

Autoren: BARKOWSKI, D.¹, BLEIER, M.¹, KRÜGER, G.¹, MEUSER, H.²,
STELLMACHER, G.³

Projekttitlel: **Grundlagen und Empfehlungen
zur Erstellung digitaler Bodenbelastungs-
karten im Siedlungsbereich**

Auftraggeber: Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen

Bearbeitung: ¹ IFUA-Projekt-GmbH (Federführung)
unter Mitarbeit von:
² FH Osnabrück
³ ahu AG, Aachen

Projekt-Nr.: P 201082

Datum: Oktober 2002

Gesellschafter:

- Dr. Dietmar Barkowski (Dipl.-Chem.)
von der Industrie- und Handelskammer Ostwestfalen zu Bielefeld öffentlich bestellter und
vereidigter Sachverständiger für Probennahme, Analytik und Sanierung von Schadstoffen in
Böden und Grundwasser
- Michael Bleier (Dipl.-Ing.)
- Petra Günther (Dipl.-Biol.)
von der Industrie- und Handelskammer Ostwestfalen zu Bielefeld öffentlich bestellte und ver-
eidigte Sachverständige für Schadstoffe in Kulturböden und Pflanzen, Gesundheitsrisiken
- Monika Machtolf (Dipl. Oec. troph.)

Inhaltsverzeichnis

0.	Zusammenfassung	1
1.	Einleitung	3
2.	Allgemeine Grundlagen	6
2.1.	Charakterisierung städtischer Böden und deren Belastung	6
2.2.	Methodische Grundlagen	12
2.2.1.	Methodischer Ansatz	12
2.2.2.	Feldarbeit	16
2.2.3.	Statistische und geostatistische Methoden	18
2.3.	EDV-Werkzeuge	20
3.	Karten- und Datengrundlagen	22
3.1.	Fachspezifische Karten	22
3.2.	Substrate der Bodenbildung	25
3.2.1.	Natürliche Einheiten und geogene Grundgehalte	25
3.2.2.	Technogene Substrate und ihre Grundgehalte	26
3.2.3.	Verbreitung natürlicher und technogener Substrate	29
3.3.	Aktuelle Bodennutzungstypen und Flächennutzung	31
3.4.	Nutzungsgeschichte	34
3.5.	Emissionen	36
3.6.	Immissionen	36
3.7.	Verwendung natürlicher und technogener Substrate	40
3.8.	Überschwemmungen	41
3.9.	Klärschlamm- und Bioabfallverwertung; Bodenverwertungsflächen	42
3.10.	Altstandorte und Altablagerungen	43
3.11.	Einzelflächenbezogene Bodendaten	44
3.12.	Hintergrundwerte	48
4.	Arbeitsschritte zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten im Siedlungsbereich	49
4.1.	Recherche, Validierung und Aufbereitung der Karten- und Datengrundlagen	50
4.1.1.	Datenrecherche	50
4.1.2.	Datenvalidierung	51
4.1.3.	Datenaufbereitung / Konzeptkarte	53

4.2.	Auswahl des Testgebietes _____	54
4.3.	Auswahl der Probennahmeflächen (Probennahmeplanung)_____	56
4.4.	Durchführung der Probennahmekampagne _____	57
4.5.	Ermittlung der Belastungsquellen _____	58
4.5.1.	Übersicht _____	58
4.5.2.	Immissionen _____	59
4.5.3.	Substrate _____	60
4.6.	Erstellung der BBK-S im Testgebiet _____	61
4.7.	Übertragung auf das gesamte Stadtgebiet _____	63
5.	Anwendungen für die Bodenbelastungskarten des Siedlungsbereichs _____	64
6.	Weiterer Handlungsbedarf zur Methodenentwicklung _____	67
7.	Literatur _____	68

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1:	Abgestuftes Vorgehen zur Bearbeitung einer BBK Siedlungsbereich _____	1
Abbildung 2:	Grundansatz zur Erstellung der BBK Siedlungsbereich _____	15
Abbildung 3:	Ablaufschema Feldarbeit _____	16
Abbildung 4:	Interpolation der Staubdeposition 1964-1999 (aus IFUA 2000c) _____	39
Abbildung 5:	Ablaufdiagramm zur Erstellung der BBK Siedlungsbereich _____	49
Abbildung 6:	Schematische Darstellung einer Konzeptkarte (nach SCHNEIDER et al. 2000, verändert) _____	54

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1:	Kartengrundlagen und ihre Bezugsquellen _____	25
Tabelle 2:	Systematik der technogenen Substrate einschließlich Bergematerial (MEUSER 1996a, ergänzt) _____	27
Tabelle 3:	Spannweiten und Mittelwerte von Schadstoffgehalten in technogenen Substraten (nach MEUSER 1996a) _____	28
Tabelle 4:	Kontaminationspotenzial technogener Substrate in Böden (nach MEUSER 1996a) _____	29
Tabelle 5:	Verbreitung von Böden mit technogenen Substraten (Auftragsböden) in Abhängigkeit von der Bodennutzung; Betrachtungstiefe 0-100 cm (MEUSER 1996a) _____	30
Tabelle 6:	Zu erfassende Bodennutzungstypen _____	33
Tabelle 7:	Beispiele für die Ableitung von Nutzungsabfolgetypen aus historischen Karten _____	35
Tabelle 8:	Einzelflächenbezogene Bodendaten und Bezugsquellen _____	48
Tabelle 9:	Quellen von stofflichen Bodenbelastungen in urbanen Böden _____	59

Verzeichnis der Anhänge

- Anhang A.1: Verzeichnis der Abkürzungen
- Anhang A.2: Bodenansprache, Probennahme und Analytik
- Anhang A.3: Statistische Methoden
- Anhang A.4: Bodenaufbau wichtiger Subnutzungen
- Anhang A.5: Hintergrundwerte für Schadstoffe in nordrhein-westfälischen Böden

Verzeichnis der Anlagen

- Anlage 1: Statusbericht Pilotprojekt Düsseldorf
- Anlage 2: Statusbericht Pilotprojekt Duisburg
- Anlage 3: Statusbericht Pilotprojekt Wuppertal
- Anlage 4: Statusbericht Oberhausen

0. Zusammenfassung

Die bisherigen Erfahrungen bei der Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten (BBK) haben gezeigt, dass zwischen ländlich geprägten Außenbereichen und innerstädtischen Siedlungsbereichen eine unterschiedliche Problemlage besteht. In innerstädtischen Siedlungsbereichen sind im Gegensatz zu den Nutzungen Acker, Grünland und Wald des Außenbereichs vorrangig andere Bodennutzungen (z.B. Wohngebiete, Kleingärten, Park- und Freizeitanlagen oder Gewerbegebiete) zu berücksichtigen. Zudem sind Stadtböden in der Regel stark anthropogen überformt und höheren Immissionsbelastungen ausgesetzt. Die Erstellung einer BBK für die Siedlungsbereiche (BBK-S) erfordert daher eine angepasste Vorgehensweise. Die vorliegenden Grundlagen und Empfehlungen stellen keine starre Handlungsanleitung dar, sie sind vielmehr auf jedes Untersuchungsgebiet anzupassen. Allgemein umsetzbar ist jedoch das Grundprinzip des abgestuften Vorgehens zur Bearbeitung einer BBK-S (vgl. Abbildung 1).

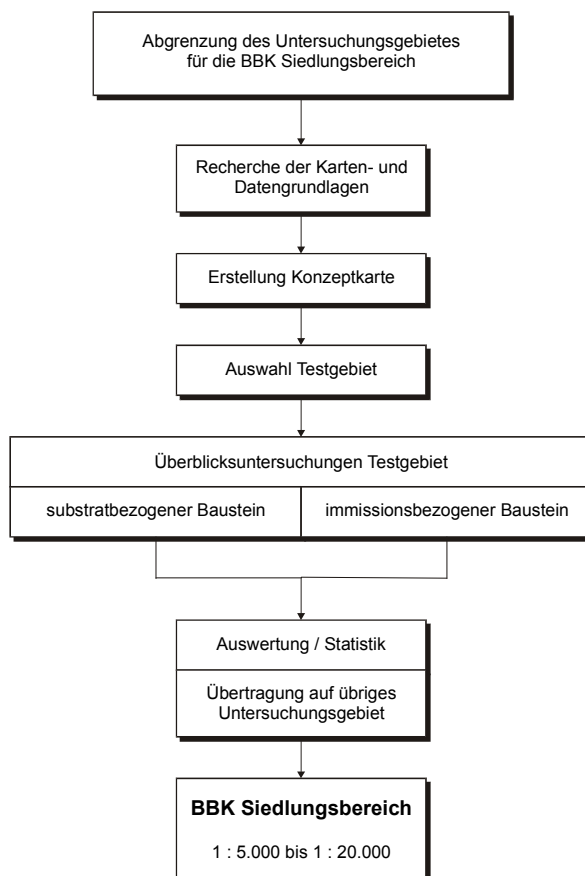


Abbildung 1: Abgestuftes Vorgehen zur Bearbeitung einer BBK im Siedlungsbereich

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. Schließlich ist ein Testgebiet auszuwählen und abzugrenzen. In den nächsten Arbeitsschritten sollten im Testgebiet gleichzeitig die Methoden zur Erfassung der substratbedingten und der auf Immissionen zurückführenden Bodenbelastungen umgesetzt werden.

Die Erfassung der substratbedingten Bodenbelastung 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 Übertragung von stichprobenhaft ermittelten Aussagen zur Bodenbelastung auf nicht untersuchte Flächen gleichen Typs erwarten lassen. Die Erfassung der auf Immissionen zurückzuführenden Bodenbelastung 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.

In Abhängigkeit vom Ergebnis der ersten Auswertungen im Testgebiet sind verdichtende Probennahmen, ergänzende Auswertungen und die Übertragung auf das übrige Untersuchungsgebiet zu planen und umzusetzen.

Neben den notwendigen fachlichen Grundlagen werden im vorliegenden Bericht alle wesentlichen Arbeitsschritte zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten im Siedlungsbereich benannt, begründet und methodisch beschrieben.

Hinsichtlich der Anwendungsbereiche der BBK Siedlungsbereich ist insbesondere auf Fragen der Gebietsabgrenzung in Bezug auf Hintergrund-, Vorsorge- und Prüfwerte hinzuweisen. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass die BBK in der Regel nicht unmittelbar zu ordnungsbehördlichem Handeln herangezogen werden kann. Sie liefert jedoch Anhaltspunkte und Hinweise auf flächenhaft erhöhte Schadstoffgehalte und schädliche Bodenveränderungen sowie auf weitergehende wirkungspfadbezogene Untersuchungen.

1. Einleitung

Digitale Bodenbelastungskarten (BBK) werden für definierte Untersuchungsgebiete, wie z.B. für das Gebiet eines Kreises oder einer kreisfreien Stadt, erstellt. Es handelt sich dabei um ein Instrument, um die flächenhafte Bodenbelastung innerhalb des Untersuchungsgebietes zu erfassen und auszuwerten, um damit Hinweise für weitergehendes behördliches Handeln zu erlangen.

Digitale Bodenbelastungskarten sollen die behördliche Ermittlungspflicht nach § 9 BBodSchG unterstützen. Insbesondere auch zur Erfassung von schädlichen Bodenveränderungen durch die zuständigen Behörden können nach § 5 LbodSchG Bodenbelastungskarten erstellt werden. Sie kann darüber hinaus für weitere Fragestellungen des vorsorgenden Bodenschutzes und planerische Zwecke herangezogen werden.

Ein 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 mehr als eine Karte, sie ist zugleich ein fortschreibungsfähiges Informationssystem zur stofflichen Bodenbelastung.

Für die Bearbeitung der Außenbereiche, d.h. für naturnahe Böden mit weitgehend ungestörtem Profilaufbau der Nutzungen Acker, Grünland und Wald, wurde vom Landesumweltamt (LUA) des Landes Nordrhein-Westfalen 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 aufgrund der Bodenschutzgesetzgebung oder für die Bauleitplanung von Bedeutung. Die Böden im Siedlungsbereich (Stadtböden) sind häufig überprägt und aufgrund des kleinräumigen Wechsels der Nutzungen und der sehr heterogenen Bodenverhältnisse im Vergleich zu den Außenbereichen differenzierter zu betrachten. Auch treten andere Belastungsursachen, wie insbesondere Immissionen und kleinräumige Materialauf- und -einträge in den

Vordergrund. Ausgeschlossen bleiben Messwerte von Altlasten bzw. Altablagerungen und Altstandorten als punktuelle abgegrenzte Belastungsschwerpunkte, die nicht mit der Umgebung in Zusammenhang stehen.

Wegen der unterschiedlichen Belastungsursachen und der anderen Nutzungssituation ist die bislang vorliegende Methodik zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten in Außenbereichen 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) werden zur Zeit methodische Ansätze zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten im Siedlungsbereich erprobt. Abschließende Ergebnisse aus den Pilotprojekten liegen zwar noch nicht vor. Die Erfahrungen mit den verschiedenen methodischen Ansätzen können jedoch für künftige Projekte genutzt werden.

Vor diesem Hintergrund wurde die IFUA-Projekt-GmbH, Bielefeld, mit Werkvertrag vom 29.06.2001 vom Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen mit der Erarbeitung von Grundlagen und Empfehlungen zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten im Siedlungsbereich federführend beauftragt. Die Bearbeitung erfolgte in Kooperation mit dem Büro ahu AG, Aachen, und Herrn Prof. Dr. Meuser, FH Osnabrück.

Im Rahmen eines Fachgesprächs im Landesumweltamt am 24.10.2001 wurden das Vorhaben und die Rahmenbedingungen einer digitalen Bodenbelastungskarte im Siedlungsbereich (BBK-S) den kreisfreien Städten als wichtige Gruppe potenzieller Anwender vorgestellt, und es wurden die Erwartungen an das Instrument BBK-S abgefragt und diskutiert.

Neben den Erfahrungen der genannten Pilotprojekte flossen auch die Ergebnisse dieses Fachgesprächs in die vorliegenden Empfehlungen ein, um bei künftigen Projekten als Arbeitshilfe für die Unteren Bodenschutzbehörden die Orientierung bei der Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten im Siedlungsbereich zu erleichtern. Die vorliegenden Empfehlungen sind keine starre Handlungsanleitung. Vielmehr ist eine Anpassung für jedes Untersuchungsgebiet erforderlich.

Die Arbeit ist so aufgebaut, dass nach der Darstellung der allgemeinen Grundlagen (Kapitel 2) und der zu recherchierenden Daten- und Kartenquellen (Kapitel 3) die zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten im Siedlungsbereich wesentlichen Arbeitsschritte benannt werden (Kapitel 4). Anwendungen der BBK-S und weiterer Handlungsbedarf zur Weiterentwicklung der Methodik schließen in den Kapiteln 5 und 6 den Textteil ab.

In den Anhängen sind wichtige methodische Details zur Probennahme und zur Auswertung sowie die aktuellen Hintergrundwerte für Schadstoffe in nordrhein-westfälischen Böden angegeben. Statusberichte zu den hier ausgewerteten und integrierten Vorgehensweisen der drei Pilotprojekte in Düsseldorf, Duisburg und Wuppertal sowie zum methodischen Vorgehen der Stadt Oberhausen sind als Anlagen beigefügt.

2. Allgemeine Grundlagen

Zunächst werden in Kapitel 2.1 Stadtböden mit ihren spezifischen Besonderheiten beschrieben. Hierauf aufbauend werden methodische Grundlagen zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten im Siedlungsbereich vorgestellt (Kapitel 2.2) und für die Umsetzung notwendige EDV-Werkzeuge benannt (Kapitel 2.3).

2.1. 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 erfahren, dass die ursprüngliche Schichtung (Horizontabfolge) stark verändert wurde (z.B. Gartenböden) bzw. sogar verloren ging (z.B. Tiefumbruchböden), oder die aus anthropogenen Aufträgen bestehen. Urban, gewerblich, industriell oder montan überformte Böden werden als **Stadtböden** bezeichnet (AK STADTBÖDEN 1997).

Bei den anthropogenen Aufträgen lässt sich grundsätzlich zwischen natürlichen und technogenen Substraten unterscheiden (MEUSER 1996a). 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, Abraummateriale 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.

Großflächig treten in den Verdichtungsgebieten (z.B. Ruhrgebiet) Böden auf, deren **Nutzungsfunktion** darauf ausgerichtet ist, Fläche für Siedlungs- und Gewerbebau, Verkehr und Erholung zu sein, gleichzeitig als Träger von Infrastruktureinrichtungen (Versorgungsleitungen für Strom, Gas, Wasser und Ab-

wasser, Telekommunikation) zur Verfügung zu stehen und der Entsorgungsfunktion (Standort für Halden, Deponien und Spülfelder, Entsorgung und Verbau von Substraten wie Kompost und Schlacken) zu dienen (FRÜND & MEUSER 2000). Kleinflächiger finden sich jedoch diese Böden grundsätzlich auch außerhalb der Großstädte.

Bei der Erstellung der BBK Siedlungsbereich ist davon auszugehen, dass der Anteil der Stadtböden im Siedlungsbereich dominant ist, während im Außenbereich diese meist nur auf das unmittelbare Umfeld von Siedlungen konzentriert sind. Im Umkehrschluss finden sich im Siedlungsbereich allerdings auch natürliche Böden, die dann meist unter land- oder forstwirtschaftlicher Nutzung stehen.

Ein wesentliches 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).

Bei der Erstellung der BBK Siedlungsbereich wird die versiegelte Fläche in Form von Gebäuden und Straßen in der Regel nicht betrachtet. Bei der digitalen Bearbeitung lässt sich der versiegelte Anteil 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 großmaßstäbiger (1:5.000 bis 1:10.000) gearbeitet wird und das Beprobungsraster aufwändiger konzipiert wird als bei der BBK Außenbereich.

Als stark eutroph sind Gartenböden langer Nutzungsdauer (insbesondere bei Kompostgaben) und z.T. Auftragsböden aus technologischen Substraten (z.B.

Aschen) zu charakterisieren. 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 z.T. sehr hohe Kohlenstoff-Gehalte bei weitem Kohlenstoff/Stickstoff-Verhältnis, die technogenen Ursprungs sind (Aschen, Kohle, Straßenaufbruch). Da alle technogenen Substrate selbst hohe **pH-Werte** aufweisen (Bauschutt 7-8, Schlacken und Aschen 8-12), reagieren die Auftragsböden in der Regel neutral bis alkalisch (MEUSER 1996a). Bergbaugeprägte Standorte (Kippen des Braunkohlentagebaus, Halden des Steinkohlenbergbaus) neigen durch Pyritverwitterung allerdings ebenso zur Versauerung wie oberflächennahe Bodenschichten durch Säureeinträge aus der Luft.

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 sinnvoll.

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 entscheidende Quelle der Belastung. Diese Kontaminationsquelle überlappt sich jedoch auch im urbanen Raum mit anderen Einflussfaktoren, so dass eine klare Zuordnung oft erschwert ist, was bei der Ursachenermittlung Probleme bereiten kann (BLUME 1992/2002).

Als **Belastungsquellen** kommen in Betracht:

- a) Aufschüttung und Umlagerung belasteter natürlicher und technogener Substrate sowie deren Einsatz im Straßen-, Garten- und Landschaftsbau
- b) Immissionseinträge (z.B. Staubdeposition)
- c) Überschwemmungen in Auengebieten
- d) Rieselfeldbewirtschaftung

- e) Einsatz von Mineraldüngern, Wirtschaftsdüngern, Bioabfällen, Klärschläm-
men und Hausbrandaschen zu Düngungs- bzw. Entsorgungszwecken
- f) Leckagen an unterirdischen Versorgungsleitungen
- g) Singuläre Ereignisse (Unfälle und Havarien)

Dabei kommt den ersten drei Belastungsquellen in der Regel die größte Bedeu-
tung zu. Die Gewichtung der Belastungsquellen ist allerdings für jede Kommune
spezifisch. Die aufgeführten Belastungsquellen spiegeln sich zum Teil in den
erfassten Altstandorten und Altablagerungen wider, die jedoch nicht den
Schwerpunkt bei der Erstellung einer BBK für den Siedlungsbereich darstellen.

Bei der Darstellung der BBK Siedlungsbereich sollten vorliegende Informationen
über Altstandorte und Altablagerungen nachrichtlich übernommen und die Flä-
chen gekennzeichnet werden. Ob eine Verwendung dieser Daten für die BBK
Siedlungsbereich möglich ist, hängt von unterschiedlichen Faktoren ab.

Voraussetzung für die Ermittlung der durch Aufschüttungen und Umlagerungen
unterschiedlicher Substrate hervorgerufenen Belastungen ist die exakte Be-
stimmung **natürlicher und technogener Substrate** im Gelände. Natürliche
Substrate können geogen bereits ein erhöhtes Belastungsniveau anorganischer
Schadstoffe (Metalle) aufweisen (HORNBURG 1996, HINDEL et al. 1998). Die
Einzelkomponenten der technogenen Substrate unterscheiden sich hinsichtlich
ihrer ökologischen Eigenschaften auch innerhalb der Komponentengruppen er-
heblich (MEUSER 1996a).

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

Bei der Belastungsquelle **Immissionseinträge** ist zwischen den diffusen und
kleinflächigeren Formen zu differenzieren. Auch außerhalb der unmittelbaren
Ballungsräume werden Schadstoffe über den Luftpfad diffus in (Ober)böden
eingetragen, so dass die als Hintergrundwerte bezeichneten Oberbodengehalte

auch in landwirtschaftlich-forstwirtschaftlich geprägten Räumen in der Regel höhere Werte aufweisen als die gesteinsabhängige geogene Grundlast (LABO 1998). 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 von daher notwendig, Kenntnisse über die Immissionseinträge (vornehmlich in Form der Staubmessprogramme) für den betrachteten Raum zu nutzen.

Weitere Belastungsquellen sind **Überschwemmungen** (insbesondere in industriegeprägten Räumen) und aktive oder ehemalige **Rieselfeldflächen**. Bei beiden Quellen kann davon ausgegangen werden, dass die Metalle (MEUSER et al. 1996, SOWA et al. 1992) größere Bedeutung als organische Schadstoffe wie PAK (TEBAAY et al. 1993, FELIX-HENNIGSEN et al. 1993) erlangen.

Vornehmlich auf landwirtschaftlichen Flächen und in Haus- oder Kleingärten sind auch die **düngungsverursachten Schadstoffquellen** aufzuführen. Die Applikation von Phosphatdüngern steht in 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 Geflügeldüngern) bei Cu (BOYSEN 1992). Der auch in städtischen Grünanlagen eingesetzte Kompost (Einträge von Metallen > Organika, Belastungsniveau Biomüll- > Laub- > Grünschnittkompost) und Rindenmulch (Einträge an Cd und Chlorpestiziden) sind ebenso weitere Eintragsquellen wie die in der Landwirtschaft eingesetzten Klärschlämme; die angegebenen Trends dieser organischen Abfallstoffe sind das Ergebnis von Analysen, die im Rahmen der AbfklärV von 1992 und der BioAbfV von 1999 erhoben wurden. Schließlich ist die besonders in den 1950er bis 1970er Jahren verursachte Anwendung von Hausbrand-

aschen 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.

Mit natürlichen und technogenen Substraten aufgeschüttete Böden unterliegen wie jeder Boden der natürlichen **Bodenentwicklung** (Pedogenese), so dass viele pedogene Prozesse auch in Aufschüttungsböden morphologisch sichtbar 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 1992/2002).

Für die Erstellung der BBK Siedlungsbereich haben diese Prozesse in folgender Weise Bedeutung: zum einen ist bei grobkörnigem Material davon auszugehen, dass dieses langfristig verwittert und damit das Belastungspotenzial steigen kann; zum anderen muss generell davon ausgegangen werden, dass der Bodenzustand kein statisches System ist, eine Aktualisierung und Pflege der BBK somit erforderlich werden kann.

2.2. Methodische Grundlagen

Im Folgenden sind die methodischen Grundlagen zur Erstellung einer BBK Siedlungsbereich in konzentrierter Form zusammengefasst. Diese betreffen den methodischen Grundansatz (Kapitel 2.2.1), die Feldarbeit (Kapitel 2.2.2) sowie die anzuwendenden statistischen und geostatistischen Methoden (Kapitel 2.2.3). In Kapitel 4 sowie im Anhang sind einige wesentliche Aspekte vertieft.

Das Bearbeitungsgebiet der BBK-S 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.

2.2.1. Methodischer Ansatz

Die Bodenbelastungssituation im besiedelten Bereich bewegt sich zwischen vergleichsweise naturnahen Verhältnissen, die sich näherungsweise mit der Methode für den Außenbereich fassen lassen, sowie sehr komplexen Bereichen, die kaum Gesetzmäßigkeiten zu erkennen geben und die sich letztlich nur mit der bereits existierenden Methode einer sehr aufwändigen Stadtbodenkartierung, die von einer flächendeckend engmaschigen Beprobung ausgeht, bewältigen lassen.

Die hier nun vorgestellte Methode beruht auf der Annahme, dass die Verbreitung der unterschiedlichen Substrate, die für einen Großteil der Bodenbelastung verantwortlich sind, ebenso wie der durch Immissionen verursachte Anteil der Bodenbelastung bestimmten Gesetzmäßigkeiten unterliegen, dass diese zu fassen sind und damit auf eine Stadtbodenkartierung verzichtet oder diese auf besondere Problembereiche begrenzt werden kann.

Da sich die Belastungssituation von Kommune zu Kommune unterscheidet, ist der Ansatz modular aufgebaut; die Bearbeitung erfolgt in Stufen. Die Bausteine kommen also je nach Fallgestaltung letztlich mit verschiedener Intensität zum Einsatz, um ein umfassendes Bild über die flächenhafte Bodenbelastung zu erlangen.

Baustein zur Erfassung der substratbedingten Bodenbelastung

Der Baustein zur Erfassung der substratbedingten Bodenbelastung hat letztlich zum Ziel, im Siedlungsbereich Flächen mit vergleichbarer Bodenbelastung bedingt durch das Auftreten natürlicher und technogener Substrate abzugrenzen. Im Unterschied zum immissionsbezogenen Baustein (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 in Richtung Subnutzungen differenziert werden kann, zum anderen in Richtung historischer Nutzungsabfolgetypen. 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.

Baustein zur Erfassung des Immissionsanteils der Bodenbelastung

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 sollte. 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 nur auf diejenigen Flächen übertragen, die den erwähnten Voraussetzungen genügen. Der Baustein bezieht sich naturgemäß auf die oberen Dezimeter des Bodens, da insbesondere dort der Einfluss der Deposition wirksam werden konnte.

Zur **Erfassung der substratspezifischen Komponente** der Bodenbelastung befinden sich in den Pilotprojekten derzeit zwei Methoden mit etwas unterschiedlichen Schwerpunkten in der Testphase:

- In der Stadt Düsseldorf wird der Ansatz verfolgt, der zeitlichen Abfolge typischer Nutzungen charakteristische Substratkombinationen und die-

sen wiederum ein charakteristisches Schadstoffinventar zuzuordnen. Die stoffliche Bodenbelastung wäre dann geprägt durch solche Nutzungsabfolgen (vgl. auch Anlage 1).

- In Wuppertal als Stadt im Bergischen Land mit zahlreichen Tälern und lange zurückreichender Industriegeschichte werden insbesondere umfangreiche Verfüllungen und Umlagerungen als bedeutsam für die Bodenbelastung angesehen. Es wird davon ausgegangen, dass Böden unterschiedlicher Nutzungen lokal jeweils vergleichbare Belastungen aufweisen (vgl. auch Anlage 3).

Der Baustein zur **Erfassung der immissionsspezifischen Komponente** wird im Pilotprojekt Duisburg entwickelt:

- Duisburg ist durch eine umfangreiche Montanindustrie geprägt. Dies hat insbesondere in der Vergangenheit zu relevanten Schadstoffeinträgen über die Luft in den Boden geführt. Dementsprechend kann hier von einem maßgeblichen Beitrag der Immission an der tatsächlichen Bodenbelastung ausgegangen werden (vgl. auch Anlage 2).

Kombinierter Ansatz

Der kombinierte Ansatz integriert die beiden Bausteine zur Erfassung der Bodenbelastung in eine den Gegebenheiten angepasste gestufte Vorgehensweise, um den spezifischen Verhältnissen einer Kommune gerecht zu werden. Der kombinierte Ansatz kann wie folgt zusammengefasst werden:

1. Auswertung vorhandener Daten und Kartengrundlagen (Recherche), Integration zu einer Konzeptkarte sowie Festlegung eines Testgebietes.
2. Überblicksuntersuchungen im Testgebiet mit geringer Probennahmedichte; Auswertung, inwieweit Immissionen und/oder Substrate relevant sind und Gesetzmäßigkeiten erkennen lassen.
3. Festlegung der weiteren Vorgehensweise für das Testgebiet
4. Je nach Fallgestaltung Beprobung mit erhöhter Probennahmedichte im Testgebiet und Auswertung der Daten. Das Ergebnis ist die Bodenbelastungskarte für das Testgebiet.

5. Überblicksuntersuchungen im restlichen Untersuchungsgebiet, Auswertung der Ergebnisse, Prüfung auf Übertragbarkeit der Vorgehensweise aus dem Testgebiet und Festlegung der weiteren Vorgehensweise.
6. Durchführung der restlichen Untersuchungen und Erstellung der BBK-S für das gesamte Untersuchungsgebiet.

Die Vorgehensweise ist in Abbildung 2 veranschaulicht.

Aussagen über die zu erwartende Bodenbelastung ergeben sich aus der Überlagerung der genannten Aspekte. Es ist anzustreben, aus den (sub)nutzungsbezogenen bzw. historischen Untersuchungen Standardisierungen ableiten zu können, um – ähnlich wie im Außenbereich – mit allen Punktdaten der oberen Dezimeter des Bodens eine Interpolation durchführen zu können.

Bereiche, für die mit dem Instrument der BBK-S aufgrund ihrer extremen Heterogenität keine Aussagen möglich sind, bedürfen gegebenenfalls einer weiteren Bearbeitung mit Hilfe der Stadtbodenkartierung (vgl. AK STADTBÖDEN 1997).

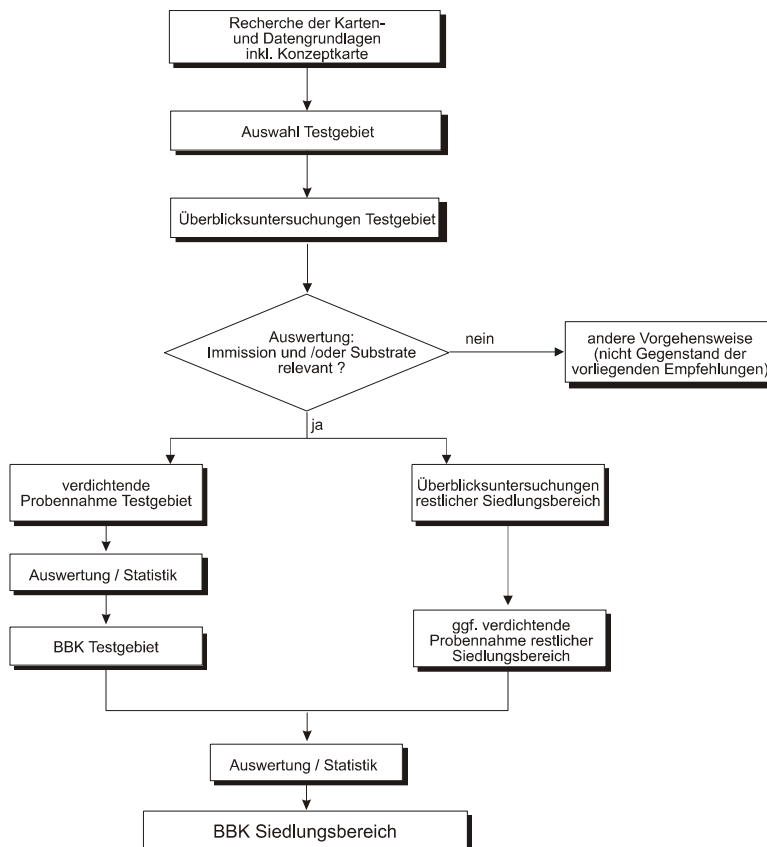


Abbildung 2: Grundansatz zur Erstellung der BBK Siedlungsbereich

2.2.2. Feldarbeit

Die Probennahme zur Erfassung sowohl des substratbezogenen als auch des immissionsbezogenen Anteils der Bodenbelastung erfolgt zweckmäßigerweise in einer gemeinsamen Probennahmekampagne, wobei es allerdings nicht immer möglich und notwendig sein wird, alle Probennahmestellen sowohl substratbezogen als auch immissionsbezogen zu beproben.

Dem folgenden Ablaufschema in Abbildung 3 sind die einzelnen Schritte der Feldarbeit zu entnehmen.

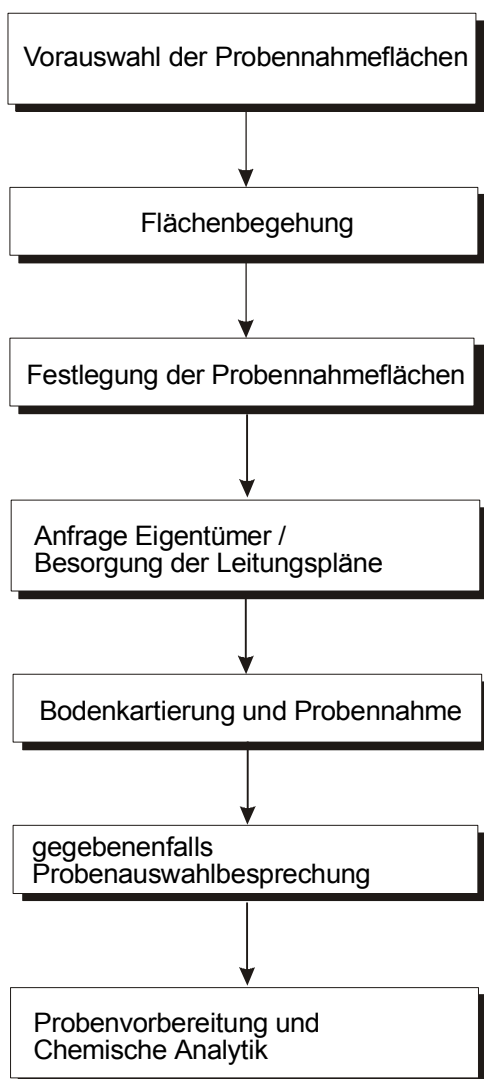


Abbildung 3: Ablaufschema Feldarbeit

Auf der Basis der zu untersuchenden Bodennutzungstypen sowie der vorgeschalteten Konzeptkarte (vgl. Kapitel 4.1.3) findet zunächst eine **Vorauswahl** der Probennahmeflächen unter dem Aspekt Substrat und Immission statt, die den Ansprüchen der Repräsentativität genügen muss. Bei der Vorauswahl sind zu beachten:

- die unterschiedlichen Bodennutzungstypen, abgeleitet aus den ATKIS-Daten oder anderen Datenquellen;
- die Nutzungsgeschichte, abgeleitet aus historischen Karten und Luftbildern;
- die Geländemorphologie, abgeleitet aus den Topographischen Karten (DGK 5, TK 25);
- die geologischen Grundlagen, abgeleitet aus den Geologischen Karten des Geologischen Dienstes;
- die bodenkundlichen Grundlagen (natürliche Böden), abgeleitet aus den Bodenkarten des Geologischen Dienstes;
- die Lage innerhalb oder außerhalb von Überschwemmungsgebieten.

Da die Vorauswahl auf Basis von Kartengrundlagen und Luftbildern spezielle Standortverhältnisse nicht ausreichend erfassen kann, ist vor der eigentlichen Beprobung ein Zwischenschritt, die **Flächenbegehung** (Überblicksbegehung), aller in Frage kommenden Flächen unerlässlich. Bei der Begehung wird mit Hilfe eines Formblattes (vgl. Anhang) überprüft, ob die fokussierte Fläche tatsächlich für eine Beprobung tauglich ist. Die exakte Festlegung der Probennahmestellen erfolgt ebenfalls bei der Begehung.

Anschließend wird die endgültige Festlegung der Probennahmeflächen durchgeführt. Bei der **Auswahl bzw. der Festlegung der Probennahmeflächen** sollte daran gedacht werden, zunächst mehr Flächen als kalkuliert zu berücksichtigen, da damit zu rechnen ist, dass Einzelflächen auf Grund der folgenden Arbeitsschritte ausfallen können und dann Ersatzprobennahmestellen zur Verfügung stehen sollten.

Zu diesen Arbeitsschritten sind das Einholen der **Zustimmung der Eigentümer** und das **Besorgen der aktuellen Leitungspläne** der Versorgungsunternehmen (Gas, Elektrizität, Telekommunikation, Wasser, Abwasser) zu zählen. Beide Arbeitsschritte sollten unter der administrativen Leitung der auftraggebenden Behörde erfolgen.

Bodenkartierung und Probennahme schließen sich an. Bei der Bodenkartierung wird besonderer Wert auf die Feldansprache (vgl. Anhang) gelegt. Sie erfolgt in Anlehnung an die Vorgaben der Kartieranleitung (AG BODEN 1994) und der Stadtbodenkartieranleitung (AK STADTBÖDEN 1997), allerdings mit reduziertem Umfang. Die Probennahme folgt den im Anhang skizzierten Leitlinien.

Bevor das Probenmaterial vorbereitet und analysiert wird, ist ein weiterer Arbeitsschritt sinnvoll, die **Probenauswahlbesprechung**. Bei diesem Schritt wird festgelegt, welche substratbezogenen Proben in die Analytik kommen und welche Proben (zunächst) als Rückstellproben gelten bzw. welche Parameter zu analysieren sind. Ziel der Probenauswahlbesprechung ist die Reduzierung des Analyse- und damit auch des Kostenaufwandes. Auf eine Analytik kann z.B. bei folgenden Proben verzichtet werden:

- Proben von Unterbodenhorizonten aus bekannten natürlichen oder technogenen Substraten, über die Analyseergebnisse aus anderen Quellen bereits vorliegen.
- Ober- und Unterbodenproben benachbarter Bereiche, die vergleichbare organoleptische Eigenschaften und Tiefenlagen aufweisen (Wiederholungen).

Die im Rahmen eines Durchgangs gewonnenen Proben zur Erfassung des immissionsbezogenen Anteils der Bodenbelastung sind vollständig zu analysieren, da das Ausmaß der immissionsbedingten Belastung makroskopisch nicht zu erkennen ist.

2.2.3. Statistische und geostatistische Methoden

Zielsetzung der digitalen Bodenbelastungskarte ist es, eine flächenhafte Aussage zur Bodenbelastung auf Grundlage einzelner Messwerte bzw. Stichproben zu treffen, d. h. auch Schätzungen über die Bodenbelastung zwischen den Mess-

punkten vorzunehmen bzw. von den Schadstoffgehalten innerhalb einer Stichprobe eines Flächentyps auf den Schadstoffgehalt vergleichbarer Flächen zu schließen.

Für sich stetig im Raum ändernde Parameter wie die Immission bzw. die immissionsbedingte Bodenbelastung ist, soweit bestimmte Voraussetzungen zutreffen, die Interpolation der Messwerte eine geeignete Methode. Für die Interpolation wird in der Regel das Verfahren des Krigings gewählt (HEINRICH 1997).

Ob die jeweiligen Voraussetzungen im konkreten Fall zutreffen, muss durch statistische bzw. geostatistische Verfahren überprüft werden.

Das Kriging erfolgt auf Grundlage von Punktdaten, die zumindest annähernd einer (log)normalverteilten Grundgesamtheit entstammen und darüber hinaus einen räumlichen Zusammenhang aufweisen müssen. Letzteres bedeutet konkret, dass sich benachbarte Werte insgesamt ähnlicher sind als weiter entfernte; dies ist mit Hilfe der Variogrammanalyse zu prüfen.

Da das Kriging neben der Schätzung des interpolierten Parameters selbst auch Informationen über die Streuung der Werte bereit hält, ist es möglich und empfehlenswert, Fehlerbetrachtungen und Betrachtungen zum Vertrauensbereich einer Schätzung bei der Auswertung der Daten anzustellen.

Für die sich im Raum entsprechend der aktuellen Bodennutzung bzw. historischer Nutzungsabfolgen ändernden Parameter bietet sich eine flächenhafte Darstellung über definierte Raumeinheiten an. Die substratbedingte Bodenbelastung innerhalb eines Bodennutzungs- bzw. Nutzungsabfolgetyps wird wiederum anhand von Punktdaten statistisch geprüft und auf alle Raumeinheiten dieses Typs übertragen. Eine Flächeninterpolation durch Kriging findet hier nicht statt.

Weitere Erläuterungen zu den statistischen und geostatistischen Verfahren sind im Anhang enthalten.

2.3. EDV-Werkzeuge

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-Sto-Bo 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 statistischen Auswertung, insbesondere im Rahmen der multivariaten Statistik, sind entsprechende Statistikprogramme zu empfehlen (z.B. UNISTAT 5.0 oder STATISTICA Edition 99).

Die räumliche Analyse der Daten (Variogrammanalyse) sowie die Durchführung der Interpolation im Block-Krigingverfahren erfolgt mit Hilfe von Geostatistik-Programmen (z.B. Gstat 2.2.1, 1992, 1999 Edzer J. Pebesma; <http://www.geog.uu.nl/gstat/>, als free-ware verfügbar).

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 hat sich z. B. das Programm ArcView 3.1 (ESRI) als vektorbasiertes System erwiesen, das als GIS relativ große Verbreitung gefunden hat. 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 dxf-Format bzw. das ASCII-Format an, wenngleich teilweise mit Informationsverlust gerechnet werden muss.

Es ist darauf hinzuweisen, dass spezifische DV-Tools für digitale Bodenbelastungskarten im Siedlungsbereich derzeit nicht existieren und daher von einem im Vergleich zum Außenbereich erhöhten Aufwand für die Auswertung und Visualisierung der Daten auszugehen ist.

3. Karten- und Datengrundlagen

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.

3.1. 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.

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 heruntergebrochen werden (gegebenenfalls BK 5 verwenden).

- Die Kartierer des Geologischen Dienstes haben während der Erstellung der Bodenkarten die aufgeschütteten Bereiche (allerdings nur teilweise; vgl. LUA 2001) und die unmittelbaren Siedlungsschwerpunkte mit hohem Versiegelungsgrad meist 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 siedlungsnaher Grünanlagen/Parks, Abstandsgrünflächen, Sportanlagen und gewerbenaher Brachflächen, z.T. 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**; 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 sinnvollerweise digital zu erfassen und auszuwerten sind, da sie Hinweise auf die Ablagerung von Trümmerschutt 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, die im weiteren Verlauf der Bearbeitung der BBK Siedlungsbereich unberücksichtigt bleiben. Eine

Nichtberücksichtigung ist darin begründet, dass der großflächige Rückbau von Gebäuden, Straßen und Verkehrsplätzen und die damit einhergehende Freilegung des Bodens als realitätsfern anzusehen ist.

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 Auswertung der Luftbilder ist insbesondere für die Zeit nach dem 2. Weltkrieg interessant, da danach vielfach Bombentrichter wiederverfüllt wurden. **Gewerbliches Archivmaterial** wird bei der Erfassung von Altstandorten und Altablagerungen ausgewertet und kann ebenfalls wichtige Hinweise auf die historische Abfolge im Untersuchungsgebiet geben. Da in manchen Kommunen im Rahmen der Erstbewertung von Altstandorten und Altablagerungen große Stadtgebiete bereits abgearbeitet wurden, empfiehlt sich die Einsicht in Unterlagen dieser Art grundsätzlich; die Beachtung kommunaler **Altstandort-/ Altablagerungsverzeichnisse** ist auch schon deshalb angezeigt, um eventuelle Ausschlussflächen bei der Erarbeitung der BBK-S zu kennzeichnen.

Das Material kann helfen, Abgrabungen und Aufschüttungen zu lokalisieren und damit die Standortfestlegungen für die Probennahmekampagnen zu unterstützen. Die multi-temporale 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, Bodenart und Grundwasser-Verhältnissen 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.

Zu prüfen ist ferner, ob die bereits im Außenbereich verwendeten Karten für Teilflächen des Siedlungsbereichs Anwendung finden können; dazu gehören Karten der Überschwemmungsgebiete (vgl. Kapitel 3.8), Karten der Bodenschätzung landwirtschaftlicher Flächen, forstliche Standortkarten und Karten, die Aufschluss über die Entsorgung von Klärschlämmen (vgl. Kapitel 3.9) geben.

Inwieweit weitere fachspezifische Karten aus dem Bereich der Ökologie auszuwerten sind, bleibt im Einzelfall zu prüfen (z.B. pflanzensoziologische Karten, Biotoptypenkarten).

In Tabelle 1 sind die wesentlichen fachspezifischen Karten bzw. Materialien zusammengestellt:

Tabelle 1: Kartengrundlagen und ihre Bezugsquellen

Fachspezifische Karte / Material	Bezugsquellen
Deutsche Grundkarte DGK 5	Städtische Katasterämter
Bodenkarten (BK 5, BK 25, BK 50)	Geologischer Dienst (vormals GLA)
Geologische Karten, Hydrogeologische Karten	Geologischer Dienst (vormals GLA)
Ingenieurgeologische Karten	Geologischer Dienst (vormals GLA)
Bergbaulische Karten	Bergbaubehörden
Trümmerschuttkataster, Kriegsschadenskarten	Stadtverwaltung (unterschiedliche datenführende Stellen)
Versiegelungskarten, Generalentwässerungsplan	Kommunale Umweltverwaltung (Untere Bodenschutzbehörde, Untere Wasserbehörde)
Historische (topographische) Karten	Städtische Katasterämter
Luftbilder	Städtische Katasterämter
kommunale Altstandort-/ Altablagerungsverzeichnisse	Kommunale Umweltverwaltung (Untere Bodenschutzbehörde)
Baugrundkarten	Stadtplanungsämter, Bauämter

3.2. Substrate der Bodenbildung

3.2.1. 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 die Zuarbeit des Geologischen Dienstes (GD; frü-

her Geologisches Landesamt, GLA). Hier sind insbesondere auch Bodenkarten im Maßstab 1:5.000 von Bedeutung (vgl. Kapitel 3.1).

Die Auswertung des GD enthält Angaben zu Art und Mächtigkeit von bis zu vier der obersten Decksichten 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.

Mit Hilfe der Clusteranalyse ist es sinnvoll, 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.

Problematisch im Siedlungsbereich ist generell, dass für große Flächen auf Grund anthropogener Überprägung Angaben fehlen oder, soweit solche Angaben vorhanden sind, diese für weite Bereiche nicht zutreffen, da es sich in der Realität vielfach um Böden aus allochthonen Substraten handelt und sich die Angaben des GD auf potenzielle Böden beziehen, d.h. auf Böden, die anzutreffen wären, wenn der Mensch nicht eingegriffen hätte. Die anthropogene Überprägung beschränkt sich allerdings in vielen Fällen auf die oberen Bodenhorizonte. In diesen Fällen gibt die Zuarbeit des GD zumindest Auskunft über das anstehende Material.

3.2.2. Technogene Substrate und ihre Grundgehalte

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 MEUSER (1996a) bzw. HILLER & MEUSER (1998).

In folgender Tabelle 2 ist die Systematik technogener Substrate dargestellt.

Tabelle 2: Systematik der technogenen Substrate einschließlich Bergematerial (MEUSER 1996a, ergänzt)

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, Wälzofenschlacke
	Gießereischlacken	Kupolofenschlacke, Gießereisand
Aschen	Steinkohlenkraftwerksaschen	Rostasche, Schmelzkammergranulat, Flugasche, Ofenausbruch, Hausbrandasche
	Braunkohlenkraftwerksaschen	Rostasche, Flugasche, Ofenausbruch, Hausbrandasche
	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
	Sperrmüll	Verbundmaterialien
Schlämme	Schlämme der Wasseraufbereitung	Klärschlamm, Fäkalschlamm
	Baggerschlämme	Fluss-, Seesediment-, Hafenschlamm
	Industrieschlämme	z.B. Skoroditschlamm, Deinking-Schlamm, Lösungsrückstände des Erz- und Salzbergbaus

In Auftragsböden finden sich nur selten Monosubstrate dieser Komponenten. Im Regelfall handelt es sich um **Gemengeformen** aus natürlichen und technogenen Substraten.

Der folgenden Tabelle 3 können die Spannweiten und Mittelwerte von Schadstoffgehalten technogener Substrate entnommen werden.

Tabelle 3: Spannweiten und Mittelwerte von Schadstoffgehalten in technogenen Substraten (nach MEUSER 1996a)

Komponente	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	Benzo(a)-pyren
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	960-5570 2780	5200-2,2% 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	435-1830 1030	k.A.
Rohasche (Müllverbrennung)	2,5-77 33	472-1390 1040	509-989 844	k.A.	82-282 192	2090-4320 2890	2640-6830 4540	k.A.
Flugasche (Müllverbrennung)	267-336 316	673-3600 1790	687-1550 988	k.A.	103-380 198	5670-8290 6840	1,5-2,7% 2,1%	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 (soweit nicht anders angegeben)

n.n. nicht nachweisbar

k.A. keine Angaben

¹⁾ ähnliche Gehalte bei Hüttensand und Hüttenbims

²⁾ ähnliche Gehalte bei Cu- und Pb-Schlacken

³⁾ ähnliche Gehalte bei Koks

Das vorherrschende Kontaminationspotenzial der Substrate findet sich zusammenfassend in Tabelle 4.

Tabelle 4: Kontaminationspotenzial technogener Substrate in Böden (nach MEUSER 1996a)

Hauptkomponenten- gruppe	Belastete Substrate	Hauptparameter	
Bauschutt	Gemengeformen > 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 > Kohlekraftwerksaschen		
		Flugaschen	Metalle
		Rostaschen	Metalle, PAK
Müll		Kunststoffe	Metalle
		Holz	Chlorpestizide
		Vegetabilien	Methanbildung
		Verbundmaterialien	Metalle
Schlämme		Klärschlämme	Metalle
		Baggerschlämme	Metalle

3.2.3. Verbreitung natürlicher und technogener Substrate

In den urban-industriellen Verdichtungsräumen 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 Kultusole 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 urbaner Räume anthropogen aufgetragen ist und dass mit hohen technogenen Anteilen zu rechnen ist. In Stuttgart und Essen wurden nur in ca. einem Drittel der abgeteufte 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 dabei dominant hervor.

Der anthropogene Überprägungsgrad steht in Zusammenhang mit der Bodennutzung. In folgender Tabelle ist für das Stadtgebiet von Essen dargestellt, mit welcher Wahrscheinlichkeit Böden mit technogenen Substraten in Abhängigkeit von der aktuellen Bodennutzung bei Bohrarbeiten anzutreffen sind.

Tabelle 5: Verbreitung von Böden mit technogenen Substraten (Auftragsböden) in Abhängigkeit von der Bodennutzung; Betrachtungstiefe 0-100 cm (MEUSER 1996a)

Bodennutzungstyp	Zuordnung	Auftragsböden (mit technogenem Anteil)
Rasenflächen	Abstandsgrün, Grün- und Parkanlage	90 bis 94 %
Rabatte / Gehölzfläche	Abstandsgrün, Grün- und Parkanlage	83 bis 84 %
Sandspielbereich	Abstandsgrün, Grün- und Parkanlage	54 %
Tennenfläche	Sportanlage, Wegeführung	100 %
Garten	Klein- und Hausgärten	60 bis 78 %
Brache (Pioniervegetation)	Brachflächen	100 %
Brache (Hochstauden, Vorwald)	Brachflächen	80 bis 84 %
Brache (Forst)	Brachflächen	73 %
Acker		27 %
Grünland		54 %

3.3. Aktuelle Bodennutzungstypen und Flächennutzung

Wegen der Vielfalt der Nutzungsarten im urbanen Raum ist 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. Realnutzungskartierung des KVR, die in der Regel etwas differenzierter als die ATKIS-Daten ist).

Aktuell wurde vom Umweltbundesamt eine Studie in Auftrag gegeben, einen Schlüssel für Raumeinheiten und Ausschlussflächen im Zusammenhang mit der Kennzeichnung von Gebieten mit großflächig siedlungsbedingt erhöhten Schadstoffgehalten in Böden zu entwickeln, der die Daten des ATKIS-Schlüssels und die Daten des **ALKIS-Schlüssels** (ALKIS = Amtliches Liegenschaftskataster Informationssystem) zusammenfasst (UMEG 2002). In Tabelle 6 (s.u.) wurde als Grundlage der ATKIS-Schlüssel verwendet. Weiterhin erfolgte ein Abgleich mit den ALKIS-Daten, so dass alle Nutzungen einbezogen werden konnten. Hinweise auf eine abweichende Nomenklatur des ALKIS-Schlüssels sind aufgeführt.

In jedem Fall müssen die Daten zuvor einer Anpassung unterzogen werden. Dabei ist es auch notwendig, bestimmte Nutzungen in Subnutzungen zu differenzieren, da der Boden innerhalb dieser Subnutzungen erfahrungsgemäß einen vergleichbaren Aufbau aufweist. Der typische zu erwartende Profilaufbau der einzelnen Subnutzungen ist im Anhang dargestellt.

In Tabelle 6 sind alle Nutzungsarten zusammengestellt, die von Relevanz sind. 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 urbanen Raum nicht von Belang ist (z.B. Nr. 2346 Sprungschanze),

- ausschließlich lineare Strukturen vorliegen (z.B. Nr. 3101 Straße),
- das Medium Boden nicht direkt betroffen ist (z.B. Nr. 3531 Fernleitung).

Ausnahmen können die folgenden **gewerblichen Nutzungsarten** der ATKIS-Datei darstellen, wenn ihr unversiegelter Freiflächenanteil relevant ist. In diesem Fall bietet sich eine Berücksichtigung an, bei der in die Subnutzungstypen Rasenflächen und Rabatten / Gehölzflächen zu differenzieren ist:

Nr. 2123 Raffinerie, Nr. 2124 Werft, Nr. 2126 Kraftwerk, Nr. 2129 Klärwerk / Kläranlage, Nr. 2131 Ausstellungsgelände / Messegelände, Nr. 2133 Heizwerk, Nr. 2134 Wasserwerk, Nr. 2135 Abfallbehandlungsanlage, 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 eine erhöhtes Belastungspotenzial erwartet werden.

Die in Tabelle 6 in Fettdruck dargestellten Nutzungsarten treten im Siedlungsbereich als Freiflächen deutlich hervor.

Zur Erfassung der immissionsbezogenen Bodenbelastung sind auch im Siedlungsbereich bzw. am Siedlungsrand gelegene Acker- und Grünlandflächen sowie Freiflächen innerhalb von Wald / Forstgebieten heranzuziehen (Kursivdruck).

Tabelle 6: Zu erfassende Bodennutzungstypen

Nr.	Nutzungsart (ATKIS)	Bezeichnung nach ALKIS	Beprobungsbereich
1808	Fußgängerzone		unversiegelter Anteil 3)
1802	Parkplatz		nur bei fehlender Versiegelung (Schotterfläche)
2102	Ortslage		Abstandsgrün 3)
2111	Wohnbaufläche		Hausgärten 5), Abstandsgrün 3)
2112	Industrie- u. Gewerbefläche		Abstandsgrün 7)
2113	Fläche gemischter Nutzung		Abstandsgrün 3)
2114	Fläche besonderer Prägung		Abstandsgrün 7)
2121	Bergbaubetrieb (obertägig)		1)
2122	Deponie		1)
2132	Gärtnerei		
2201/2222	Sportanlage		Rasen- und Tennenanlagen
2202	Freizeitanlage		3)
2212	Freilichtmuseum		3)
2213	Friedhof		2)
2223	Schießstand		unversiegelter Anteil 7)
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		
2302	Halde, Aufschüttung		
2303	(sonstige) Freifläche		
2304	Rieselfeld		
2314	Absetzbecken, Schlammteich		
2342	Spielfeld, Spielfläche	Spielplatz	3)
3501	Bahnhof		unversiegelter Bereich, Gleiskörper bei Bahnbrachen
3301	Flughafen		unversiegelter Bereich
3302	Flugplatz, Landeplatz		unversiegelter Bereich
4101	<i>Ackerland</i>		
4102	<i>Grünland</i>		
4103	Gartenland	Kleingarten	5)
4104	Heide		

Tabelle 6: Zu erfassende Bodennutzungstypen (Fortsetzung)

Nr.	Nutzungsart (ATKIS)	Bezeichnung nach ALKIS	Beprobungsbereich
4105	Moor		
4106	Sumpf, Ried		
<i>4107</i>	<i>Wald, Forst</i>	Unterteilung in Laub-, Nadel-, Mischwald	
4108	Gehölz		
4109	Sonderkultur, Baumschule	Unterteilung in Weingarten, Obst-, Hopfen-, Spargelanbau	
4110	Brachland		unversiegelter Anteil 6)
4111	Nasser Boden		
4120	Vegetationslose Fläche		
5112	Binnensee, Teich		
6201	Damm, Wall, Deich		unversiegelter Anteil
7211	Insel		unversiegelter Anteil 7)
7302	Naturschutzgebiet		
7304	Landschaftsschutzgebiet		
7311	Wasser- und Heilquellenschutzgebiet		
7403	Truppenübungsplatz		unversiegelter Anteil
7402	Überschwemmungsgebiet		

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

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

3.4. Nutzungsgeschichte

Die Geschichte der Bodennutzung lässt sich im größeren Maßstab für ein ganzes Stadtgebiet anhand von historischen topographischen Karten bzw. Stadtplänen nachvollziehen. Dadurch lassen sich historische Nutzungsabfolgetypen bilden, für die aufgrund ähnlicher bodenrelevanter Nutzungsgeschichte eine ähnliche Substratzusammensetzung angenommen werden kann (vgl. Tabelle 7).

Tabelle 7: Beispiele für die Ableitung von Nutzungsabfolgetypen aus historischen Karten

Bodenrelevante Entwicklungsszenarien	Historischer Nutzungsabfolgetyp
Grünland (bis 1910) – Aushub von geogenem Bodenmaterial, tiefgründige Einmischung von Sanden, Siedlungsbauschuttanteilen, Verdichtung und Versiegelung unter Wohngebäude (bis 1940) – Brachland nach Kriegszerstörung (ab 1940)	„Freifläche - Wohnbebauung - Freifläche (Brachland)“
Waldfläche (bis 1920) – Aushub von geogenem Bodenmaterial, tiefgründige Einmischung von Sanden, Siedlungsbauschuttanteilen, Verdichtung und Versiegelung unter Kasernengebäude (bis 1980) – Brachland nach Gebäuderückbau (ab 1980)	
Ackerland (bis 1920) - Verdichtung und Versiegelung durch Betonplatten als Kfz-Abstellplatz (bis 1980) - Entsiegelung und Nutzung als Hausgarten mit Einmischung von Mineraldünger (ab 1980)	„Freifläche - Versiegelung - Freifläche (Gartenland)“
Grünland (bis 1950) - Verdichtung und Versiegelung durch Kopfsteinpflaster mit geringmächtigem sandigen Unterbau (bis 1970) - Entsiegelung und Nutzung als Gartenland mit Einmischung von Mineraldünger (ab 1970)	

Grundsätzlich können in vielen Stadthistorien zumindest für die Innenstadtbereiche bestimmte Bauphasen festgestellt werden, die dann in besonderem Maße auf die Bodennutzung einwirken. Bekannte städtebauliche Entwicklungsphasen fanden beispielsweise während der Gründerzeit um die Jahrhundertwende oder nach dem 2. Weltkrieg statt. Im Stadtrandbereich hingegen erfolgte die Stadtentwicklung meist diffuser. Die Zeiten und die Abfolge repräsentativer Nutzungsänderung sind jedoch grundsätzlich stadthistorisch bedingt und für jede Stadt im Rahmen der Bildung von historischen Nutzungsabfolgetypen neu zu definieren.

Aufgrund abweichender Symbolik, ungenauerer Darstellung und kleinerem Maßstab haben Aussagen im Siedlungsbereich bei älteren Karten eine höhere Unsicherheit. Angaben über die Nutzung in bebauten Bereichen basieren daher auch auf Erfahrungswerten, Abschätzungen und der Gesamtbetrachtung einer Fläche in ihrer zeitlichen Entwicklung. Die Auswertung dieser Bereiche sollte daher durch erfahrene Fachkräfte erfolgen. Mit dem Alter der Karten nimmt hingegen auch der Anteil der leicht zu bestimmenden Nutzung "Freifläche" zu.

Trümmerschuttflächen, in manchen Städten von großer Bedeutung, lassen sich durch Luftbildauswertungen lokalisieren. Weitere Hinweise über solche Flächen sind möglicherweise von Bauämtern, Katasterämtern oder anderen Behörden zu beziehen (AHU 1999).

Prägnante Zeitschritte sind insbesondere die 1920er und 1950er Jahre.

Um gezielte Informationen über die Standortgeschichte der einzelnen Probenahme­flächen zu bekommen, sollte die Auswertung historischer Luftbilder und Karten im Bereich dieser Stellen unbedingt punktgenau und detailliert erfolgen.

3.5. 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 1960-er Jahre hinaus in die Vergangenheit zurückreichen. Eine wichtige Quelle insbesondere im Hinblick auf historische Emittenten stellen insbesondere die kommunalen Altstandortverzeichnisse dar.

Die Auswertung der Emission bzw. der Emittenten im Rahmen der BBK-S ist sicher nur qualitativ möglich, denn die flächenhafte Deposition durch einen Emittenten ist als komplexes Phänomen nicht nur von emittentenspezifischen Parametern wie Raumkoordinaten, Quellhöhe, Austrittstemperatur, Schadstoffinventar und Schadstofffrachten der Abgase, sondern von einer Vielzahl weiterer v. a. klimatologischer (z.B. Außentemperatur, Windrichtung, Großwetterlage) und topographischer Parameter (z.B. Luv- bzw. Lee-Lage) abhängig. Linienquellen (z.B. Straßen) oder diffuse Flächenquellen (Abgase durch Hausbrand etc.) gestalten sich im Vergleich zu Punktquellen noch schwieriger, da die emittenspezifischen Parameter nicht bekannt, sondern nur ungenau geschätzt werden können.

3.6. Immissionen

Der Eintrag von Schadstoffen über den Luftpfad trägt merklich zur Bodenbelastung bei; dies gilt insbesondere für industriell geprägte Ballungsgebiete der Rhein- und Ruhrschiene, wo der Immissionsbeitrag dominierend werden kann.

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 wiederfindet, 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 (als Nachfolger der Landesanstalt für Immissionsschutz/LIS bzw. der Landesanstalt für Immissions- und Bodenschutz/LIB des Landes 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 z.T. auch im 2 x 2 km² Raster.

Die Daten zur Immission existieren prinzipiell in zwei Varianten:

- Ursprungsdaten der Messstellen selbst (als Jahreswerte, z.T. Monatswerte);
- Daten der Beurteilungsflächen (Jahres- bzw. Monatsmittelwert für eine 1 x 1 bzw. 2 x 2 km² Rasterfläche berechnet aus dem arithmetischen Mittel der Messstellen an den vier Eckpunkten).

Die Depositionsdaten können beim LUA oder gegebenenfalls auch bei den zuständigen kommunalen Behörden angefordert werden.

Um einen Überblick über die Ausprägung der Deposition über das Stadtgebiet zu bekommen, ist eine Interpolation der Depositionsdaten an den Messstellen für Staub, Blei und Cadmium zweckmäßig. Bei der Deposition handelt es sich

zwar in der Regel um eine interpolierbare Größe, die Interpolierbarkeit im konkreten Fall ist jedoch mittels Variogrammanalyse erst nachzuweisen (vgl. Anhang).

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 Schadstoffkonzentration im Staub je nach Emissionsquelle sehr unterschiedlich sein kann.

Ein Beispiel für solch eine Auswertungskarte zeigt Abbildung 4.

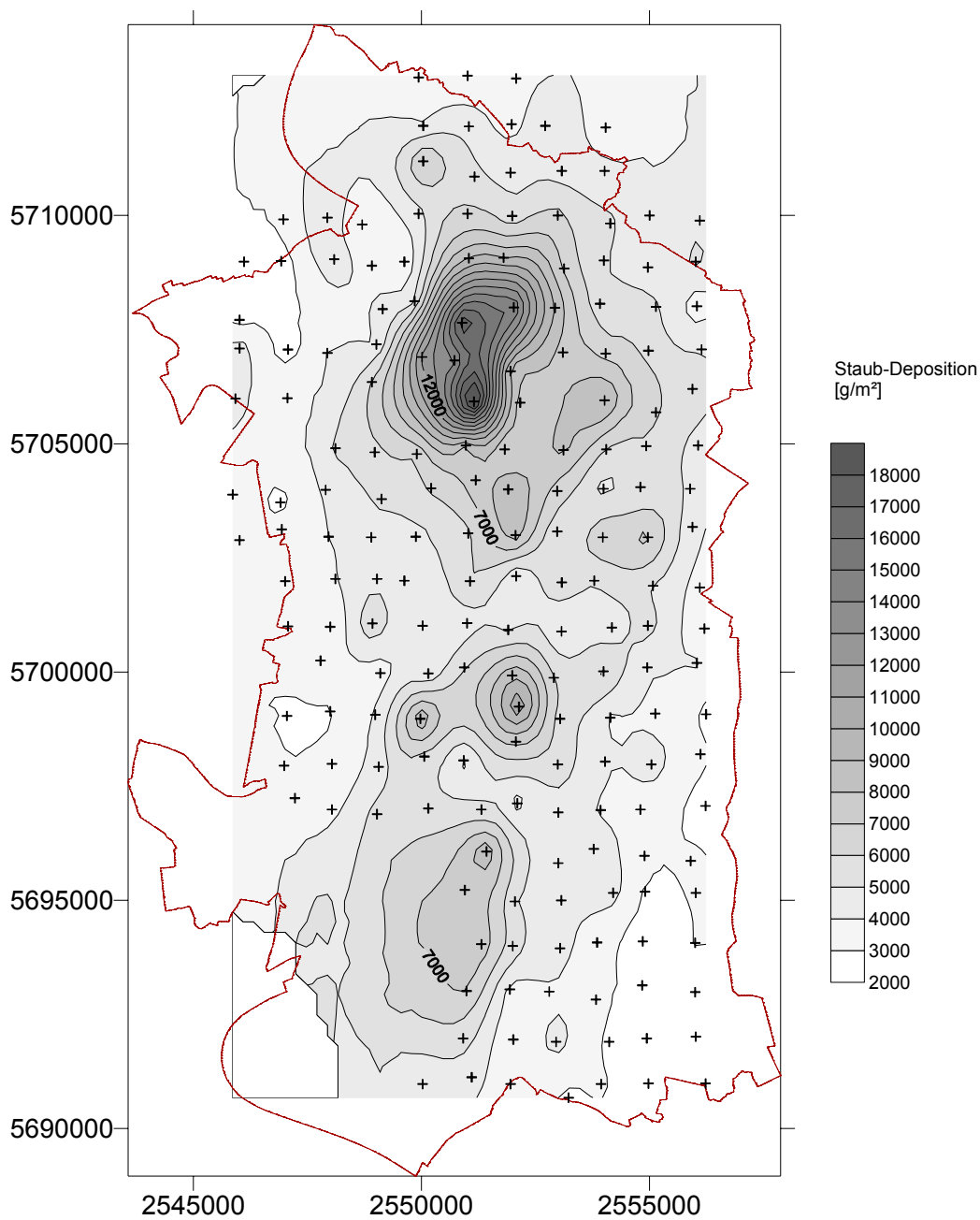


Abbildung 4: Interpolation der Staubdeposition 1964-1999 (aus IFUA 2000c)

3.7. Verwendung natürlicher und technogener Substrate

Der Auftrag natürlicher und technogener Substrate auf Flächen kann folgendermaßen motiviert sein:

- 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), Geländeenivellierungen zum Ausgleich von Bergsenkungen.
- **Ungeordnete Verkippung** z.B. zur Verfüllung von Senken oder Feuchtgebieten, wegen der abfallrechtlichen Gesetzgebung meist bis Mitte der 1970er Jahre.

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 stadttypischen Substrate zu identifizieren.

Neben den Bauakten der zuständigen behördlichen Einrichtungen ist es ratsam, weitere Quellen während der Recherche 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, Betriebsak-

ten der Abfallerzeuger, wasserrechtliche Erlaubnisse, Bauartenzulassungen).

- **Luftbilder** unterschiedlicher zeitlicher Befliegungen erlauben ebenfalls Flächen, auf denen Materialien aufgetragen oder verfüllt wurden, zu identifizieren; 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 ist eine systematische, beprobungslose Erfassung von Flächen, auf denen Substrate als Baustoffe, Auftrags- und Verfüllungsmaterialien eingesetzt wurden, im Vorfeld sinnvoll.

Diese Erfassung, wie sie beispielhaft in Oberhausen als vorbereitender Schritt zur Erstellung der BBK durchgeführt wurde (MSP 2001), hilft potenziell belastete Flächen im Stadtgebiet zu erkennen und somit die Qualität der BBK Siedlungsbereich zu erhöhen (vgl. Anlage 4). Der Beprobungsaufwand in einem späteren Schritt der Bearbeitung kann dadurch reduziert werden.

Unterlagen zur **ungeordneten Verkippung** werden naturgemäß selten angefallen werden können.

3.8. Überschwemmungen

Durch Erosions- und Sedimentationsprozesse im Zuge von Überschwemmungen kommt es zu einer Modifikation der Bodenbelastungssituation solcher Flächen im Vergleich zu Flächen ohne diesen Einfluss. Aufgrund des Umstandes, dass es sowohl zu erosiven als auch sedimentären Prozessen kommen kann, sowie der Tatsache unterschiedlicher Dauer und Häufigkeit von Überschwemmungen, ist einsichtig, dass es sich beim Überschwemmungseinfluss um ein komplexes Phänomen handelt, das häufig weder mit einem einheitlichen Faktor (vgl. LUA 2000) noch einem einheitlichen Zu- bzw. Abschlag zufriedenstellend abgebildet werden kann. Für den Fall, dass sich innerhalb des Untersuchungsgebietes Überschwemmungsflächen unterschiedlicher Vorfluter erstrecken, ist es sinnvoll, nicht ein einheitliches Überschwemmungsgebiet zu berücksichtigen, sondern in Überschwemmungsgebiete unterschiedlicher Vorfluter zu differenzieren. Dies gilt insbesondere, wenn sich die Vorfluter selbst hinsichtlich ihrer Be-

lastungssituation unterscheiden bzw. in der Vergangenheit unterschieden haben.

Wie im Weiteren konkret vorzugehen ist, muss im Einzelfall aus dem Ergebnis statistischer Auswertungen abgeleitet werden, um im Vergleich zu ähnlichen Flächen ohne Überschwemmungseinfluss Gesetzmäßigkeiten erkennen zu können.

Als Datengrundlage für die Abgrenzung von Arealen mit Überschwemmungseinfluss dienen häufig gesetzlich festgesetzte Überschwemmungsgebiete. Bisweilen liegen neben den Daten zu aktuellen auch Informationen zu potenziellen Überschwemmungsgebieten vor (z.B. Flächen, die aktuell durch Eindeichung vor Überschwemmungen geschützt sind); bei letzteren ist zu klären, seit wann der Überschwemmungseinfluss unterbunden ist. Prinzipiell kann auch den potenziellen Überschwemmungsgebieten ein Einfluss auf die Bodenbelastung zukommen; auch dieser ist statistisch nachzuweisen.

Daten bezüglich der Überschwemmungsgebiete liegen bei der örtlichen unteren Wasserbehörde oder beim zuständigen Staatlichen Umweltamt (StUA) vor.

3.9. Klärschlamm- und Bioabfallverwertung; Bodenverwertungsflächen

Unter diese Rubrik fallen Flächen mit Verwertung von Bioabfall (z.B. Kompost) und Klärschlamm (einschließlich Klärschlammkompost) sowie Flächen mit Verwertung von Bodenmaterial. Häufig sind die Daten digital aufzubereiten oder zu bearbeiten, bevor sie zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten herangezogen werden können.

Die Abgrenzungen der Verwertungsflächen können als Zusatzinformationen zur Interpretation der Ergebnisse oder für weitere Auswertungen genutzt werden; bei der immissionsbezogenen Probennahme (vgl. Kapitel 2.2.1) sollten diese Flächen zunächst nicht beprobt werden, um generelle Aussagen zur Bodenbelastung nicht durch Einflüsse von Einzelereignissen in Frage zu stellen.

Flächen mit der Verwertung von Bodenaushub kommen für die Erfassung der immissionsbedingten Bodenbelastung nicht in Betracht, sind aber in der BBK-S darzustellen.

Die relevanten Daten sind bei den unteren Abfallbehörden als Aufsichtsbehörde bzw. den Abwasserverbänden zu recherchieren und hinsichtlich ihrer Verwendung zu prüfen.

Für Klärschlammflächen liegen häufig Bodendaten vor, die Bodenuntersuchungen im Rahmen der Abfallklärschlammverordnung (AbfKlärV 1992) entstammen. Sie umfassen in der Regel nur diejenigen Schwermetalle, für die Grenzwerte in der AbfKlärV genannt sind. Inwieweit diese Daten zur weiteren Bearbeitung der BBK herangezogen werden können, hängt insbesondere davon ab, wie genau die Entnahmestellen der Bodenproben zu lokalisieren sind (mindestens 6-stellige Gauss-Krüger-Koordinaten). Schwerpunktmäßig liegen die Klärschlammverwertungsflächen allerdings im Außenbereich und sind entsprechend dort zu berücksichtigen.

3.10. Altstandorte und Altablagerungen

Im Gegensatz zum Außenbereich reicht in der BBK Siedlungsbereich die symbolische Darstellung von altlastverdächtigen Altstandorten und Altablagerungen an Hand von Rechts- und Hochwerten nicht aus. Zumindest die Umrisse der altlastverdächtigen Altstandorte und Altablagerungen müssen dargestellt werden. Im Regelfall sollten die Geometrie der Flächen und die Kennziffer der beim LUA geführten Datei nach § 9 Abs. 1 LbodSchG in die BBK-S nachrichtlich übernommen werden. Ggf. sollten auch Verknüpfungen beider Dateien angestrebt werden. Weitergehende Untersuchungen und Bewertungen im Rahmen der BBK Siedlungsbereich erfolgen nicht.

Die Geometrien der Altstandorte und Altablagerungen 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 altlastverdächtigen Flächen oder Altlasten bereits erhoben wurden, für die Bearbeitung der BBK-S zwar prinzipiell genutzt werden; im Regelfall ist jedoch davon auszugehen, dass die im Rahmen der Gefährdungsabschätzung erhobenen Daten nur bedingt für die BBK Siedlungsbereich verwertbar sind

(z.B. fehlender Flächenbezug bei Punktbohrungen, Qualität der bodenkundlichen Angaben). Abgeschlossene Erhebungen über Altstandorte und / oder Betriebsstandorte 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 Bergbaus zu berücksichtigen; als erste Anlaufstelle für diese Daten dient die Abt. 8 der Bezirksregierung Arnsberg (ehemals Landesoberbergamt).

Mitunter kommt es vor, dass große Siedlungsflächen bzw. Gewerbeflächen als altlastenverdächtige Flächen gekennzeichnet sind, ohne dass genauere Erkenntnisse über die Flächen vorliegen. In diesem Fall ist es sinnvoll, diese großflächigen Areale im Rahmen der BBK Siedlungsbereich eingehender zu betrachten. Grundsätzlich ist eine enge Abstimmung zwischen der altlastenrechtlichen Bearbeitung von Altstandorten und Altablagerungen und der Bearbeitung der BBK-S erforderlich. Dies wird in der Praxis häufig dadurch begünstigt, dass die Zuständigkeit für beide Bereiche bei der selben Behörde liegt.

Zu prüfen ist im Einzelfall, ob großflächige Altablagerungen, die ein prägendes Element in Bezug auf die Bodenbelastungssituation eines Stadtteils darstellen (z.B. Steinkohlebergehalde, Spülfelder), in die Auswertung der BBK Siedlungsbereich einfließen sollten.

3.11. Einzelflächenbezogene Bodendaten

Die meisten Kommunen haben inzwischen 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 bei den Umweltämtern bzw. häufig auch dezentral bei den zuständigen Stadtämtern (Grünflächenamt, Schulamt usw.).

In zunehmendem Maße liegen seit Mitte der 1990er Jahre auch **Bodengutachten** im Rahmen der **Bauleitplanung** (Aufstellung oder Änderung von Bebauungsplänen) vor. 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**, die nicht auf systematischen Erhebungen beruhen, vor. Ohne Anspruch auf Vollständigkeit sind zu nennen:

- Untersuchungen von Teichsedimenten zur Klärung der Frage einer Entsorgung im Rahmen von **Entschlammungsmaßnahmen**; Zuständigkeit: Umweltamt oder Grünflächenamt
- Bodenuntersuchungen im Rahmen der **Baugenehmigung** von Einzelmaßnahmen, die auch Hausgärten betreffen (Baugrundkarten); Zuständigkeit: Bauordnungsamt
- Bodenuntersuchungen 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: Umweltamt oder Ordnungsamt
- 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: Umweltamt oder Grünflächenamt
- Untersuchungen im Zusammenhang mit Anträgen zur **Regenwasser-versickerung**; Zuständigkeit: Umwelt- oder Stadtplanungsamt
- Bohrgutansprache bei **punktuellen Aufschlüssen** (Bohrungen, Altlastensondierungen, Grundwassermessstellen), die Aussagen über Materialarten und Auffüllungsmächtigkeiten erwarten lassen; Zuständigkeit: Wasserbehörde, Umweltamt

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.

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.

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 zum Ziel haben.

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

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

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

3.12. Hintergrundwerte

Landesweite Angaben über Hintergrundgehalte existieren für viele Schwermetalle und einige organische Schadstoffe für die Nutzungen Acker, Grünland und Wald im Außenbereich sowie Gärten im Siedlungsbereich (vgl. Anhang A 5). Für den Siedlungsbereich ist es darüber hinaus zweckmäßig, lokale Hintergrundwerte aus den Daten des Untersuchungsgebietes abzuleiten. Dabei ist zu beachten, dass nur Daten, welche die großflächige Belastung widerspiegeln, eingehen und Daten über Belastungen, die auf Einzelereignisse zurückzuführen sind (z.B. Altstandorte, Altablagerungen, Unfälle), keine Berücksichtigung finden. Aussagen zu lokalen Hintergrundgehalten und zur Abgrenzung von Gebieten mit erhöhten Hintergrundwerten sind daher im vorliegenden Fall eher Zielstellung der BBK-S und nicht Recherchegrundlage.

4. 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 5.

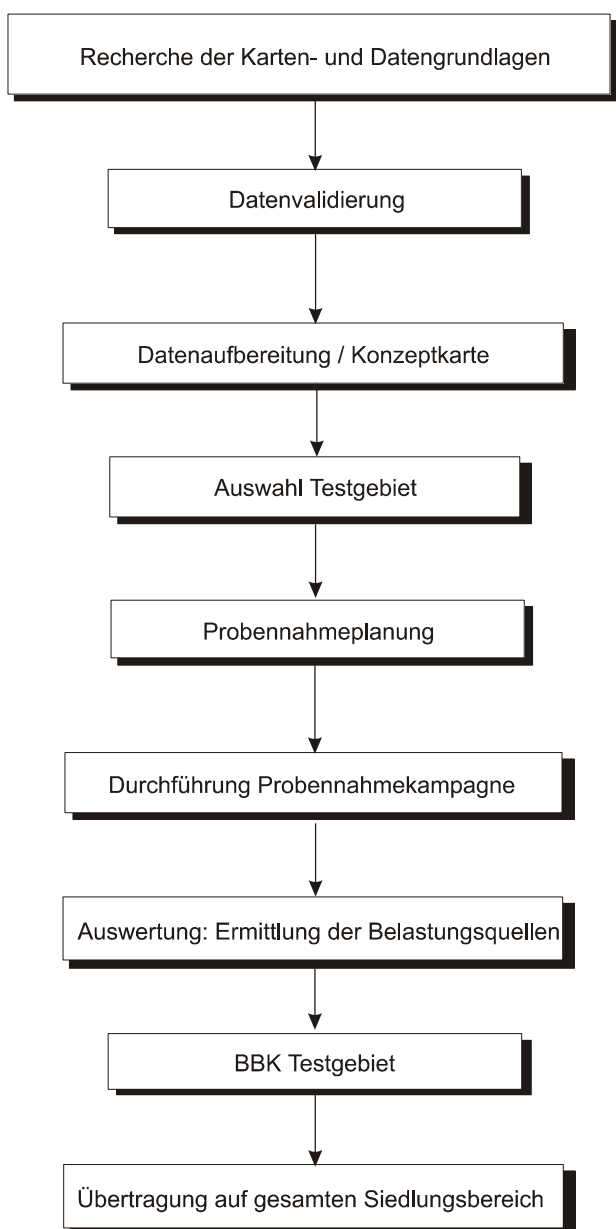


Abbildung 5: Ablaufdiagramm zur Erstellung der BBK Siedlungsbereich

Die einzelnen Arbeitsschritte sind im Folgenden weiter ausgeführt.

4.1. Recherche, Validierung und Aufbereitung der Karten- und Datengrundlagen

4.1.1. Datenrecherche

Die im vorangegangenen Kapitel genannten Daten sind zunächst zu recherchieren. Besonders wichtig sind dabei flächenhafte Grundlagendaten

- zur aktuellen Nutzung
- zu historischen Nutzungen (für ausgewählte prägnante Zeitschnitte)
- zur Lage von aktuellen und potenziellen Überschwemmungsgebieten
- zur potenziellen Verbreitung der natürlichen Einheiten oberflächennaher Gesteine
- zu anthropogenen Auffüllungen, Abgrabungen und Umlagerungen natürlicher und technogener Substrate
- zu Altstandorten und Altablagerungen (die im Rahmen der Erhebungen zu diesen Flächen bereits größtenteils aufbereitet vorliegen)
- zur Versiegelung
- zur Immission

Als räumliche Punktdaten sind insbesondere aktuelle und historische Emittenten sowie Betriebsstandorte, die Quellen für im Untersuchungsgebiet ausgebrachtes technogenes Substrat darstellen, von Bedeutung.

Nicht zuletzt ist die geeignete topographische Grundlage (in der Regel die DGK 5) zu beschaffen.

Die genannten Daten sollten aus Gründen der Effizienz für das gesamte Untersuchungsgebiet recherchiert werden. Bei der anschließenden Aufbereitung, insbesondere bei aufwändigen Digitalisierungen analoger Kartengrundlagen ist es sinnvoll, sich zunächst auf das Testgebiet zu konzentrieren.

Ein weiterer Schwerpunkt liegt in der Recherche einzelflächenbezogener Angaben über Stoffgehalte und Aufbau von Böden. Hierbei sind alle Daten in bereits

bestehenden Bodeninformationssystemen bzw. Bohrdatenbanken mit einzubeziehen und auf eine mögliche Verwendung im Rahmen der BBK zu prüfen.

Der Aufwand für die Datenrecherche insgesamt ist nicht zu unterschätzen, zumal insbesondere ältere Daten (z. B. über die Verbringung von Trümmerschutt) oftmals in unbekanntem Archiven (historische Archive, Hauptstaatsarchiv etc.; vgl. LUA 2001) lagern. Um Synergieeffekte zu nutzen, ist bei der Bearbeitung der BBK-S insbesondere auch auf Daten zurückzugreifen, die gegebenenfalls im Rahmen einer vorausgegangenen BBK Außenbereich recherchiert und zum Teil schon aufbereitet wurden. Dies gilt insbesondere im Hinblick auf die aktuelle Nutzung sowie die Verbreitung von Überschwemmungsgebieten, oberflächennaher Gesteine und Altstandorten bzw. Altablagerungen.

4.1.2. Datenvalidierung

Eine Validierung der Daten ist insbesondere im Hinblick auf die vorliegenden punktuellen Bodendaten hinsichtlich genereller und konkreter Kriterien erforderlich; d.h. die im Zusammenhang mit den Daten notwendigen Angaben müssen sowohl vorhanden, als auch brauchbar sein.

a) Generelle Kriterien der Validierung

Es können generell nur Daten von Standorten verwendet werden, die ausreichend genau zu lokalisieren und zu charakterisieren sind; Daten zu Stoffgehalten müssen über folgende Angaben verfügen:

- 6 bis 7-stellige Gauß-Krüger-Koordinaten
- Angaben zur Nutzung bzw. Subnutzung
- Substrat der Bodenbildung, Art und Anteil technogener Substrate
- Angaben zur Nutzungsgeschichte (gegebenenfalls nachträglich aus Luftbildern abzuleiten)
- Angaben zum Bodenprofil (z.B. Bodenart, Farbe etc.)
- Schicht- bzw. horizontweise Probennahme mit Angabe der Tiefenbereiche
- Datum der Probennahme, Identität des Probennehmers

- Probenvor- und -aufbereitung
- Analyse der Fraktion < 2 mm gemäß Vorgaben (Königswasseraufschluss etc.)

Im Zusammenhang mit der Prüfung des substratbezogenen Belastungspotenzials sind die generellen Kriterien meist nur dann erfüllt, wenn die Bodenansprache auf Basis der Stadtbodenkartieranleitung (AK STADTBÖDEN 1997) erfolgte.

b) zusätzliche konkrete Kriterien der Validierung hinsichtlich des Immissionseinflusses

Ob vorliegende Daten als Stützpunkt für eine Interpolation 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 Anforderung an Stützstellen für Interpolationen 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
- Flächenbezogene Mischprobe einer Probennahmefläche geringer Ausdehnung (bis 1000 m²)

In der Praxis genügen die in der Vergangenheit erhobenen Daten häufig nicht den geforderten Kriterien; eine Probennahmekampagne wird deshalb in der Regel nicht zu vermeiden sein.

Allerdings liegen eine Vielzahl von Daten vor, die Hinweise über den Aufbau der für die BBK Siedlungsbereich relevanten Bodenschicht bis 1 m Tiefe geben. Hieraus lassen sich unter Umständen Auffüllungskarten konstruieren.

4.1.3. Datenaufbereitung / Konzeptkarte

Die geeigneten Punktdaten zur Bodenbelastung sind, soweit noch nicht geschehen, in eine EDV-verfügbare Form (z. B. MS Excel-Tabellen) einzulesen. Alternativ zur manuellen Dateneingabe bietet sich bei geeigneter analoger Vorlage das Einscannen und das Wandeln der Daten über ein Texterkennungssystem in eine Tabelle an. Bei dieser Vorgehensweise sind allerdings sorgfältige Kontrollen, ob die Umwandlung des Bildes in Text bzw. Zahlenkolonnen korrekt abgelaufen ist, und gegebenenfalls Nachkorrekturen fehlerhafter Werte erforderlich.

Die Haltung der Daten erfolgt zweckmäßigerweise in einer Datenbank (z.B. MS Access), mit der Verknüpfungen der Informationen und gezielte Abfragen möglich sind.

Die räumlichen Daten sind in ein GIS zu überführen, wobei vom Prinzip Vektordaten (Abgrenzung von Flächennutzungseinheiten, Nutzungsabfolgetypen, Altstandorten 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 Digitalisierarbeiten bietet es sich an, sich zunächst auf das Testgebiet (vgl. Kapitel 4.2) zu konzentrieren. Punktuelle Daten können bei vielen GIS-Systemen direkt über ihre Hoch- und Rechtswerte 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. Dieses aufgreifend ist es zweckmäßig, die Grundlagendaten miteinander in Beziehung zu setzen (zu verschneiden), um letztlich hinsichtlich bestimmter Parameter homo-

gene Raumeinheiten zu erhalten. Das Ergebnis dieses Arbeitsschrittes stellt die so genannte **digitale Konzeptkarte** dar (vgl. Abbildung 6).

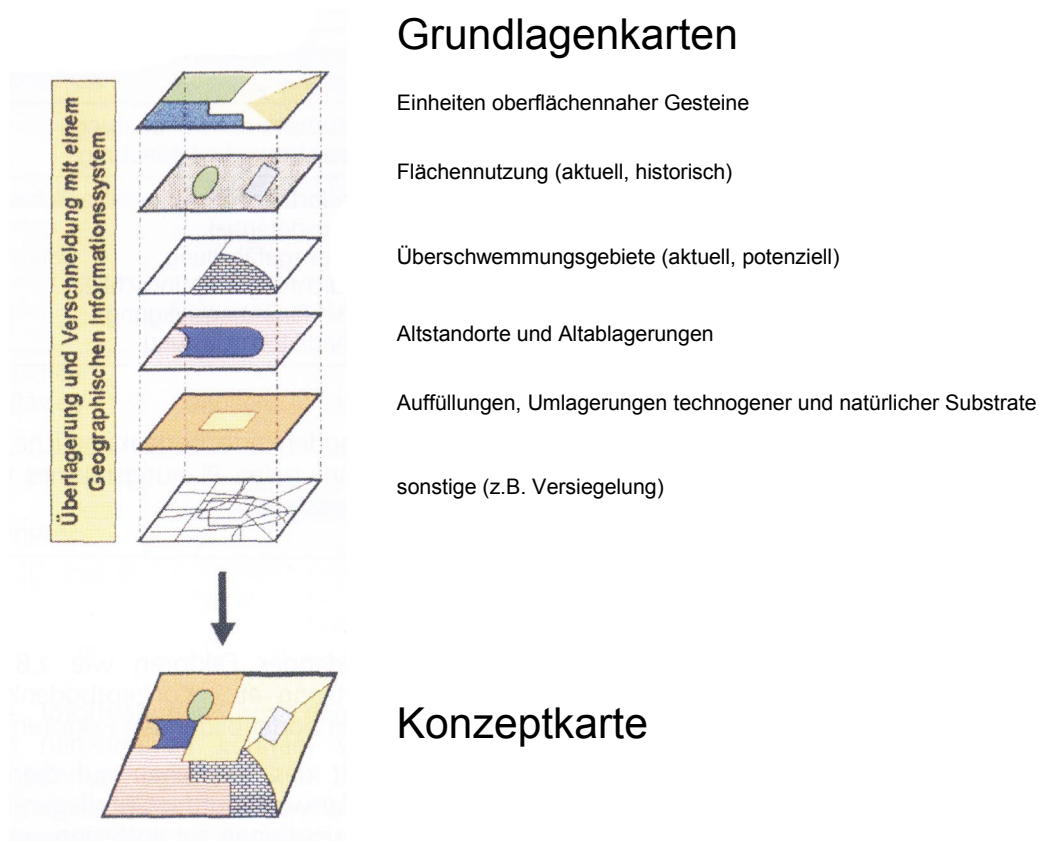


Abbildung 6: Schematische Darstellung einer Konzeptkarte (nach SCHNEIDER et al. 2000, verändert)

Die so erstellte digitale Konzeptkarte bietet den Vorteil der raschen Ergänzbarkeit, Aktualisierung und bedarfsgerechten Ausgabe von Arbeits- und Präsentationskarten sowie Möglichkeiten verschiedener Auswertungen (vgl. AG BODEN 1994). Sie kann insbesondere auch zur Auswahl der Probennahmeflächen (Probennahmeplanung) herangezogen werden.

4.2. Auswahl des Testgebietes

Grundsätzlich wird zu Beginn der Erstellung der BBK Siedlungsbereich die Auswahl eines Testgebietes empfohlen. Dies gilt insbesondere für den Fall, dass die zur Verfügung stehenden Datengrundlagen weniger umfangreich oder für die BBK-S nicht direkt verwertbar sind. Erst über den Schritt eines Testgebietes

kann man sich konkret ein Bild über die Bodenverhältnisse und Belastungsursachen machen. Verzichtbar ist der Schritt Testgebiet,

- wenn das Stadtgebiet klein ist (< 50 km²) oder
- wenn die verwertbaren Datengrundlagen 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
- das Vorkommen von Überschwemmungsgebieten
- 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 Test-

gebiet vorhandenen großflächigen Wald-, Acker- und Grünlandflächen sollten aus der zuvor erstellten BBK Außenbereich übernommen werden.

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.

4.3. Auswahl der Probennahmeflächen (Probennahmeplanung)

Die Probennahmestellen zur Erfassung der **immissionsbedingten Komponenten** der Bodenbelastung sollten folgenden Kriterien genügen:

- Beprobung aller relevanten Nutzungsarten (z.B. Wohngebiet, Gewerbegebiet, Parkanlagen etc.) mit Berücksichtigung der Überschwemmungsgebiete; keine Probennahme auf Ausschlussflächen.
- Rasen-, Brache- (mit Kraut- und Staudenvegetation), Grünland- bzw. Wiesenflächen, um die Vegetationsverhältnisse möglichst zu vereinheitlichen.
- Lange Zeit unberührte Flächen (mindestens 40 Jahre; Flächen, die gemäß historischer Karten, Luftbildern, Kenntnissen der Eigentümer etc. in dieser Zeit Umlagerungen oder Bodenaustausch erfahren haben, werden nicht berücksichtigt).
- Flächengröße 200-1000 m².

Zur Erfassung **technogener Substrate** im Untersuchungsgebiet sollte das Testgebiet alle unter Kapitel 3.3 aufgeführten, stadtypischen Bodennutzungstypen jeweils drei- bis fünfmal aufweisen. Im Einzelnen sind zu erwähnen:

- a) Grünanlagen oder Parks mit Rasen-, Rabatten- und Sandspielflächen
- b) Abstandsgrünflächen mit Rasen-, Rabatten- und Sandspielflächen
- c) Sportanlagen mit Rasen- und Tennenflächen
- d) Kleingartenanlagen
- e) Hausgärten in Wohngebieten

- f) Brachflächen mit Pioniervegetation, Hochstauden und Waldvegetation
- g) Wald- und Grünlandflächen auf nicht natürlichen Böden

Die Auflistung ist ggf. um weitere, eher seltener anzutreffende Nutzungsarten zu ergänzen (vgl. Kapitel 3.3).

Können aufgrund der historischen Nutzungsabfolge Flächen mit vergleichbarem technogenen Substrat definiert werden, so sind diese bei der Auswahl der Probennahmeflächen zu berücksichtigen (vgl. Kapitel 3.4). In Abhängigkeit von der Bedeutung der jeweiligen Nutzungsgeschichte kann ein Schwerpunkt der Probennahme auch auf solchen Flächen liegen.

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 (vgl. Anhang).

Die Auswahl der Probennahmeflächen zur Erfassung der immissionsbezogenen Komponente und der substratbezogenen Komponente der Bodenbelastung erfolgt parallel.

4.4. Durchführung der Probennahmekampagne

Die gestufte Methodik zur Erstellung der BBK Siedlungsbereich spiegelt sich in einer gestuften Probennahmekampagne wider. Hierfür bietet sich ein 4-stufiges Verfahren an:

1. Überblicksuntersuchung Testgebiet
2. Verdichtungsschritt Testgebiet
3. Überblicksuntersuchung übriges Untersuchungsgebiet
4. Verdichtungsschritt übriges Untersuchungsgebiet (soweit erforderlich)

Im Zuge der Probennahmekampagne werden sowohl die Proben zur Erfassung der immissionsbezogenen Komponente, als auch die Proben zur Erfassung der substratbezogenen Komponente der Bodenbelastung genommen.

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 durch Immissionen bzw. durch Substrate ergab und eine Verbesserung der Ergebnisse durch eine höhere Probendichte zu erwarten ist.

Bei engem Zeitplan können der Verdichtungsschritt im Testgebiet und die Überblicksuntersuchungen im übrigen Untersuchungsgebiet parallel durchgeführt werden.

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

4.5. Ermittlung der Belastungsquellen

Der entscheidende erste Auswerteschritt stellt die Ermittlung der Belastungsursachen dar. Deren Ergebnis bestimmt die weitere methodische Vorgehensweise.

4.5.1. Übersicht

Die Quellen von Bodenbelastungen an einem Standort können vielfältig sein. Wenn auch in den Immissionen und den Ablagerungen technogener Substrate häufig die Hauptbelastungsquellen zu sehen sind, können andere Eintragswege im Einzelfall diese Quellen überdecken, die Belastung erhöhen, aber auch reduzieren.

Zur Interpretation der Belastungssituation ist es ratsam, bodenkundliche Parameter, die bei der Feldarbeit erfasst werden, mit dem festgestellten Schadstoffbelastungsmuster abzugleichen. In Tabelle 9 sind mögliche Belastungsquellen, im Boden sichtbare morphologische Erkennungszeichen und typische, von den Schadstoffquellen abhängige Schadstoffmuster zusammengestellt.

Tabelle 9: Quellen von stofflichen Bodenbelastungen in urbanen Böden

Quelle	Erkennungszeichen, morphologische Hinweise	Kontaminationsmuster	Beispiele
Staubdeposition (Immission)	<ul style="list-style-type: none"> ◆ oberflächennahe Staubpartikelakkumulation (<2 µm) ◆ Staublessivierung 	Abnahme mit der Tiefe bei ungestörten Profilen	Grünanlagen im Einzugsgebiet von staubemittierenden Betrieben
Ablagerung fester technogener Substrate	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Diagnose des Substrats 	vgl. Tabelle 4	Bauschuttverfüllungen
Gebaute Profile	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Profildifferenzierung nach DIN-Vorschriften ◆ scharfe Horizontgrenzen 	indifferent (baustoffabhängig)	Bolzplatz
Überschwemmungen	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Auenbodencharakter ◆ Auendynamik der Landschaft 	indifferent abhängig von Überschwemmungsereignissen, Topographie der Aue, Sedimentbeschaffenheit (Textur, C, pH), Hydrologie des Aquifers, Industriegeschichte des Flusses, Einleitersituation	Auen Vordeichland
Leckagen an Versorgungsleitungen	<ul style="list-style-type: none"> ◆ defekte Leitungen ◆ Redoximorphie (durch Abwasser, Gase) ◆ Geruchsauffälligkeiten 	Abwasserleitungen: Borate, NH ₄ ⁺ /NO ₃ ⁻ , CKW, Metalle, bakterielle Belastung Gasleitungen: Reduktgase wie CH ₄ , H ₂ S,	Straßenränder
Mineraldüngung	<ul style="list-style-type: none"> ◆ keine 	Anreicherung im Ap - von Cd, (Be, V) nach miner. Phosphatdüngern - von Cr, (Ni) nach Gesteins-, Horn-, Knochen-, Ledermehl, Hüttenkalk	Ackerflächen
Einsatz von Wirtschaftsdüngern	<ul style="list-style-type: none"> ◆ C-Anreicherung im Ap (tendenziell) 	Anreicherung im Ap Bsp. Cu bei Geflügeldüngern	Ackerflächen
Klärschlammdüngung	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Humusschlieren ◆ Geruchsentwicklung 	Anreicherung im Ap (Abnahme mit der Tiefe) Metalle > PAK, PCB	Ackerflächen
Einsatz von Kompost und Rindenmulch	<ul style="list-style-type: none"> ◆ erhöhter Fremdstoffanteil (z.B. Kunststoff) im Oberboden ◆ C-Anreicherung im Oberboden 	Anreicherung im Oberboden Kompost: Hausmüll > Biomüll > Laub > Grünschnitt Kompost: Metalle > Organika Rindenmulch: Cd, Chlorpestizide	Grünanlagen Rabatten, Gehölzflächen
Einsatz von Hausbrandaschen (Düngung)	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Aufweitung C/N 	Anreicherung im R, Ap Metalle (außer Hg) > PAK	Haus- und Kleingärten
Rieselfeldbewirtschaftung	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Humusschlieren ◆ Redoximorphie ◆ erhöhter Fremdstoffanteil 	indifferent (tendenziell Abnahme mit der Tiefe) Metalle > PAK, PCB	Eingedeichte Flächen Grünland

4.5.2. Immissionen

Zur Beurteilung, inwieweit die Immission zu relevanten Bodenbelastungen geführt hat, dienen in einem ersten Schritt vorhandene Immissionsdaten selbst (vgl. Kapitel 3.6). 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 immissionsbezogenen Proben dar; Ziel der dabei gewählten Strategie zur Probennahme ist es, den Einfluss der anderen Belastungsursachen in den Hintergrund treten zu lassen. Dabei liegt das Augenmerk v.a. auf denjenigen Proben, bei denen andere Belastungsursachen nicht zu erkennen sind.

4.5.3. Substrate

Zur Beurteilung der Relevanz der technogenen Substrate werden zunächst insbesondere vorhandene Bodendaten beurteilt, aber auch aktuelle und historische Betriebe unter dem Aspekt einbezogen, ob sie Quellen solcher technogenen Substrate darstellen.

In einem zweiten Schritt werden die Proben der Messkampagne im Hinblick auf Art und Umfang technogener Substrate, Höhe der Bodenbelastung und der Korrelation beider Größen ausgewertet. Die Relevanz des Einflusses technogener Substrate ist statistisch nachzuweisen.

Ebenso wie im Fall der Immission sollte sich eine Beurteilung, inwieweit die technogenen Substrate für die jeweilige Stadt eine wesentliche Belastungsursache darstellen, schon im Rahmen der Überblicksuntersuchung des Testgebietes ergeben. Als Auswertekriterien sollten beachtet werden:

- Zusammenhang zwischen Nutzung/Subnutzung und Substratzusammensetzung des Bodens
- Korrelation zwischen Anteil technogener Substrate im Boden und Bodenbelastung

Bei der Auswertung ist jedoch zu berücksichtigen, dass Oberböden gleichzeitig erheblich durch Immissionseinfluss belastet sein können und dann gegebenenfalls nicht in die Auswertung einbezogen werden dürfen. Weiterhin ist zu beachten, dass die Ablagerung natürlicher Substrate (z.B. Sand) den Schadstoffgehalt von Gemengen aus technogenen und natürlichen Substraten auch reduzieren kann.

4.6. Erstellung der BBK-S 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. Die stoffliche Bodenbelastung ergibt sich dann aus der Überlagerung der immissions- und der substratbezogenen flächenhaften Bodenbelastung.

Die Übertragung der Punktinformation in die Fläche geschieht im Falle der **immissionsbezogenen Bodenbelastung** 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 (gewichtete Mittelung des Wertes 0-10 cm und des Wertes 10-30 cm gegebenenfalls unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Trockenrohdichten) durchzuführen. Für die Interpolation wird das Verfahren des Block-Krigings empfohlen (vgl. Anhang).

Vor Durchführung der Interpolation sind zunächst allerdings mittels Variogrammanalyse (vgl. Anhang) 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 2.3. Die Interpolierbarkeit kann in der Regel durch Ausschluss der Überschwemmungsflächen und derjenigen Flächen, die deutlich inverse Gradienten der Bodenbelastung aufweisen¹, verbessert werden.

Zwar werden üblicherweise bei der Betrachtung von Einzelflächen differenzierte 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.

¹ 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

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 der Anhang.

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).

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

Im Falle des **substratbezogenen Bodenbelastung** 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 1987).

4.7. Übertragung auf das gesamte Stadtgebiet

Eine Übertragung der Methode zur Ermittlung der immissions- und substratbezogenen Bodenbelastung vom Testgebiet auf den gesamten Siedlungsbereich ist dann möglich und angezeigt, wenn innerhalb des Testgebietes, gegebenenfalls nach Verdichtung, sinnvolle Ergebnisse erreicht wurden.

Die Bearbeitung erfolgt in Analogie zum Testgebiet gestuft, auch hier ist zunächst 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.

5. Anwendungen für die Bodenbelastungskarten des Siedlungsbereichs

Wie im Leitfaden für den Außenbereich beschrieben (LUA 2000), bieten Bodenbelastungskarten verschiedene Möglichkeiten zur Unterstützung der Bodenschutzbehörden im Vollzug.

Für die dort genannten 9 Anwendungsbereiche sind jedoch einige Anpassungen für den Siedlungsbereich zu beachten. Insbesondere eignet sich der für den Außenbereich vorgegebene Bearbeitungsmaßstab von 1:50.000 nicht für eine Darstellung der kleinräumigen Verhältnisse im Siedlungsbereich. Nachfolgend ist für die einzelnen Anwendungsbereiche eine kurze Einschätzung ihrer Relevanz für den Siedlungsbereich angegeben. Die Anwendungen lassen sich dann konkretisieren, wenn weitere Erfahrungen aus den Pilotprojekten und neuere Arbeitsmaterialien (Vollzugshilfen etc.) vorliegen.

1. Abgrenzung von Gebieten einheitlicher Hintergrundwerte

Durch eine statistische Auswertung des vorliegenden Datenbestandes können auch für den Siedlungsbereich lokale Hintergrundgehalte von Schadstoffen in Böden ermittelt und Gebiete einheitlicher Hintergrundwerte abgegrenzt werden.

2. Ermittlung und Abgrenzung von Gebieten mit Überschreitungen der Vorsorgewerte

Die Relevanz dieser Anwendung im Siedlungsbereich ist zu prüfen. Die für den Außenbereich beschriebene Vorgehensweise zur Erstellung einer Arbeitskarte "Vorsorgewerte-Vergleich" ist allerdings bezüglich Punkt 3 und ggf. 4 von Bedeutung.

3. Ermittlung und Abgrenzung von Gebieten im Hinblick auf das Einbringen von Materialien (§ 12 BBodSchV)

Dieser Anwendungsbereich ist für den Außen- und Siedlungsbereich relevant.

4. Ermittlung und Abgrenzung von Gebieten zur Abfallverwertung nach AbfKlärV und BioAbfV

Im Siedlungsbereich ist diese Anwendung ggf. nur auf das Aufbringen von Bioabfällen z.B. auf öffentlichen Grünflächen beschränkt.

5. Ermittlung und Abgrenzung von Gebieten mit geogen / naturbedingt oder großflächig siedlungsbedingt erhöhten Stoffgehalten

Im Rahmen der BBK-S ist die Abgrenzung von Gebieten mit siedlungsbedingt erhöhten Stoffgehalten relevant.

6. Beurteilung der stofflichen Bodenbelastung im Einflussbereich von Emittenten

Diese Anwendung ist auch für den Siedlungsbereich relevant.

7. Ursachenbezogene Bewertung von Einzelflächen anhand von Hintergrundwerten

Insbesondere in der Altlastenbearbeitung (z.B. Prioritätensetzung) ist diese Anwendung von Bedeutung.

8. Ermittlungen zur Erfassung von schädlichen Bodenveränderungen und Verdachtsflächen (§ 5 LbodSchG) und deren Abgrenzung

Der Vergleich mit den wirkungspfad- und nutzungsdifferenzierten Prüf- und Maßnahmenwerten ist einer der wesentlichen Anwendungsbereiche der BBK-S. Die Vorgehensweise ist jedoch auf die im Siedlungsbereich relevanten Nutzungen anzupassen.

9. Abwägungs- und Kennzeichnungsgrundlage im Rahmen der Bauleitplanung

Auch dieser Anwendungsbereich ist im Siedlungsbereich von besonderer Bedeutung. Insbesondere durch den Maßstab der BBK-S (z.B. 1:10.000) ergeben sich weitergehende Auswertungsmöglichkeiten.

Insgesamt betrachtet sind bei der BBK-S die Anwendungsbereiche zur Gebietsabgrenzung hinsichtlich Hintergrund-, Vorsorge- und Prüfwerten sowie als Abwägungsgrundlage in der Bauleitplanung von Bedeutung. Hierbei ist es jedoch wichtig zu betonen, dass die BBK-S in der Regel nicht unmittelbar zu ordnungsbehördlichem Handeln herangezogen werden kann (dies gilt übrigens gleichermaßen für die BBK im Außenbereich). Sie liefert vielmehr Anhaltspunkte und Hinweise für die Abgrenzung von Verdachtsflächen und auf weitergehende wirkungspfadbezogene Untersuchungen.

Darüber hinaus sind weitere Anwendungsfelder ableitbar, die nicht primäres Ziel der Erstellung der BBK Siedlungsbereich sind. Zum einen liegen eine Fülle von Daten vor, die im Rahmen der Bearbeitung der BBK-S recherchiert und verfügbar gemacht wurden, und zum anderen liegen als Ergebnis der Kartierungen im Zuge der Erarbeitung der BBK-S relativ detaillierte Angaben zum Bodenaufbau vor. Sie können zwar nicht die Genauigkeit, die im Rahmen der systematischen Stadtbodenkartierung zu Grunde gelegt wird (wie z.B. bei der Kartierung des Oberhausener Brücktorviertels, SCHRAPS et al. 2000) erfüllen. Die Auswertungsmöglichkeiten, die in der oben genannten Publikation dargelegt sind, können jedoch durchaus auf die Ergebnisse der erarbeiteten BBK Siedlungsbereich angewandt werden.

6. Weiterer Handlungsbedarf zur Methodenentwicklung

Zur Erstellung dieser Empfehlungen wurden die Ergebnisse der drei Pilotprojekte in Düsseldorf, Duisburg und Wuppertal - soweit derzeit verfügbar - berücksichtigt. Die Datenbasis reicht jedoch nicht, um endgültige Vorgaben der Vorgehensweise in Form eines Leitfadens geben zu können.

Insbesondere folgende Fragenkomplexe bleiben zu klären:

- Validierung des historischen Ansatzes
- Validierung des nutzungs- bzw. substratbezogenen Ansatzes durch
 - Erfassung von regionalspezifischen Substratspektren
 - Zuordnung von Substraten und Schadstoffgehalten
 - Vervollständigung der Systematisierung städtischer Auftragsböden in Abhängigkeit von der Bodennutzung
- Ableitung von Standardisierungsfaktoren aus den Ergebnissen des immissionsbezogenen- bzw. substratbezogenen Bausteins zur flächendeckenden Interpolation
- Einbeziehung von Methoden der Stadtbodenkartierung

Des Weiteren sind noch folgende Ergebnisse und Erfahrungen zu berücksichtigen:

- Ergebnisse aus weiteren Städten, die zur Zeit eine BBK im Siedlungsbereich erstellen
- weitere Erfahrungen mit der Probennahme und Analytik
- Erfahrungen mit der für die Bearbeitung benötigten Software
- Konkretisierung und Weiterentwicklung der Anwendungen
- Erfahrungen mit Vollzugsfragen (z.B. welche konkreten Konsequenzen können sich aus flächenhaft ermittelten Prüfwertüberschreitungen im Siedlungsbereich ergeben ?)

Erst wenn die genannten Fragen geklärt sind und zusätzliche Ergebnisse und Erfahrungen vorliegen, ist beabsichtigt, den vorhandenen Leitfaden für den Außenbereich um den Teil "Siedlungsbereiche" fortzuschreiben.

7. Literatur

- AG BODEN (1994): Bodenkundliche Kartieranleitung; Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden der Geologischen Landesämter und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe der Bundesrepublik Deutschland; 4. Auflage, Hannover
- AHU (1999): Erfassung von Verdachtsflächen auf schädliche Bodenveränderungen im besiedelten Bereich von Düsseldorf; 1. Sachstandsbericht, ahu AG, 07/1999, Aachen, Gutachten im Auftrag der Stadt Düsseldorf
- AK STADTBÖDEN (1989): Empfehlungen des Arbeitskreises Stadtböden der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft für die bodenkundliche Kartieranleitung urban, gewerblich und industriell überformter Flächen (Stadtböden); UBA Forschungsbericht (UBA-FB 89-056)
- 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
- BAHRENBERG, G., GIESE, E. (1975): Statistische Methoden und ihre Anwendung in der Geographie; Teubner Verlag, Stuttgart
- 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
- BLUME, H.-P. (Hrsg.) (1992/2002): Handbuch des Bodenschutzes. Ecomed Verlag, Landsberg/Lech – 2. Auflage. 3. Auflage in Druck
- BOYSEN, P. (1992): Schwermetalle und andere Schadstoffe in Düngemitteln. Texte Umweltbundesamt 55/92, Berlin
- BRUS, D.J. et al. (1996): The performance of spatial interpolation methods and choropleth maps to estimate properties at points: a soil survey case study; in *Environmetrics* 7; S. 1-16
- BURGHARDT, W. et al. (1998): Verteilung von Stoffen aus Einträgen in Stadtböden; *Bodenschutz*, Heft 3; S.92-97
- DRAPER, N.R., SMITH, H. (1966): The use of Dummy Variables in Multiple Regression; S. 134-142; in *Applied Regression Analysis*; Wiley & Sons Inc., New York, London, Sydney

- EINAX, J.W. (1996): Einsatz multivariat-statistischer und geostatistischer Methoden zur Bewertung der Kontamination von Böden; in Altlasten-Bewertung: Datenanalyse und Gefahrenbewertung; S. 86-112; AbfallPraxis; Aktualisierte Beiträge des Symposiums Conlimes '94 vom 14. bis 16. Dezember 1994; Landsberg
- FELIX-HENNINGSSEN, P., WILBERS, A. und CRÖßMANN, G. (1993): Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAKs) in den Böden der Rieselfelder der Stadt Münster (Westfalen). Z. Pflanzenernährung und Bodenkunde, 156, S. 115-121
- FRÜND, H.-C. UND MEUSER, H. (2000): Bodenfunktionen. WEKA Praxislösungen Boden schützen, Altlasten sanieren, Bd. 2, Nr. 5.3, S. 1-82. Fachverlag für technische Führungskräfte, Kissing
- 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
- HERGET, J. (1994): Zur räumlichen Variabilität der Gehalte ausgewählter Schadstoffe in Stadtböden Gelsenkirchens; Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde, 157, S. 309-314; Weinheim
- HILLER, D.A., MEUSER, H. (1998): Urbane Böden; Springer-Verlag, Berlin Heidelberg
- HOLLAND, K. (1995): Die Böden Stuttgarts. Schriftenreihe des Amtes für Umweltschutz der Stadt Stuttgart, Heft 3/1995
- HORNBURG, V. (1996): Schwermetall-Gesamtgehalte in verschiedenen Böden nordrhein-westfälischer Naturräume. Geol. Jb., A 144, S. 209-254
- HINDEL, R., GEHRT, E., KANTOR, W. und WEIDNER, E. (1998): Spurenelementgehalte in Böden Deutschlands: Geowissenschaftliche Grundlagen und Daten. In: Rosenkranz, D. et al.: Bodenschutz. Ergänzendes Handbuch, Nr. 1520, S. 1-75, Erich Schmidt Verlag, Berlin
- HÖKE, S. und WALLOSSEK, P. (1995): Zusammenhänge zwischen Schwermetallgehalten in Oberböden und den Stadtstrukturen der Stadt Halle/Saale. Mitt. Dtsch. Bodenkdl. Ges., 76, S. 1073-1076
- GLA – Geologisches Landesamt Schleswig-Holstein (Hrsg.) (1988): Bodenkarte 1:20.000 Stadt Kiel und Umgebung
- GRENZIUS, R. (1987): Die Böden Berlins (West) – Klassifizierung, Vergesellschaftung und ökologische Eigenschaften. Dissertation TU Berlin

- IFUA (1999): Gutachten zur Bodenbelastung in Duisburg – Hüttenheim; Ergebnisbericht; IFUA-Projekt-GmbH, 06/1999, Bielefeld; im Auftrag des Landesumweltamtes NRW
- IFUA (2000a): Digitale Bodenbelastungskarte Duisburg; 1. Sachstandsbericht – Vorüberlegungen; IFUA-Projekt-GmbH, 02/2000, Bielefeld; Gutachten im Auftrag der Stadt Duisburg
- IFUA (2000b): Ableitung von Prüfwerten für Bodenbelastungen mit Kupfer und Zink; IFUA-Projekt-GmbH, 05/2000, Gutachten im Auftrag der Stadt Osnabrück
- IFUA (2000c): Digitale Bodenbelastungskarte Duisburg; 2. Sachstandsbericht – Rahmenbedingungen und erste Ergebnisse; IFUA-Projekt-GmbH, 12/2000, Bielefeld; Gutachten im Auftrag der Stadt Duisburg
- IFUA (2000d): Weitergehende Sachverhaltsermittlungen in Duisburg-Hüttenheim; Teil 1: Kinderspielflächen und Wohngärten; IFUA-Projekt-GmbH, 12/2000, Bielefeld; Gutachten im Auftrag der Stadt Duisburg
- IFUA (2000e): Digitale Bodenbelastungskarte Duisburg; 3. Sachstandsbericht; IFUA-Projekt-GmbH, 06/2001, Bielefeld; Gutachten im Auftrag der Stadt Duisburg
- KUNTZE, H., ROESCHMANN, G., SCHWERDTFEGER, G. (1994): Bodenkunde, 4. Auflage, UTB, Stuttgart
- KLEMMER, P. und STEIN, D. (1988): Instandhaltung von Kanalisationen. Z. für Angewandte Umweltforschung, Sonderheft 1/1988, Analytica Verlag, Berlin
- LABO (1998): Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden; Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO); 2. überarbeitete und ergänzte Auflage
- LUA – Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (2000): Leitfaden zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten, Teil I: Außenbereiche. LUA-Merkblätter, Nr. 24, Essen
- LUA – Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (2001): Arbeitshilfe für flächendeckende Erhebungen über Altstandorte und Altablagerungen; Materialien zur Altlastensanierung und zum Bodenschutz (MALBO), Band 14; Essen
- MEUSER, H. (1993): Technogene Substrate in Stadtböden des Ruhrgebietes; Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde, 156, S. 137-142; Weinheim
- MEUSER, H. (1996a): Technogene Substrate als Ausgangsgestein der Böden urban-industrieller Verdichtungsräume. Schriftenreihe des Instituts für Pflanzenernährung und Bodenkunde der Universität Kiel, Nr. 35

- MEUSER, H. (1996 b): Ein Bestimmungsschlüssel für natürliche und technogene Substrate in Böden städtisch-industrieller Verdichtungsräume; Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde, 159, S. 305-312; Weinheim
- MEUSER, H. (1996 c): Schadstoffpotential technogener Substrate in Böden urban-industrieller Verdichtungsräume; Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde, 159, S. 621-628; 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
- MURL (1997): Luftreinhalteplanung in Nordrhein-Westfalen / Sonder-Luftreinhalteplan Duisburg
- 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
- RODEN, v. G. (1974): Geschichte der Stadt Duisburg; II die Ortsteile von den Anfängen, die Gesamtstadt seit 1905; Walter Braun Verlag Duisburg
- SCHEFFER, F., SCHACHTSCHABEL, P. (1989): Lehrbuch der Bodenkunde; 12. Auflage, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart
- SCHMIDT, A., MEUSER, H. (1997): Stadtbodenkartierung Essen: Nutzungsbedingte Heterogenität urbaner Böden in einer Bergbauregion; Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, 84, S. 53-56.
- SCHNEIDER, J., KUNZMANN, S., RAECKE, F. (2000): Bereitstellung von Bodendaten für die Bauleitplanung; Arbeitshefte Boden, Heft 2000/2, Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung (NLFb, Hannover (Hrsgb.))
- SCHULTE, G (1996): Stadtböden - Schadstoffbelastung und -mobilität; UFZ-Bericht Nr. 11/1996
- 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

- SOLDT, U., EINAX, J.W. (1998): Statistische Aus- und Bewertung immissionsbedingter Bodenbelastungen; Zeitschrift für Umweltchemie und Ökotoxikologie, 10; S. 23-29; Landsberg
- 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
- STOYAN, D., STOYAN, H., JANSEN, U. (1997): Umweltstatistik – Statistische Verarbeitung und Analyse von Umweltdaten; Teubner Verlagsgesellschaft, Stuttgart
- STRATMANN, Dr. M., HERPERTZ, E. (1966): Staubbiederschlagsmessungen im Land Nordrhein-Westfalen; in Schriftenreihe der Landesanstalt für Immissions- und Bodenschutz des Landes Nordrhein-Westfalen; Band 2
- SUKOPP, H. und WITTIG, R. (Hrsg.) (1998): Stadtökologie. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart
- TEBAAY, R.H., WELP, G. und BRÜMMER, G.W. (1993): Gehalte an Polycyclischen Aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) und deren Verteilungsmuster in unterschiedlich belasteten Böden. Z. Pflanzenernährung und Bodenkunde, 156, S. 1-10
- UMEG (2002): Schlüssel für Raumeinheiten und Ausschlussflächen (GSE-Schlüssel). Forschungsvorhaben im Auftrag des Umweltbundesamtes, Entwurfsfassung
- UMWELTBUNDESAMT (Hrsg.) (1999): Berechnung von Prüfwerten zur Bewertung von Altlasten: Ableitung und Berechnung von Prüfwerten der Bundes-Bodenschutz und Altlastenverordnung für den Wirkungspfad Boden-Mensch aufgrund der Bekanntmachung der Ableitungsmethoden und -maßstäbe im Bundesanzeiger Nr. 161 a vom 28. August 1999; Sonderausgabe zu Bodenschutz: Ergänzbare Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser; Erich Schmidt Verlag, Berlin
- UNGER, H.-J. und 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
- ZÖLITZ, R. (1983): Beispiele zur Anwendung der Variogrammanalyse auf flächenhaft erhobene Bodendaten; Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Nr. 36, S. 97-102