuchungen ersetzen können.

Für die Auswertung und Darstellung kann auch die von der Arbeitsgruppe Digitale Bodenbelastungskarte des Städtetages NRW vorgeschlagene Ampellösung (AG BBK STÄDTETAG NRW 2004) verwendet werden:

- Unterschreitung des Prüfwertes der sensibelsten Subnutzung: grün
- Geschätzte Gehalte zwischen den Prüfwerten der sensibelsten und der am wenigsten sensiblen Subnutzung: gelb
- Überschreitung des Prüfwertes der am wenigsten sensiblen Subnutzung: rot

Für Gebiete mit flächiger Überschreitung von Prüfwerten nach den Schätzkarten der BBK Siedlungsbereich bietet sich an, die nach Bodenschutzrecht erforderlichen Schritte der weiteren Sachverhaltsermittlung als „gebietsbezogene weitere Sachverhaltsermittlung“ vorzunehmen.

Auf diese Weise können gebietstypische Zusammenhänge z.B. zwischen Schadstoffgesamtgehalten und Schadstoffverfügbarkeiten (Pflanzenverfügbarkeit, Resorptionsverfügbarkeit, Eluierbarkeit) für die Gefahrenbeurteilung genutzt werden. Auch gebietstypische Nutzungen und Subnutzungen (Prägung eines Gebietes) können in die abschließende Beurteilung auf diese Weise einfließen.

Anhaltspunkte für das Vorliegen von Gebieten mit schädlichen Bodenveränderungen aus der BBK Siedlungsbereich können für die Vollzugsbehörden schließlich auch genutzt werden als

- Informationsgrundlage für die Ausweisung von Bodenschutzgebieten nach § 12 Abs. 1 LBodSchG (MUNLV 2004) sowie
- Abwägungsgrundlage für die Bauleitplanung (vgl. hierzu Kapitel 7.3).

Hinsichtlich der Anwendung von Prüfwerten im Ammoniumnitratextrakt für gärtnerische Nutzungen sowie des Umgangs mit schädlichen Bodenveränderungen in gärtnerisch/ackerbaulich genutzten Gebieten sowie Überschwemmungsgebieten sind die entsprechenden Handlungsempfehlungen zu Maßnahmen der Gefahrenabwehr zu beachten (LUA 2006a).

7.3. Abwägungs- und Kennzeichnungsgrundlage im Rahmen der Bauleitplanung

Das BauGB formuliert in § 1 Abs. 5 die Forderung nach „gesunden Wohn- und Arbeitsverhältnissen“. Die Unterschreitung der Prüfwerte, die eine „Gefahrenschwelle im ungünstigsten Fall“ markieren, wird dieser Forderung am ehesten gerecht (vgl. MSWKS & MUNLV 2005). Da die Bauleitplanung jedoch über die reine Gefahrenabwehr hinausgehen muss und auch eine umfassendere Vorsorge zum Ziel haben sollte, ist bei planerischen Festsetzungen grundsätzlich anzustreben, die Prüfwerte so weit wie möglich zu unterschreiten (vgl. MSWKS

& MUNLV 2005). Im Rahmen der Abwägung bei der Aufstellung von Bauleitplänen und der damit einhergehenden Nachforschungspflicht werden Bodenbelastungskarten als eine von mehreren Informationsquellen ausdrücklich genannt (MSWKS & MUNLV 2005).

Für die Beurteilung von Bodenbelastungen im Rahmen der Bauleitplanung sollten die siedlungsbedingt erhöhten Hintergrundwerte aus den Bodenbelastungskarten abgeleitet (vgl. Kap. 7.1) und als Beurteilungskriterium berücksichtigt werden. Im begründeten Fall können jedoch auch darüber hinaus gehende Schadstoffkonzentrationen bis hin zu den Prüfwerten nach BBodSchV akzeptiert werden. Ein derartiges Vorgehen trägt sowohl den realen Bedingungen als auch den Forderungen der Bodenschutzgesetzgebung bzgl. Nachhaltigkeit sowie dem Sicherheitsgedanken des BauGB Rechnung. So sollten bei Neuausweisungen von Baugebieten auf natürlichen Böden (Acker-/Grünlandnutzung) die Vorsorge-/ Hintergrundwerte die Beurteilungsgrundlage sein. Im städtischen Siedlungsbereich sind dagegen die Schadstoffgehalte meistens höher, so dass auch Prüfwerte als Beurteilungsniveau herangezogen werden können.

Bei Vorliegen von schädlichen Bodenveränderungen ist neben der weiteren Gefahrenermittlung und Gefahrenabwehr auch planerisch zu reagieren. So ergibt sich durch entsprechende Interpretationen vorliegender Bodenbelastungskarten (vgl. Kapitel 7.2) gegebenenfalls eine Kennzeichnungspflicht für den Flächennutzungsplan. Als Praxisbeispiel hat die Stadt Bottrop im Rahmen der Neuaufstellung des Flächennutzungsplanes einen Umweltleitplan aufgestellt. Er enthält zum Thema Boden alle wesentlichen Ergebnisse der digitalen Bodenbelastungskarte. In einer Beikarte zum Flächennutzungsplan sind Flächen mit Bodenbelastungen ausgewiesen und Markierungen vorhanden, die auf Böden hinweisen, die erheblich mit umweltgefährdenden Stoffen belastet sind. In den Flächennutzungsplan selbst sind Symbole für die Umweltbelange (B – Bodenschutz) eingefügt worden. Ebenfalls sind die Markierungen für die belasteten Böden in der Beikarte enthalten (BECKMANN & REINIRKENS 2005).

7.4. Ermittlung schutzwürdiger Böden

Gemäß § 1 LBodSchG sind Böden, welche die Bodenfunktionen nach § 2 Abs. 2 Nrn. 1 und 2 des BBodSchG (so genannte „natürliche Funktionen“ und „Archivfunktion“) in besonderem Maße erfüllen, besonders zu schützen. Nach § 4 LBodSchG ist ferner vor der Inanspruchnahme von nicht versiegelten, nicht baulich veränderten oder unbebauten Flächen insbesondere zu prüfen, ob vorrangig eine Wiedernutzung von bereits versiegelten, sanierten, baulich veränderten oder bebauten Flächen möglich ist. Flächenhaft schutzwürdige Böden können die Ausweisung eines Bodenschutzgebietes begründen (MUNLV 2004). Nach BauGB sind die Belange des Bodenschutzes im Umweltbericht eines Bauleitplans angemessen zu beschreiben.

Die bei der Erstellung einer BBK zusammengetragenen oder neu erhobenen Rauminformationen und Bodendaten und deren Verknüpfung in einer digitalen Konzeptkarte können eine zentrale Grundlage zur Identifizierung schutzwürdiger und naturnaher Böden darstellen. Dies

gilt sowohl für den Siedlungs- als auch für den Außenbereich. Entsprechende Auswertungskarten wurden z.B. für die Stadt Gelsenkirchen erarbeitet (IFUA 2005c).

Die vom Geologischen Dienst bereitgestellte „Karte der schutzwürdigen Böden“ (GD 2004) reicht zum einen aufgrund ihres Maßstabs von 1 : 50.000, zum anderen aufgrund der kaum berücksichtigten anthropogenen Bodenüberprägung als alleinige Datengrundlage nicht aus. Die im Maßstab 1 : 5.000 vorliegenden Bodenkarten zur Standorterkundung sowie Bodenkarten auf Grundlage der Bodenschätzung können für Auswertungen im Außenbereich mit einbezogen werden, decken jedoch die Siedlungsgebiete nicht ab.

Anhand einer digitalen Konzeptkarte als Zwischenergebnis der BBK-Bearbeitung (vgl. Kapitel 6.1.3) ist es – nach Entwicklung eines an die lokalen Gegebenheiten und ggf. an den konkreten Planungszusammenhang angepassten Bewertungskonzepts – möglich,

- eine flächendeckende, orientierende Einstufung der Naturnähe der Böden durchzuführen,
- Voreinschätzungen zur Schutzwürdigkeit vorzunehmen und
- auf dieser Basis zielgerichtete Bodenkartierungen zu planen.

Ein so erstelltes vorläufiges Bewertungskonzept liegt z.B. für die Stadt Münster vor (IFUA 2006b; GOMMER 2006).

Die flächendeckende Bewertung der Naturnähe kann zum einen der Sicherung naturnah verbliebener Böden durch vorrangige Wiedernutzung bereits erheblich überprägter Böden dienen, zum anderen Anhaltspunkte zur Beeinträchtigung der Bodenfunktionen liefern. Besondere Bedeutung zur orientierenden Einschätzung der Naturnähe kommt neben der aktuellen Flächennutzung vor allem Auswertungen zur Nutzungsgeschichte zu (IFUA 2005c).

Die im Zuge der BBK-Bearbeitung untersuchten Bodenprofile und andere geeignete Bodendaten können im Hinblick auf Schutzwürdigkeitsaspekte ausgewertet und auf Zusammenhänge mit der Charakteristik der jeweiligen homogenen Raumeinheit geprüft werden. Falls sich entsprechende Zusammenhänge nachweisen lassen, sind Prognosen zum Bodenzustand auch nicht untersuchter Standorte möglich, die zur Voreinschätzung der Schutzwürdigkeit dienen können. Kartierarbeiten für eine differenzierte Bewertung lassen sich hierdurch steuern und eingrenzen.

8. Literatur

- AbfKlärV (1992): Klärschlammverordnung vom 15.04.1992, zuletzt geändert am 26.11.2003 (BGBl. I, S. 2378)
- AG BBK STÄDTETAG NRW (2004): Einfach durchzuführende Maßnahmen zur Gefahrenabwehr bei flächenhaft schädlichen Bodenveränderungen / Ordnungsbehördliche Konsequenzen aus Prüfwertüberschreitungen; Handreichung als Anregung für die behördliche Praxis der Arbeitsgruppe „Digitale Bodenbelastungsarten“ des Städtetages NRW
- AG BODEN (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung; Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden der Staatlichen Geologischen Dienste Landesämter und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe; 5. Auflage, Hannover
- AHU (2005): Vorstudie zur Ergänzung digitaler Bodenbelastungskarten für Unterböden; Gutachten im Auftrag des Landesumweltamtes NRW, Essen; 63 S.;
http://www.lanuv.nrw.de/boden/boschu-lua/BBK_U_Vorstudie.pdf
- AK STADTBÖDEN (1997): Empfehlungen des Arbeitskreises Stadtböden der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft für die bodenkundliche Kartierung urban, gewerblich, industriell und montan überformter Flächen (Stadtböden) Teil 1: Feldführer + Teil 2: Handbuch; 2. Auflage; Sekretariat Büro für Bodenbewertung, Kiel
- AKIN, H., SIEMES, H. (1988): Praktische Geostatistik – Eine Einführung für den Bergbau und die Geowissenschaften; Springer Verlag Berlin
- BAUMGARTEN, H., FEYK, M. HORNIG, G., KERSTING, A., PINGEL, P. und SCHRAPS, W.-G. (1997): Stadtbodenkartierung Krefeld – Praxisnahe Bewertung von Bodenfunktionen in einem urban-industriell geprägten Raum. Mitt. Dtsch. Bodenkdl. Ges., 85, S. 1095-1098
- BANG, M., GIERSE, R. (1993): Bodenbericht. 76 S.; Wuppertal, unveröffentlicht
- BBodSchG (1998): Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz - BBodSchG) vom 17. März 1998. Bundesgesetzblatt, Teil I, Nr. 16, 502-510.
<http://igsvtu.lanuv.nrw.de/vtu/oberfl/de/dokus/5/dokus/50101.pdf>
- BBodSchV (1999): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung vom 12. Juli 1999. Bundesgesetzblatt, Teil I, Nr. 36, 1554-1582.
<http://igsvtu.lanuv.nrw.de/vtu/oberfl/de/dokus/5/dokus/50102.pdf>
- BECKMANN, S.; REINIRKENS, P. (2005): Schädliche Bodenveränderungen abseits von Altablagerungen und Altstandorten in der Bauleitplanung – Beispiel Bottrop. Tagungsband der Fachtagung „Vollzug des Bodenschutzes“ am 11.02.2005 in Wuppertal. Hrsg.: MUNLV NRW. Düsseldorf; S. 106 -111.

- BERIEF, K.J. (2005a): Ehemalige Gewässerläufe als Altlastenflächen; Tagungsband der Fachtagung „Vollzug des Bodenschutzes“ am 11.02.2005 in Wuppertal. Hrsg.: MUNLV NRW. Düsseldorf; S. 112-117.
http://www.plan-zentrumumwelt.de/download/Kurzreferat_BeitragsBerief.pdf
- BERIEF, K.J. (2005b): Kokereispezifische Kontaminationen in Bachauen der Stadt Dortmund. Tagungsband der Fachtagung „Vollzug des Bodenschutzes“ am 11.02.2005 in Wuppertal. Hrsg.: MUNLV NRW. Düsseldorf; S. 128-129.
- BLUME, H.-P. (Hrsg.) (2004): Handbuch des Bodenschutzes; Ecomed Verlag, Landsberg/Lech, 3. Auflage
- BOYSEN, P. (1992): Schwermetalle und andere Schadstoffe in Düngemitteln. Texte Umweltbundesamt 55/92, Berlin
- ERTL, H., BURGHARDT, W. (2003): Muster der montanindustriell verursachten Schadmetallgehalte in einer Grünfläche zwischen zwei Wohnblöcken – ein Beitrag zur Kartierung der Bodenbelastung in Städten; in Mitteilungen der Deutschen bodenkundlichen Gesellschaft; Band 102
- FLIEGNER, M., REINIRKENS, P. (1993): Vorliegende Referenzwerte für PAK in Böden Nordrhein-Westfalens.- Bodenschutzzentrum des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.). 82 S. + Anhang; Oberhausen.
- FRÜND, H.-C., MEUSER, H. (2000): Bodenfunktionen. WEKA Praxislösungen Boden schützen, Altlasten sanieren, Bd. 2, Nr. 5.3, S. 1-82. Fachverlag für technische Führungskräfte, Kissing
- GARBE, M. (2002): Untersuchung von Siedlungsböden im Rahmen der Fortführung der Digitalen Bodenbelastungskarte Wuppertal. Diplomarbeit an der Fachhochschule Osnabrück, Studiengang Bodenwissenschaften.
- GARBE, M., GIERSE, R., REINIRKENS, P. (2003): Digitale Bodenbelastungskarte Wuppertal – Fortführung Siedlungsbereich; Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft; Bd. 102, Heft 2; Frankfurt/Oder.
- GD Geologischer Dienst NRW (2003): Fachbeitrag des Geologischen Dienstes NRW zur Boden-Belastungskarte NRW 1 : 50.000 - Natürliche Haupt- und Spurenelemente und wichtige Bodenkennwerte von Locker- und Festgesteinen in Nordrhein-Westfalen.
<http://www.gd.nrw.de> unter „Aktuelles“ und weiter „Projekte“
- GD Geologischer Dienst NRW (2004): Auskunftssystem Bodenkarte 1:50 000 – Karte der schutzwürdigen Böden. 2. überarbeitete Auflage. Hrsg.: Geologischer Dienst NRW. CD-ROM. Krefeld.
- GIERSE, R., REINIRKENS, P. (2000): Anwendungsmöglichkeiten von Bodenbelastungskarten in der kommunalen Praxis am Beispiel der Stadt Wuppertal, in UBA-Texte 49/00, S. 108 -118; Berlin.
- GOMMER, S. (2006): Modifikation und Anwendung von Methoden für die funktionale Bodenbewertung von Stadtböden am Beispiel der Stadt Münster; Diplomarbeit FH Osnabrück

- GRENZIUS, R. (1987): Die Böden Berlins (West) – Klassifizierung, Vergesellschaftung und ökologische Eigenschaften. Dissertation TU Berlin
- HEIMANN, S. (2005): Multitemporale Ermittlung und Parametrisierung von Nutzungsabfolgetypen städtischer Wohngebietsflächen am Beispiel der Stadt Herne; Diplomarbeit FH Osnabrück
- HEINRICH, I. (2005): Ermittlung von Schwermetallgehalten in Gartenböden verschiedener Nutzungsklassen im Rahmen der Bodenbelastungskarte Lippe; Diplomarbeit FH Osnabrück
- HEINRICH, U. (1992): Zur Methodik der räumlichen Interpolation mit geostatistischen Verfahren: Untersuchungen zur Validität flächenhafter Schätzungen diskreter Messungen kontinuierlicher raumzeitlicher Prozesse; Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden
- HILLER, D.A., MEUSER, H. (1998): Urbane Böden; Springer-Verlag, Berlin Heidelberg
- HOLLAND, K. (1995): Die Böden Stuttgarts. Schriftenreihe des Amts für Umweltschutz der Stadt Stuttgart, Heft 3/1995
- HÖKE, S., WALLOSSEK, P. (1995): Zusammenhänge zwischen Schwermetallgehalten in Oberböden und den Stadtstrukturen der Stadt Halle/Saale. Mitt. Dtsch. Bodenkdl. Ges., 76, S. 1073-1076
- IFUA (2006a): Digitale Bodenbelastungskarte für den Siedlungsbereich in Oberhausen – Phase 1 (Immission); IFUA-Projekt-GmbH Bielefeld; Gutachten im Auftrag der Stadt Oberhausen; in Bearbeitung
- IFUA (2006b): Konzept zur Bodenfunktionsbewertung in Münster, IFUA-Projekt-GmbH Bielefeld; Gutachten im Auftrag der Stadt Münster; unveröffentlicht
- IFUA (2005a): Bodenzustandskarte Hamm Nord, Projektbericht; IFUA-Projekt-GmbH Bielefeld; Gutachten im Auftrag der Stadt Hamm; unveröffentlicht
- IFUA (2005b): Digitale Bodenbelastungskarte Duisburg – Siedlungsbereich (Immissionspfad); Sachstandsbericht; IFUA-Projekt-GmbH Bielefeld; Gutachten im Auftrag der Stadt Duisburg; unveröffentlicht
- IFUA (2005c): Digitale Bodenbelastungskarte Gelsenkirchen – Siedlungsbereich; Abschlussbericht; IFUA-Projekt-GmbH Bielefeld; Gutachten im Auftrag der Stadt Gelsenkirchen; unveröffentlicht
- IFUA (2005d): Digitale Bodenbelastungskarte Mülheim – Testgebiet des Siedlungsbereichs; 3. Sachstandsbericht; IFUA-Projekt-GmbH Bielefeld; Gutachten im Auftrag der Stadt Mülheim an der Ruhr; unveröffentlicht
- IFUA (2005e): Digitale Bodenbelastungskarte Münster - Siedlungsbereich; Zwischenbericht; IFUA-Projekt-GmbH, Bielefeld; Gutachten im Auftrag der Stadt Münster; unveröffentlicht

- IFUA (2004): Digitale Bodenbelastungskarte Stadt Lengerich – Außen- und Innenbereich; Abschlussbericht; IFUA-Projekt-GmbH Bielefeld; Gutachten im Auftrag des Kreises Steinfurt; unveröffentlicht
- IFUA (2002a): Grundlagen und Empfehlungen zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten im Siedlungsbereich; Gutachten im Auftrag des Landesumweltamtes Nordrhein-Westfalen unter Mitarbeit von Prof. Meuser (FH Osnabrück) und der ahu AG, Aachen
- IFUA (2002b): Digitale Bodenbelastungskarte Duisburg – Abschlussbericht Testgebiet; IFUA-Projekt-GmbH Bielefeld; Gutachten im Auftrag der Stadt Duisburg; unveröffentlicht
- IFUA (2000): Digitale Bodenbelastungskarte Duisburg; 2. Sachstandsbericht – Rahmenbedingungen und erste Ergebnisse; IFUA-Projekt-GmbH, 12/2000, Bielefeld; Gutachten im Auftrag der Stadt Duisburg
- ISB (2006): Digitale Bodenbelastungskarte Kreis Coesfeld - Teilabschnitt „Heubachniederung / Merfelder Bruch“. Dokumentation. Witten. Gutachten im Auftrag des Kreises Coesfeld
- ISB (2005a): Digitale Bodenbelastungskarte Stadt Essen Siedlungsbereich – Abschlußbericht: Testgebiet: Stadtbezirk 6, Gutachten im Auftrag der Stadt Essen.
- ISB (2005b): Digitale Bodenbelastungskarte Stadt Bochum Fortschreibung Siedlungsbereich – Dokumentation Testgebiet, Gutachten im Auftrag der Stadt Bochum.
- ISB (2004a): Digitale Bodenbelastungskarte Stadt Wuppertal – Innenbereich (BBK-Innen) – Übertragung der Ergebnisse aus dem Testgebiet auf das Stadtgebiet Teil 1, Gutachten im Auftrag der Stadt Wuppertal.
- ISB (2004b): Digitale Bodenbelastungskarte Stadt Bochum Teil 1: Außenbereich – Dokumentation der Ergebnisse, Gutachten im Auftrag der Stadt Bochum.
- ISB (2003): Digitale Bodenbelastungskarte Stadt Wuppertal – Siedlungsböden (Testgebiet) – Dokumentation der Ergebnisse, Gutachten im Auftrag der Stadt Wuppertal.
- ISB (2002): Digitale Bodenbelastungskarte Stadt Essen – Abschlußbericht: Ergebnisse der ergänzenden Untersuchungen, Gutachten im Auftrag der Stadt Essen.
- ISB (2000): Digitale Bodenbelastungskarte Stadt Wuppertal – Abschlußbericht: Ergebnisse der ergänzenden Untersuchungen, Gutachten im Auftrag der Stadt Wuppertal.
- KLEMMER, P., STEIN, D. (1988): Instandhaltung von Kanalisationen. Z. für Angewandte Umweltforschung, Sonderheft 1/1988, Analytica Verlag, Berlin
- LABO (2003): Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden. In: Rosenkranz et al. (Hrsg.): Bodenschutz Ergänzbare Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser. 9006. Erich Schmidt Verlag, Berlin.
<http://www.labo-deutschland.de> unter „Veröffentlichungen“

- LABO (2004): Geostatistische und statistische Methoden und Auswerteverfahren für Geodaten mit Punkt- bzw. Flächenbezug.
<http://www.labo-deutschland.de> unter „Veröffentlichungen“
- LANDWIRTSCHAFTSKAMMER (2005): Empfehlungen für die Düngung von Acker- und Grünland. Hrsg.: Landwirtschaftskammer NRW. Stand: Feb. 2005.
<http://www.landwirtschaftskammer.de> unter Fachangebote - Ackerbau – Düngung - Kalkung
- LBodSchG (2000): Gesetz zur Ausführung und Ergänzung des Bundes-Bodenschutzgesetzes in Nordrhein-Westfalen vom 30. Mai 2000. Landesbodenschutzgesetz für das Land Nordrhein-Westfalen (LBodSchG). Gesetz- und Verordnungsblatt Nr. 29, S. 439-444.
<http://igsvtu.lanuv.nrw.de/vtu/oberfl/de/dokus/5/dokus/50201.pdf>
- LOZAN, J.L., KAUSCH, H. (2003): Angewandte Statistik für Naturwissenschaftler. 3. Auflage, Hamburg.
- LUA – Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (2006b): Anleitung zur Ermittlung und Abgrenzung von Gebieten mit erhöhten Schadstoffgehalten in Böden (GE-Anleitung). Merkblätter 57. Hrsg.: Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Essen.
<http://www.lanuv.nrw.de/veroeffentlichungen/merkbl/merk57/merk57start.htm>
- LUA – Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (2006a): Handlungsempfehlungen zu Maßnahmen der Gefahrenabwehr bei schädlichen stofflichen Bodenveränderungen in der Landwirtschaft. Merkblätter 55. Hrsg.: Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Essen.
<http://www.lanuv.nrw.de/veroeffentlichungen/merkbl/merk55/merk55start.htm>
- LUA – Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (2005): FIS StoBo - Das Fachinformationssystem Stoffliche Bodenbelastung in NRW. Hrsg.: Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Essen.
<http://www.lanuv.nrw.de/boden/boschu-lua/fisstobo.html>
- LUA – Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (2004): Anforderungen an das Aufbringen und Einbringen von Materialien auf oder in den Boden gemäß § 12 Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung. Merkblätter 44. Hrsg.: Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Essen.
<http://www.lanuv.nrw.de/veroeffentlichungen/merkbl/merk44/merk44start.htm>
- LUA – Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (2003): Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Oberböden Nordrhein-Westfalens - Auswertung aus dem Fachinformationssystem Stoffliche Bodenbelastung (FIS StoBo).
http://www.lua.nrw.de/boden/bodenschutz/HGW_Internet_2003-3.pdf
- LUA – Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (2001): Arbeitshilfe für flächendeckende Erhebungen über Altstandorte und Altablagerungen; Materialien zur Altlastensanierung und zum Bodenschutz (MALBO), Band 15; Essen
http://www.lanuv.nrw.de/veroeffentlichungen/malbo/malbo15_web.pdf

- LUA – Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (2000): Leitfaden zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten, Teil I: Außenbereiche. Merkblätter des LUA, Nr. 24, Essen
http://www.lanuv.nrw.de/veroeffentlichungen/merkbl/merkbl24_web.pdf
- MEUSER, H., BLUME, H.-P. (2004): Anthropogene Böden; in BLUME, H.-P. (Hrsg.): Handbuch des Bodenschutzes; Ecomed Verlag, Landsberg/Lech, 3. Auflage, S. 573-592
- MEUSER, H. (2002): Anthropogene Gesteine; in BLUME, H.-P. (Hrsg.): Handbuch des Bodenschutzes; Ecomed Verlag, Landsberg/Lech, 3. Auflage, S. 1-9
- MEUSER, H. (1996a): Schadstoffpotential technogener Substrate in Böden urban-industrieller Verdichtungsräume; Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde, 159, S. 621-628; Weinheim
- MEUSER, H. (1996b): Ein Bestimmungsschlüssel für natürliche und technogene Substrate in Böden städtisch-industrieller Verdichtungsräume; Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde, 159, S. 305-312; Weinheim
- MEUSER, H., WÜSTEFELD, M. und BAILLY, F. (1996): Ausbildungsmechanismen von Schwermetall-Tiefenprofilen in Böden der Essener Ruhraue. Z. Wasser und Boden, 8, S. 60-63
- MSP – Büro Mark, Schewe und Partner (2001): Ermittlung von Flächen mit Bodenbelastungspotenzialen. Arbeitspapier, unveröffentlicht
- MSWKS – Ministerium für Städtebau und Wohnen, Kultur und Sport des Landes Nordrhein-Westfalen & MUNLV – Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (2005): Gemeinsamer Runderlass zur Berücksichtigung von Flächen mit Bodenbelastungen, insbesondere Altlasten, bei der Bauleitplanung und im Baugenehmigungsverfahren (Altlastenerlass); veröffentlicht im Ministerialblatt des Landes Nordrhein-Westfalen Nr. 24 vom 27. Mai 2005
<http://sgv.im.nrw.de/mbf/frei/2005/Ausg24/amb24.htm>
- MUNLV – Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (2003): Richtlinie über die Gewährung von Zuwendungen für Maßnahmen des Bodenschutzes (RdErl. des MUNLV vom 06.10.2003 - IV-6 – 1.7–02).
<http://igsvtu.lanuv.nrw.de/vtu/oberfl/de/dokus/5/dokus/52004.doc>
- MUNLV – Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (2004): Leitfaden zur Ausweisung von Bodenschutzgebieten. Hrsg.: Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen.
- PANKRATZ, E. (2005): Die Bereitstellung von Bodendaten für die Bodenbelastungskarte und das kommunale Bodeninformationssystem der Stadt Herne. Tagungsband der Fachtagung „Vollzug des Bodenschutzes“ am 11.02.2005 in Wuppertal. Hrsg.: MUNLV NRW. Düsseldorf.
http://www.plan-zentrumumwelt.de/download/Kurzreferat_BeitragPankratz.pdf

- PERONNE, O. (2003): Pedogene Arsenanreicherungen in grundwasserbeeinflussten Böden in der Heubach Niederung (Kreis Recklinghausen).- Unveröffentlichte Diplomarbeit an der Ruhr-Universität Bochum.
- REINIRKENS, P., PERONNE, O., HÜTTER, B. (2003): Pedogene Arsenanreicherungen in Brauneisengleyen im südwestlichen Münsterland (Kreis Recklinghausen).- Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Band 102 (Heft 2). S. 545 – 546; Oldenburg.
- RIES, L. (1996): Geostatistik zur Gefahrenabschätzung von Altlasten – Möglichkeiten und Grenzen der Methodik; S. 113-138; in Altlasten-Bewertung: Datenanalyse und Gefahrenbewertung; AbfallPraxis; Aktualisierte Beiträge des Symposiums Conlimes ,94 vom 14. bis 16. Dezember 1994; Landsberg
- RITTER, M. (2005): Ermittlung der Ursachen von Bodenbelastungen in Siedlungsböden bei der Erstellung der digitalen Bodenbelastungskarte (BBK) Münster; Diplomarbeit FH Osnabrück
- SCHRAPS, G., KERSTING, A., PINGEL, P., SCHNEIDER, S., BAUMGARTEN, H., BURGHARDT, W., HILLER, D.A., KÖPPNER, T., OHLEMANN, S. und METZGER, F. (2000): Stoffbestand, Eigenschaften und räumliche Verbreitung urban-industrieller Böden – Ergebnisse aus dem Projekt Stadtbodenkartierung Oberhausen-Brücktorviertel. Bericht des Geologischen Dienstes, Krefeld
- SCHLICHTING, E., BLUME, H.-P., STAHR, K. (1995): Bodenkundliches Praktikum, 2. Auflage, Blackwell, Berlin
- SOWA, E., NESTLER, W., LEIBENATH, C. und UHLMANN, W. (1992): Schutzgutbezogene Folgenutzung von Rieselfeldern. In: Rosenkranz, D. et al.: Bodenschutz. Ergänzendes Handbuch, Nr. 7150, S. 1-38, Erich Schmidt Verlag, Berlin
- STALLMANN, K. (2005): Untersuchungen zum Einfluss technogenen Bodenskeletts auf den Schwermetallgesamtgehalt von Gartenböden in Bochum; Bachelor-Arbeit; Fakultät für Geowissenschaften; Ruhr-Universität Bochum.
- STOYAN, D., STOYAN, H., JANSEN, U. (1997): Umweltstatistik – Statistische Verarbeitung und Analyse von Umweltdaten; Teubner Verlagsgesellschaft, Stuttgart
- SUKOPP, H., WITTIG, R. (Hrsg.) (1998): Stadtökologie. Gustav-Fischer-Verlag, Stuttgart
- SU-BodAV NRW (2002): Verordnung über Sachverständige und Untersuchungsstellen für Bodenschutz und Altlasten vom 23.06.2002.
<http://igsvtu.lanuv.nrw.de/vtu/oberfl/de/dokus/5/dokus/50203.pdf>
- UNGER, H.-J., PRINZ, D. (1997): Bodenbelastung an Straßen mit Schwermetallen und organischen Fremdstoffen. In: Rosenkranz, D. et al.: Bodenschutz. Ergänzendes Handbuch, Nr. 7320, S. 1-65, Erich Schmidt Verlag, Berlin
- VDI – Verein Deutscher Ingenieure (1996): Messung partikelförmiger Niederschläge - Bestimmung des Staubniederschlags mit Auffanggefäßen aus Glas (Bergerhoff-Verfahren) oder Kunststoff. Beuth Verlag, Berlin

- VDLUFA – Verband der landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalten
(1996): Methodenhandbuch Umweltanalytik, VDLUFA-Verlag
- WESSING, U. (2001): Erstellung einer Bodenkonzeptkarte im Rahmen der Bodenbelastungskarte für den Innenbereich am Beispiel des Testgebietes Duisburg-Süd; Diplomarbeit FH Osnabrück

Anhang

A.1 Verzeichnis der Abkürzungen

Abkürzung	Erläuterung bzw. Definition
AbfKlärV	Klärschlammverordnung
ALK	Amtliches Liegenschaftskataster
As	Arsen
ATKIS	Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem
BBK	Digitale Bodenbelastungskarte
BBodSchG	Bundes-Bodenschutzgesetz
BBodSchV	Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung
Be	Beryllium
BImSchV	Bundes-Immissionsschutzverordnung
BioAbfV	Bioabfallverordnung
BK	Bodenkarte
C	Kohlenstoff
C/N	Kohlenstoff / Stickstoff – Verhältnis
Cd	Cadmium
CKW	Chlorierte Kohlenwasserstoffe
Cr	Chrom
Cu	Kupfer
DGK	Deutsche Grundkarte; DGM 5: Karte im Maßstab 1:5.000
DV	Datenverarbeitung
FIS StoBo	Fachinformationssystem Stoffliche Bodenbelastung
GD	Geologischer Dienst
GE	Gebiete mit erhöhten Schadstoffgehalten
GIS	Geographisches Informationssystem
GLA	Geologisches Landesamt (jetzt GD)
LANUV	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz
LBodSchG	Landesbodenschutzgesetz
LUA	Landesumweltamt
MKW	Mineralölkohlenwasserstoffe
Ni	Nickel
PAK	polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe
Pb	Blei
PCB	polychlorierte Biphenyle
PCDD/F	polychlorierte Dibenzodioxine und -furane
pH	negativer dekadischer Logarithmus der Wasserstoffionen-Konzentration; Maß für den Säuregrad
RVR	Regionalverband Ruhr
TK	Topographische Karte; TK 25: Karte im Maßstab 1:25.000
Tl	Thallium
TM	Trockenmasse
TOC	Total organic carbon
V	Vanadium
VDI	Verband deutscher Ingenieure
VDLUFA	Verband der landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalten
Zn	Zink

A.2 Bodenansprache, Probennahme und Analytik

A.2.1 Flächenbegehung

Um die in der Vorauswahl festgelegten Probennahmeflächen (Standorte) auf ihre Tauglichkeit zu überprüfen, findet eine Flächenbegehung statt, bei der an Hand eines Formblattes wichtige Standortgegebenheiten protokolliert werden. In Abbildung A1 ist ein Formblatt beispielhaft dargestellt.

Aus den Vorarbeiten sind zu übernehmen:

- Standortname und -nummer
- Flurstück-Nr., Eigentümer, Adresse
- Hoch- und Rechtswert (siebenstellig)
- Anstehende Einheit oberflächennahen Gesteins (gesondert zu beachten: geogene Auffälligkeiten wie Vererzungen)
- Überschwemmungseinfluss
- Benachbarte Emittenten
- Nutzung oder Nutzungsabfolge
- Baualter.

Für jeden Standort sind vor Ort zu erfassen:

- Aufnahmedatum
- Name des Bearbeiters
- Alter der umgebenden Bebauung.

Für jeden Nutzungstyp (ggf. unterteilt in Subnutzungstypen) dieses Standortes sind zu erfassen:

- Aktuelle Nutzung (ggf. Art der Subnutzung)
- Flächengröße (m²)
- Relief (Hangneigung, Exposition, Form)
- Vegetation und Bodenbedeckungsgrad
- Zugänglichkeit für die spätere Beprobung
- Bodenbelastungshinweise (z.B. Gerüche, Wasseraustritte, Setzungen, Merkmale von Bodenabtrag- oder Bodenauftrag, Verwehungen, Oberflächenauffälligkeiten, Vegetationsschäden)
- Sonstige Bemerkungen.



Zur Unterstützung der nächsten Arbeitsschritte empfiehlt es sich, mehrere Fotos vom Standort zu machen, diese zu nummerieren und die jeweilige Blickrichtung des Fotografen in die Pläne einzuzeichnen.

Es bietet sich an, die exakte Festlegung der zu untersuchenden Flächen nach der Flächenbegehung im Büro durchzuführen. Dabei sind die besonderen Anforderungen an geeignete Probennahmestellen

der verschiedenen Arbeitsansätze zu berücksichtigen. Die jeweilige Einzelfläche des Untersuchungsstandortes wird nach folgenden Kriterien ausgewählt:

- Art der Subnutzung: Die ausgewählte Subnutzung sollte repräsentativ für die Untersuchungsfläche sein (meistens Rasen, Beet, Gehölzfläche)
- Größe: Eine Mindestgröße von 200 m² sollte nicht unterschritten werden

Die Lage der ausgewählten Einzelflächen kann sich ggf. nach Sichtung der Leitungspläne der Versorgungsunternehmen verändern.

Für jede Untersuchungsfläche ist die Zustimmung der Grundstückseigentümer einzuholen.

Abbildung A1: Formblatt Flächenbegehung**Nr. der Probennahmestelle:** ____**1. Angaben zum Untersuchungsprogramm**

Bearbeiter:		Datum:	

2. Angaben zur Untersuchungsfläche (Standort)

Bezeichnung und Nummer des Standortes:	
Baualter:	
Flurstücksnummer:	
Eigentümer:	
Adresse:	

3. Koordinatenanalog eingemessen ☐mit GPS gemessen ☐

Gauß-Krüger-Rechtswert (7 stellig):	
Gauß-Krüger-Hochwert (7 stellig):	

4. Angabe zu verwendeten Karten

TK 50 Blatt-Nr.:		Flurkarte Nr.:	
TK 25 Blatt-Nr.:		BK 50 Blatt-Nr.:	
DGK5 Blatt-Nr.:		GK 25 Blatt-Nr.:	

5. Angaben zur Probennahmefläche

Überschwemmungseinfluss ¹⁾	Ausgangsgestein ¹⁾	Emittenten		Standortgeschichte / Nutzungsabfolge	
Aktuelle Nutzung				Alter der Bebauung	
Subnutzungstyp	1	2	3	4	5
Art der Subnutzung					
Flächengröße (m ²) ²⁾					
Relief ²⁾					
Vegetation					
Bodenbedeckungsgrad					
Zugänglichkeit					
Bodenbelastungshinweise					
Bemerkungen					
Proben-Nr.					
1) aus Kartengrundlagen entnommen 2) geschätzt					

A.2.2 Feldansprache (Überblickssondierung)

Zunächst werden Überblickssondierungen durchgeführt und bodenkundlich erfasst (Feldkartierung). Die Probennahme erfolgt direkt im Anschluss (vgl. Kapitel A.2.3).

Bei der Feldansprache sollte sichergestellt sein, dass diese nur von feldbodenkundlich geschulten Personen durchgeführt wird, die sich insbesondere auch mit den stadtypischen Substraten auskennen (vgl. Kap. 6.5).

Grundlage der Kartierung sind die Bodenkundliche Kartieranleitung (AG Boden 2005) und die Stadtbodenkartieranleitung (AK STADTBÖDEN 1997). Eine Zuhilfenahme der Stadtbodenkartieranleitung ist erforderlich, weil in der neusten Fassung der Bodenkundlichen Kartieranleitung nicht alle in Böden der urban-industriellen Verdichtungsräume relevante Kriterien übernommen wurden. Die Bodenansprache erfolgt grundsätzlich horizont- bzw. schichtweise. Innerhalb einer Untersuchungsfläche können mehrere Bohrungen auf einem Formblatt zusammengefasst werden. Schwanken dabei die Horizontmächtigkeiten, sollten entsprechende Spannweiten dokumentiert werden (z.B. Horizont X mit Tiefe 20/30 cm bis 60 cm). Gegebenenfalls ist für jeden Subnutzungstyp ein gesondertes Formblatt auszufüllen.

Verwendet wird ein Formblatt, das die folgenden Parameter enthalten sollte (vgl. Abbildung A2):

a) Allgemeine Kopfdaten:

- Name und die Nr. des Standorts
- Aufnahmedatum, -zeit
- Witterungsverhältnisse
- Name des Bearbeiters

b) Fachspezifische Kopfdaten:

- Humusform bei Waldstandorten (Mächtigkeiten und Symbole der organischen Auflagehorizonte L und O, Name der Humusform)
- Grundwasserstand / Stauwasserstand (vereinfacht: Test am Bohrstock)
- Bodentyp
- Bemerkungen

c) Horizontbezogene Daten:

- Tiefe (cm) ¹⁾
- Horizontsymbol
- Farbe
- Geruch
- Carbonat- und Sulfidgehalt (HCl-Test)

- Redoximorphie (z.B. Rostflecken, Gerüche)
- Bodenart (Fingerprobe)
- Skelettgehalt (natürlich und technogen)
- Zusammensetzung technogener Substrate mit Mengenangaben
- Humusgehalt
- Bemerkungen

¹⁾ Bei der Abgrenzung der Horizonte bzw. Schichten des Unterbodens sollte großzügig verfahren werden. Geringmächtige Horizonte sind ggf. zusammenzufassen. Es kann durchschnittlich von drei Horizonten bis 100 cm Tiefe ausgegangen werden.

Die abgelagerten Substrate liegen meistens als Gemengeformen vor. Die exakte Identifikation der Substrate erfordert feldbodenkundliche Kenntnisse und Erfahrung. Für die Erfassung der natürlichen und vor allem technogenen Substrate wird vorgeschlagen, einen Bestimmungsschlüssel (MEUSER 1996b, AK STADTBÖDEN 1997, MEUSER 2002) zu verwenden, falls Substrate nicht bekannt sind. Die Quantifizierung der einzelnen Substrate sollte relativ genau erfolgen (Einzelfund bzw. als Vol.-% in 5-er oder 10-er Schritten).

A.2.3 Probennahme (Mischprobe)

Die Probennahme zur Gewinnung einer Mischprobe findet in Anlehnung an Anhang 1 der BBodSchV statt. Von den vorgegebenen, nutzungsbezogenen Bodentiefen kann abgewichen werden, wenn sich im Einzelfall aus Schichtung und Horizontierung Abweichungen ergeben und diese dokumentiert werden. Auf Grund der im Bodenprofil nicht mit statischen Tiefen deckungsgleichen Substratverteilung und der damit in Verbindung stehenden Schadstoffsituation ist im stadtbodenkundlichen Bereich ein Vorgehen alleine nach vorgegebenen Tiefen nicht zweckmäßig. Dies gilt nicht nur für den Bereich der Bearbeitungshorizonte Ap, E, R, sondern für den hier zu betrachtenden Tiefenbereich bis 100 cm generell. Eine alleinige Differenzierung in den humosen Oberboden und den gegebenenfalls technogen geprägten Unterboden wird als nicht ausreichend angesehen (vgl. auch LUA 2006b). Im Unterboden sollten deutliche Substratwechsel oder sonstige Auffälligkeiten stets getrennt beprobt werden. Eine Trennung zwischen humosem Oberboden und den Unterböden ist aber in jedem Fall durchzuführen.



Die Kenndaten der Mischprobe (Proben-Nr.) werden wie die Kenndaten der Probennahmestellen in das Formblatt aufgenommen.

Bodentiefen

Für die Gewinnung der Bodenproben sollten humose Oberböden (A-Horizonte) und Unterböden getrennt betrachtet werden (Ausnahme: zusätzliche Bodenproben für den Immissionsansatz, s.u.). Als Annahmen für die Mächtigkeit der Oberböden können gelten:

Rasenflächen	10 bis 15 cm
Rabatten- und Gehölzflächen	20 bis 30 cm
Garten	30 bis > 40 cm
Brachland (Hochstauden, Vorwald)	10 bis 20 cm
Acker	ca. 30 cm
Grünland	10 bis 15 cm
Wald	5 bis 10 cm plus organische Auflagehorizonte (Mischprobe aus Of- und Oh-Horizont, Laubauflage wird verworfen)

Bei manchen Nutzungsarten, die jedoch bei der Bearbeitung der BBK Siedlungsbereich nur selten betrachtet werden, existiert kein humoser Oberboden. Auch hier ist der obere Horizont bzw. sind die oberen Horizonte getrennt zu beproben.

Als Mächtigkeiten werden angenommen:

Sandspielbereiche	Sand	30 bis 50 cm ¹⁾
	Dränschicht	15 bis 25 cm
Tennenplätze	Deckschicht	ca. 5 cm ²⁾
	Tragschicht(en)	15 bis 30 cm
Brachflächen mit Pioniervegetation		Ai-Horizont ca. 3 cm, z.T. fehlend ²⁾

¹⁾ Probennahme optional

²⁾ Probennahme nur sinnvoll, wenn ausreichend Material gewonnen werden kann

Für alle beschriebenen Nutzungsarten lässt sich somit der Schadstoffgehalt der Oberböden getrennt von dem der Unterböden bewerten und digital darstellen. Bei humusfreien und nicht nach Horizonten differenzierbaren Nutzungsarten (z.B. Abgrabungsflächen) sollte für die Darstellung der Oberböden der oberste abgrenzbare Horizont (Maximaltiefe 20 cm) genommen werden.

Feldansprache und Probennahme des Unterbodens erfolgen horizont- bzw. schichtbezogen. Inwieweit später Unterbodenhorizonte wieder für die Analytik zusammengefasst werden können, entscheidet sich bei der Probenauswahlbesprechung. Anzustreben ist, dass die Unterböden nur in einer Karte digital erfasst werden.

Die zu betrachtende Gesamttiefe liegt bei maximal 100 cm. Ein flachgründigeres Vorgehen findet bei Festgestein oder anderen Bohrhindernissen (z.B. Fundamente) statt. Eine Einbeziehung des Unterbodens oder des Aufschüttungssubstrates bis maximal 100 cm ist dadurch begründbar, dass im Siedlungsbereich häufig von Auftragsböden auszugehen ist, deren Belastung substratbedingt nicht mit der Tiefe abnehmen muss. Außerdem kann durch die folgenden Prozesse der Belastungsgrad der Oberböden mittelfristig beeinflusst werden:

- Kontaminierter Unterboden wird durch Tiere nach oben verfrachtet (Bioturbation).
- Kontaminierter Unterboden wird durch menschliche Tätigkeit nach oben verfrachtet (z.B. durch Baumaßnahmen an Leitungstrassen).
- Schadstoffe werden bei grundwasserbeeinflussten Böden kapillar nach oben verfrachtet.
- Schadstoffe werden durch Gasdiffusion nach oben verfrachtet.

Die Gewinnung der zusätzlichen **immissionsbezogenen Bodenproben** erfolgt tiefenstufenbezogen, d.h. in einheitlichen, von der Bodenhorizontierung unabhängigen Tiefenstufen:

- 0-10 cm Tiefe
- 10-30 cm Tiefe

Wenn im Zuge von Bodenuntersuchungen zur Klärung des Immissionseinflusses bereits Ergebnisse vorliegen, die kleinere Tiefenintervalle (z.B. 5 cm Schritte) berücksichtigt haben, sollte auf diese Daten zurückgegriffen werden, da ein zu erwartender Einfluss der Immission auf diese Weise ebenfalls gut abgegriffen werden kann.

Um festzustellen, ob die für die immissionsbezogene Probennahme ausgewählte Fläche überhaupt geeignet ist, sollten zuvor ca. drei Bohrungen bis zu maximal 100 cm Tiefe abgeteuft werden (Feststellung technogener Substrate).

Größe der Probennahmeflächen

Die einzelne Probennahmefläche sollte mindestens eine Fläche von 500 m² aufweisen, da sonst eine Darstellbarkeit der Einzelflächen in der digitalen BBK nicht mehr realisierbar ist. Für den Immissionsansatz können gegebenenfalls auch Flächen ab 200 m² Berücksichtigung finden. Sehr kleine Flächen (z.B. eingefasste Sandkästen) werden nicht erfassbar. Mehrere kleinere Einzelflächen, die räumlich nicht direkt aneinander angrenzen, aber einen vergleichbaren Bodenaufbau aufweisen (z.B. Rabatten, die durch Rasenflächen getrennt sind oder einzelne Hausgärten innerhalb eines Wohngebietes), können jedoch bei der Kartierung und Beprobung zusammengefasst werden. Die einzelne Beprobungsfläche sollte 1 ha nicht überschreiten.

Größere Flächen als 1.000 m² sind ungünstig, da es beim Immissions- und raumanalytischen Ansatz letztlich Ziel ist, Punktdaten als Stützstellen für die Interpolation zu gewinnen.

Anzahl der Bohrungen

Die Mischproben aller Probennahmeflächen sind aus dem Bohrgut von jeweils 10 bis 20 Einzelbohrungen zu bilden, wobei mindestens 1 bis 2 kg Bodenmaterial gewonnen werden müssen. Die Einzelbohrungen sollten zunächst in einem weiten Raster angeordnet werden und anschließend verdichtet werden. Bei der Festlegung der genauen Anzahl der Bohrungen im Gelände sollten Kriterien wie die aktuelle Sensibilität der Nutzung und zu erwartende Belastungspotenziale (auf Grund der Vorinformationen) nicht in die Entscheidung einfließen. Ein auf die gesamte Untersuchungsfläche bezogener einheitlicher Aufbau kann bei folgenden Nutzungsarten mit hoher Wahrscheinlichkeit angenommen werden:

- Sandspielbereiche
- Sportanlagen
- Acker
- Grünland

Vorgaben für die Probennahme

Folgende Vorgaben sind bei der Probennahme zu beachten:

- Die Grenzen der Probennahmeflächen hängen nicht nur von der Nutzung/Subnutzung, sondern auch vom Relief ab; eine Rasenfläche, die teils als Ebene, teils als Hanglage charakterisiert wird, sollte bei der Beprobung differenziert werden.
- Bei den Bohrarbeiten ist ein Mindestabstand zu Gebäuden, Bäumen und Versorgungsleitungen sowie zu Nutzungsgrenzen zu beachten. Untersuchungen von ERTL & BURGHARDT (2003) ergaben, dass die hohe räumliche Variabilität von Stadtböden einen maximalen Abstand der Einzelbohrungen von 10 m erfordert. Von daher ist es sinnvoll, die Beprobungsflächen möglichst klein zu wählen (500 bis 1.000 m²) und nur im

Fälle einer zu erwartenden Einheitlichkeit (z.B. bei Grünlandflächen) die Maximalausdehnung auf 1 ha (= 10.000 m²) zu erweitern.

- Als Bohrgeräte kommen Pürckhauer-Bohrstock, Schlitzsonden und Rammkernsonden in Frage, für Oberböden bietet sich auch eine Spatenbeprobung an; sollten Böden sehr stark mit grobkörnigen technogenen Substraten angereichert sein (z.B. bei Bauschuttablagerungen), sind nur Rammkernsonden mit großem Durchmesser oder sogar Bodenschürfe hilfreich.
- Das Probenmaterial einer jeden Beprobungsfläche wird horizont- bzw. tiefenstufenbezogen zusammengefasst und in Aufnahmegefäßen (Eimer, Edelstahlgefäße) manuell homogenisiert. Die Quantifizierung der Substratzusammensetzung erfolgt am besten erst nach der Mischprobenbildung und Homogenisierung.
- Die Menge der Mischprobe sollte grundsätzlich 1 bis 2 kg betragen.
- Das entnommene Probenmaterial ist in Braunglasflaschen aufzubewahren und zu transportieren.

A.2.4 Probenvorbereitung und Lagerung

Das in Glasgefäße überführte Probenmaterial sollte luftdicht, kühl (< 4°C) und dunkel gelagert werden. Vor der Analyse wird als erster Schritt der Probenvorbereitung das ausgewählte Probenmaterial emissionsarm in Schalen an der Luft getrocknet. Anschließend wird das Material auf eine Korngröße von 2 mm trocken gesiebt (Feinboden). Der Feinboden kommt in jedem Fall in die Analytik.

Da der Gehalt an natürlichen und technogenen Substraten, die mehr als 2 mm Korndurchmesser aufweisen, das Schadstoffbelastungspotenzial erheblich beeinflussen kann, sollte der abgesiebte Grobboden > 2 mm ebenfalls quantitativ und qualitativ (organoleptisch) überprüft werden. Ergibt diese Prüfung, dass ein erhebliches Schadstoffpotenzial im Grobkorn zu erwarten ist (z.B. Vorhandensein von Rostaschen) und der Anteil über Einzelfunde hinausgeht, sollte das Material ebenfalls in die Analytik gehen. Dazu muss das Grobkorn hinsichtlich der Schwermetallanalytik zunächst auf < 150 µm gemahlen werden. Die Berücksichtigung des Grobkornanteils erlaubt auch Aussagen zum zukünftigen Gefährdungspotenzial des Bodens.

Gegebenenfalls können Fein- und Grobfraktion getrennt voneinander analysiert werden. Für zusammenfassende Betrachtungen sollten die Ergebnisse der beiden Analysen in diesem Fall dem Mengenverhältnis entsprechend rechnerisch vereinigt werden.

Die Arbeitsschritte der Probenvorbehandlung für die Bodenmischproben sind in Abbildung 3 dargestellt. Die gesamte, als solche gekennzeichnete **Bodenprobe** wird gegebenenfalls vereinigt und zur Bestimmung der Gesamtmasse an der Luft emissionsarm getrocknet und gewogen. Nach Zerstoßen vorhandener Bodenaggregate mittels Handmörser wird das Probenmaterial auf < 2 mm gesiebt (Feinboden). Siebrückstand (Grobboden) und Feinboden

(Partikelgröße < 2 mm) werden getrennt ausgewogen und aufbewahrt. Besonderheiten in der Probenzusammensetzung werden dokumentiert.

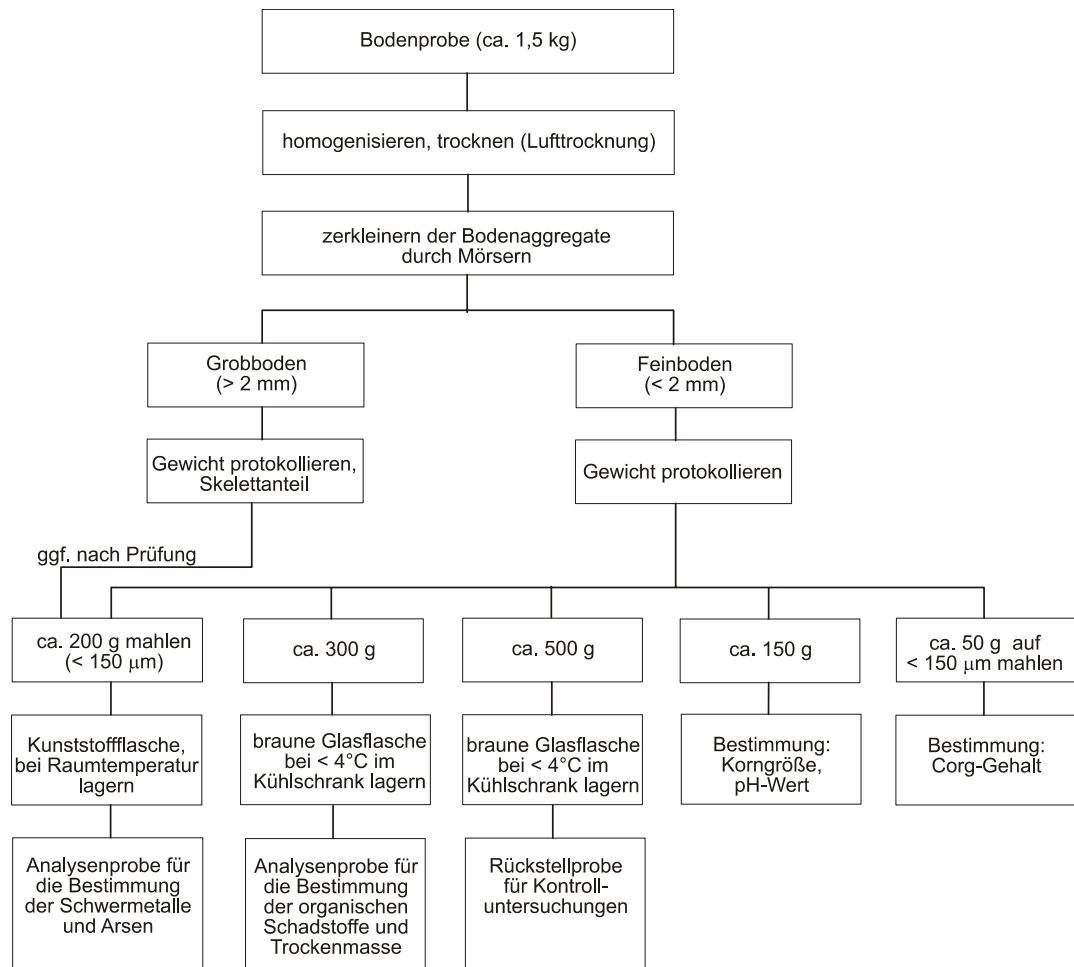


Abbildung A3: Probenvorbehandlung Bodenmischproben, Aufteilung des Feinbodens für die Analyse und Kontrolluntersuchungen (nach LUA 2000, verändert und erweitert)

Nachfolgend sind die in Abbildung A3 genannten weiteren Probenaufbereitungsschritte beschrieben:

- Zur Bestimmung der Arsen- und Schwermetallgesamtgehalte wird ein Anteil des Feinmaterials mit Hilfe einer Achatkugelmühle auf < 150 µm gemahlen und bis zur Analyse in einer Kunststoffflasche bei Raumtemperatur gelagert.
- Eine Bestimmung der Polyzyklischen Aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) erfolgt jeweils an einer repräsentativen homogenisierten Teilmenge des Feinanteils (< 2 mm) der Bodenprobe. Kann die Analyse der organischen Schadstoffe nicht direkt nach der Probenvorbehandlung durchgeführt werden, so ist der homogenisierte Feinboden in einer braunen Glasflasche bei < 4°C im Kühlschrank zu lagern.

- Die Bestimmung des Trockenrückstandes wird an einer repräsentativen Teilprobe der luftgetrockneten Fraktion < 2 mm durchgeführt, um das Ergebnis auf die Trockenmasse (TM) beziehen zu können.
- Die Bestimmung des pH-Wertes und gegebenenfalls der Korngrößenverteilung mittels Fraktionierung durch Siebung und Pipett-Analyse erfolgt aus einer luftgetrockneten und < 2 mm gesiebten Teilprobe.
- Aus einer weiteren Feinbodenteilprobe, die mit einer Scheibenschwingmühle auf < 150 µm gemahlen wurde, erfolgt die Bestimmung des C_{org}-Gehaltes.

Von jeder lufttrockenen, gesiebten Bodenprobe wird eine Rückstellprobe (ca. 500 g) angefertigt und in braunen Glasflaschen gelagert, um ggf. Wiederholungs- und Kontrolluntersuchungen durchführen zu können. Gegebenenfalls sind zusätzliche Analysen der Grobfraction (in der Regel technogene Substrate) gesondert vorzunehmen. Dazu muss das Grobkorn hinsichtlich der Schwermetallanalytik zunächst auf < 150 µm gemahlen werden. Die Analytik der Grobfraction und die weiter oben genannte Korngrößenanalyse erfolgen allenfalls stichprobenartig und nur bei Bedarf.

A.2.5 Analytik und Qualitätssicherung

Analytik

Bei der Analytik sind die Vorgaben der BBodSchV zu beachten, wobei Schwermetalle im Regelfall als Gesamtgehalte zu ermitteln und in der BBK darzustellen sind. Die zu erreichenden Bestimmungsgrenzen müssen eine sichere Beurteilung insbesondere beim Vergleich mit den Beurteilungswerten der BBodSchV ermöglichen (i. R. 10% des jeweiligen Beurteilungswertes).

Da Böden im Siedlungsraum als Folge der Beimengung von technogenen Substraten (z.B. Bauschutt) häufig Carbonate enthalten, sollte außer dem Gehalt an organisch gebundenem Kohlenstoff (TOC) auch der anorganische Kohlenstoff aus Carbonaten (TIC) bestimmt und das Ergebnis ausgewiesen werden. Darüber hinaus enthalten Siedlungsböden zum Teil nicht zu vernachlässigende Gehalte an elementarem Kohlenstoff (Ruß, Kohle etc.). Bei kausal-analytischen Betrachtungen zur Bodenbelastung und zur Vermeidung einer Fehlbestimmung des Humusanteils erscheint eine Berücksichtigung angeraten. Methodisch gibt es hier im Detail noch Schwierigkeiten, doch bieten sich beispielsweise Differenzbildungen aus pyrolytischer Bestimmung und nasser Veraschung (SCHLICHTING et al. 1995) oder stufenweise durchgeführte thermische Behandlungen für recht zuverlässige Abschätzungen an.

Das Analytikprogramm sollte grundsätzlich die Schwermetalle, Arsen und PAK umfassen. In einzelnen Fällen kann geprüft werden, ob aufgrund vorliegender Erkenntnisse bzw. zur Absicherung noch weitere Schadstoffe in die Untersuchung (ggf. zunächst stichprobenhaft) einbezogen werden sollten (z.B. Thallium, PCB, PCDD/PCDF). Sollten sich daraus relevante Belastungen ergeben, sind diese Schadstoffe nachträglich aus den Rückstellproben bzw.

verstärkt in den weiteren Durchgängen der Probennahme (Verdichtungsschritt) zu untersuchen.

Qualitätssicherung

Die Probennahme sollte von Sachverständigen durchgeführt werden, die nach der Verordnung über Sachverständige und Untersuchungsstellen für Bodenschutz und Altlasten (SU-BodAV NRW vom 23. Juni 2002) zugelassen sind. Sie sollten insbesondere auch Erfahrungen auf dem Gebiet der Probennahme von Stadtböden und in der Ansprache technogener Substrate nachweisen können.

Die Analytik sollte von einem Labor durchgeführt werden, dass nach der Verordnung über Sachverständige und Untersuchungsstellen für Bodenschutz und Altlasten (SU-BodAV NRW vom 23. Juni 2002) zugelassen ist und am Bodenringversuch des LUA NRW regelmäßig teilgenommen hat.

Ein wichtiger Baustein der Qualitätssicherung ist der Abgleich der Labordaten mit den protokollierten Feldbefunden und standörtlichen Vorinformationen. Diese wesentliche Qualitätskontrolle kann nur wirksam werden, wenn bodenkundliche Fachleute die Probennahme durchführen und die Probennehmer mit den Gutachtern Hand in Hand arbeiten.

Zur weiteren Qualitätssicherung sollten 10 % der Proben durch ein zweites nach der SU-BodAV NRW zugelassenes Labor untersucht werden, wobei insbesondere auch Proben mit auffälligen Werten (z.B. potenzielle Ausreißer) oder Proben mit hohen Gehalten einzelner Parameter zu berücksichtigen sind. Dies hat den Vorteil, dass gerade die kritischen Proben noch einmal überprüft werden. Zudem ist darauf zu achten, dass alle Probentypen (z.B. Ober- und Unterboden) bei den Kontrollproben vertreten sind.

Bei hohen absoluten und/oder relativen Abweichungen der Analyseergebnisse sollten von beiden beteiligten Laboren Nachuntersuchungen durchgeführt werden (die vom Auftraggeber bereits bei der Auftragsvergabe vereinbart werden sollten). Letztlich gilt es zu klären, ob systematische Fehler vorliegen und welche Konsequenzen daraus gezogen werden müssen.

A.3 Statistische Methoden

Die im Rahmen der BBK Siedlungsbereich notwendigen statistischen und geostatistischen Auswertungen der Stoffgehalte im Boden sollten nur von Fachleuten durchgeführt werden, die sowohl über entsprechende bodenkundliche Kenntnisse und Erfahrungen verfügen, als auch mit den zugrunde liegenden Methoden der Statistik und Geostatistik vertraut sind, um sicherzustellen, dass die gewonnenen flächenhaften Ergebnisse abgesichert und fachlich aussagekräftig sind (LABO 2004).

Im Folgenden sind im Überblick einige wesentliche statistische und geostatistische Verfahren zur Analyse der Grundlagendaten bzw. zur Auswertung der im Rahmen der BBK Siedlungsbereich gewonnenen Daten beschrieben. Für weitergehende Darstellungen wird auf die im Literaturverzeichnis aufgelisteten Quellen verwiesen.

A.3.1. Moving-Window-Verfahren

Zunächst erfolgt die Festlegung eines rechteckigen Ausschnitts (Fenster) des Untersuchungsgebietes. Dieses Fenster wird dann über das Untersuchungsgebiet bewegt, so dass gleich große Teilgebiete entstehen. Im Hinblick auf die Repräsentativität sollte die Anzahl der Repräsentanten einer Stichprobe innerhalb eines solchen Teilgebietes dem Flächenanteil der dazugehörigen Raumeinheit entsprechen. Im Rahmen der Entclusterung wird ein Messwert umgekehrt proportional der Anzahl an Repräsentanten einer Stichprobe innerhalb des Teilgebietes gewichtet.

A.3.2. Statistische Kenngrößen

Die Bodendaten sind in Hinblick auf Kenngrößen wie Mittelwert, Median, Standardabweichung, Minimum, Maximum, Quartile und Schiefe auszuwerten. Besondere Bedeutung kommt auch der Analyse der Verteilung der Grundgesamtheit zu. So setzen viele statistische Verfahren (z.B. Korrelations- und Regressionsanalysen, Interpolation mittels Kriging) zumindest annähernd normalverteilte Grundgesamtheiten voraus. Datenkollektive mit schiefen Verteilungen können oft mit log-Transformation in eine angenäherte Normalverteilung überführt werden.

A.3.3 Ausreißertests

Notwendig ist weiterhin eine Untersuchung des Datenkollektivs im Hinblick auf Ausreißer, die näher betrachtet werden (Plausibilitätsprüfung) und gegebenenfalls von den weiteren Auswertungen ausgeschlossen werden müssen.

Dazu wird der **Median-5-Interquartil-Test** vorgeschlagen, der keine bestimmte Verteilung der Daten voraussetzt. Als Ausreißer werden Werte außerhalb des Intervalls $Median \pm 5 \cdot (75. - 25. \text{Perzentil})$ identifiziert. Für normalverteilte Daten bietet sich der **3- σ Test** an; Ausreißer sind hiernach Werte außerhalb des Intervalls $\mu \pm 3 \sigma$.

A.3.4. Box-Whisker-Plots

Mit Hilfe der Box-Whisker-Plots (Kastendiagramme) kann ein erster Eindruck der Verteilung innerhalb einer Stichprobe gewonnen werden (vgl. Abbildung A4). Dargestellt sind Median (sowie dessen Vertrauensbereich als Einkerbung) sowie die Grenzen des unteren (25. Perzentil) bzw. des oberen Quartils (75. Perzentil) der Grundgesamtheit (STOYAN et al. 1997).

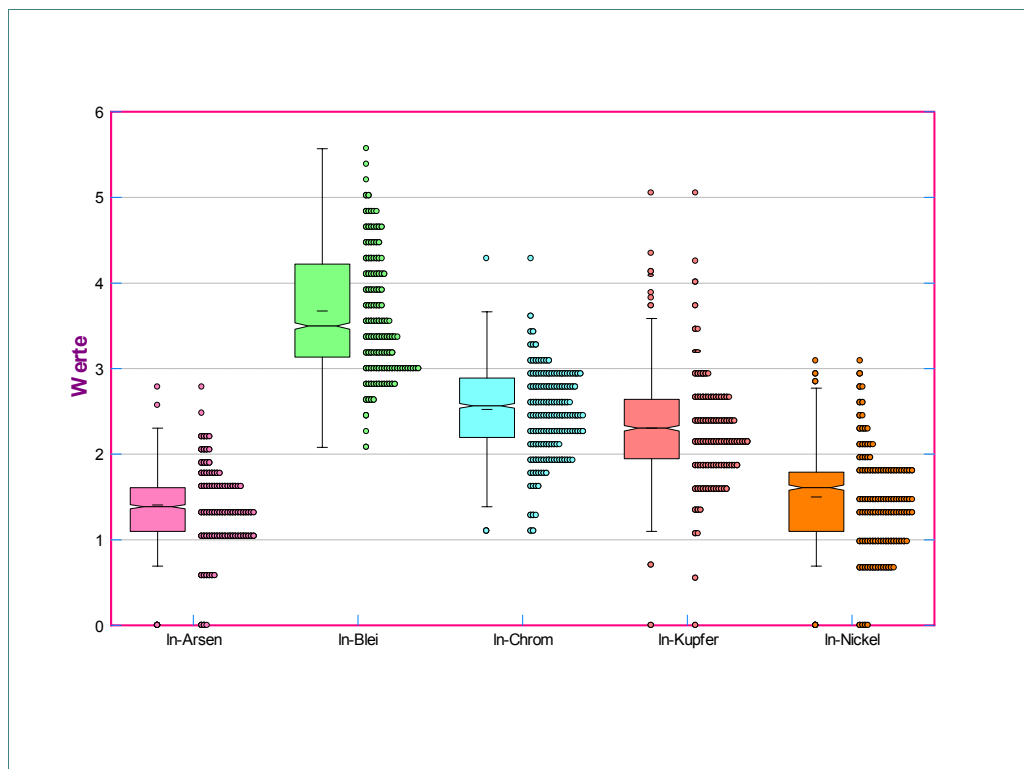


Abbildung A4: Beispielhaftes Kastendiagramm (Box-and-Whisker Plot) für Schwermetallgehalte im Oberboden (logarithmierte Werte)

Ein Nicht-Überlappen der Vertrauensbereiche der Mediane einzelner Stichproben kann als erster Hinweis interpretiert werden, dass sich die Mediane signifikant unterscheiden. Diesbezügliche statistische Testverfahren sind im Folgenden beschrieben (χ^2 -Test, Kruskal-Wallis-Test).

A.3.5. Chi-Quadrat-Test (χ^2)

Der χ^2 -Test ist ein universeller statistischer Test, der keine Voraussetzungen im Hinblick auf die Verteilung der Grundgesamtheiten fordert. Dabei wird geprüft, ob zwischen zwei Verteilungen signifikante Unterschiede bestehen. Gemäß Nullhypothese stimmen beide überein. Der Test dient z.B. der Beantwortung der Fragestellung, inwieweit eine Stichprobe normal verteilt ist oder inwieweit eine Stichprobe einer bestimmten Grundgesamtheit entstammt bzw. ob sich zwei Stichproben in ihrer Verteilung signifikant unterscheiden.

Nullhypothese $H_0 : f(x) = f_0(x)$ und Alternativ-Hypothese $H_A: f(x) \neq f_0(x)$

$$\text{Prüfgröße: } P = \sum_{i=1}^k \frac{(BH_i - TH_i)^2}{TH_i}$$

mit

k = Anzahl der Klassen einer Stichprobe

BH_i = beobachtete absolute Häufigkeit der i -ten Klasse

TH_i = theoretisch zu erwartende absolute Häufigkeit der i -ten Klasse wenn die Hypothese H_0 (z.B. Normalverteilung) zutrifft.

Voraussetzung: $TH_i \geq 5$, sonst ist eine Zusammenlegung der Klassen erforderlich.

Liegt die Prüfgröße jenseits des kritischen Wertes der χ^2 Verteilung, die für den entsprechenden Freiheitsgrad und das gewählte Signifikanzniveau gilt, ist die Nullhypothese abzulehnen.

A.3.6. Kruskal-Wallis-Test

Der Kruskal-Wallis-Test ist ein verbreiteter nicht parametrischer Test zur Überprüfung, ob sich Mittelwerte von verschiedenen Stichproben signifikant voneinander unterscheiden.

$$\text{Prüfgröße : } P = \frac{12}{N(N-1)} \sum_{i=1}^c \frac{R_i^2}{n_i} - 3(N+1)$$

mit $N = \sum_{i=1}^c n_i$ (Gesamtsumme aller Elemente der vereinigten Stichproben)

Alle N Elemente werden nun gemäß ihrer Größe angeordnet und bekommen einen entsprechenden Rang (1 bis N) R_{ij} zugewiesen. R_i berechnet sich dabei aus der Rangsumme der i -ten von insgesamt c Stichproben.

$$\text{mit } R_i = \sum_{j=1}^{n_i} R_{ij}$$

Die Prüfgröße P kann für $c \geq 3$ und $n_i \geq 5$ durch die mit $c - 1$ Freiheitsgraden definierte χ^2 -Verteilung approximiert werden. Liegt P über dem vom Signifikanzniveau abhängigen Kri-

tischen Wert der χ^2 -Verteilung muss die Nullhypothese H_0 der Gleichheit der Mittelwerte verworfen werden.

Wird H_0 abgelehnt, kann für weitere Vergleiche der Test für die einzelnen Stichproben wiederholt werden, um signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Stichproben aufzudecken.

A.3.7. Clusteranalyse

Mit Hilfe der Clusteranalyse ist es z.B. möglich, die im Untersuchungsgebiet häufig in Vielzahl vorkommenden Substrate auf eine überschaubare Anzahl an Einheiten oberflächennaher Gesteine oder technogener Hauptkomponentengruppen zu reduzieren. Zur weiteren Verwendung können dann gewichtete Mittelwerte aus denjenigen Substraten, die zu einem Cluster zusammengefasst sind, berechnet werden. Ein Beispiel zeigt Abbildung A5.

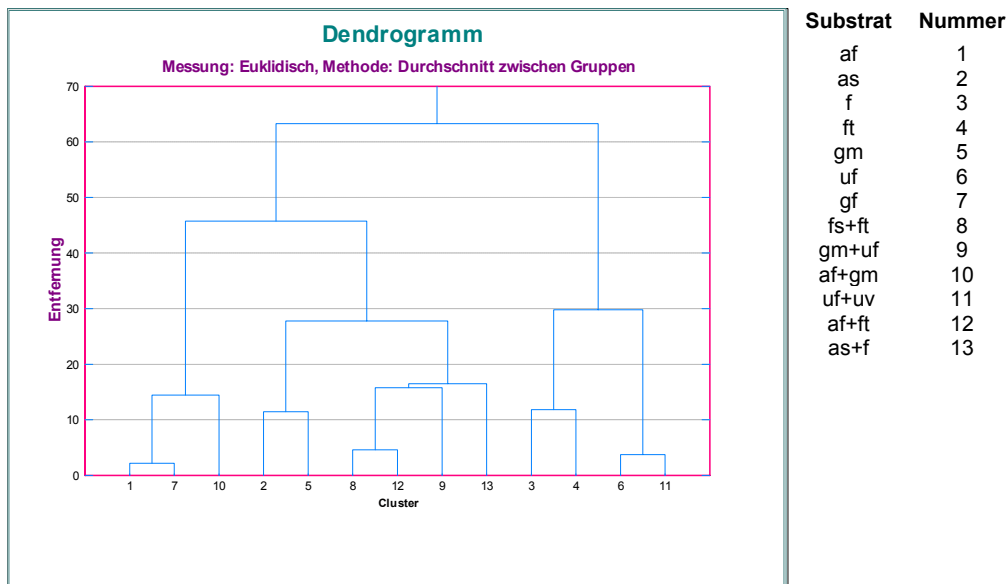


Abbildung A5: Clusteranalyse der Substrate zur Erzeugung von Einheiten oberflächennaher Gesteine

Ein weiteres Anwendungsgebiet für die Clusteranalyse liegt in der Strukturierung und Zusammenfassung von Raumeinheiten oder Probennahmestellen zu Gruppen ähnlicher Einheiten, die sich im Hinblick auf bestimmte Merkmale, wie z. B. Nutzung, Nutzungshistorie, Überschwemmungseinfluss und Gehalt an technogenen Substraten oder Schadstoffen, unterscheiden.

A.3.8. Variogrammanalyse

Für die Interpolation der Punktwerte wird meist das Kriging-Verfahren gewählt. Dabei handelt es sich um ein Prognoseverfahren, „das in der bisherigen geostatistischen Praxis weitgehende Verbreitung und Anwendung gefunden hat und im Bereich herkömmlicher Probleme als allgemein anwendbar gilt“ (RIES 1996).

Bei diesem Verfahren wird von einem räumlichen Zusammenhang bzw. einer Autokorrelation der Daten ausgegangen. Dies bedeutet, dass die Varianz (als Maß für die Streuung von Messwerten) umso geringer ausfällt, je näher sich die Messpunkte liegen; anders ausgedrückt: die Ähnlichkeit von Werten nimmt im statistischen Mittel mit abnehmender Distanz zu. Im konkreten Fall ist dieser räumliche Zusammenhang durch die Variogrammanalyse erst nachzuweisen.

Zur geostatistischen Beschreibung des räumlichen Zusammenhangs von Punktdaten werden mit den vorliegenden Messwerten experimentelle Variogramme erzeugt. Dazu wird der mittlere Verlauf der Varianz dieser Messwerte im Untersuchungsgebiet in Abhängigkeit von der Entfernung berechnet. Die prinzipielle Darstellung eines Variogramms enthält folgende Abbildung A6.

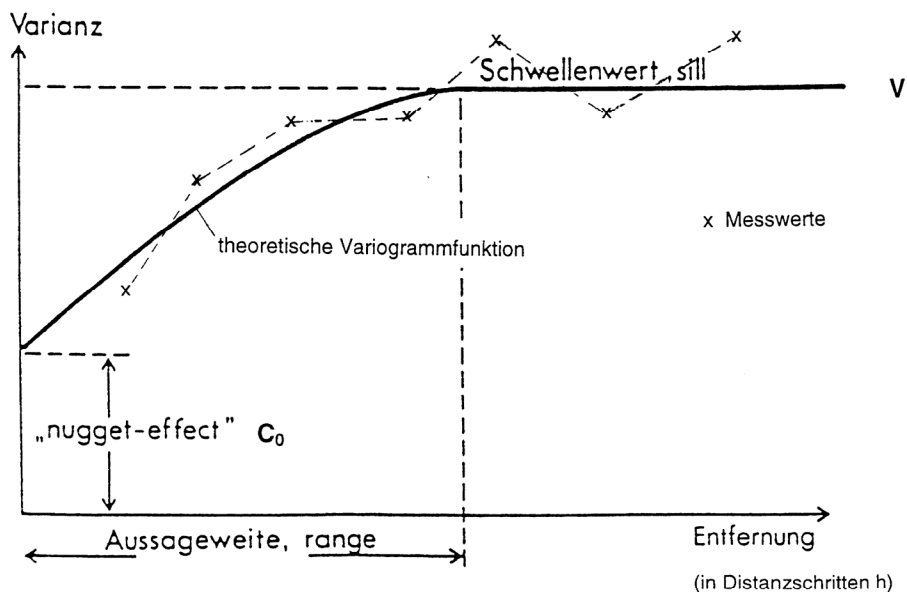


Abbildung A6: Darstellung eines Variogramms (aus HEINRICH 1992, ergänzt)

Der Verlauf von Variogrammen wird durch folgende Parameter beschrieben (nach RIES 1996, ergänzt):

- Gesamtvarianz (V), berechnet mit dem arithmetischen Mittelwert aller Messwerte.
- Nuggetvarianz (C_0); bestehend aus Proben-, Mess-, Analysenfehler sowie nicht auflösbare kleinräumiger Varianz bzw. Mikrovariabilität; auch als Nuggeteffekt bezeichnet.

- Aussageweite (R) (engl. range): bei transitiven Variogrammen³ diejenige Distanz, bei welcher das Maximum der Variogrammfunktion annähernd⁴ erreicht wird (entspricht Schwellenwert, s.u.); jenseits dieser Reichweite besteht kein räumlicher Zusammenhang zwischen den Messwerten mehr, sie sind nicht mehr korreliert.
- Schwellenwert (S) (engl. sill): bei transitiven Variogrammen die Varianz (Variogrammwert) beim Erreichen von R; Feldvarianz (engl. partiel sill): $S_p = S - C_0$
- Distanzschritt (h), für den ein Variogrammwert berechnet wird.

Abgesehen vom Fall der Isotropie ist der Verlauf der Variogrammfunktion auch von der Richtung abhängig. Jedes Messpunktpaar wird dabei separaten Entfernungs- und Winkelklassen zugeordnet, für welche dann die mittleren Varianzen bestimmt werden. Durch die Auswertung von Variogrammen können Anisotropien erkannt werden.

Im Rahmen des Krigings dient das Variogramm der Bestimmung der Gewichte, mit denen Nachbarpunkte bei der Interpolation in die Schätzung eines Punktes eingehen; je geringer die Feldvarianz - als von der Entfernung abhängiger Anteil der Gesamtvarianz - im Vergleich zur Nuggetvarianz ausfällt, desto geringer sind allerdings Unterschiede in der Gewichtung. Das Variogramm dient weiterhin der Bestimmung des Schätzfehlers.

Für die weitere Verwendung ist es jedoch notwendig, das experimentelle Variogramm durch eine theoretische, mathematische Variogrammfunktion zu ersetzen, wozu verschiedene Modelle zur Verfügung stehen⁵. Dabei ist das sphärische Variogramm derjenige Typ, der in der Praxis am häufigsten anzutreffen und am flexibelsten zu verwenden ist (AKIN & SIEMES 1988). In der vorangegangenen Abbildung 6 ist deshalb ein solches sphärisches Variogramm dargestellt.

Die allgemeine Formel des sphärischen Variogramms lautet (nach STOYAN et al. 1997):

$$\gamma(h) = C_0 + S_p \left(1,5 \frac{|h|}{a} - \frac{|h|^3}{2a^3} \right) \text{ für } h \leq a;$$

$$\gamma(h) = C_0 + S_p \text{ für } h > a$$

mit $\gamma(h)$ Variogrammfunktion in Abhängigkeit von der Entfernung h

a: Aussageweite (Reichweite)

C₀: Nuggetvarianz

S_p: Feldvarianz

Variogramme sind unabhängig von der räumlichen Verteilung der Messpunkte (rasterförmig, radial, unregelmäßig etc.).

³ Variogramme, bei denen die Variogrammfunktion bei großen Entfernungen einen Schwellenwert annähert bzw. um diesen streut

⁴ In der Praxis, wenn 95% der Reichweite erreicht sind (HEINRICH 1992)

⁵ z.B. lineare, Potenz-, logarithmische (De Wijs'sche), sphärische, Gauß'sche und exponentielle Modelle

Als wichtige Voraussetzungen zur Erzeugung von Variogrammen sind zu nennen:

- Räumlicher Zusammenhang (Autokorrelation) der Daten.
- Ausreichendes Maß an Stationarität, d.h. es existiert an allen Orten des Betrachtungsgebietes innerhalb einer nach oben beschränkten Entfernung ein einheitliches Variogramm, das sich nur langsam im Raum ändert (vgl. HEINRICH 1992); die Variogramme für Teilräume des Betrachtungsgebietes sind sich ähnlich.
- Verwendung von Daten mit Normalverteilung⁶.
- Eliminierung von Ausreißern, die evtl. beim Kriging wieder mit einbezogen werden können (HEINRICH 1992).
- Bei mehrgipfliger Häufigkeitsverteilung der Daten: Aufteilung in verschiedene Grundgesamtheiten (inhaltlich oder räumlich).

A.3.9. Kriging

Allgemeines

Das Kriging stellt ein in der Geostatistik weithin verbreitetes Interpolationsverfahren mit gewichteter räumlicher Mittelwertbildung dar. Dabei werden die Gewichte unter Berücksichtigung der modellierten Variogrammfunktion derart optimiert, dass die Varianz der geschätzten Werte minimal ist und die Schätzwerte erwartungstreu sind, d. h. im Mittel beträgt die Abweichung zwischen den wahren und den geschätzten Werten Null (HEINRICH 1992). Darüber hinaus bietet dieses Verfahren den Vorteil, Hinweise über die Güte der Schätzung aus der Schätzvarianz ableiten zu können (z. B. Angaben über die Vertrauensbereiche einer Schätzung).

Als im vorliegenden Zusammenhang wichtige Eigenschaften des Krigings sind zu nennen:

1. Auf Grundlage des Variogramms werden die Gewichte entsprechend der räumlichen Abhängigkeit vergeben, wobei nahe liegende Punkte eine höhere Gewichtung erhalten als weiter entfernte.
2. Richtungsabhängigkeiten können berücksichtigt werden.
3. Liegt zwischen einem Messpunkt (MP1) und dem zu schätzenden Punkt (P) ein weiterer Messpunkt (MP2), dann werden MP1 und P voneinander abgeschirmt; MP1 erhält ein niedrigeres Gewicht für die Schätzung von P als ihm von seinem Abstand her zukäme.
4. Es erfolgt eine exakte Interpolation für jeden Punkt aus der Stichprobe mit einer dazugehörigen Krigevarianz von Null im Fall eines geringen Nuggeteffekts. Sind die dazugehörigen Variogramme allerdings durch eine hohe Nugget-Varianz gekennzeichnet

⁶ log-normalverteilte Daten sind zuerst zu transformieren, was die Verwendung von Korrekturfaktoren beim Kriging erforderlich macht (HEINRICH 1992).

net, weisen die geschätzten Werte auch im unmittelbaren Umfeld der Stützwerte Abweichungen auf (STOYAN et al. 1997), gemessener und interpolierter Wert stimmen nicht mehr exakt überein.

5. Mit zunehmendem Nuggeteffekt verlieren nahe liegende Messwerte an Bedeutung, weiter entfernte erhalten hierdurch höheres Gewicht; bei einem reinen Nuggeteffekt (d. h. es besteht kein räumlicher Zusammenhang zwischen den Messwerten) erhalten alle Punkte das gleiche Gewicht, was dem arithmetischen Mittelwert entspricht.
6. Hohe Werte werden unterschätzt und niedrige Werte überschätzt, d. h. die geschätzte Oberfläche ist glatter als die reale (HEINRICH 1992).
7. Eine flächendeckende Angabe eines Schätzfehlers ist möglich, wobei die am weitesten von einem Messpunkt entfernt liegenden Bereiche bzw. diejenigen geringster Beprobungsdichte die höchsten Fehler aufweisen; aus den Schätzfehlern können Hinweise zur Messnetzoptimierung abgeleitet werden, ebenso Vertrauensbereiche der Interpolation.
8. Je mehr Punkte für eine Schätzung herangezogen werden, desto geringer ist die Krigewaranz; beim ordinary Kriging mit einem sphärischen Variogrammodell sind bei einem regelmäßigen Probennahmeraster 25 Messpunkte innerhalb der Reichweite zur Schätzung ausreichend, da bei zusätzlichen Punkten nur noch eine unwesentliche Verringerung der Krigewaranz erreicht werden kann (HEINRICH 1992); ebenso sollte eine Mindestanzahl an Punkten für eine Schätzung eingehalten werden ($n=10$).

A.3.10. Kreuzvalidierung

Die Grundlage der Kreuzvalidierung stellt die Schätzung eines Messwertes mit Hilfe der Interpolation der anderen Messwerte einer Stichprobe und Ermittlung der Residuen, als Differenz der gemessenen und geschätzten Gehalte, dar. Die statistische Auswertung der Residuen erfolgt in Hinblick auf Mittelwert (ist das arithmetische Mittel = 0 liegt keine Tendenz bzw. systematischer Fehler vor), Schiefe und Standardabweichung. Weiterhin kann der mittlere quadrierte Schätzfehler (MQS) und der mittlere absolute Schätzfehler (MAS) berechnet werden.

$$MQS = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\text{Messwert} - \text{Schätzwert})^2$$

$$MAS = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n | \text{Messwert} - \text{Schätzwert} |$$

Weiterhin ist es sinnvoll, die geschätzten gegen die gemessenen Werte in einem Koordinatensystem anzutragen. Dies erlaubt die visuelle Einschätzung der Güte der Schätzung. Die Werte sollten mehr oder weniger eng an der Hauptdiagonale im Winkel von 45° streuen. Die Güte der Schätzung kann weiterhin mit Hilfe des Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman (r_s) erfolgen. Je näher r_s an 1 liegt, desto exakter fallen geschätzter und gemessener Wert zusammen bzw. desto besser ist die Punktwolke an die Hauptdiagonale angepasst.

A.3.11. Aussagesicherheit und Vertrauensbereiche der Interpolation

Neben der Darstellung der geschätzten Gehalte sollte die BBK Siedlungsbereich auch Angaben im Hinblick auf die Aussagesicherheit leisten können. In diesem Zusammenhang ist allerdings zu betonen, dass Vorgaben, mit welcher Aussagesicherheit bestimmte Analysen und Bewertungen zu erfolgen haben, derzeit nicht existieren.

Zur Ermittlung der Aussagesicherheit wird im Falle der mittels Krigings erfolgten Schätzungen die Krigevarianz herangezogen. Bei Anwendung des Raumeinheitenmodells wird ebenfalls zur Angabe des Konfidenzintervalls eines mittleren Wertes auf die Varianz der Messwerte der entsprechenden Einheit zurückgegriffen. Weitere Verfahren stellen recht aufwändige Simulationen sowie das Indikator-Kriging dar (LABO 2004), auf die hier nicht näher eingegangen wird.

Bei Annahme bestimmter Rahmenbedingungen (z.B. normalverteilte Fehler) ist beispielsweise die Abgrenzung eines Gebietes möglich, in dem ein bestimmter Beurteilungswert mit einer festgelegten Aussagesicherheit unter bzw. überschritten wird. Dazu erfolgen bei einem geschätzten Blockmittelwert (Z_k) in Abhängigkeit von der Krigevarianz (σ_k) und der Aussagesicherheit ($1-\alpha$) Zu- bzw. Abschlüsse. Wird der Beurteilungswert dann immer noch unter- bzw. überschritten, kann mit Aussagesicherheit ($1-\alpha$) von einer Unter- bzw. Überschreitung des Beurteilungswertes ausgegangen werden (s.u.).

Es wird zum Teil empfohlen, die Schätzungen und Abgrenzungen auf Grundlage der BBK Siedlungsbereich unter Berücksichtigung der Aussagesicherheit zu qualifizieren. So wird im Leitfaden zur Abgrenzung von Bodenschutzgebieten vorgeschlagen (MUNLV 2004), auf diese Art die Anhaltspunkte, die sich aus einer BBK Siedlungsbereich ergeben, in Richtung konkrete Anhaltspunkte zu erhöhen (denen dann der Charakter einer orientierenden Untersuchung zukommt).

Das Block-Kriging liefert für jeden Block einen Schätzwert für seinen mittleren Gehalt ($\bar{C}_B$). Dieser Schätzwert ist naturgemäß mit einem mehr oder weniger großen Fehler behaftet. Mit Hilfe der Schätzvarianz (σ_K^2) bzw. der Standardabweichung (σ_K), die beim Block-Kriging ebenfalls für jeden Block zur Verfügung steht, kann jedem Schätzwert ein Vertrauensbereich (Konfidenzintervall) zugeordnet werden, innerhalb dessen der wahre Wert mit einer vorgegebenen statistischen Sicherheit liegt. Durch die Berechnung von einseitigen Konfidenzintervallen können auf diese Weise Bereiche ausgewiesen werden, in denen ein bestimmter Wert, z. B. ein Prüfwert (C_p), mit einer vorgegebenen Irrtumswahrscheinlichkeit (Signifikanzniveau α) bzw. Aussagesicherheit ($1-\alpha$) über- oder unterschritten wird.

Bei der Berechnung eines einseitigen Konfidenzintervalls sind grundsätzlich drei Fälle zu unterscheiden, wobei im Folgenden $u_{1-\alpha}$ (Multiplikationsfaktor) in allen Fällen ein konstanter Wert ist, der von der vorgegebenen Irrtumswahrscheinlichkeit α abhängt⁷. Bei einer Irrtums-

⁷ Der Multiplikationsfaktor $u_{1-\alpha}$ gilt nur für normal verteilte Fehler. Ob die Fehler tatsächlich normal verteilt sind, lässt sich in der Praxis in der Regel nicht überprüfen.

wahrscheinlichkeit von 5% beträgt $u_{1-\alpha} = 1,645$ bzw. bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 10% $u_{1-\alpha} = 1,28$.

Fall 1:

Prüfwertunterschreitung mit einer Aussagesicherheit größer als $1-\alpha$.

Fall 2:

Prüfwertüberschreitung mit einer Aussagesicherheit größer als $1-\alpha$.

Fall 3:

In diesem Fall ist keine Aussage möglich. Die Aussagesicherheit ist kleiner als $1-\alpha$.

Zur Veranschaulichung dient die Abbildung A7.

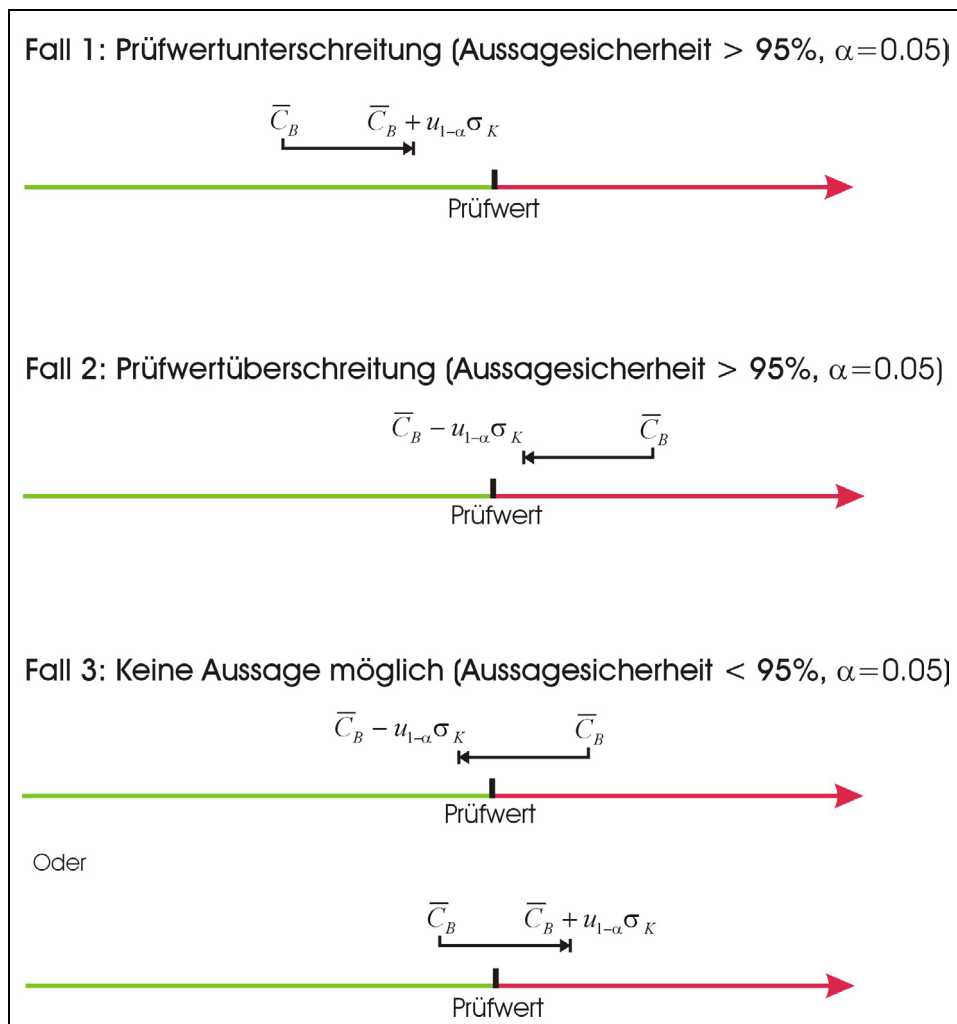


Abbildung A7: Fallunterscheidung der Unter- bzw. Überschreitung von Prüfwerten bei einseitigen Konfidenzintervallen

In diesem Zusammenhang stellt sich grundsätzlich die Frage, mit welcher Aussagesicherheit Analysen und Bewertungen im Rahmen einer BBK Siedlungsbereich zu erfolgen haben. Hier sollten administrative und juristische Vorgaben benannt werden, um diese zukünftig berücksichtigen zu können.

Weitere Möglichkeiten zur Ermittlung der Aussagesicherheit stellen das Indikator-Kriging oder Simulationen dar, die allerdings sehr aufwendig sind (vgl. LABO 2004).