



Das Lebensministerium

Leitfaden

Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten zur flächenhaften Darstellung und Beurteilung von Schadstoffen in sächsischen Böden

Stand 05/2007

Materialien zum Bodenschutz

Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie

Zur Wetterwarte 11

Freistaat  Sachsen

Leitfaden

Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten zur flächenhaften Darstellung und Beurteilung von Schadstoffen in sächsischen Böden

Stand 05/2007

Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie

Referat Bodenschutz

Zur Wetterwarte 11, 01109 Dresden

<http://www.umwelt.sachsen.de/lfug>

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	III
1 Einleitung	5
2 Zielstellung	7
3 Grundlagen zur Erstellung einer BBK.....	8
3.1 Vorgehensweise bei der Erstellung einer BBK.....	8
3.2 Einflüsse auf die flächenhafte Schadstoffsituation	9
3.3 Datengrundlagen.....	11
3.3.1 Bodenuntersuchungen	12
3.3.2 Topografie	13
3.3.3 Bodennutzung	14
3.3.4 Ausgangssubstrate.....	14
3.3.5 Überschwemmungsbereiche	15
3.3.6 Zusatzinformationen.....	16
4 Methodik zur Erstellung einer BBK	18
4.1 Methodische Grundlagen	18
4.1.1 Übertragung statistischer Kennwerte	18
4.1.2 Räumliche Interpolation.....	18
5 Arbeitsschritte zur Erstellung einer BBK.....	21
5.1 Strategisch-planerische Vorarbeiten	21
5.2 Datenrecherche, -erfassung und -validierung	25
5.3 Bildung homogener Raumeinheiten	26
5.4 Flächenhafte Darstellung	29
5.5 Notwendiger Untersuchungsbedarf.....	33
5.6 Besondere Aspekte bei der Erstellung von BBK für Unterböden	34
5.7 Besondere Aspekte bei der Erstellung von BBK für organische Auflagehorizonte	34
5.8 Besondere Aspekte bei der Erstellung von BBK für mobile Stoffgehalte	35
6 Vorgehensweise in Überschwemmungsbereichen.....	37
7 Vorgehensweise für den Siedlungsbereich.....	40

7.1	Einleitung.....	40
7.2	Böden im Siedlungsbereich.....	40
7.3	Quellen und Einflussfaktoren der Schadstoffgehalte in Siedlungsböden.....	41
7.4	Methodische Ansätze für die BBK im Siedlungsbereich	43
7.4.1	Substratansatz	45
7.4.2	Immissionsansatz.....	45
7.4.3	Raumanalytischer Ansatz.....	45
7.5	Notwendige Datengrundlagen für die BBK im Siedlungsbereich	46
7.5.1	Technogene Substrate	48
7.5.2	Flächennutzung.....	49
7.5.3	Immissionen	52
7.6	Auswahl eines Testgebietes.....	52
7.7	Prüfung der unterschiedlichen Ansätze im Testgebiet.....	53
7.7.1	Immissionsbezogener Ansatz	53
7.7.2	Substratbezogener Ansatz.....	54
7.7.3	Raumanalytischer Ansatz.....	55
7.8	Übertragung auf das Stadtgebiet	56
8	Bodenuntersuchungen im Rahmen der BBK	57
8.1	Bodenuntersuchungen im Überschwemmungsbereich.....	58
8.2	Bodenuntersuchungen im Siedlungsbereich.....	59
9	Anwendungsbereiche	64
10	Maßnahmen zur Qualitätssicherung	65
11	Zitierte und weiterführende Literatur	67
Anhang 1:	Mindestdatensatz bei Neuuntersuchungen im Rahmen der BBK.....	69
Anhang 2:	Analyseverfahren mit Bestimmungsgrenzen (BG).....	71

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Wesentliche Schritte zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten	9
Abbildung 2: Datengrundlagen für Bodenbelastungskarten und Angabe ihrer Quellen.....	11
Abbildung 3: Verfügbarkeit von Bodenkarten in Sachsen (LfUG 2006)	15
Abbildung 4: Ablaufschema zur Erstellung einer BBK.....	22
Abbildung 5: Bildung von homogenen Raumeinheiten als Grundlage für die Übertragung von Punktdaten in die Fläche	28
Abbildung 6: Schematische Darstellung der Übertragung von Punktdaten auf die Fläche...	30
Abbildung 7: Schematische Darstellung zum Einfluss des pH-Wertes auf die Schwermetallmobilität.....	35
Abbildung 8: Allgemeine Vorgehensweise zur Erstellung einer BBK im Siedlungsbereich ..	44
Abbildung 9: Schema einer punktbezogenen Probenahme mit 9 Einstichen nach dem Satellitenprinzip	58

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Mindestanforderungen an vorliegende Stoffdaten zur Verwendung in einer BBK	13
Tabelle 2: Matrix zur Abschätzung des Untersuchungsbedarfs	33
Tabelle 3: Methodische Ansätze einer BBK im Siedlungsbereich.....	46
Tabelle 4: Kontaminationspotenzial technogener Substrate (nach MEUSER 2002)	48
Tabelle 5: Zu betrachtende Nutzungsarten und Beprobungsbereiche im Siedlungsbereich	50

1 Einleitung

Für Aufgaben des Bodenschutzvollzuges und weitere Planungen sind flächenhafte Informationen zu Schadstoffgehalten in Böden notwendige Arbeitsgrundlagen. Bei Betrachtung zusammenhängender Flächen auf der Ebene von Kreisen oder Städten ist eine grundstücksbezogene Messung der Schadstoffgehalte auf einer Vielzahl von Einzelflächen nicht mehr praktikabel, u. a. wegen zu hoher personeller und finanzieller Belastungen. Aus diesem Grund müssen sich praktikable Untersuchungs- und Bewertungsschritte auf Einzelmessungen stützen, deren Ergebnisse nach klaren Regeln in die nicht beprobte Fläche übertragen werden.

Ein Instrument hierfür stellen digitale Bodenbelastungskarten (BBK) dar, die im Ergebnis eine flächenhafte Darstellung der Schadstoffgehalte liefern, an die sich auch planerische Auswertungen anschließen lassen, z. B. im Hinblick auf eine Abgrenzung von Flächen mit Verdacht auf schädliche Bodenveränderung. Sie stellen somit wertvolle Informationen für die Sachverhaltsermittlung und Gefahrenabwehr, den vorsorgenden Bodenschutz und weitere planerische Zwecke bereit.

Ein weiterer Vorteil der Erstellung einer BBK ist zudem, dass bei der Bearbeitung eine Fülle von Daten gesammelt und digital aufbereitet in einem geografischen Informationssystem verfügbar gemacht wird. Eine BBK umfasst damit die Recherche und Erfassung von Daten, das Einstellen in eine Datenbank, die Arbeiten zur flächenhaften Darstellung mit den Ergebniskarten der geschätzten Stoffgehalte, ggf. nachfol-

gende weitere Bodenuntersuchungs- und Überarbeitungsschritte sowie nachfolgende Auswertekarten. In diesem Sinne ist die BBK als ein fortschreibungsfähiges und damit zukunftsfähiges Bodeninformationssystem auf kommunaler Ebene zu bezeichnen.

Ausgangspunkt einer BBK bilden Daten zu Stoffgehalten in Böden. Dabei beschränken sich die Betrachtungen auf persistente Schadstoffe, von denen Beeinträchtigungen der Bodenfunktionen ausgehen können, z. B. Schwermetalle, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) und ggf. polychlorierte Biphenyle (PCB) oder Dioxine und Furane (PCDD/F). Neben Informationen zu Stoffgehalten oder spezifischen Belastungsursachen werden auch Daten zu Bodeneigenschaften und Bodenausgangssubstraten, der Bodennutzung und eines möglichen Überschwemmungseinflusses benötigt. Für die Auswertung werden zudem auch Informationen zu punktuellen Belastungsursachen wie Altlasten, Emittenten, Halden und Erzgängen verwendet. Anhand der späteren Anwendungsbereiche ist zu entscheiden, ob eine BBK nur für den Oberboden (und ggf. auch für die organischen Auflagehorizonte im Forst) oder aber auch für den Unterboden zu erstellen ist. Ebenfalls ist zu festzulegen, ob die Darstellungen der königswasserextrahierbaren Schwermetallgehalte in Bereichen mit landwirtschaftlicher Nutzung um die der mobilen Gehalte (Ammoniumnitratextrakt) ergänzt werden soll.

Bei der Erstellung von BBK ist methodisch zwischen dem Außenbereich mit weitgehend naturnah genutzten Böden

(d. h. vorrangig unter Acker-, Grünland- oder forstlicher Nutzung mit weitgehend natürlichem Profilaufbau) und dem engeren Siedlungsbereich zu unterscheiden. Im Siedlungsbereich sind aufgrund bodenschutzrechtlicher Anforderungen oder der Bauleitplanung andere Bodennutzungen von Bedeutung, wie z. B. Kinderspielflächen oder Wohngebiete. Zudem sind die Böden im Siedlungsbereich regelmäßig anthropogen überprägt, d. h. es finden sich z. B. die Folgen von Bodenumlagerung und Eintrag technogener Substrate. Dieses führt in aller Regel zu kleinräumig wechselnden Bodenverhältnissen, die eine darauf abgestimmte Methodik für den Siedlungsbereich erforderlich machen.

Intensive und langjährige Erfahrungen zur Erstellung und Anwendung von BBK liegen bisher nur in Nordrhein-Westfalen vor. Dort sind derzeit für 40 Kreise, kreisfreie oder kreisangehörige Städte im Außenbereich Bodenbelastungskarten der naturnahen Böden erstellt worden oder in Bearbeitung. In

18 Gebieten werden darüber hinaus auch BBK im Siedlungsbereich erstellt. Wesentliche Grundlagen der Methodik in diesem Leitfaden sind daher bestehende Empfehlungen zur Erstellung einer BBK (LUA 2000 und 2006) und zur Abgrenzung von Gebieten mit siedlungsbedingt erhöhten Gehalten (UMEG 2002) sowie die Ergebnisse des LABO-ad hoc Unterausschusses „Punkt zu Fläche“ (LABO 2004 a, b, c, d). Zudem sind die Erfahrungen aus der Praxis in diesen Leitfaden eingeflossen und die Methodik wurde entsprechend der spezifischen Gegebenheiten im Freistaat Sachsen angepasst und überarbeitet.

Ergeben sich im Zuge der Bearbeitung einer BBK Anhaltspunkte für das Vorliegen von Gebieten mit großflächig erhöhten Schadstoffgehalten, finden sich weitergehende Hinweise zur Umsetzung des Bodenschutzes für diese Gebiete in den bereits vom LfUG herausgegebenen Handlungsempfehlungen (LfUG 2006).

2 Zielstellung

Das Ergebnis der Erstellung einer digitalen Bodenbelastungskarte stellt eine Einheit aus verschiedenen Komponenten dar und umfasst im Einzelnen:

- Eine Datenbank mit georeferenzierten und validierten Informationen zu Stoffgehalten und deren Einflussgrößen,
- Eine GIS-Anwendung mit Kartendarstellungen zu den Effekten, welche die Stoffgehalte im Wesentlichen beeinflussen,
- Ergebniskarten, d. h. Karten zu den geschätzten Stoffgehalten, zum Untersuchungsbedarf und ggf. Auswertekarten zu unterschiedlichen Fragestellungen.

Der vorliegende Leitfaden ist eine Arbeitshilfe für die Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten. Er stellt die dazu erforderlichen Daten, die methodischen Grundlagen und Werkzeuge

sowie die einzelnen Arbeitsschritte des Verfahrens dar. Der Leitfaden beschreibt dabei die Vorgehensweise im Sinne eines Regelfalles, nennt aber auch Entscheidungswege, falls im Einzelfall andere Lösungen gefunden werden müssen. Am Ende werden Hinweise auf mögliche Anwendungsbereiche und die dazu erforderlichen Auswertungen gegeben.

Die in diesem Leitfaden aufgestellten Anforderungen, d. h. die allgemein beschriebene Vorgehensweise und insbesondere die in Kapitel 10 dargelegten Hinweise zur Qualitätssicherung sollten bei der Bearbeitung einer BBK eingehalten werden. Im Falle bestehender staatlicher Nutzungsrechte sind die im Rahmen einer BBK erhobenen Daten zu Bodenuntersuchungen unter Einhaltung bestimmter Datenformate dem LfUG für landesweite Aufgaben zu übermitteln.

3 Grundlagen zur Erstellung einer BBK

Bei der Erstellung der BBK werden Daten zu Schadstoffgehalten in Böden mit weiteren relevanten Informationen verschnitten und ausgewertet sowie flächenhafte Darstellungen zur Schadstoffverteilung erzeugt. Die grundsätzliche Vorgehensweise bei der Erstellung, die dazu notwendigen Voraussetzungen und der fachliche Hintergrund werden im Folgenden beschrieben.

3.1 Vorgehensweise bei der Erstellung einer BBK

Die Erstellung einer BBK ist als ein iterativer, also schrittweiser und sich teilweise wiederholender Prozess zu verstehen (Abbildung 1). Diese Schritte erlauben eine Unterteilung in Teilprojekte, die ggf. auch getrennt ausgeschrieben und bearbeitet werden können. Zumeist lassen sich die Arbeiten in drei Phasen gliedern, wobei zumindest die ersten Phase zusammenhängend und vollständig bearbeitet werden sollte. Vor der eigentlichen Bearbeitung ist zumindest der beim Auftraggeber vorhandene Datenbestand und der des LfUG zu sichten, um eine Abschätzung des Arbeitsaufwandes vornehmen zu können.

Die erste Phase umfasst die planerischen Vorarbeiten, die Datenrecherche, -erfassung und -validierung, eine erste flächenhafte Darstellung mit dem vorhandenen Datenbestand und die Ableitung des weiteren Untersuchungsbedarfs. Diese Phase schließt mit der Konkretisierung des Bedarfs an zusätzlichen Bodenuntersuchungen im Sinne einer Messnetzplanung ab.

Die zweite Phase setzt die Vorgaben aus der ersten Phase um und umfasst

dabei die praktische Probenahme und Analytik der erforderlichen Bodenproben, die Erfassung der Untersuchungsergebnisse und eine komplette Überarbeitung der flächenhaften Darstellung der Stoffgehalte. Sofern sich trotz der Nachuntersuchungen weiterhin ein notwendiger Untersuchungsbedarf ergibt, ist diese Phase zu wiederholen.

In der dritten Phase werden die Karten der geschätzten Stoffgehalte des Untersuchungsgebietes einer Auswertung unterzogen. So lassen sich z. B. mit Hilfe des Indikatorkriging Flächen ausweisen, die mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit festgelegte Schwellen (z. B. Vorsorgewerte, Prüf- und Maßnahmewerte, gebietsbezogene Beurteilungswerte) überschreiten. Diese Differenzierung erfolgt zumeist auch im Hinblick auf die Anpassung nachfolgender Maßnahmen. Hinweise zur Vorgehensweise sind den Handlungsempfehlungen des LfUG (2006) für die Umsetzung des Bodenschutzes in Gebieten mit großflächig erhöhten Schadstoffgehalten zu entnehmen. Im Einzelfall kann sich auch in dieser Phase ein neuer Untersuchungsbedarf konkretisieren, so dass die Phase 2 und 3 erneut durchlaufen werden müssen.

Es ist sinnvoll, die Bearbeitung des Außenbereiches der naturnahen Nutzung von der des Siedlungsbereiches zu trennen und möglichst voranzustellen. Die Bearbeitung des Siedlungsbereiches erfordert ein differenzierteres Vorgehen und kann Informationen für die Randbereiche und ungestörten Flächenanteile aus einer vorangegangenen Bearbeitung des Außenbereiches nutzen.



Abbildung 1: Wesentliche Schritte zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten

3.2 Einflüsse auf die flächenhafte Schadstoffsituation

Für die Erstellung einer BBK ist die Kenntnis der Einflussfaktoren der stofflichen Bodenbelastung und ihre Quantifizierung eine wesentliche fachliche Voraussetzung. Erst die Kenntnis über das spezifische Zusammenspiel dieser

Einflussfaktoren auf die flächenhafte Schadstoffverteilung im Oberboden erlaubt eine Übertragung von erhobenen Punktdaten in die Fläche und bedingt damit wesentlich die dazu anzuwendenden statistischen und geostatistischen Methoden.

Räumlich abbildbar sind regelhaft auftretende stoffliche Belastungen (bzw.

deren Veränderung) durch folgende Ursachen:

- Ausgangssubstrat (geogener Anteil)
- Überschwemmungseinfluss
- Bodennutzung / Nutzungsgeschichte
- Regionale / lokale Immissionen
- Auftreten technogener Substrate
- Bodenumlagerungen, Materialauftrag

Die Einflussgrößen sind nicht immer eindeutig anthropogenen oder natürlichen Quellen zuzuordnen. Oftmals finden sich gleitende Übergänge, z. B. in Gebieten mit oberflächennahen Erzvorkommen, wo die Schadstoffgehalte zusätzlich durch Gewinnung und Verhütungen der Erze erhöht wurden.

Die Ausgangssubstrate der Bodenbildung können unterschiedliche Schwermetallgehalte aufweisen und entsprechend in Gruppen geordnet werden. Die geogen bedingten Schadstoffanteile lassen sich dann vereinfacht über den Wechsel dieser Ausgangsgesteinsgruppen räumlich erfassen. Pedogene Umverteilungen können über die Bodentypen erfasst werden. In Kombination, also über die Bodenform, lassen sich somit räumliche Einheiten differenzieren, die sich in ihren geogenen Schwermetallgehalten voneinander unterscheiden.

Der Überschwemmungseinfluss zeigt sich insbesondere in den Auengebieten schadstoffbelasteter Gewässer, aus denen durch Hochflutereignisse belastete Sedimente auf die Flächen getragen werden. So lässt sich z. B. das Belastungsniveau der Auen der Vereinigten Mulde deutlich von den umgebenden Flächen abgrenzen. Wegen der

Heterogenität der Bodeneigenschaften und Schadstoffgehalte innerhalb der Überschwemmungsgebiete sind diese unabhängig von den übrigen Flächen getrennt zu bearbeiten.

Auch die Bodennutzung und die damit einhergehende vertikale Schadstoffumverteilung hat einen deutlichen Einfluss auf die aktuell zu messenden Schadstoffkonzentrationen. Oftmals finden sich durch Einträge in den Oberböden höhere Schadstoffkonzentrationen, als in den darunter liegenden Horizonten. Durch regelmäßige Bodenbearbeitung findet ein Einmischen und damit Verdünnen der Schadstoffe über den gesamten Bearbeitungshorizont statt. Unter forstlicher Nutzung fehlt diese Verdünnung, zudem sind die immissionsbürtigen Einträge in den Boden durch den Baumbestand zumeist höher, als unter Acker- oder Grünlandnutzung. Sind die B- oder C-Horizonte hingegen aus schwermetallreichen Ausgangssubstraten entstanden, dann finden sich nach unten hin deutlich zunehmende Konzentrationen. In den Oberböden pausen sich dann die geogenen Gehalte der Ausgangssubstrate deutlich durch.

Im Siedlungsbereich treten die vorgenannten Einflussfaktoren oftmals zurück und es dominieren für die Entstehung von Stadtböden typische Faktoren wie die Nutzungsabfolge, lokale Immissionen, Materialauftrag und Bodenumlagerungen und insbesondere das Auftreten technogener Substrate. Nur in den Fällen, in denen sich regelhafte Beziehungen der Schadstoffgehalte im Boden durch diese Effekte erklären lassen, ist auch hier eine Übertragung von Punktdaten in die Fläche statthaft.

3.3 Datengrundlagen

Digitale Bodenbelastungskarten stellen eine Schnittstelle von Informationen zur Beschreibung der Schadstoffsituation (Bodenanalysen), zu den bestimmenden Einflussfaktoren (Nutzung, Schad-

stoffgehalte im Substrat, ggf. Überschwemmung) sowie zusätzlichen Informationen zur Abgrenzung von Ausschlussflächen oder zur späteren Beurteilung der Ergebniskarten dar. (Abbildung 2).

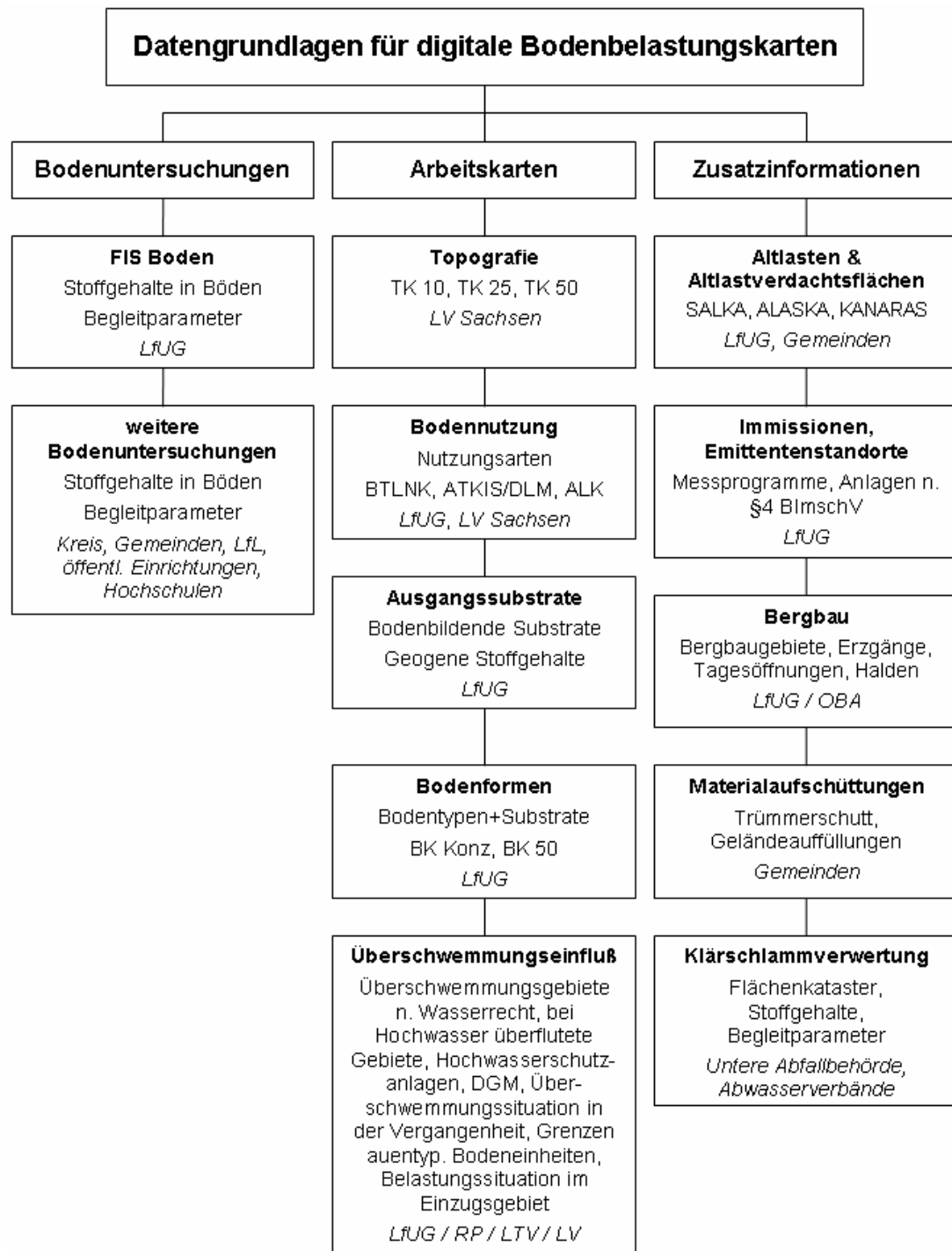


Abbildung 2: Datengrundlagen für Bodenbelastungskarten und Angabe ihrer Quellen

Während die Bodenuntersuchungen die eigentlichen Stoffdaten und wichtige Begleitparameter bereitstellen, enthalten die Arbeitskarten die wesentlichen Einflussfaktoren auf die Belastungssituation. Für die Vorbereitung, Prüfung und Durchführung einer flächenhaften Darstellung sind diese Informationen unerlässlich.

Die Zusatzinformationen tragen im Wesentlichen dazu bei, Ausschlussflächen auszuweisen, für die nach den Regeln der BBK keine flächenhaften Stoffinformationen bereitgestellt werden können oder Flächen mit lokal zu berücksichtigenden Besonderheiten zu kennzeichnen. Dieses betrifft insbesondere Flächen mit Altlasten oder Altlastenverdacht, bergbaulich geprägte Flächen mit Halden oder ausstreichenden Erzgängen oder Flächen mit Materialauftrag. Diese Informationen werden nachrichtlich in der BBK dargestellt und helfen, lokale Belastungen aufzudecken und dienen der Interpretation und Bewertung im Umfeld. Dieses gilt auch für Emittentenstandorte oder Hinweise aus Immissionsmessprogrammen. Bei der Bearbeitung des Siedlungsbereiches sind weitere siedlungstypische Aspekte zu ergänzen (s. Kapitel 7).

3.3.1 Bodenuntersuchungen

In digitalen Bodenbelastungskarten werden die Stoffe erfasst, von denen Beeinträchtigungen der Bodenfunktionen ausgehen können. Vorrangig werden Daten zu Gehalten an Schwermetallen, PAK, ggf. PCB und PCDD/F berücksichtigt. Entsprechende Ergebnisse von Bodenuntersuchungen können in ganz unterschiedlichen Datensammlungen vorhanden sein.

Die wichtigste Quelle für Daten über Stoffgehalte in Böden Sachsens ist das Fachinformationssystem Boden (FIS Boden) des LfUG. Dort sind neben den Messergebnissen zu den einzelnen Stoffen auch Angaben, welche die Messergebnisse erklären, enthalten. Hierzu gehören die Dokumentation der Analyseverfahren, Angaben zur Probenentnahme oder Hinweise auf weitere Untersuchungsergebnisse, wie z. B. pH-Wert, Körnung, Humusgehalt, die zur Bewertung notwendig sind oder die für die Interpretation des vorliegenden Messwertes hilfreich sein können. Ein Datenauszug für den Bereich einer digitalen Bodenbelastungskarte wird auf Anfrage vom LfUG zur Verfügung gestellt.

Bei der Erstellung einer Bodenbelastungskarte ist außerdem zu prüfen, ob Ergebnisse von weiteren Bodenuntersuchungen, z. B. bei der Landesanstalt für Landwirtschaft, den Kommunen, Abwasserverbänden oder Hochschulen für das Untersuchungsgebiet vorliegen. Diese Daten liegen, wenn sie überhaupt digital vorhanden sind, oftmals in ganz unterschiedlichen Formaten vor, oft auch in analoger Form in Tabellen oder Gutachten. Sie sind hinsichtlich ihrer Vollständigkeit und Konsistenz zu prüfen und bei Verwendbarkeit mit den Daten des LfUG zusammenzuführen.

Im Rahmen der Qualitätssicherung einer BBK sind bestimmte Mindestanforderungen an die Daten zu stellen. Diese betreffen die Vollständigkeit der Angaben zu Stoffgehalten (Messwert, Einheit, Analyseverfahren, Raumbezug) sowie einen Mindestumfang an Begleitparametern und bodenkundlichen Angaben (Tabelle 1).

Die Anforderungen an neue Bodenuntersuchungen, die im Rahmen der Erstellung einer BBK vorgenommen wer-

den sind ausführlich in Kapitel 8 und 10 dargestellt.

Tabelle 1: Mindestanforderungen an vorliegende Bodenuntersuchungen zur Verwendung in einer BBK

Kategorie	Anforderung
Raumbezug	<ul style="list-style-type: none"> • Mindestens 6-stellige Rechts-/Hochwerte oder eindeutiger Flächenbezug (z. B. Flurstücks-Nr., Kartenauszug) zur Nacherhebung der Koordinaten • Angabe der Entnahmetiefe
Stoffgehalte und Begleitparameter	<ul style="list-style-type: none"> • Vollständigkeit der Messwerte (Einheit, Analyse-methode) • Analysenmethoden gem. BBodSchV oder Nachweis der Eignung • pH-Wert, bei Bearbeitung des Siedlungsbereiches ggf. weitere, wie C_{org}, Tongehalt
Bodenkundliche Angaben aus erfolgter Kartierung - ggf. Nachkartierung - notfalls hilfswise Nacherhebung*	Bei der Probenahme erfasste Angaben: <ul style="list-style-type: none"> • Nutzung • Horizontangaben (Bezeichnung, Tiefe) • Bodenart und Skelettanteil • Bodenfarbe, Humusgehalt • Carbonatgehalt • Bodentyp und Substrat (Bodenform) • Für Siedlungsböden Untergliederung der Substratansprache im Hinblick auf das Belastungspotential nach Meuser (1996a, b und 2002)

* falls in weiten Teilen des Datenbestandes diese Angaben fehlen, kann eine Nacherhebung anhand von Bodenkarten für den Außenbereich erwogen werden. Im Siedlungsbereich ist eine Nachkartierung unabdingbar.

3.3.2 Topografie

Die topografischen Basisdaten dienen zum einen einer ersten Abgrenzung des Untersuchungsgebietes auch im Hinblick auf eine Unterscheidung in den Bereich der naturnahen Nutzung und den Siedlungsbereich und als Hintergrund bei der Auswertung und Visuali-

sierung der Ergebnisse. Grundsätzlich sind alle in Abbildung 2 genannten Maßstabsebenen (TK 10, TK 25, TK 50) für das Bearbeitungsgebiet erforderlich. Als Hintergrund für die BBK im Außenbereich ist die topografische Karte im Maßstab 1: 25.000 (TK 25) oder

1:50.000 (TK 50) im Rasterformat am besten geeignet. Für alle Arbeiten

- zur Messnetzplanung / Probenahme
- zur Anpassung von Maßnahmen der Gefahrenabwehr im Außenbereich
- im Überschwemmungsbereich
- im Siedlungsbereich

ist die topografische Karte im Maßstab 1 : 10.000 (TK 10) als Grundlage heranzuziehen.

3.3.3 Bodennutzung

Der Einfluss der Bodennutzung auf die Höhe der gemessenen Stoffgehalte im Oberboden kann erheblich sein. Für die Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten werden daher flächenhafte Informationen zur Nutzung benötigt. Ziel ist es, ausreichende Datengrundlagen für die Bildung homogener Raumeinheiten (s. Kapitel 5.3) und für eine ggf. später erforderliche Effektbereinigung (s. Kapitel 5.4) zu erhalten.

Eine gute Grundlage für die Erfassung der Nutzung liefert die Biotoptypen- und Landnutzungskartierung (BTLNK), die allerdings aufgrund unterschiedlicher Aggregation ggf. einer Nachbearbeitung bedarf. Kartenwerke wie ATKIS enthalten bereits die erforderlichen Interpretationen und können zumeist ohne weitere Bearbeitungsschritte ausgewertet werden. Da die Bodennutzung einem zeitlichen Wandel unterliegt, sind ggf. Aktualisierungen z. B. anhand aktueller Luftbildaufnahmen erforderlich. Voraussichtlich ab 2007 werden landesweit aktuelle ALK-Daten zur Flächennutzung auf Flurstücks- bzw. Grundstücksebene vorliegen, die insbesondere für die Bearbeitung des Siedlungsbereiches von großem Nutzen sind.

Für den Außenbereich mit Böden mit weitgehend naturnahem Profilaufbau werden Ackerland, Grünland und Forst unterschieden. Alle anderen Nutzungen können für den Außenbereich als Ausschlussflächen zusammengefasst werden und sind ggf. im nächsten Schritt bei der Erstellung der BBK für den Siedlungsbereich genauer zu betrachten. Hier sind die Nutzungen feiner zu differenzieren und ggf. auch Bereiche typischer Nutzungsabfolgen oder ähnlicher Siedlungsgeschichte gegeneinander abzugrenzen (s. Kapitel 7).

3.3.4 Ausgangssubstrate

Die Schwermetallgehalte der Ausgangssubstrate der Bodenbildung können einen erheblichen Einfluss auf die Stoffgehalte im Oberboden haben. Um diese Information für das jeweilige Untersuchungsgebiet sachgerecht ermitteln zu können, sind mehrere Arbeitsschritte erforderlich. Zunächst sind die vorkommenden bodenbildenden Substrate zu ermitteln. In einem zweiten Schritt sind diese Substrate bezüglich ihrer Schwermetallgehalte zu charakterisieren und zu gliedern. In einem letzten Arbeitsschritt ist der geogene Anteil der Schwermetalle zu ermitteln, der sich in die Oberböden durchpaust (s. Kapitel 5.3). Als Informationsquellen für diese Arbeitsschritte werden die Abgrenzungen der Bodeneinheiten aus der digitalen Bodenkarte (ggf. ergänzt um Informationen aus geologischen Karten) und Informationen zu den Schwermetallgrundgehalten verbreiteter Substrattypen benötigt. Grundlage für die Ausweisung der räumlichen Einheiten der bodenbildenden Ausgangssubstrate ist die digitale Bodenkarte im Maßstab 1 : 50.000 (Abbildung 3). Wo diese nicht verfügbar ist, finden sich

entsprechende Informationen in der Bodenkonzeptkarte BK konz, die flächendeckend für ganz Sachsen erstellt wurde. Die Bodenkarte beschreibt in ihren Abgrenzungen Bodeneinheiten, die unter Berücksichtigung der Bodentypen, der Grundwasser- und Stauwasserverhältnisse, der Geogenese bzw. Gesteinsart mit ihrer Stratigraphie und der Bodenartenschichtung gebildet worden sind. Ergänzt werden diese

Angaben ggf. um Informationen aus der geologischen Karte.

Der zweite Bestandteil zur Erstellung der Arbeitskarte enthält in tabellarischer Form die natürlichen Schwermetallgehalte der in Sachsen vorkommenden Fest- und Lockergesteine.

Informationen zur flächenhaften Verbreitung der bodenbildenden Substrate und zu deren Schwermetallgehalten werden vom LfUG bereitgestellt.

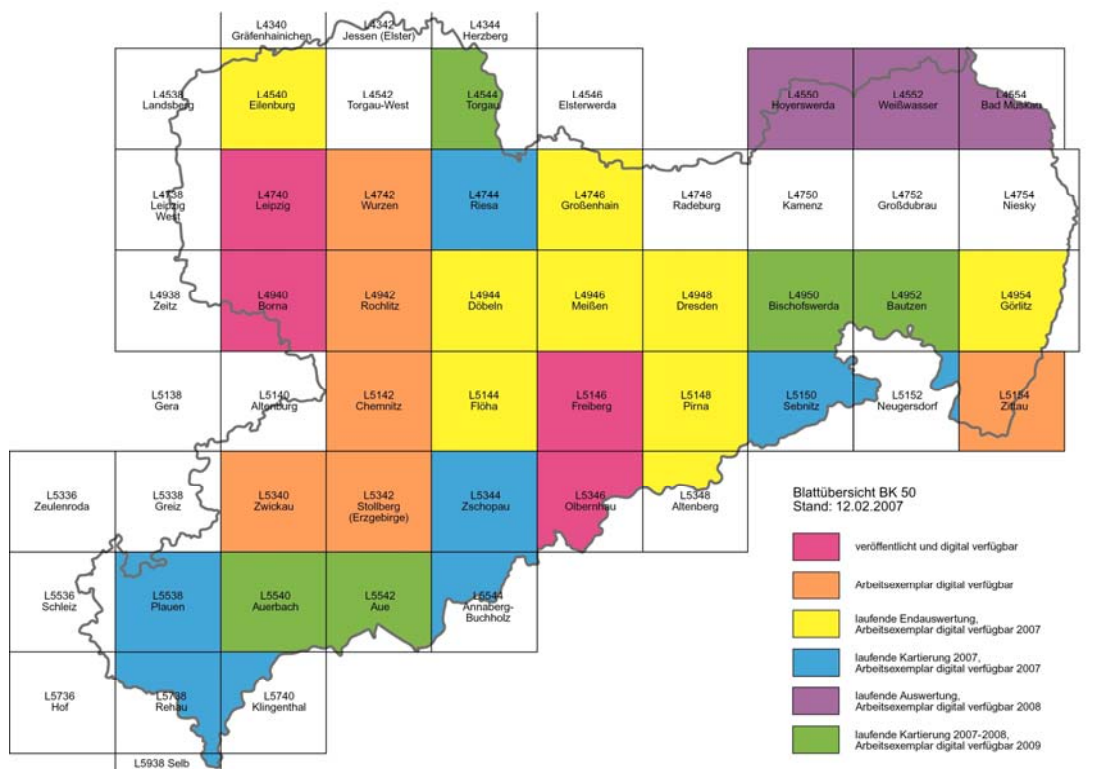


Abbildung 3: Verfügbarkeit von Bodenkarten in Sachsen (Stand Feb. 2007)

3.3.5 Überschwemmungsbereiche

In Überschwemmungsbereichen finden sich zumeist höhere Schadstoffgehalte als in der unmittelbaren Umgebung. Besonders ausgeprägt ist dieser Effekt im Einflussbereich schadstoffbefrachteter

Gewässer. Auch wenn heute eine erheblich verbesserte Wasserqualität zu beobachten ist, so finden sich aufgrund der Belastungen der Vergangenheit in den Sedimenten teils extrem hohe Schadstoffkonzentrationen. Bei

Hochflutereignissen werden diese Sedimente zum Teil auf die Böden der Überschwemmungsgebiete aufgetragen und führen dort zu einer erheblichen Schadstoffbelastung. Der Abgrenzung dieser Überschwemmungsflächen ist besonderes Augenmerk zu schenken, da diese im weiteren Verfahren der BBK separat zu betrachten sind. Für eine Abgrenzung können neben den Grenzen der auentypischen Bodeneinheiten insbesondere Daten- und Kartengrundlagen des Hochwasserschutzes genutzt werden. Innerhalb von Ortschaften und für Gewässer I. Ordnung liegen Gefahrenkarten im Maßstab 1:5.000 vor, in Ausnahmefällen 1:10.000, für die Elbe 1:50.000. Darüber hinaus sollten die Gefahrenhinweiskarten (Atlas 1:100.000) und die Karten der Hochwasserschutzkonzepte (1:10.000; in Ausnahmefällen 1:25.000, an der Elbe 1:50.000) sowie die Karten der festgesetzten Überschwemmungsgebiete (1:25.000) herangezogen werden. Ggf. sind Auswertungen anhand von Höhenstufen durch ein digitales Geländemodell heranzuziehen. Allerdings ist darauf zu achten, dass durch Maßnahmen des Hochwasserschutzes, des Gewässerausbaus oder durch Geländeumgestaltungen die aktuellen Überschwemmungsflächen nicht unbedingt den früheren Flächen entsprechen, die aber einen Belastungsschwerpunkt darstellen können. Gegebenenfalls sind hierzu weitere Recherchen erforderlich. Alle Arbeiten zu den Überschwemmungsflächen sollten im Rahmen der BBK im Maßstab 1:10.000 erfolgen, um die notwendige Differenzierung zu erhalten.

3.3.6 Zusatzinformationen

Die Erhebung dieser Zusatzinformationen dient der Ausweisung von Ausschlussgebieten, für die im Rahmen der BBK keine Angaben zu Stoffgehalten gemacht werden können und der Bereitstellung möglicher Erklärungs- und Interpretationshilfen. Zugleich geben sie Hilfestellung bei der Messnetzplanung für zusätzliche Bodenuntersuchungen.

3.3.6.1 Altlasten

Altlasten und altlastverdächtige Flächen sind typische Ausschlussflächen einer BBK. Die Erfassung der Belastungssituation in diesen Bereichen erfordert eine andere, angepasste Herangehensweise und ist an der Sächsischen Altlastenmethodik auszurichten. Die Ergebnisse der Altlastenbearbeitung können wiederum einen Erklärungsbeitrag für die Umgebung liefern. Teilweise können Bodenuntersuchungen bei der Erkundung in unbelasteten Bereichen im Rahmen der BBK Verwendung finden, sofern sie den in Tabelle 1 genannten Mindestanforderungen genügen. Informationen zu Altlasten finden sich in den Katastern SALKA, ALASKA und KANARAS beim LfUG und in Gutachten und Datensammlungen bei den bearbeitenden Behörden der Kreise und Regierungspräsidien.

3.3.6.2 Immissionen, Emittenten

Die nachrichtliche Darstellung einzelner bedeutsamer Emittenten liefert oftmals wichtige Erklärungen für die Stoffgehalte der umgebenden Flächen. Daten aus Immissionsmessprogrammen, z. B. zum Staubbiederschlag oder zu Stoffeinträgen kann ebenfalls zur Interpreta-

tion beitragen. In Fällen, in denen dieser Belastungspfad an Dominanz gewinnt, können die sonst erheblichen Nutzungs- und Substratgrenzen an Bedeutung verlieren. Damit kann in bestimmten Fällen auch im Siedlungsbereich eine unmittelbare flächenhafte Darstellung der Stoffgehalte ermöglicht werden (vgl. Kapitel 7.4.2).

3.3.6.3 Bergbau

Die Aktivitäten im Bergbau und ihre Folgen im Hinblick auf die stoffliche Bodenbelastung spielen in Sachsen eine besondere Rolle. Während Halden, Absetzanlagen und ausstreichende Erzgänge für die BBK als Ausschlussflächen zu betrachten sind, müssen aufgrund der Ausdehnung des Bergbaus insbesondere im Erzgebirge die Bergbaugebiete in die Betrachtungen einbezogen werden. Oftmals liegt in diesen Gebieten eine Fülle von Daten zu Stoffgehalten in den Böden vor, z. B. aus geochemischen Detailerhebungen und den Sondermessnetzen des LfUG. Ähnlich wie bei dominanten Immissionseinflüssen können bei nahezu homogener Belastung durch Bergbauaktivitäten zumindest in Teilräumen Punktdaten auf Teilflächen übertragen oder sogar interpoliert werden.

3.3.6.4 Materialaufschüttungen

Informationen zu Auffüllungen mit Trümmerschutt oder Geländeneivellierungen mit technogenen Substraten aber auch natürlichem Material sind im Außenbereich ähnlich wie Deponien als Ausschlussflächen zu betrachten. Im Siedlungsbereich können diese Daten hingegen ggf. Hinweise zur Differenzierung verschiedener Raumeinheiten liefern.

3.3.6.5 Klärschlammverwertung

Die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung spielt aktuell in Sachsen eine eher untergeordnete Rolle. Normalerweise finden sich auf Verwertungsflächen keine höheren Schwermetallbelastungen als auf Flächen ohne Klärschlammausbringung. Daher können ggf. vorliegende Daten aus Bodenuntersuchungen im Rahmen des Aufbringungsverfahrens für die Erstellung der BBK genutzt werden. Ausnahmen bilden Flächen, für die Anhaltspunkte bestehen, dass dort in der Vergangenheit z. T. konzentriert große Mengen an Klärschlamm oder anderen Abfällen aufgebracht wurden.

4 Methodik zur Erstellung einer BBK

4.1 Methodische Grundlagen

Grundsätzlich stehen zwei Wege zur Verfügung, um Punktdaten flächenhaft darzustellen:

- die Übertragung statistischer Kennwerte (z. B. Mittelwert oder Median) auf die betreffenden Flächenanteile
- die räumliche Interpolation.

Für beide Verfahren ist vorauszusetzen, dass die Höhe der Werte der Stoffkonzentration nicht willkürlich im Raum verteilt ist, sondern dass sich ein räumlicher Zusammenhang finden lässt.

4.1.1 Übertragung statistischer Kennwerte

Bei der Zuweisung eines Kennwertes muss dieser für den betreffenden Flächenteil repräsentativ sein, das heißt diese Raumeinheit hinsichtlich seiner Stoffkonzentration mit hinreichender Sicherheit und möglichst geringen Streuungsmaßen (Standardabweichung, Interquartilabstand) wiedergeben. Das gelingt nur, wenn sich die Konzentrationen innerhalb der Raumeinheit ähnlicher sind, als außerhalb. In den meisten Fällen kann dieses durch den passenden Zuschnitt des Untersuchungsgebietes in Flächenteile mit ähnlichen Einflussfaktoren auf die Stoffgehalte erzielt werden. Diese homogenen Raumeinheiten lassen sich dadurch bilden, dass die wesentlichen bekannten Einflussgrößen auf die Stoffgehalte, wie Nutzung, Ausgangsgestein und Überschwemmungseinfluss miteinander verschnitten werden (s. Kapitel 5.3). Im Siedlungsbereich treten ggf. weitere Faktoren hinzu, die bei der Bildung homogener Raumeinheiten zu berücksichtigen sind (s. Kapitel 7). Ein Nach-

teil dieses Verfahrens besteht darin, dass eine mögliche Feindifferenzierung unterbleibt und dass sich langsame, stetige Konzentrationsveränderungen im Raum (z. B. bei Emittenten) kaum oder nur in Form von Konzentrationsprüngen wiedergeben lassen.

4.1.2 Räumliche Interpolation

Im Rahmen der Bearbeitung einer BBK ist die Interpolation von Punktdaten der Übertragung von statistischen Kennwerten vorzuziehen. Ziel der raumbezogenen Interpolation auf Basis geostatistischer Verfahren ist die bestmögliche Schätzung der zu erwartenden Werte in der Fläche anhand einer Stichprobe. Geostatistische Verfahren können nur angewendet werden, wenn im Wesentlichen die zwei folgenden Annahmen erfüllt sind (HEINRICH 1992):

- hauptsächlich zufallsbedingte Schwankungen der Messwerte mit räumlichen Persistenzeffekten und
- stetige Werteverteilung.

Persistenzeffekte liegen dann vor, wenn sich nahe beieinander liegende Messpunkte ähnlicher sind, als weiter entfernte. Diese Effekte bedingen die räumliche Korrelation der Messwerte und machen eine Schätzung erst möglich. Im Wesentlichen sollten die Messwertunterschiede zufallsbedingt sein und die Daten somit einer Normalverteilung folgen. Dieser Punkt leitet über zur zweiten Voraussetzung im Hinblick auf eine stetige Werteverteilung. Diese bedeutet, dass sich die Werteverteilung in der Fläche ohne effektbedingte Sprünge vollzieht. Solche Effekte wie der räumliche Wechsel des Substrates

oder der Nutzung können das grundsätzliche Niveau der Messwerte verändern und erfordern die Teilung der Fläche in unterschiedliche Raumeinheiten. Eine Interpolation über bekannte Raumgrenzen hinweg sollte grundsätzlich unterbleiben, zumal Schätzgüte (Varianz) und die Wiedergabe der tatsächlichen Stoffgehalte durch die Nivellierung einer scharfen Grenze negativ beeinflusst werden.

Da sich in den meisten Fällen das Untersuchungsgebiet in unterschiedliche Raumeinheiten unterteilt, bieten sich für die Einhaltung der Voraussetzung der Stetigkeit zwei Wege an:

- Interpolation nur innerhalb der einzelnen Raumeinheiten oder
- Standardisierung, d. h. Bereinigung der Effekte vorab und anschließende flächendeckende Interpolation.

Eine Effektbereinigung oder Standardisierung erfolgt dadurch, dass die erklärbaren Unterschiede in den Stoffgehalten zwischen den unterschiedlichen Raumeinheiten weitestgehend beseitigt werden. So kann z. B. der unterschiedlich hohe geogen bedingte Anteil der Stoffkonzentration im Boden abgezogen werden; für Unterschiede im Hinblick auf die Nutzung können Korrekturfaktoren ermittelt werden. Nach erfolgter Interpolation sind diese Korrekturen wieder rückzurechnen.

Der Vorteil der raumübergreifenden Interpolation nach einer Effektbereinigung liegt darin, dass alle Messwerte für die Berechnung zur Verfügung stehen und sich in kleinen Raumeinheiten mit geringer Messwertdichte und in den Grenzbereichen der homogenen Raumeinheiten die Schätzgüte verbessern lässt.

Unterteilt sich das Untersuchungsgebiet nur in wenige Raumeinheiten mit jeweils ausreichender Datenlage oder ist eine Effektbereinigung nicht erfolgreich durchführbar, so ist die Interpolation in den einzelnen Raumeinheiten separat durchzuführen und der Übertragung von Kennwerten vorzuziehen.

Ein häufig angewandetes Verfahren zur Interpolation ist das Kriging. Es basiert auf der gewichteten räumlichen Mittelwertbildung. Die spezifischen Gewichte der Nachbarpunkte sind nicht (durch eine Distanzabnahmefunktion) zuvor determiniert, sondern werden für jeden einzelnen Interpolationspunkt optimiert, so dass die Schätzung verzerrungsfrei und bestmöglich im Sinne kleinster Fehlervarianz ist (STREIT 1982). Als Ergebnis entsteht eine digitale Karte im Rasterformat mit definierten Zellengrößen (z. B.: 25 x 25 m). Für jede Rasterzelle wird mit Hilfe der Interpolationsalgorithmen ein Wert ermittelt. Zu beachten ist, dass die Messwerte der Stützpunkte nicht in jedem Falle mit dem interpolierten Wert übereinstimmen, sondern in Abhängigkeit von den Umgebungswerten eine Gewichtung erfahren. Somit erfolgt eine Glättung der Werteoberfläche.

Ein Vorteil des Verfahrens besteht darin, dass neben der Karte mit den Schätzwerten als weiteres Ergebnis auch eine Karte mit den entsprechenden Semivarianzen erzeugt wird, die Aussagen zum Schätzfehler zulässt. Für jeden geschätzten Wert steht damit auch eine Angabe über die Schätzgüte für diese Rasterzelle zur Verfügung. Nach MEULI et al. (1996) sind die Angaben zur Qualität der Schätzung ebenso wichtig wie die Schätzwerte selbst und sollten zum Standard raum-

bezogener Interpolationen gehören. Daher ist zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten zunächst das Kriging als Methode der Interpolation anzuwenden. In Einzelfällen können andere Verfahren (z. B. die Invers-Distanz-Wägung) bessere Ergebnisse erzielen. Da hierbei keine Aussagen zur Schätzgüte erzeugt werden, ist der Vorteil z. B. durch eine Kreuzvalidierung gemessener gegenüber den geschätzten Werten zu belegen.

5 Arbeitsschritte zur Erstellung einer BBK

Im Folgenden werden die in Kapitel 3.1 beschriebenen Arbeitsschritte zur Erstellung einer BBK konkretisiert. Die in Abbildung 4 dargestellte Schrittfolge stellt den empfohlenen Bearbeitungsweg dar, der an bestimmten Prüfstellen in mehrere Möglichkeiten zum weiteren Vorgehen verzweigt. Die wesentlichen Entscheidungskriterien und die darauf aufbauenden Bearbeitungsmethoden werden nachfolgend beschrieben.

5.1 Strategisch-planerische Vorarbeiten

Der erste Schritt umfasst den Bereich der planerischen Vorarbeiten. Hier ist festzulegen, für welche Fragestellungen und für welches Gebiet die BBK erstellt werden und ob auch der Siedlungsbereich mit bearbeitet werden soll. Die spätere Anwendung der BBK bedingt letztlich den Bearbeitungsumfang. So ist zu entscheiden, ob sich die BBK auf den Oberboden beschränken soll, oder ob auch, z. B. im Hinblick auf anfallenden Bodenaushub, der Unterboden und ggf. die organischen Auflagehorizonte im Wald mit in die Betrachtung einbezogen werden sollen. Da das Bodenschutzrecht eine Beurteilung des Transfers Boden-Pflanze im Rahmen der landwirtschaftlichen Nutzung auch auf mobile, ammoniumnitratlösliche Gehalte stützt, ist eine Ergänzung zu den sonst üblichen Gehalten auf Basis des Königswasserextrakts zu prüfen.

Es wird grundsätzlich empfohlen, zunächst keine Einschränkungen bei der Datensuche vorzunehmen, um im Zuge der Datenrecherche alle Daten verfügbar zu machen. Spätere Entscheidungen können dann z. B. auch an die

vorhandene Datendichte geknüpft werden. Weiterhin ist festzulegen, in welchem Maßstab die Bearbeitung erfolgen soll. Hier ist zum einen die spätere Anwendung z. B. im Hinblick auf Abgrenzung von flächenhaften schädlichen Bodenveränderungen ebenso zu berücksichtigen, wie der Maßstab der vorhandenen flächenhaften Datengrundlagen.

Für Überblicksbetrachtungen ist der Maßstab von 1 : 50.000 ausreichend. Sollen sich später gebietsbezogene Maßnahmen auf die Ergebnisse der BBK stützen, so ist eine Bearbeitung im Maßstab 1 : 25.000 vorzusehen. Für den Siedlungsbereich ist dieser Maßstab für die meisten Fragestellungen nicht ausreichend. Hierfür ist ebenso wie für die Bearbeitung der Überschwemmungsbereiche ein Maßstab von 1 : 10.000 zu verwenden. Bei der Beschaffung von Daten- und Kartengrundlagen ist grundsätzlich die Verfügbarkeit aller vorgenannten Maßstäbe zu prüfen. Ggf. ist der Bearbeitungsmaßstab anzupassen, falls die Datengrundlagen dieses erfordern. Eine inhaltslose Vergrößerung ist im Rahmen der BBK nicht zielführend.

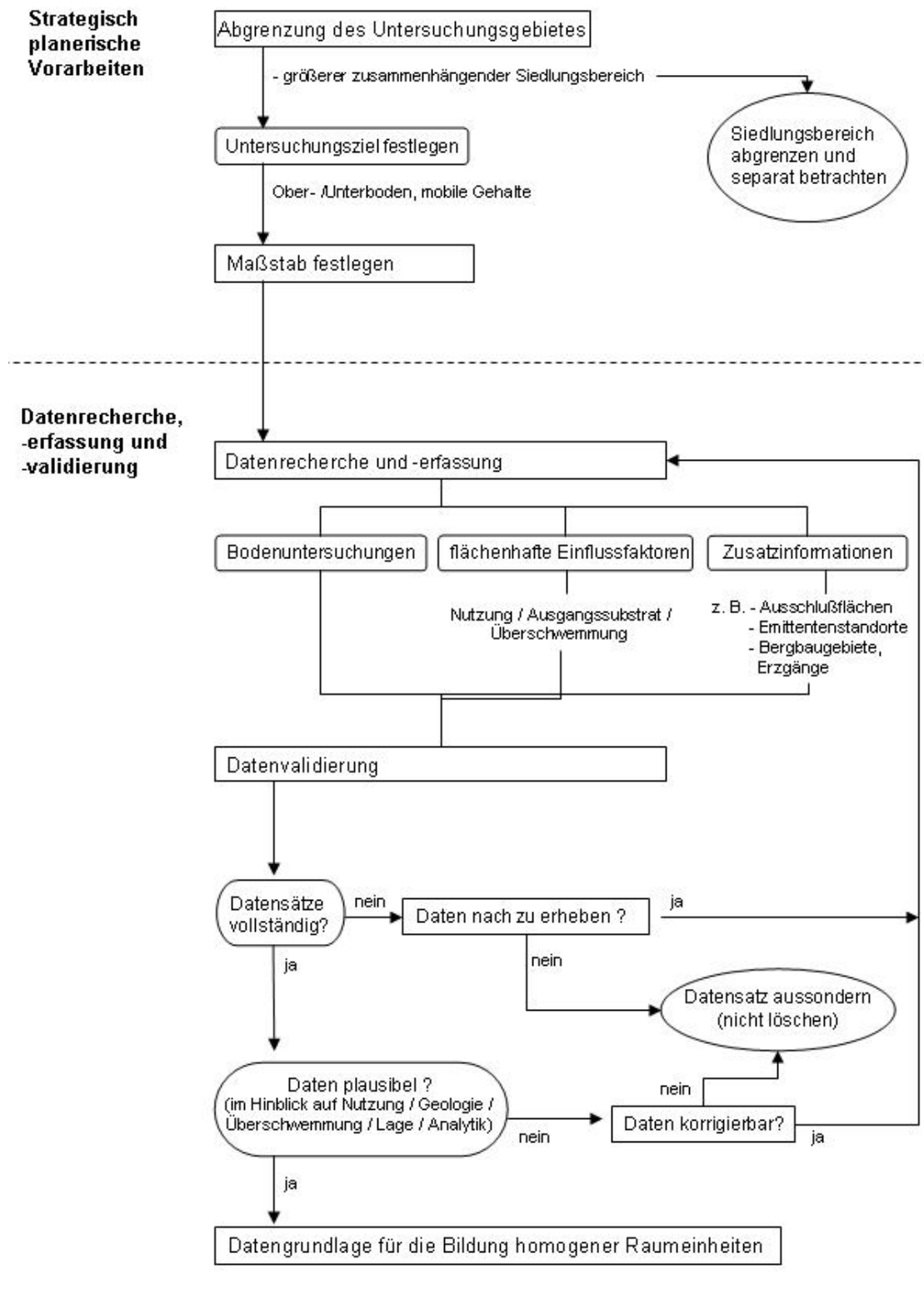


Abbildung 4: Ablaufschema zur Erstellung einer BBK

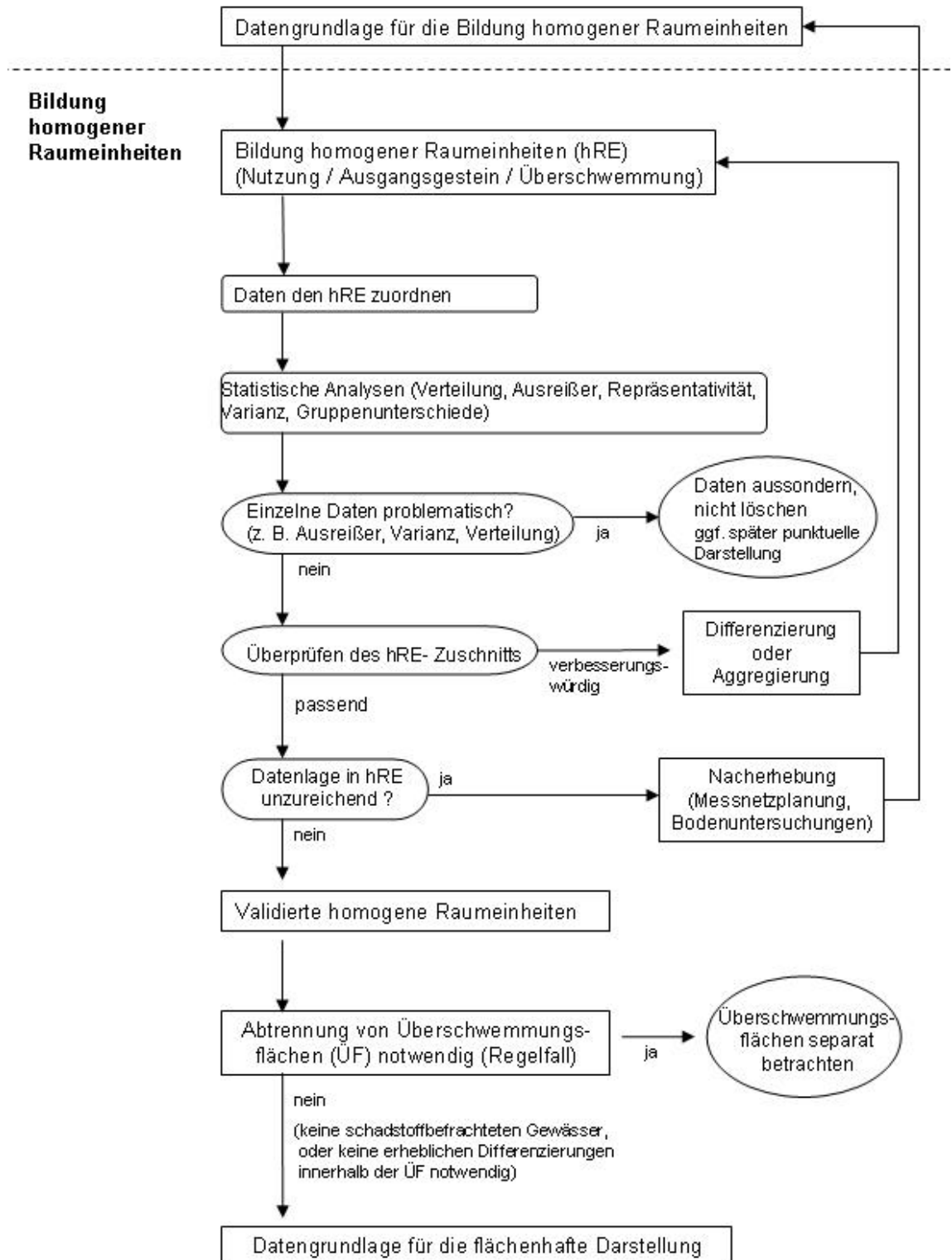


Abbildung 4: Ablaufschema zur Erstellung einer BBK (Fortsetzung)

Auswahl des Verfahrens für die flächenhafte Darstellung

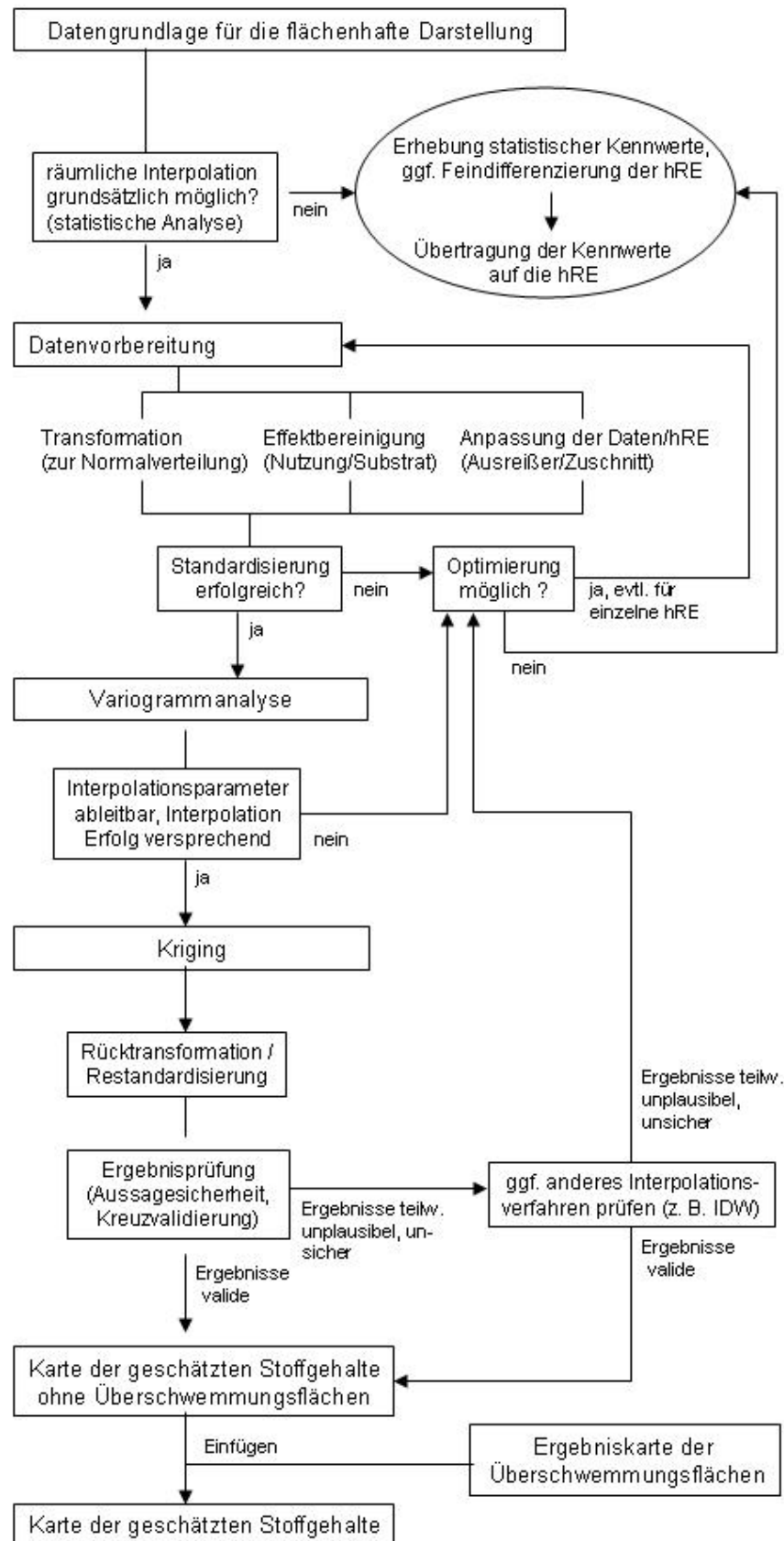


Abbildung 4: Ablaufschema zur Erstellung einer BBK (Fortsetzung)

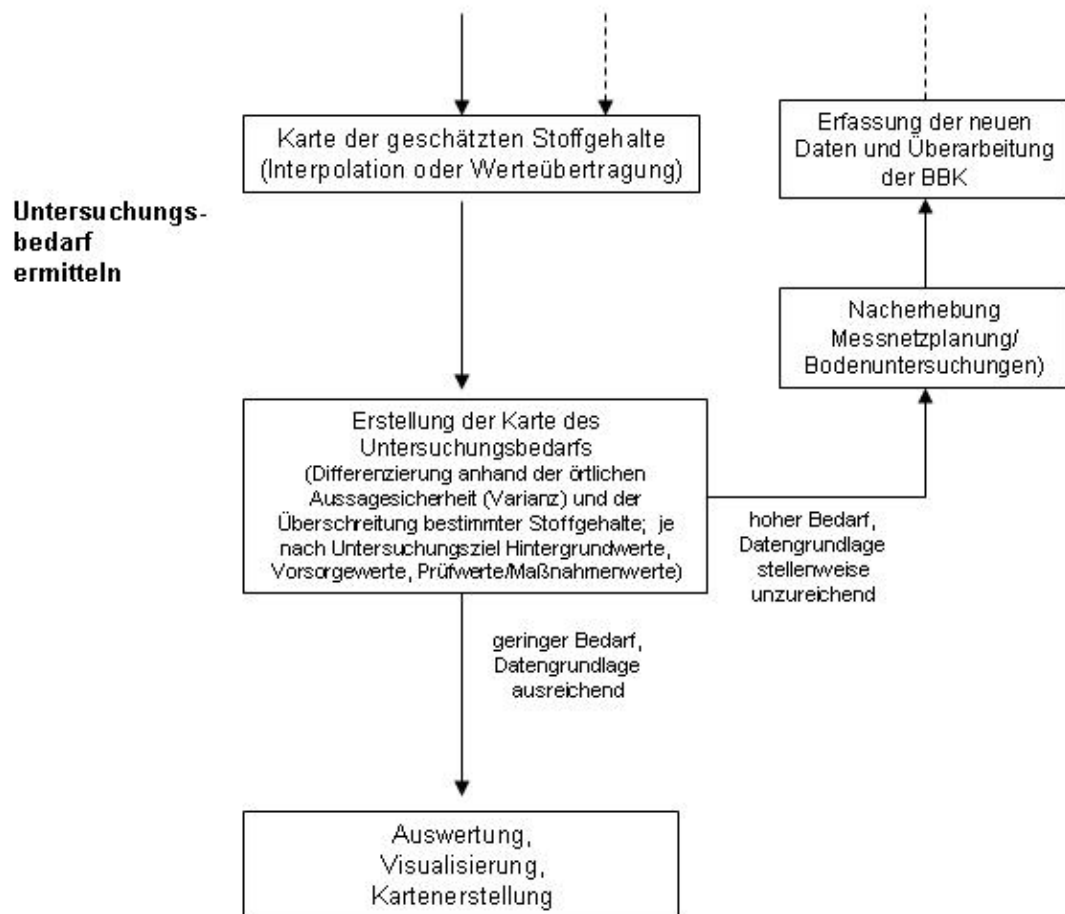


Abbildung 4: Ablaufschema zur Erstellung einer BBK (Fortsetzung)

5.2 Datenrecherche, - erfassung und - validierung

An die planerisch-vorbereitenden Schritte schließt sich die Datenbeschaffung an. Zunächst sind alle in Kapitel 3.3 genannten Datengrundlagen zu bereits erfolgten Bodenuntersuchungen, zu den flächenhaften Einflussfaktoren und die notwendigen Zusatzinformationen zu recherchieren. Alle Kartengrundlagen sind digital zusammenzustellen. Oftmals ist eine Digitalisierung analoger Kartenwerke notwendig, da für die Erstellung homogener Raum-

einheiten Geometrien und Sachdaten vorliegen müssen. Die Bodenuntersuchungen sind mit UBoden (Softwaretool des LfUG) zu erfassen und in eine Datenbankstruktur zu überführen, die eine spätere Weiterbearbeitung ermöglicht (z. B. log-Transformationen) und in GIS- (z. B. ArcGIS) und Statistikprogramme (z. B. SPSS) einlesbar ist. Bodenuntersuchungen des LfUG sind mit dem Modul UBoden erfasst worden und liegen in einer für die BBK geeigneten Struktur vor. Für die Erfassung von Bodenuntersuchungsergebnissen aus analogen Untersuchungsberichten, Datensammlungen oder Gutachten

stellt das LfUG den Erfassungsbaustein UBoden kostenfrei zur Verfügung. Hiermit sind auch die eingehenden Daten aus notwendigen zusätzlichen Untersuchungen zu erfassen.

Zunächst sind alle verfügbaren Bodenuntersuchungen zu erfassen, unabhängig von einer tatsächlichen Eignung für die Berücksichtigung bei der Erstellung der BBK. Die Überprüfung der Eignung erfolgt im Arbeitsschritt der Validierung. Hier ist für jeden Datensatz zu prüfen, ob er vollständig ist und die Mindestanforderungen aus Tabelle 1 einhält. Fehlende Angaben (z. B. zur Nutzung, zum Raumbezug) sind möglichst nachzuerheben. Wenn dieses nicht möglich ist, ist dieser Datensatz auszusondern. Das Aussondern kann am besten über ein separates Datenfeld (z. B. „valide“ ja/nein) erfolgen. Grundsätzlich sind in der Validierungsphase Daten keinesfalls zu löschen, da sie später ggf. noch Hinweise liefern oder die Interpretation erleichtern können. Vollständige Datensätze sind anschließend auf Plausibilität zu prüfen, z. B. im Hinblick auf die Lage, die Nutzung oder die Analytik. Auch hier sind unplausible und im Nachhinein nicht korrigierbare Datensätze auszusondern.

Im Folgenden ist auch festzulegen, wie mit Messwerten unterhalb der Bestimmungsgrenze verfahren werden soll, zumal bei der Zusammenführung von Bodenuntersuchungen unterschiedlicher Veranlassung auch unterschiedliche Bestimmungsgrenzen angegeben sein können. Es wird empfohlen, für statistische Auswertungen und die spätere flächenhafte Darstellung Messwerte unterhalb der Bestimmungsgrenze grundsätzlich auf den Wert der halben Bestimmungsgrenze zu setzen. Treten

bei der Ermittlung bestimmter Perzentile regelmäßig Messwerte unterhalb der Bestimmungsgrenze auf, ist je nach Höhe der Bestimmungsgrenze zu prüfen, ob diese Werte für Perzentilermittlungen auf „0“ gesetzt werden. Dieses gilt insbesondere für ältere Datenbestände mit aus heutiger Sicht hohen Bestimmungsgrenzen. Es wird empfohlen, für Summenparameter wie PAK die Messwerte der Einzelverbindungen unterhalb der Bestimmungsgrenze grundsätzlich auf „0“ zu setzen.

Liegen mehrere Messwerte für unterschiedliche Profiltiefen vor (z. B. 0-2 cm und 2-10 cm), so sind diese entsprechend gewichtet zusammenzufassen; für Acker- und Gartennutzung auf eine Tiefe von 0-30 cm, für die übrigen Nutzungen 0-10 cm. Liegt nur ein Messwert für eine Teiltiefe vor (z. B. 10-20 cm anstelle 0-30 cm), so ist im Einzelfall über die Verwendbarkeit zu entscheiden. Das Ergebnis der Validierung stellt sich als Gesamtheit der für die BBK aktuell verfügbaren Datensätze dar.

5.3 Bildung homogener Raumeinheiten

Die Bildung homogener Raumeinheiten ist Grundvoraussetzung, um aus den vorhandenen Punktdaten eine flächenhafte Darstellung zu ermöglichen. Diesem zentralen Arbeitsschritt ist daher besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Homogene Raumeinheiten kennzeichnen Flächenanteile des Untersuchungsgebietes, die sich im Hinblick auf die Einflussfaktoren der stofflichen Bodenbelastung (s. Kapitel 3.2) ähnlich sind und sich entsprechend gegenüber anderen Raumeinheiten abgrenzen lassen. Für die BBK im Außenbereich

bilden die homogenen Raumeinheiten das Ergebnis der Verschneidung der Haupteinflussfaktoren Bodennutzung, Ausgangssubstrat und Überschwemmungseinfluss (Abbildung 5).

Bodennutzung

Für die Bodennutzung wird im Rahmen der BBK im Außenbereich zwischen Acker, Grünland und Forst unterschieden. Sofern zwischen den Stoffgehalten der Nutzungen Acker und Grünland keine Unterschiede erkennbar sind und statistische Analysen dieses belegen, können diese Gruppen zusammengefasst werden.

Ausgangssubstrat

Für die Differenzierung der geogenen Ausgangsgehalte sind die wesentlichen Substrate als Gliederungsmerkmal vorzusehen, wobei die oberflächennah anstehenden Schichten (0-0,5 m unter GOF) von besonderem Interesse sind. Flächen, die sich hinsichtlich ihrer geogenen bzw. pedogenen Schwermetallgehalte unterscheiden, sind von einander abzugrenzen. Zumeist enthält diese Arbeitskarte noch eine Vielzahl von Einheiten bodenbildender Ausgangssubstrate mit deren Schwermetallgehalten. Im Anschluss sind diese Einheiten auf eine überschaubare Anzahl von Einheiten mit weitgehend ähnlichen Stoffgehalten zusammenzufassen. Da die bodenbildenden Substrate bei einzelnen Elementen unterschiedliche Gruppierungen erfordern (z. B. im Hinblick auf erhöhte As-, Cr- oder Ni-Gehalte), sind die homogenen Raumeinheiten grundsätzlich elementspezifisch anzulegen. Wichtige lokale Besonderheiten, wie Mineralisationen sind gesondert zu erfassen und darzustellen.

Überschwemmungseinfluss

Da Überschwemmungsflächen separat bearbeitet werden, ist die Kennzeichnung dieser Gebiete als Raumeinheit zunächst in maximaler Ausdehnung vorzunehmen; Maßnahmen des Hochwasserschutzes, des Gewässerausbaus und ggf. Geländeumgestaltungen sind zu berücksichtigen (s. Kap. 6).

Die Daten der jeweils gebildeten Raumeinheiten sind statistischen Analysen zu unterziehen. So ist zu prüfen, ob einzelne Datensätze innerhalb einer homogenen Raumeinheit im Hinblick auf die Verteilung oder die Streuung eine Sonderstellung einnehmen. Als Grenze für die Aussonderung von Extremwerten wird der 5-fache Interquartilabstand (75. Perzentil – 25. Perzentil) empfohlen (vgl. UMEG 2002). Zwei- und mehrgipflige Verteilungen deuten darauf hin, dass bislang unberücksichtigte Effekte eine weitere Unterteilung der Raumeinheit erfordern. Ziel ist es, eine möglichst geringe Anzahl homogener Raumeinheiten auszuweisen. Als erster Anhaltspunkt für eine Untergliederung können Unterschiede im Hinblick auf das 10., 50. und 90. Perzentil dienen. Für die Untergliederung in Raumeinheiten bzw. deren Überprüfung des Zuschnitts können statistische Signifikanz-, Faktoren- oder Clusteranalysen herangezogen werden.

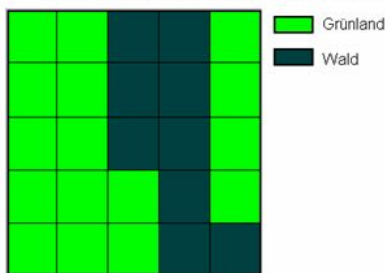
Nach der Bildung homogener Raumeinheiten ist die Datenlage in den einzelnen Einheiten im Hinblick auf ihre Anzahl und räumliche Verteilung zu prüfen. Empfehlenswert für die Bearbeitung im Bereich naturnaher Böden (ohne Auen- bzw. Überschwemmungsbereiche) sind 20 valide Datensätze pro Raumeinheit (UMEG 2002), als Unter-

grenze sind 10 Datensätze zu betrachten (LUA 2000). Als Kompromiss zwischen Aussagesicherheit und Probenahmeaufwand hat sich eine Anzahl von 1 Probenahmestelle pro 4 km² als praxistauglich erwiesen (LUA 2000 und 2006, UMEG 2002).

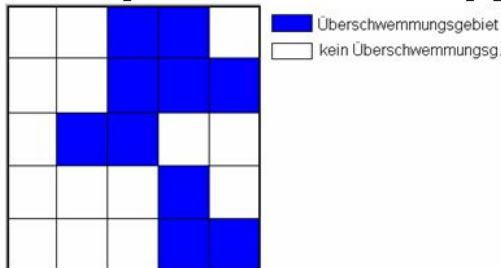
Bei offensichtlich unzureichender Datenlage wird bereits in diesem Bearbeitungsschritt eine Nacherhebung durch neue Bodenuntersuchungen erforderlich. Die Messnetzplanung für diese notwendigen Bodenuntersuchungen hat die Erkenntnisse aus der Bildung

der homogenen Raumeinheiten aufzunehmen, um eine für die Aussagesicherheit optimale Verteilung der Probenahmestellen zu gewährleisten. Erlaubt die Datenlage trotz geringer Dichte bzw. Anzahl ein weiteres Vorgehen in der Bearbeitung der BBK, sollte vor der Nacherhebung eine flächenhafte Darstellung der Stoffgehalte erfolgen und die Messnetzplanung anhand der Karte des Untersuchungsbedarfs (Abgleich der Aussagesicherheit mit der Höhe der geschätzten Stoffgehalte) weiter qualifiziert werden (s. Kapitel 5.5).

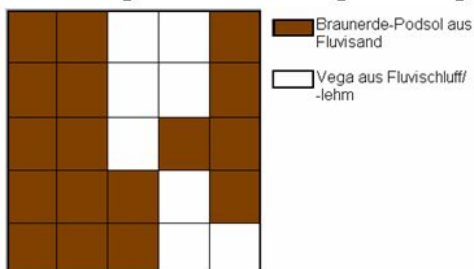
1. Grundlagenkarte der Landnutzung



2. Grundlagenkarte der Überschwemmungsgebiete



3. Grundlagenkarte der Geologie/Pedologie



4. Ergebniskarte der homogenen Raumeinheiten

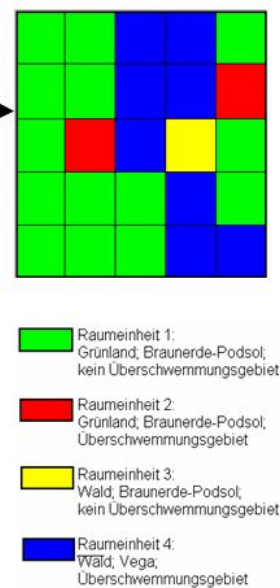


Abbildung 5: Bildung von homogenen Raumeinheiten als Grundlage für die Übertragung von Punktdaten in die Fläche

Vor dem Schritt der flächenhaften Darstellung sind die Überschwemmungsflächen vom Bearbeitungsgebiet abzutrennen und separat zu betrachten. Diese Abtrennung ist erforderlich, da sich die Schadstoffgehalte zwischen Flächen innerhalb und außerhalb des Überschwemmungseinflusses deutlich unterscheiden, mithin keine direkte Interpolation erlauben. Auch eine Effektbereinigung oder Standardisierung liefert zumeist ein unzutreffendes Bild, da auch der eigentliche Überschwemmungsbereich im Hinblick auf die Belastungssituation nicht einheitlich ist, vielmehr wechseln kleinräumig Bereiche starker Belastung mit Bereichen geringer Belastung ab. Daher erfordern Überschwemmungsbereiche eine separate Bearbeitung (s. Kapitel 6). Bei der Abtrennung ist darauf zu achten, dass der Überschwemmungsbereich vollständig in die separate Bearbeitung überführt wird. Es ist sicherzustellen, dass im verbleibenden Bearbeitungsgebiet kein wesentlicher und flächenhafter Überschwemmungseinfluss mehr vorliegt. Dabei sind auch historische Überschwemmungsgebiete zu berücksichtigen, die heute keiner Überschwemmung mehr unterliegen (z. B. Eindeichungen, Gewässerverlegungen, Altarme).

Kleinere Auenbereiche, die sich nicht differenzieren lassen, Auen unbelasteter Fließgewässer oder einfach strukturierte Überschwemmungsbereiche ohne erkennbar notwendige weitere Unterteilungen können verbleiben und zusammen mit den übrigen Raumeinheiten in einem Schritt weiter bearbeitet werden. Hierbei ist zu prüfen, ob die Voraussetzungen für eine flächenhafte Darstellung durch Interpolation gege-

ben sind oder durch eine Effektbereinigung erzielt werden können.

5.4 Flächenhafte Darstellung

Ziel der BBK ist es, aus den punktbezogenen Aussagen zu den Stoffgehalten in Böden eine Übertragung in die nicht beprobte Fläche zu erreichen. Diese Übertragung ist nur möglich, wenn die Konzentrationsunterschiede durch bekannte, quantifizierbare und räumlich definierte Effekte weitgehend erklärt werden können. Der erste Schritt hierzu erfolgt bereits durch die Bildung homogener Raumeinheiten.

Der einfachste Weg einer flächenhaften Darstellung ist die Übertragung z. B. der Mediane der Konzentrationen auf die gesamte Fläche der jeweiligen Raumeinheiten. Der wesentliche Nachteil dieser Methode ist die fehlende weitere Differenzierung der Stoffgehalte in den Raumeinheiten und das angrenzende Probenahmestellen anderer Raumeinheiten unberücksichtigt bleiben. Zudem werden stetige Effekte, wie die Abnahme des Immissionseinflusses von einer Quelle durch diese Methode nicht abgebildet. Problematisch ist es, wenn sich unter Berücksichtigung dieser Effekte ein Klassensprung (z. B. eine Prüfwertüberschreitung) innerhalb einer Raumeinheit vollzieht, der durch die einfache Werteübertragung unentdeckt bleibt.

Die bestmögliche differenzierte Abbildung der Stoffkonzentration in der Fläche wird durch die Interpolation erzielt. Im Rahmen der BBK sollte daher stets versucht werden, durch entsprechende Vorbereitung der Daten und homogenen Raumeinheiten eine Interpolation zu ermöglichen. Ziel der Datenvorbereitung ist es demnach, die Grundvoraus-

setzungen für die Anwendbarkeit von Interpolationsverfahren zu schaffen und das flächenhafte Schätzergebnis zu optimieren. Die Voraussetzung einer Normalverteilung der Messwerte ist bei Daten zu Stoffkonzentrationen in Böden oftmals nicht gegeben, kann aber über eine Logarithmierung in den meisten Fällen erreicht werden. Die Überprüfung erfolgt über statistische Tests auf Normalverteilung.

Im Rahmen der Erstellung einer BBK ist vorrangig eine übergreifende Interpolation nach Effektbereinigung durch-

zuführen. Dazu sind die Effekte der Nutzung, des Ausgangsgesteins und ggf. der Überschwemmung aus den Ausgangsdaten herauszurechnen. Die so standardisierten Daten sollten nun in der Fläche eine homogene Wertoberfläche ohne erkennbare Sprünge aufweisen. Wenn dieses nicht gelingt, muss ggf. für Teilbereiche auf eine übergreifende Interpolation verzichtet werden und es kann nur eine Interpolation innerhalb einzelner Raumeinheiten erfolgen.

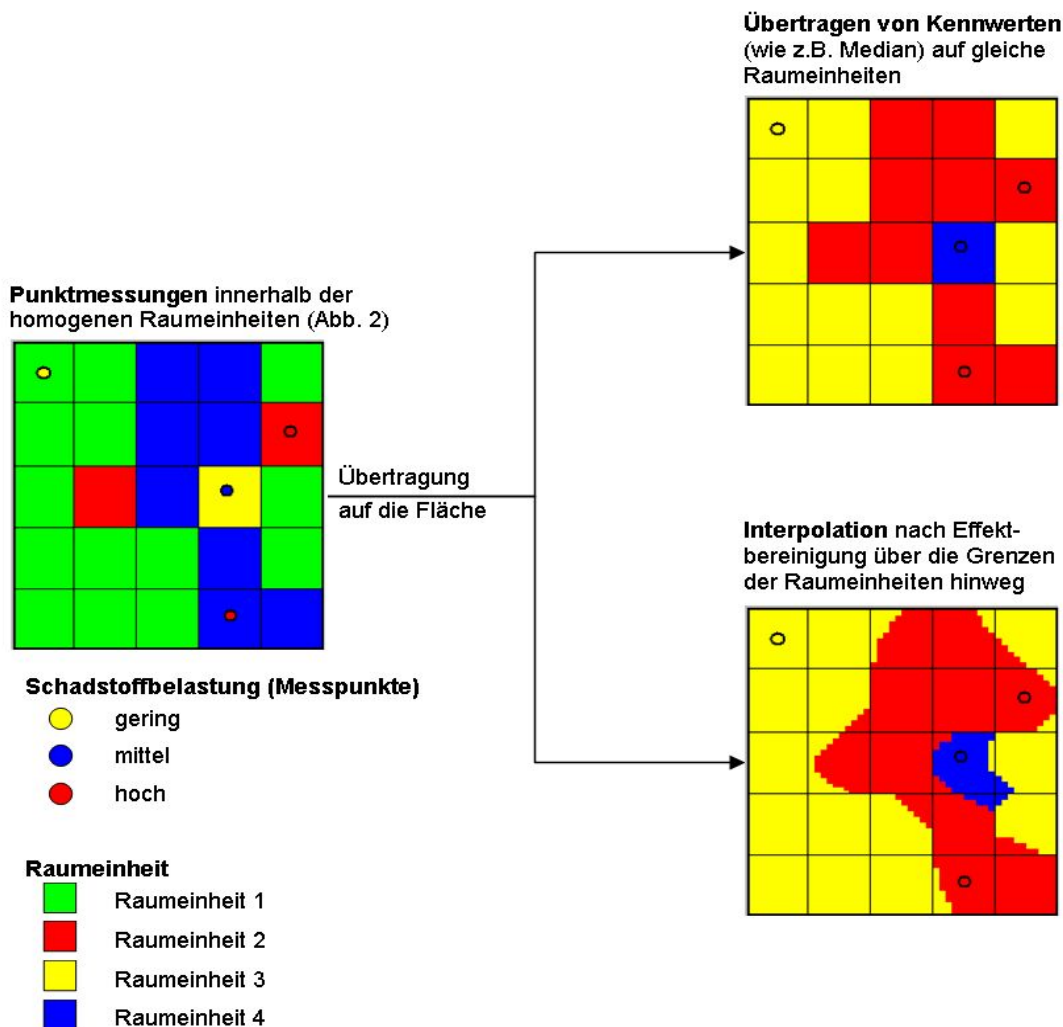


Abbildung 6: Schematische Darstellung der Übertragung von Punktdaten auf die Fläche

Zur Effektbereinigung ist zunächst der geogen bedingte Stoffanteil zu ermitteln und abzuziehen. Die gemessenen Stoffgehalte in Oberböden entsprechen immer der Summe aus der geogen bedingten Vorbelastung und der anthropogen bedingten Zusatzbelastung. Daher ist vorab der jeweilige Durchpausungsfaktor zu bestimmen, der angibt, in welchem Ausmaß sich die Schwermetallgehalte des Ausgangssubstrates im Oberboden wiederfinden.

Durch die Durchpausungsfaktoren soll pedogenen Umverteilungsprozessen und der Tatsache Rechnung getragen werden, dass Auflagen und Oberböden eine Senke für alle aus der Atmosphäre eingetragene Stoffe bilden. Bei nur geringem oder mäßigem Gesteinfluss liegen die Gehalte von umweltrelevanten Schwermetallen im Unterboden beispielsweise um den Faktor 10 niedriger als im Oberboden. Für die Ermittlung der Durchpausungsfaktoren sind die gemessenen Gehalte für jeden Stoff auf die zu unterscheidenden homogenen Raumeinheiten (Kombination aus bodenbildendem Substrat und Nutzungstyp) aufzuteilen und statistisch auszuwerten. Berechnet werden die Mediane der jeweiligen Verteilungen außerhalb der Überschwemmungsgebiete. Die so ermittelten Werte werden für jeden Stoff mit den Angaben zu den natürlichen Gehalten des Ausgangssubstrats in Beziehung gesetzt. Ziel dieser Vorgehensweise ist es, die anthropogenen Anreicherungen der jeweiligen Metalle in den Oberböden festzustellen. Aus diesen Anreicherungen kann dann der geogene Anteil abgeschätzt, und der stoffspezifische Durchpausungsfaktor berechnet werden.

Die Berechnung der Durchpausungsfaktoren beginnt üblicherweise mit dem Element Nickel, da dieses Schwermetall kaum anthropogen in Oberböden angereichert wird. Ausnahmen bilden Gebiete mit erwiesenermaßen hohen Nickeleinträgen, z. B. in St. Egidien oder Aue mit Nicketmittelen (Metallhütten). In diesen Fällen oder wenn die Datenlage für Nickel nicht ausreicht oder sehr geringe Gehalte auftreten, dann können auch Daten zu anderen Schwermetallen verwendet werden, deren anthropogene Anreicherung in Böden vernachlässigbar ist. Bei einer unvollständigen Datenlage oder großer Variabilität in der Fläche kann die Abschätzung der geogenen Gehalte unsicher sein. Gegebenenfalls sind dann gebietsbezogene Anpassungen der Angaben der geogenen Gehalte notwendig. Da in den Bodenuntersuchungsdaten des LfUG (FIS Boden) auch Angaben zu Schwermetallgehalten der Unterböden ungestörter Bodenprofile enthalten sind, kann der Substrateinfluss näherungsweise auch aus den Konzentrationen im Unterboden abgeleitet werden. Dieses Vorgehen kann in Bergbaugebieten mit flächendeckender leichter Mineralisation von Vorteil sein, da landesweite Mittelwerte von Substraten diese Besonderheit nicht berücksichtigen.

Für die Siedlungsböden ist die Schaffung entsprechender Datengrundlagen zu den bodenbildenden natürlichen und technogenen Substraten in vielen Fällen erst ein Teil der Bearbeitung innerhalb der BBK (s. Kapitel 7).

Die Nutzungsunterschiede lassen sich anschließend über einen Korrekturfaktor rechnerisch ausgleichen (LUA 2000). Dazu werden die Mediane der

Stoffkonzentrationen der einzelnen Nutzungseinheiten (Acker, Grünland, Forst) in Relation gesetzt. Als Korrekturfaktor dient dabei das Verhältnis der Mediane der einzelnen Stoffkonzentrationen in Bezug zu der als Standard gesetzten Nutzung (z. B.: Standardnutzung: Acker=1, Grünland=1,5, Forst=3). Sollten sich diese Faktoren innerhalb des Untersuchungsgebietes deutlich unterscheiden oder stark schwanken, ist zunächst der Versuch zu unternehmen, für Teilgebiete entsprechende Faktoren abzuleiten. Da das spätere Interpolationsergebnis für die zugeordnete Rasterzelle wieder restandardisiert werden muss, beeinflusst die Güte der Effektbereinigung auch das Ergebnis der BBK (Karte der geschätzten Stoffgehalte). Zusätzlich zur Varianz im Rahmen der Interpolation ist auch die Varianz der Effekte (bzw. der verwendeten Faktoren) bei der Fehlerbetrachtung zu berücksichtigen.

Die Korrektur wird für jeden in die Interpolation eingehenden Datensatz und für jeden zu betrachtenden Stoff nach der folgenden Gleichung GL1 durchgeführt:

$$S_B = (S - G) * NF \text{ (ggf. * ÜF)} \quad (\text{GL1})$$

S_B	Stoffgehalt im Oberboden, bereinigt um den Einfluss Substrat, Bodennutzung und ggf. Überschwemmung
S	Stoffgehalt im Oberboden
G	Geogen bedingter Stoffgehalt des Bodens
NF	Nutzungsfaktor
$ÜF$	Überschwemmungsfaktor

Für die Interpolation im Rahmen der BBK ist zunächst das Kriging-Verfahren heranzuziehen. Hierfür ist eine räumliche Analyse mittels der Semivariogramme erforderlich. Die geeigneten Interpolationsparameter müssen für

jeden Einzelfall durch eine Anpassung des Modells an die empirisch ermittelten Werte abgeleitet werden. Die Rasterauflösung für eine Interpolation sollte maßstabsabhängig wie folgt gewählt werden:

- Maßstab 1 : 50.000: 50 x 50 Meter
- Maßstab 1 : 25.000: 25 x 25 Meter
- Maßstab 1 : 10.000: 10 x 10 Meter.

Nach der Rückrechnung der Effekte entsprechend GL1 erfolgt die Überprüfung des Interpolationsergebnisses. Falls die Überprüfung der Karte der geschätzten Stoffgehalte im Hinblick auf die erzielte Aussagesicherheit und bei einer Kreuzvalidierung zwischen gemessenen und geschätzten Werten nicht überzeugt, kann alternativ auch das „Inverse Distance Weighted Interpolation (IDW)“-Verfahren eingesetzt werden. Falls das Interpolationsergebnis nicht verbessert werden kann, ist zu prüfen, ob die Datenvorbereitung oder auch der Zuschnitt der homogenen Raumeinheiten noch optimiert werden kann. Anderenfalls ist eine Übertragung statistischer Kennwerte (Mittelwert, Median) für diese Flächen vorzunehmen.

Im Ergebnis wird in diesem Bearbeitungsschritt eine Karte der geschätzten Stoffgehalte erzeugt. Ggf. abgetrennte Raumeinheiten, die separat interpoliert wurden oder in denen eine Übertragung statistischer Kenngrößen erfolgte werden hierin wieder vereint. Auch die Ergebnisse der Bearbeitung der Überschwemmungsflächen werden in diesem Schritt eingefügt.

5.5 Notwendiger Untersuchungsbedarf

Im Freistaat Sachsen liegen zahlreiche Daten zu Bodenuntersuchungen vor, die Eingang in die BBK finden. Dennoch ist davon auszugehen, dass die Datenlage bei Betrachtung des Bearbeitungsmaßstabes einer BBK nicht für alle Teilbereiche eines Untersuchungsgebietes ausreicht. Eine erste Einschätzung des Untersuchungsbedarfs anhand von Beprobungsdichten (mindestens 1 Probe pro 4 km² und 10 Proben pro homogener Raumeinheit) wurde bereits in Kapitel 5.3 erläutert. Dieser Bedarf kann nach der Erstellung der Karte der geschätzten Stoffgehalte anhand von Aussagen zur erzielten Schätzgüte und anhand von auswertungsbedingten Anforderungen ergänzt bzw. konkretisiert werden. Im Rahmen der BBK erfolgt dieser Schritt durch die Erstellung einer Karte des Untersuchungsbedarfs. Diese Karte ist eine Verschneidung von Angaben zur Schätzgüte (z. B. der Krige-Varianz) mit der Höhe der stofflichen Bodenbelastung.

Die Kriterien zur Einstufung der Stoffkonzentration hängt von den späteren Anwendungsbereichen ab. In vielen Fällen hat sich der Vergleich mit den Hintergrundwerten oder den Vorsorgewerten der BBodSchV als praktikabel erwiesen (LUA 2000 und 2006). Ein allgemeines Beispiel für eine solche Bewertungsmatrix liefert Tabelle 2. Ein Bedarf an zusätzlichen Bodenuntersuchungen ergibt sich demnach für Flächen mit eher geringer Schätzgüte bzw. mit vergleichsweise hohen Stoffkonzentrationen. Die absolute Einstufung der Schätzgüte (z. B. Varianz < 25 %, 25-50 % und > 50 %) bzw. der Stoffgehalte (z. B. < 100 %, bis 100-150 % und > 150 % des Vorsorgewertes) hängt von den Gegebenheiten des Untersuchungsgebietes ab und ist stets ein Kompromiß zwischen dem Wunsch nach vermehrter Aussagesicherheit und dem vertretbaren Aufwand an Nachuntersuchungen.

Die Vorgehensweise und Mindestanforderungen an die nachfolgende Probenahme im Rahmen der BBK sind in Kapitel 8 dargestellt.

Tabelle 2: Matrix zur Abschätzung des Untersuchungsbedarfs

Schätzgüte	geschätzte Stoffgehalte (z. B. bewertet nach Vorsorgewerten)		
	gering	mittel	hoch
hoch	gering	gering	mittel
mittel	gering	mittel	hoch
gering	mittel	hoch	hoch

5.6 Besondere Aspekte bei der Erstellung von BBK für Unterböden

Durch die Messnetze und Untersuchungsprogramme des LfUG liegt in Sachsen auch eine große Anzahl an Untersuchungsergebnissen zu Unterbodenhorizonten vor. Die Betrachtung der Unterböden im Rahmen einer BBK kann neben einer allgemeinen Beschreibung der Belastungssituation tieferer Bodenschichten auch konkrete Hinweise für das Auftreten schädlicher Bodenveränderungen bzw. die mögliche Verwertung anfallenden Bodenaushubs liefern. So gelten für die Tiefe von 10-30 cm unter Grünland und 30-60 cm unter Acker- und Gartennutzung die 1,5-fachen Prüf- und Maßnahmewerte. Schadstoffgehalte unterhalb des humosen Oberbodens dienen darüber hinaus der Einstufung von ggf. anfallenden Bodenmaterial bei Baumaßnahmen für die anschließende Verwertung (z. B. nach LAGA TR Boden). Da bei ungestörtem Bodenaufbau davon auszugehen ist, dass im Unterboden kaum mehr anthropogen eingetragene Schadstoffe zu erwarten sind, liefert eine BBK für Unterböden zugleich auch ein Abbild der naturbedingten Schadstoffsituation und damit auch einen Erklärungsbeitrag für die Situation im Oberboden. Die Bearbeitung der BBK für Unterböden ist für den Außenbereich weitgehend an die Vorgehensweise für die Oberböden anzulehnen (s. Abbildung 4). Abweichungen hiervon ergeben sich im Wesentlichen durch den dominierenden Einfluss des bodenbildenden Substrates und das weitgehende Fehlen von Nutzungseinflüssen. Zumindest für Böden unter forstlicher Nutzung ist zu prüfen, ob die

Bildung homogener Raumeinheiten über die Bodentypen bzw. die beprobten Bodenhorizonte erfolgen kann, um die unterschiedlichen Verlagerungsprozesse für Schadstoffe zu kennzeichnen. Insbesondere sind Eluvialhorizonte von Illuvialhorizonten zu trennen.

5.7 Besondere Aspekte bei der Erstellung von BBK für organische Auflagehorizonte

Auf Mineralböden unter forstlicher Nutzung finden sich je nach Humusform teils mächtige organische Auflagehorizonte. Diese Auflage stellt in besonderem Maße eine Senke für Schadstoffe dar, die über den Luftpfad direkt auf den Boden treffen, aber auch zunächst vom Laub der Bäume zurückgehalten und akkumuliert werden und später zusammen mit den Nadeln oder Blättern zu Boden fallen. Durch den hohen Anteil an organischer Substanz werden die Schadstoffe zumeist fest gebunden und gelangen nur sehr verzögert in den mineralischen Oberboden. Da aufgrund der Versauerung die Verlagerungsprozesse in den Oberböden verstärkt ablaufen, können relativ mobile Elemente wie Cadmium und Zink bereits bis in den Unterboden verlagert worden sein. Daher kann die Kennzeichnung der Belastungssituation der Auflagen die der Oberböden ergänzen. Die Auflagehorizonte zeichnen im Hinblick auf ihre Schadstoffgehalte im Wesentlichen die anthropogenen Einträge nach, während der naturbedingte geogene Anteil in den Hintergrund tritt. Da in den Auflagen auch mineralische Bodenbestandteile eingemischt sein können, sind bei der flächenhaften Darstellung ggf. Raumeinheiten mit geogen besonders

hervortretenden Belastungen abzugrenzen, da sich diese bis in die Auflagen hinein durchpausen können. Weitere Abgrenzungen können anhand der Humusform oder der vorherrschenden Baumarten (Laub-/Nadelbäume) hilfreich sein. Im Übrigen kann auf das Verfahren zur Erstellung der BBK für die Oberböden verwiesen werden.

5.8 Besondere Aspekte bei der Erstellung von BBK für mobile Stoffgehalte

Mobile Schwermetallgehalte haben für die Beurteilung des Transfers vom Boden in Nahrungs- oder Futterpflanzen eine besondere Bedeutung. Dieses wurde in der BBodSchV mit der Einführung von Prüf- und Maßnahmewerten für mobile Schwermetallgehalte, aus-

gedrückt durch die Konzentrationen im Ammoniumnitratextrakt rechtsverbindlich umgesetzt. Die mobilen Gehalte werden vorrangig von den Gesamtgehalten und den Bodeneigenschaften bestimmt. Besonderen Einfluss auf die Mobilität hat der pH-Wert des Bodens. Während die Schwermetallgesamtgehalte (ausgedrückt durch die Messwerte der Königswasserextraktion = KW-Gehalte) kaum einer zeitlichen Variabilität unterliegen, finden sich im Hinblick auf den pH-Wert teils erhebliche Schwankungen. Durch die allgemeinen und bewirtschaftungsbedingten Säureinträge sinkt der pH-Wert der Böden je nach Puffervermögen innerhalb von mehreren Jahren ab. Der Rückgang des pH-Wertes hat regelmäßig einen Anstieg der mobilen Schwermetallanteile insbesondere für das Element Cadmium zur Folge.

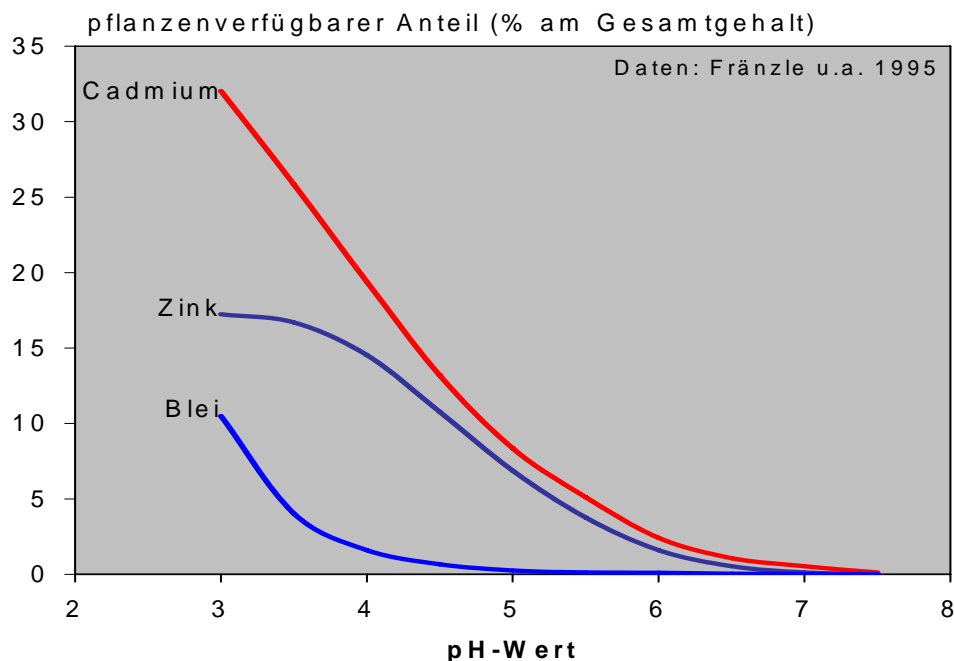


Abbildung 7: Schematische Darstellung zum Einfluss des pH-Wertes auf die Schwermetallmobilität

Dem Absinken des pH-Wertes wird in der Landwirtschaft durch Kalkungsmaßnahmen begegnet, die allerdings zeitlich gestaffelt erfolgen und oftmals aus ökonomischen Gründen zurückgestellt werden. Daher kann nicht in jedem Fall die Einhaltung des Ziel-pH-Wertes der landwirtschaftlichen Beratung vorausgesetzt werden.

Grundsätzlich muss festgehalten werden, dass die mobilen Schwermetallgehalte somit einem zeitlichen Einfluß unterliegen. Jede Probenahme stellt damit nur eine Momentaufnahme der Mobilität dar, der jeweilige Zeitpunkt (z. B. kurz vor einer Kalkgabe bei pH 6,0 oder nach einer Kalkgabe bei pH 6,7) beeinflusst damit maßgeblich die Höhe der mobilen Schwermetallgehalte. Damit gestaltet sich eine Übertragung der Werte in die Fläche schwierig, denn eine Interpolation setzt die zeitliche Unabhängigkeit der Messwerte voraus.

Bei der flächenhaften Darstellung der mobilen Schadstoffgehalte, sind anhand der jeweiligen Voraussetzungen und des Ergebnisses nachfolgende Vorgehensweisen zu unterscheiden.

- a. Interpolation der AN-Gehalte unter Berücksichtigung der auch für die KW-Gehalte ausgewiesenen homogenen Raumeinheiten
- b. Schätzung der AN-Gehalt für jede Rasterzelle aus einer hinreichend gesicherten multiplen Regressionsfunktion aus dem regionalen oder ggf. landesweiten Datenbestand (AN-Gehalt = $f(\text{KW-Gehalt}; \text{pH-Wert})$)

Beide Verfahren klammern die zeitliche Variabilität des pH-Wertes und damit der mobilen Gehalte nicht aus und beinhalten somit zeitabhängige Effekte.

Unter bestimmten Voraussetzungen, können diese zeitabhängigen Effekte ggf. in den Hintergrund treten, z. B. bei einheitlichen kurzen Probenahmekampagnen, oder in Gebieten, in denen der pH-Werte regelmäßig auf hohem Niveau gehalten wird (Kalkung) oder verbleibt (hohe Pufferkapazität).

Das LfUG erarbeitet allgemeine Informationen im Sinne einer landesweiten Regressionsfunktion zur Schätzung mobiler Gehalte aus den königswasserextrahierbaren Gehalten und dem pH-Wert und prüft im Rahmen der aktiven Projektbegleitung auch die Anwendbarkeit regionalisierter Regressionen.

Im Verfahren b. sind zudem statistische Fehler der Regressionsfunktion enthalten. Regressionsfunktionen enthalten zumeist eine große Spannweite des Schätzbereiches für die mobilen Gehalte. Dieser Beitrag zur Schätzunsicherheit muss bei der Gütebetrachtung einer BBK für mobile Gehalte und bei nachfolgenden Auswertungen unbedingt berücksichtigt werden.

Im Sinne einer Vorbereitung auf Maßnahmen bei Vorliegen von hohen mobilen Gehalten kann mit Verfahren b. auch die Wirkung von optimierten Kalkgaben (Einhaltung der Ziel-pH-Werte) dargestellt und der derzeitigen Situation im Untersuchungsgebiet (durchschnittlicher Erreichungsgrad der Ziel-pH-Werte) gegenüber gestellt werden. Dieses Vorgehen stellt bereits den Übergang von der Karte der geschätzten Stoffgehalte hin zu den Auswerteverfahren und -karten dar. Hier wäre auch zu prüfen, ob die auf KW-Gehalten beruhenden Empfehlungen der LfL (2006) im Hinblick auf eine Gebietsabgrenzung einer Abgrenzung anhand von AN-Gehalten ggf. vorzuziehen ist.

6 Vorgehensweise in Überschwemmungsbereichen

Da Überschwemmungsbereiche einer differenzierten Betrachtung bedürfen, werden diese im Rahmen der BBK getrennt von den übrigen Flächen bearbeitet und die Maßstabsebene auf 1 : 10.000 angepasst. Die Schadstoffsituation von Überschwemmungsbereichen ist in den meisten Fällen als ausgesprochen heterogen zu bezeichnen. Daher bedarf die räumliche Darstellung der Belastungssituation einer weit größeren Probenanzahl als in den Bereichen ohne den Einfluss der Überschwemmung. Die räumlichen Unterschiede der Stoffkonzentration im Boden hängen von einer Anzahl vielschichtiger Faktoren ab, die bei der Bildung homogener Raumeinheiten zu berücksichtigen sind:

- Grenzen autotypischer Bodeneinheiten
- Überschwemmungshäufigkeit (maßgeblich die der Vergangenheit)
- Lage im Überschwemmungsgebiet (relative Höhe, Lage im Relief, Entfernung zum Gewässer, Prallhang oder Gleithang)
- Belastungssituation im Einzugsgebiet und Beschaffenheit der abgelagerten Sedimente (Belastungsgrad, KorngröÙenselektion während des Transports)
- Nutzung am Sedimentationsort (Bodenbearbeitung)
- Vegetation am Sedimentationsort (Bewuchs als physikalisches Rückhaltesystem, als Sedimentfang)

Als erste Abgrenzung für die langfristig häufig überschwemmten Bereiche können die Grenzen autotypischer Bodeneinheiten dienen, die der Bodenkarte

entnommen werden können. Die Häufigkeit, mit der eine Fläche bei Hochflutereignissen überschwemmt wird, kann für aktuelle Zeiträume z. B. mit Hilfe von Karten des Hochwasserschutzes ermittelt werden (s. Kap. 3.3.5). In vielen Fällen kann davon ausgegangen werden, dass Flächen, die nahezu jährlich betroffen sind, eine höhere Belastung aufweisen, als Flächen, die sehr selten (z. B. alle 25 Jahre) einem Hochwassereinfluss unterliegen. Schwieriger gestaltet sich die Erhebung der Überschwemmungssituation der Vergangenheit. Oftmals haben Maßnahmen des Hochwasserschutzes, des Gewässerausbaus oder eine Geländeumgestaltung stattgefunden, die zu einer gravierenden Veränderung der Überschwemmungssituation geführt haben. In einigen Fällen ist durch Gewässerverlegungen der Bereich der ehemaligen Überschwemmung mit teils erheblicher Belastung vom aktuellen Verlauf des Gewässers abgetrennt.

Die Häufigkeit der Überschwemmung allein ist allerdings nicht geeignet, unmittelbar Rückschlüsse auf die Belastung zu ziehen. Die Lage im Überschwemmungsgebiet kann auch bei Flächen ähnlicher Überschwemmungshäufigkeit zu unterschiedlicher Sedimentation und damit unterschiedlicher Belastung geführt haben. Wesentliche Faktoren bilden hier die relative Höhe im Gelände (z. B. anhand eines digitalen Höhenmodells im dm-Bereich), die Lage im Relief, die Entfernung zum Gewässer und die Gewässerseite (Prallhang, Gleithang). Grundsätzlich findet sich eine vermehrte Ablagerung von Sedimenten in Bereichen, die eine

Verminderung der Fließgeschwindigkeit ermöglichen (z. B. durch Bewuchs) bzw. in denen das sedimentbefrachtete Wasser nach Rückgang der Hochflut verbleibt (Geländesenken und –mulden). Ackerflächen im Stromstrich von Fließgewässern sind hingegen zumeist von Abtragungsprozessen betroffen und zeigen in vielen Fällen kaum eine sedimentbedingte Belastung. Die Nutzung der Flächen entscheidet zum einen durch die Bodenbearbeitung über die horizontale Verteilung der Schadstoffe, z. B. in Form einer Verdünnung durch regelmäßiges Pflügen. Zum anderen bedingt die Nutzung auch die vorherrschende Vegetation. Untersuchungen aus NRW zeigen, dass dieser Faktor die aktuelle Bodenbelastung erheblich beeinflussen kann. Hier wurden auf Dauergrünland und in Busch- und Gehölzstrukturen durch die besseren Sedimentationsbedingungen höhere Stoffkonzentrationen gefunden (Marschner 2006, pers. Mitteilg.).

Letztlich ist auch die Gewässerqualität (der Vergangenheit) maßgeblich für die Belastung der Sedimente, die periodisch durch Hochflutereignisse resuspendiert, transportiert und auf den Flächen abgelagert werden. Abgrenzungen anhand von Sedimentuntersuchungen, der (historischen) Einleitersituation, des Zuflusses belasteter Nebengewässer oder Begrenzungen durch Talsperren können näherungsweise die Belastung der abgelagerten Sedimente und damit den Schadstoffeintrag über diesen Pfad erklären. Dabei ist zu beachten, dass sich bei historisch (z. B. durch jahrhundertelangen Bergbau) belasteten Gewässern die höchsten Schadstoffkonzentrationen durch den wiederkehrenden Sedimentauftrag oftmals im Unterboden

finden, weil die neueren Sedimente mit weit geringeren Konzentrationen die älteren überdeckt haben. Dieses Beispiel belegt den grundsätzlichen Einfluss der pedogenetischen Auendynamik, die allerdings im Rahmen einer BBK nicht vollständig erfasst werden kann.

Die Abgrenzung und Quantifizierung der vorgenannten Faktoren ist zumeist ausgesprochen aufwändig und der Gewässersituation im Einzelfall anzupassen. In jedem Fall ist der Versuch zu unternehmen, unter Berücksichtigung dieser Faktoren homogene Raumeinheiten auszuweisen, die ggf. zumindest eine teilweise Interpolation ermöglichen. Teilweise wird in sehr klein strukturierten Bereichen die Übertragung statistischer Kennwerte der einzige Weg der Werteübertragung bleiben. Wo aufgrund der hohen Streuung auch dieses nicht möglich ist, verbleibt nur die gemischte Darstellung von Punktinformationen neben den Bereichen, für die flächenhafte Aussagen getroffen werden können.

Grundsätzlich ist aufgrund der Heterogenität im Überschwemmungsbereich und der ggf. hohen Anzahl an homogenen Raumeinheiten eine erheblich höhere Anzahl an Bodenuntersuchungen erforderlich, als in den übrigen Bereichen unter naturnaher Nutzung. Wenn bestehende Untersuchungsergebnisse darauf hindeuten, dass kleinräumige Effekte erhebliche Unterschiede in der Belastung bedingen, ist zu erwägen, bei nachfolgend verdichtenden Probenahmen vom System der punktbezogenen Probenahme im Satellitenmuster abzugehen und für ausgewählte Areale eine flächenbezogene Mischprobe analog der Vorgaben der BBodSchV vor-

zunehmen. So können Mischproben von 1 ha Flächengröße aus typischen Bereichen einzelner Raumeinheiten diese kleinräumige Heterogenität ausgleichen und ein aussagekräftigeres Bild der mittleren Belastungssituation ermöglichen, als punktbezogene Probenahmen.

7 Vorgehensweise für den Siedlungsbereich

7.1 Einleitung

In Siedlungsbereichen sind im Unterschied zum Außenbereich vorrangig andere Bodennutzungen, wie Wohngebiete, Kleingärten, Park- und Freizeitanlagen, Kinderspielflächen oder Gewerbegebiete zu betrachten, die aufgrund der Bodenschutzgesetzgebung oder der Bauleitplanung besondere Bedeutung erlangen. Die Böden im Siedlungsbereich sind zudem häufig überprägt und weisen einen kleinräumigen Wechsel der Nutzungen und sehr heterogene Bodenverhältnisse im Vergleich zu den Außenbereichen auf. Auch nimmt die Bedeutung anderer Belastungsursachen zu, wie insbesondere die durch lokale Immissionen oder kleinräumige Materialauf- und -einträge. Daher ist die Methodik zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten in Außenbereichen (Abbildung 4) für den eigentlichen Siedlungsbereich nicht bzw. nur modifiziert anwendbar.

Das Bearbeitungsgebiet für den Siedlungsbereich umfasst dabei alle Flächen eines Stadtgebietes, die nicht durch die BBK Außenbereich abgedeckt werden und keine Ausschlussflächen darstellen.

Bisherige Erfahrungen zeigen insbesondere, dass die Rahmenbedingungen und (historischen) Besonderheiten jeder Stadt bei der Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten im Siedlungsbereich zu beachten sind und eine Anpassung der Methode auf den Einzelfall erfordern (LUA 2006). Somit kann der vorliegende Leitfaden lediglich einen Rahmen zur Orientierung darstellen und Vorschläge zu möglichen Bearbeitungsmethoden unterbreiten.

7.2 Böden im Siedlungsbereich

In Siedlungsgebieten gibt es überwiegend anthropogene, aber auch natürliche Böden. Als Anthropogene Böden werden Böden bezeichnet, die entweder durch den Menschen eine so starke Umgestaltung im Profilaufbau erfahren, dass die ursprüngliche Schichtung stark verändert wurde (z. B. Gartenböden) oder verloren ging (z. B. Tiefumbruchböden), oder die aus anthropogenen Materialaufträgen 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. Die natürlichen Substrate entsprechen zwar denen der natürlichen Böden, finden sich aber zumeist nicht mehr an ihrem Ursprungsort, sondern wurden horizontal wie lateral gemischt und umgelagert.

Unter technogenen Substraten versteht man Materialien, die erst durch menschliche Tätigkeit entstanden sind. Als Hauptkomponentengruppen sind Bauschutt, Schlacken (Verhüttungsprodukte), Aschen (Verbrennungsprodukte), Müll und Schlämme zu differenzieren; diese Gruppen teilen sich weiter in Einzelkomponenten auf (MEUSER 2002).

Generell ist in Stadtgebieten mit einer großen Heterogenität in vertikaler und horizontaler Richtung zu rechnen. Diese bezieht sich auch auf den Schadstoffgehalt. Im Rahmen der Bearbei-

tung des Siedlungsbereiches kann dieser Heterogenität, die sich in zahlreichen Stadtbodenkartierungen (z. B. in Berlin – GRENZIUS 1987, Kiel – GLA Schleswig-Holstein 1988, Stuttgart – HOLLAND 1995, Krefeld – BAUMGARTEN et al. 1997) zeigte, nur begegnet werden, wenn großmaßstäbig (1 : 5.000 bis 1 : 10.000) gearbeitet wird und das Beprobungsraster aufwändiger konzipiert wird als bei der BBK im Außenbereich.

Die in NRW durchgeführten Felderhebungen im Rahmen der Erstellung einer BBK im Siedlungsbereich haben die hohe räumliche Variabilität der Bodeneigenschaften bestätigt (LUA 2006). Es finden sich zwar nutzungsbezogene Gesetzmäßigkeiten, die aufzeigen, dass innerhalb des gleichen Nutzungstyps (z. B. Gärten einer Einfamilienhaussiedlung) annähernd vergleichbare Bodenverhältnisse zumindest im Oberboden vorliegen, während bei Nutzungstypenwechsel (z. B. Übergang von der Einfamilienhaussiedlung zur benachbarten Gewerbefläche) abrupte Bodenveränderungen auftreten können. Trotzdem muss bei der Erstellung einer BBK im Siedlungsbereich klar sein, dass die lokale kleinräumige Heterogenität, die sich auch im Stoffgehalt widerspiegelt, auch bei einem Maßstab von 1 : 10.000 nicht vollständig erfasst werden kann.

Für die Auswertung der BBK im 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.

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 die meisten technogenen Substrate in Folge hoher Calciumcarbonat-Gehalte hohe pH-Werte aufweisen (Bauschutt 7-11, Schlacken und Aschen 8-12), reagieren Auftragsböden in vielen Fällen neutral bis alkalisch (MEUSER 2002, MEUSER & BLUME 2004).

Generell ist zu bedenken, dass Prozesse der Bodenentwicklung (Pedogenese) die Schadstoffgehalte im Boden verändern können und dass sich somit die erhobenen Werte der BBK im Siedlungsbereich – im Unterschied zum Außenbereich – schon mittelfristig verändern können. So können durch die Verwitterung grobe Bodenbestandteile (z. B. Schlacken) in überschaubarer Zeit mechanisch zerkleinert werden und damit in die untersuchte Fraktion (< 2 mm) gelangen. Auch Nutzungsänderungen haben im Siedlungsbereich in aller Regel erheblich größere Auswirkungen auf die Stoffgehalte, als in Bereichen naturnaher Nutzung.

7.3 Quellen und Einflussfaktoren der Schadstoffgehalte in Siedlungsböden

Das Belastungsniveau städtischer Böden ist im Vergleich zu dem ländlich geprägten Umland tendenziell höher.

Im Siedlungsbereich kommen als Quellen und Einflussfaktoren der stofflichen

Belastung zusätzlich zu den Faktoren im Außenbereich folgende in Betracht:

- a) Aufschüttungen und Umlagerungen belasteter natürlicher und technogener Substrate sowie deren Einsatz im Straßen-, Garten- und Landschaftsbau
- b) Unmittelbare Nähe zu kleinräumigen Altlasten, altlastverdächtigen Flächen oder derzeit noch aktiven Gewerbeflächen mit Belastungsverdacht
- c) (lokale) Immissionseinträge (z. B. Staubdeposition)
- d) Überschwemmungsflächen der (historischen) städtischen Auen
- e) Kriegsschäden (z. B. Trümmer-schutzflächen)
- f) Rieselfeldbewirtschaftung
- g) unsachgemäße Materialaufbringung (z. B. auf Spiel- und Sportplätzen)
- h) unsachgemäßer Einsatz von Düngern, Abfällen und Aschen in Gärten
- i) Leckagen an Versorgungsleitungen, Unfälle und Havarien

Dabei kommt den ersten drei Faktoren in den meisten Fällen die größte Bedeutung zu.

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

strate unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Stoffgehalte auch innerhalb der Komponentengruppen erheblich (MEUSER 2002). Für die Erstellung der BBK im Siedlungsbereich hat daher die Substratansprache eine große Bedeutung. Im betreffenden Untersuchungsgebiet müssen daher die dominant hervortretenden, regional spezifischen Substrate (Leitsubstrate) organoleptisch und analytisch bekannt sein. Untersuchungen aus NRW zeigen aber, dass abgesehen von konzentrierten Ablagerungen einzelner Substrate der Anteil der technogenen Substrate zu meist weniger als 10 Masse-% ausmacht (LUA 2006). In den ehemaligen Bergbauzentren des Erzgebirges kann der Substrateinfluss allerdings eine solche Dominanz entfalten, dass andere Faktoren in den Hintergrund treten.

Im Rahmen der Erstellung einer BBK sind die Flächen der Altstandorte und Altablagerungen zunächst Ausschlussflächen für die Erstellung einer BBK. Ob eine Verwendung der Daten für die BBK im Siedlungsbereich dennoch sinnvoll ist, ist im Einzelfall zu entscheiden. Zumindest als Interpretationshilfe im unmittelbaren Umfeld sind die verfügbaren Stoffdaten aufzunehmen. Lokal bedeutsame aktive Gewerbeareale sind ebenfalls zu erfassen, sofern eine flächenhafte Belastung auch im Umfeld zu vermuten ist.

Bei den Immissionseinträgen ist zwischen den allgemein vorhandenen diffusen und den lokalen, kleinflächigeren Formen aus spezifischen Quellen zu unterscheiden. Für die Erstellung der BBK im Siedlungsbereich ist es von großem Vorteil, Kenntnisse über die Immissionseinträge nutzbar zu machen. Bisherige BBK-Untersuchungen

konnten in einigen Fällen nachweisen, dass die immissionsbezogene Schadstoffbelastung durch lokale Quellen eine herausragende Bedeutung für die Bodenbelastung im Siedlungsbereich haben kann (LUA 2006).

Überschwemmungsflächen im Siedlungsbereich sind in den meisten Fällen nicht mehr die natürlich Gegebenen. Die ehemaligen Überschwemmungsflächen aus einer Zeit industrieller wie bergbaulicher Prägung weisen auch heute noch bis in den Unterboden erhöhte Schadstoffgehalte auf. Hier ist die Erfassung der früheren Ausdehnung von Überschwemmungsflächen, ehemaliger Altarme oder von kompletten Gewässerumlegungen von besonderer Bedeutung.

Bei Betroffenheit des Untersuchungsgebietes ist die Kenntnis über die Verbringung von kriegsbedingtem Trümmerschutt ein wertvoller Hinweis, da hiermit Informationen über zumeist zusammenhängende flächenhafte Aufträge verbunden sind. Das Belastungspotential ist dabei zumeist nicht als homogen zu bezeichnen.

Langjährig intensiv genutzte Haus- und Kleingärten im Siedlungsbereich weisen vielfach flächenhaft höhere Schadstoffgehalte im Vergleich zu stadtnahen Ackerböden auf. Oftmals sind diese Belastungen auf bewirtschaftungsbedingte Einträge (Abfälle, Aschen, Düngemittel, „Bodenverbesserer“) zurückzuführen. Daher ist allerdings auch je nach Einsatz mit teils starken lokalen Schwankungen der Stoffgehalte zu rechnen.

Weiterhin finden sich noch einzelne lokal bedeutsame Quellen einer Schadstoffbelastung, z. B. auf Flächen

mit Abwasserverrieselung oder bei Folgen von Havarien oder Leckagen, die nicht hinreichend beseitigt wurden. Kenntnisse über solche Einzelfälle sind zwar kaum flächenhaft übertragbar, helfen aber oftmals unplausible Ergebnisse von Bodenuntersuchungen zu erklären.

Auch im Siedlungsbereich können nur die wesentlichsten Belastungsursachen und Einflussfaktoren berücksichtigt werden. Ohne vereinfachende Annahmen ist eine flächenhafte Betrachtung nicht möglich.

7.4 Methodische Ansätze für die BBK im Siedlungsbereich

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

Da Ursachen und Einflussfaktoren der Bodenbelastung in den Kommunen nicht einheitlich sind, werden für die Bearbeitung unterschiedliche Module und Herangehensweisen vorgeschlagen. Diese Module lassen sich in problemangepasster Intensität bearbeiten und koppeln, um im Ergebnis ein möglichst umfassendes Bild über die flächenhafte Bodenbelastung zu erlangen.

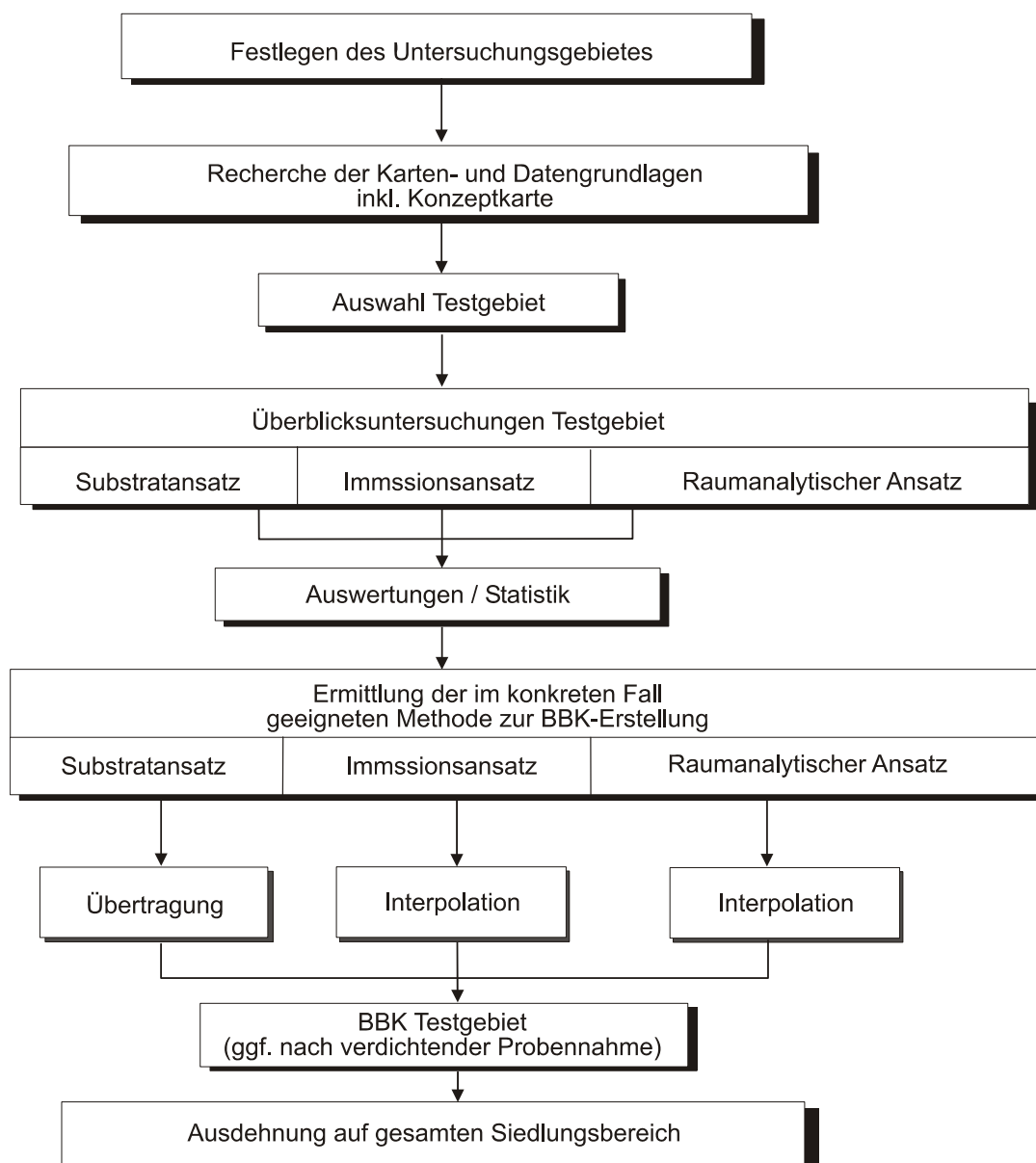


Abbildung 8: Allgemeine Vorgehensweise zur Erstellung einer BBK im Siedlungsbereich (LUA 2006)

Jedem Modul liegen zwar spezielle Anforderungen an die Messnetzplanung und die Probennahme sowie bestimmte Schritte der Auswertung und Rahmenbedingungen hinsichtlich der Übertragbarkeit auf die Fläche zugrunde. Doch grundlegende Anforderungen an die Ausgangsdaten, die Qualität von Probennahme und Analytik, die zu verwenden

den statistischen und geostatistischen Methoden und die Notwendigkeit einer Prüfung, inwieweit eine Übertragbarkeit von Punktdaten in flächenhafte Darstellungen statthaft ist, gelten übergreifend und sind bereits im Kapitel 4 für die Bearbeitung des Außenbereichs dargestellt.

Die grundsätzliche Vorgehensweise der Bearbeitung einer BBK im Siedlungsgebiet ist in Abbildung 8 dargestellt. Es lassen sich drei methodische Ansätze oder Module unterscheiden: der Substratansatz, der Immissionsansatz und der raumanalytische Ansatz. Diese können je nach Dominanz der Faktoren einzeln angewendet werden oder nebeneinander stehen und sich ergänzen. In größeren Siedlungsbereichen ist zunächst ein möglichst typisches Testgebiet auszuwählen, in dem die Herangehensweise im Sinne des modularen Ansatzes geprüft und ggf. modifiziert werden kann, bevor die dort gewonnenen Aussagen zur Methodik auf das gesamte Siedlungsgebiet ausgedehnt werden (s. Kapitel 7.6).

7.4.1 Substratansatz

Sofern die Bodenbelastung in weiten Teilen substratbedingt variiert, lassen sich im Siedlungsbereich Flächen mit vergleichbarer Bodenbelastung durch das Auftreten natürlicher und technogener Substrate charakterisieren und abgrenzen. Im Unterschied zum immissionsbezogenen Modul können sich die Aussagen auch auf tiefere Bodenhorizonte beziehen. Ziel ist es, regelhafte Beziehungen herauszuarbeiten, die eine Übertragung von stichprobenhaft ermittelten Kennwerten der Bodenbelastung auf nicht untersuchte Flächen vergleichbarer Nutzung und Substratzusammensetzung zulassen. Ohne den Beleg solcher Gesetzmäßigkeiten kann eine Übertragung nicht erfolgen.

7.4.2 Immissionsansatz

Wenn die Bodenbelastung im Siedlungsgebiet oder Teilen davon erkennbar mit der lokalen Immissionssituation in Zusammenhang gebracht werden

kann, ist es möglich von der Immissionsbelastung auch auf die Schadstoffsituation vergleichbarer Flächen zu schließen. Der Ansatz geht von der Annahme aus, dass die depositionsbedingte Bodenbelastung von den anderen Ursachen getrennt und interpoliert werden kann. Diese Methode bezieht sich nur auf die oberen Dezimeter des Bodens. Die immissionsbedingte Bodenbelastung kann quantitativ nur auf Flächen erfasst werden, die für lange Zeit ungestört der Immission ausgesetzt waren. Damit lassen sich diese Aussagen deshalb uneingeschränkt nur auf ähnlich ungestörte Flächen beziehen. Möglicherweise kann den übrigen Ursachen und Einflussfaktoren durch Zuschnitt unterschiedlicher Raumeinheiten oder der Gestaltung und Ausweisung von Ausschlussflächen Rechnung getragen werden, um den immissionsbedingten Anteil abgrenzen zu können.

7.4.3 Raumanalytischer Ansatz

Der raumanalytische Ansatz geht davon aus, dass Immissions- und Substrateinflüsse gegenüber dem Nutzungseinfluss (Art und Dauer) zurücktreten - zumindest innerhalb homogener Raumeinheiten. Die Nutzungsdauer ist dabei ein Maß dafür, wie lange der anstehende Oberboden Immissionseinflüssen und zugleich nutzungstypischen Einträgen und Durchmischungen ausgesetzt ist. Starke Streuungen der Bodenbelastung innerhalb der zunächst als homogen angenommenen Raumeinheiten deuten auf nicht erkannte Einflussfaktoren und erschweren die Anwendbarkeit des Ansatzes. Bei der Bearbeitung von Flächen, die in starkem Maße Bergbau- und teils kleinräumiger Hüttentätigkeit unterworfen waren (z. B. im Erzgebirge), kann die Dominanz dieser Nutzungsfak-

toren besonders ausgeprägt sein. Ehemals vorhandene kleinräumig wechselnde Belastungsursachen (z. B. Erzgänge, Halden, Hüttenbetriebe) haben sich überlagert und im Raum soweit vermischt, dass sich in einigen Raumeinheiten eine gewisse Homogenität der

(hohen) Belastung findet. Sofern geostatistische Tests es erlauben, kann in diesen Grenzen unter Berücksichtigung der geogen bedingten Stoffgehalte eine Übertragung in die Fläche durch Interpolation erfolgen.

Tabelle 3: Methodische Ansätze einer BBK im Siedlungsbereich

	Substratansatz	Immissionsansatz	Raumanalytischer Ansatz
Ziel	Erfassung der substratbedingten Belastung	Erfassung der immissionsbedingten Belastung	Erfassung der nutzungsdifferenzierten Belastung
Anwendbarkeit	bei prägender und statistisch abgesicherter Substratbelastung	für Flächen, die lange Zeit der Immission ausgesetzt waren	bei signifikant unterschiedlicher Belastung verschiedener homogener Raumeinheiten
Tiefenbezug	Auffüllungsmächtigkeit	0 – 10 cm und 10 - 30 cm	0 - 30 cm
Methodische Voraussetzungen	Übertragung nach Korrelationsanalyse	Interpolation nach Variogrammanalyse	Interpolation nach Standardisierung und Variogrammanalyse
Beispiel für die Umsetzung	BBK Herne	BBK Duisburg	BBK Wuppertal

7.5 Notwendige Datengrundlagen für die BBK im Siedlungsbereich

Wegen der hohen Heterogenität im Siedlungsbereich ist als Grundlage der Bearbeitung die TK 10 im Maßstab 1 : 10.000 auszuwählen. Für die spätere Messnetzplanung sind zudem Flurstückskarten hilfreich.

Bei der Bearbeitung einer BBK im Siedlungsbereich sind die Daten der Bodenkarten des LfUG im Maßstab 1 : 50.000 zwar hilfreich, im Gegensatz zur Bearbeitung des Außenbereichs ist jedoch im Siedlungsbereich die Übertragbarkeit begrenzt:

- Der Maßstab wird nicht der Bearbeitung des Siedlungsbereichs gerecht;

Daten können nicht ohne weiteres auf den Maßstab der BBK im Siedlungsbereich herunter gebrochen werden,

- Die Kartierer haben während der Erstellung der Bodenkarten z. T. die aufgeschütteten und abgetragenen Bereiche und die unmittelbaren Siedlungsschwerpunkte mit hohem Versiegelungsgrad ausgespart,
- Häufig sind Flächen im Siedlungsraum als Böden natürlicher Pedogenese gekennzeichnet, obwohl sie (inzwischen) anthropogen überformt wurden, daher entspricht die Kartengrundlage häufig 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. In Gebieten mit Bergbau sind bergbaulichen Karten mit Informationen zu Halden, Abgrabungen und Erzgängen hinzuzufügen.

Zum Teil existieren in betroffenen Kommunen Aufzeichnungen über die Trümmerräumung nach dem 2. Weltkrieg, die Hinweise auf die Ablagerung von Trümmerschutt (Hauptkomponentengruppe Bauschutt) geben.

Die aktuelle Nutzung ist anhand der BTLNK des LfUG oder aktuellen AKL-Daten möglichst grundstücksscharf zu erfassen. 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.

Grundsätzlich ist die multitemporale Auswertung von Luftbildern und historischen Karten für die Festlegung der Nutzungsabfolgetypen erforderlich. Hierbei werden zunächst unter Beachtung der Ausschlussflächen (z. B. versiegelte Bereiche, Kleinstflächen) die relevanten Flächennutzungsabfolgen definiert. Um die Anzahl der Abfolgetypen zu reduzieren, ist es notwendig, diese zu aggregieren, wobei die im Stadtgebiet relevanten, sensiblen Flächennutzungen (z. B. Wohnbebauung, Kleingärten) höchste Priorität haben. Als Ergebnis sollten nur die flächenmäßig bedeutenden, ausreichende Datenanzahl vorhaltenden und primär sensi-

bel genutzten Nutzungsabfolgetypen weiter bearbeitet werden (IFUA 2005c).

Eine Beachtung des Katasters über Altstandorte und Altablagerungen ist deshalb angezeigt, um eventuelle Ausschlussflächen bei der Erarbeitung der BBK zu kennzeichnen; solche Ausschlussflächen sind nachrichtlich zu übernehmen. Das Material kann helfen, Abgrabungen und Aufschüttungen zu lokalisieren und damit die Standortfestlegungen für die Probennahmekampagnen zu unterstützen.

Im Siedlungsbereich kann es insbesondere dann, wenn die Kartengrundlagen insgesamt nicht als sehr ergiebig einzustufen sind, hilfreich sein, Baugrunderkarten auszuwerten, die Hinweise zu Aufschüttungen (Substratvorkommen), Bodenart und Grundwasserverhältnissen geben. Dabei ist aber zu berücksichtigen, dass die erfassten Daten oft nur schlecht kompatibel zu bodenkundlichen Erhebungen sind (Unterschiede in der Bodenansprache) und ihre Auswertung zudem zeitaufwändig ist. In Zusammenhang mit der Bewertung eines Substrateinflusses geben auch die bei angefallenem Bodenaushub in Auftrag gegebene Untersuchungen (z. B. nach LAGA TR Boden) Aufschluss über ein mögliches Kontaminationspotenzial.

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

7.5.1 Technogene Substrate

Die Kenntnis über die im Bearbeitungsgebiet vorherrschenden technogenen Substrate und des daraus erwachsenden Belastungspotentials (s. Tabelle 4) ist eine Grundvoraussetzung für die Anwendung des Substratansatzes. Technogene Substrate sind durch anthropogene Prozesse entstanden. Zu unterscheiden sind die Hauptkompo-

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

Tabelle 4: Kontaminationspotenzial technogener Substrate (nach MEUSER 2002)

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, Ofenausbruch	Metalle, PAK
Müll		Kunststoffe	Metalle
		Holz	Chlorpestizide
		Vegetabilien	Methanbildung
		Verbundmaterialien	Metalle
Schlämme		Klärschlämme	Metalle
		Baggerschlämme	Metalle

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

dieser Tatsache schwanken die Schadstoffgehalte von Bodenproben, die aus natürlichen und technogenen Substraten zusammengesetzt sind, in weiter Amplitude. Dies ist zum einen darauf

zurückzuführen, dass die Gemengeanteile der einzelnen Substratkomponenten von Bedeutung sind. Da im Regelfall nur die Feinfraktion < 2 mm zur Analytik kommt, ist zum anderen primär der in diese Fraktion bereits verwitterte Anteil der jeweiligen Substrate von Bedeutung.

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

7.5.2 Flächennutzung

Wegen der Vielfalt der Nutzungsarten ist im Siedlungsbereich eine genaue Erfassung der einzelnen Einheiten von großer Bedeutung. Erste Grundlage der Erfassung können – wie schon bei der BBK für den Außenbereich – die ATKIS-Daten sein. Diese sind um Informationen aus der Biotoptypen- und Landnutzungskartierung (BTLNK) und dem aktuellen ALK zu ergänzen. In Tabelle

5 sind alle im Siedlungsbereich relevanten Nutzungsarten anhand der jeweiligen ATKIS-Schlüsselnummer zusammengestellt. Den übrigen Nutzungsarten kommt zumeist keine Bedeutung zu, weil die betreffenden Flächen sehr klein oder praktisch vollkommen versiegelt sind, ausschließlich lineare Strukturen vorliegen (z. B. Straßen) oder das Medium Boden nicht direkt betroffen ist.

Die gewerblichen Nutzungsarten Raffinerie (Nr. 2123), Werft (Nr. 2124), Kraftwerk (Nr. 2126), Klärwerk / Kläranlage (Nr. 2129), Ausstellungsgelände / Messegelände (Nr. 2131), Heizwerk (Nr. 2133), Wasserwerk (Nr. 2134), Gradierwerk (Nr. 2311) oder Hafen (Nr. 3401) können ggf. mitbetrachtet werden, wenn ihr unversiegelter Freiflächenanteil relevant ist. Durch betriebliche Maßnahmen (z. B. Erweiterungen, Gebäuderückbau, Bodenumlagerungen) kann bei diesen Nutzungsarten grundsätzlich auch im Freiflächenbereich von anthropogenen Böden ausgegangen werden. Aus diesen Gründen wie auch durch betriebliche Emissionen kann ein erhöhtes Belastungspotenzial erwartet werden.

Für die BBK im Siedlungsbereich sind nur diejenigen Nutzungsarten zu bearbeiten, die flächenmäßig im gesamten Stadtgebiet einen bestimmten Mindestanteil aufweisen, da eine flächendeckende Bearbeitung nicht realisierbar ist. Nutzungsarten, die einen sehr geringen Flächenanteil aufweisen sollten verworfen werden und verbleiben dann ohne Information zum Schadstoffgehalt. Weiterhin ist denjenigen Flächennutzungen Priorität einzuräumen, die eine höhere Sensibilität aufweisen. Dies sind in erster Linie Flächen des

Wohnungsbaus (einschließlich Abstandsgrün), Grün- und Parkanlagen, Sport- und Freizeitanlagen (einschließ-

lich Spielanlagen), Gartenland und Kleingartenanlagen sowie nachgeordnet Industrie- und Gewerbeflächen.

Tabelle 5: Im Siedlungsbereich zu betrachtende Nutzungsarten und deren Beprobungsbereiche

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

Tabelle 5: Im Siedlungsbereich zu betrachtende Nutzungsarten und deren-Beprobungsbereiche (Fortsetzung)

Nr.	Nutzungsart (ATKIS)	Beprobungsbereich
4108	Gehölz	
4109	Sonderkultur, Baumschule	
4110	Brachland	unversiegelter Anteil 5)
4111	Nasser Boden	
4120	Vegetationslose Fläche	
6201	Damm, Wall, Deich	unversiegelter Anteil

Die in fett gedruckten Nutzungen sind im Siedlungsraum als die dominant hervortretenden Freiflächen anzusehen und bevorzugt zu bearbeiten; 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 ggf. sinnvoll
- 4) Keine Differenzierung in Zier- und Nutzgarten
- 5) Differenzierung in Subnutzungstypen a) Fläche mit Pioniervegetation, b) Fläche mit Hochstaudenvegetation oder Birken-Vorwald und c) bewaldete Fläche ggf. sinnvoll
- 6) Differenzierung in Subnutzungstypen a) Rasenfläche und b) Rabatte / Gehölz ggf. sinnvoll

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

Folglich sind Zeitschnitte als integrative Komplexfaktoren ein mögliches Abgrenzungskriterium für Raumeinheiten. In NRW sind z. B. folgende Unterscheidungen in verschiedenen Städten verwendet worden (LUA 2006):

bis 1918	oder	bis 1926
1919 - 1948		1927 - 1945
1949 - 1960		1946 - 1959
1961 - 1980		1960 - 1969
1981 bis heute		1970 – 1978
		1979 bis heute

In Anlehnung an die multitemporalen Auswertungen von Luftbildern im Rahmen der Erhebung von Altstandorten

und Altablagerungen können auch Zeitschnitte definiert werden, die sich an der Existenz von Karten- oder Luftbildgrundlagen orientieren.

7.5.3 Immissionen

Der Eintrag von Schadstoffen über den Luftpfad trägt merklich zur Bodenbelastung bei; dies gilt insbesondere für industriell geprägte Regionen, in denen der Immissionsbeitrag sogar dominieren kann. Auch im eher ländlichen Raum können einzelne größere Emittenten zu großflächigen Immissionen führen.

Ob sich der Schadstoffeintrag der letzten Jahrzehnte tatsächlich im Boden wieder findet, ist in der Realität davon abhängig, wie lange der Boden mehr oder weniger ungestört der Deposition ausgesetzt war. Nur im Falle langjährig ungestörter Böden wird sich die Deposition in den Bodengehalten deutlich widerspiegeln. Für die Erfassung dieses Beitrages stehen im Idealfall Messreihen aus Immissionsmessprogrammen zur Verfügung, die z. B. im Rahmen der Luftreinhaltung erhoben wurden.

Um einen Überblick über die Ausprägung der Deposition über das Untersuchungsgebiet zu bekommen, ist eine Interpolation der Depositionsdaten an den Messstellen für die Parameter Gesamtstaub, Blei und Cadmium zweckmäßig. Bei der Deposition handelt es sich zwar zumeist um eine interpolierbare Größe, die Interpolierbarkeit ist für den konkreten Fall jedoch nachzuweisen.

Die Kenntnisse der Immissionssituation sind insbesondere für eine Optimierung des Messnetzes zur Erfassung der Bodenbelastung von Bedeutung (Im-

missionsansatz und raumanalytischer Ansatz). Weiterhin bietet sich so die Möglichkeit, die Schadstoffgehalte im Oberboden eines Standortes mit der dortigen Deposition zu korrelieren. Dazu sind die Standorte mit Angaben zu Bodengehalten mit den interpolierten Immissionssummen zu verschneiden.

7.6 Auswahl eines Testgebietes

In den meisten Fällen ist es sinnvoll, im Rahmen der Erstellung einer BBK im Siedlungsbereich mit einem Testgebiet zu beginnen. Erst über diesen Schritt kann man sich konkret ein Bild über die Bodenverhältnisse und Belastungsur-sachen machen. Verzichtbar ist die Auswahl eines Testgebietes,

- wenn das Stadtgebiet klein ist (< 50 km²) oder
- wenn die verwertbaren Datengrundlagen über die Belastungssituation der Böden bereits zu Beginn der BBK Siedlungsbereich sehr umfangreich sind.

Bei der Festlegung eines Testgebietes ist darauf zu achten, dass dieses möglichst repräsentativ für den gesamten Siedlungsbereich gewählt wird. Daher sollte sich das Testgebiet geografisch vom Kerngebiet bis in die Stadtrandlage erstrecken, um die wichtigsten städtebaulichen Phasen abzudecken. Zudem sollten alle wesentlichen Nutzungen und Nutzungsabfolgetypen vorhanden sein. Es ist auch darauf zu achten, dass die naturkundlichen Grundlagen und die Immissionssituation des Gebiets möglichst repräsentativ berücksichtigt werden. Zu nennen sind:

- die Topographie / Geländemorphologie
- die geologischen und bodenkundlichen Verhältnisse
- das Vorkommen bedeutender aktueller bzw. historischer Emittenten

Um der Forderung nach ausreichender Repräsentativität Rechnung zu tragen, sind auch Ansprüche an die Größe des Testgebietes verknüpft. Das Testgebiet sollte 10 - 20% des gesamten Stadtgebietes einnehmen und in weiten Teilen Siedlungsflächen im engeren Sinne beinhalten. 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.

Bei Wald-, Acker- oder Grünlandflächen auf natürlichen Böden (größer 1 ha) ist zu prüfen, ob hier die Bearbeitungskriterien der BBK für den Außenbereich angewendet werden können, auch wenn die Flächen im unmittelbaren Siedlungsbereich liegen.

Die Untersuchung des Testgebietes sollte in zwei Schritten erfolgen. In einem ersten Schritt liefert eine Überblicksuntersuchung erste Hinweise über die Schadstoffverteilung und das Belastungsniveau. In dem nachfolgenden Verdichtungsschritt werden diese Informationen aufgenommen und durch verdichtende Probenahmen ergänzt, die –ähnlich wie die Nachbeprobung im Außenbereich- an den Erfordernissen im Hinblick auf die Schätzgüte einerseits und der Belastungshöhe andererseits ausgerichtet wird.

7.7 Prüfung der unterschiedlichen Ansätze im Testgebiet

Sofern nicht bereits ein Ansatz im Zuge der Recherche verworfen werden kann, sollten im Testgebiet möglichst alle drei Ansätze parallel überprüft werden. Dazu sind die nachfolgenden Auswertungen vorzunehmen.

7.7.1 Immissionsbezogener Ansatz

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

Den nächsten Schritt erfolgt eine statistische Auswertung der Bodendaten. Die Bezugstiefe ist zum einen die Schicht 0-10 cm Tiefe und zum anderen 10-30 cm Tiefe. Standorte mit hohen Anteilen technogener Substrate sowie Standorte mit deutlich höheren Schadstoffgehalten der Schicht 10-30 cm gegenüber der Schicht 0-10 cm (inverse Gradienten) sind von der weiteren Auswertung auszuschließen. Eine Datenvorbereitung (Normalverteilung, Ausreißertests) sollte analog zur Vorgehensweise im Außenbereich vorgenommen werden.

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

Vor der Interpolation ist mittels Variogrammanalyse ein räumlicher Zusammenhang nachzuweisen und es sind die erforderlichen Interpolationsparameter abzuleiten. Die Übertragung der Punktinformation in die Fläche geschieht im Falle des Immissionsansatzes mittels Interpolation der entsprechenden Bodendaten für die Schicht 0-10 cm und 10-30 cm Tiefe. Es ist in vielen Fällen günstiger, an Stelle der separaten Interpolation der Schicht 10-30 cm eine integrierende Betrachtung für die Schicht 0-30 cm (vgl. Kapitel 6.6.1) durch gewichtete Mittelung des Wertes 0-10 cm und des Wertes 10-30 cm gegebenenfalls unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Trockenrohdichten durchzuführen. Die Interpolierbarkeit kann zumeist durch Ausschluss von Überschwemmungsflächen und der Flächen mit deutlich inversen Schadstoffgradienten verbessert werden.

Zwar werden üblicherweise bei der Betrachtung von Einzelflächen differenziertere Tiefengradienten (z. B. 5 cm-Schritte) zur Prüfung eines Immissionseinflusses herangezogen, doch reicht die Berücksichtigung der Schicht-

ten 0-10 cm und 10-30 cm im Rahmen der BBK aus, da die Auswertung räumlicher Zusammenhänge im Mittelpunkt steht. Die interpolierten Stoffgehalte stellen demnach die immissionsbedingte Bodenbelastung dar, die bei für lange Zeit unberührten Böden zu erwarten ist.

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

7.7.2 Substratbezogener Ansatz

Bei der Auswertung der substratbezogenen Belastungsursachen werden die Proben im Hinblick auf Art und Anteil technogener Substrate und den Schadstoffgehalten im Boden betrachtet. Die Relevanz des Einflusses technogener Substrate ist durch Korrelationsanalysen nachzuweisen.

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

Einige allgemeine Hinweise lassen sich aus den bisherigen Erfahrungen der Erstellung von BBK im Siedlungsbereich für den substratbasierten Ansatz ableiten (LUA 2006):

- Ein eindeutiger Zusammenhang zwischen dem Alter der Nutzung der Fläche und dem Anteil technogener Substrate im Boden ist nicht zu erwarten.
- Wird nach Bodenhorizonten differenziert, zeigen der zweite und dritte Horizont unterhalb des humosen

Oberbodens im Regelfall höhere Anteile technogener Substrate.

- Der Anteil der technogenen Grobkomponenten an der Gesamtbodenmatrix ist im Regelfall unter 10 Masse-%.
- Es lassen sich auch im Oberboden Fremdsubstrate antreffen, wenngleich es sich häufig lediglich um Einzelfunde handelt.
- Zwischen dem Anteil technogener Substrate aus der Feldansprache und den Schadstoffgehalten im Boden existieren zwar qualitative Zusammenhänge, hohe Korrelationen sollten aber nicht erwartet werden (analytische 2 mm–Grenze, Verdünnungseffekte); übliche Korrelationskoeffizienten bewegen die sich im Bereich zwischen 0,3 bis 0,6. Wird zwischen den einzelnen Substratkomponenten nicht differenziert, erhöhen sich die Koeffizienten geringfügig.
- Die Korrelationsrechnungen sind nur für Unterböden zielführend. Oberböden können gleichzeitig durch Immissionseinfluss belastet sein, so dass eine differenzierte Interpretation nach Substrat- und Immissionseinfluss erschwert wird.

Im Falle des Substratansatzes sind zunächst die Stichproben innerhalb einer Nutzung bzw. Subnutzung statistisch getrennt für Ober- und Unterbodendaten auszuwerten. Eine Übertragung der Ergebnisse der Stichprobe auf andere vergleichbare Flächen ist nur dann möglich, wenn nachgewiesen werden kann, dass die Probennahmeflächen innerhalb gegebener Raum-

einheiten 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, ist eine flächenhafte Darstellung nicht möglich.

7.7.3 Raumanalytischer Ansatz

Grundlage für die raumanalytischen Auswertungen der Bodendaten sind die Vorinformationen zu den Standorten der Probennahme. Alle auftretenden homogenen Raumeinheiten werden statistisch ausgewertet. Berechnet werden die statistischen Kennwerte (Mittelwert, Median, geometrisches Mittel), die Varianzen und Standardabweichungen der Verteilungen genauso wie die Extremwerte und zur Einschätzung von Ausreißern auch das 90. und 95. Perzentil. Jede Verteilung wird zusätzlich als Histogramm dargestellt.

Kriterien für die Bildung der Fallunterscheidungen sind sowohl die Substrate der Bodenbildung, einschließlich der technogenen Substrate, als auch Immissionen sowie ggf. auftretender Überschwemmungseinfluß, aber auch nutzungsspezifische Belastungsursachen.

Zusätzlich können für die stadttypischen Nutzungen (Wohnen, Park, Grünanlage, Kleingärten etc.) Zeitschnitte definiert werden. Dafür werden Zeitintervalle gebildet, die in enger Verbindung zur Siedlungsentwicklung der Stadt oder des Stadtteils stehen. Las-

sen sich signifikante Unterschiede in der Bodenbelastung feststellen, wird diese Unterteilung stoffspezifisch festgelegt und in der weiteren Bearbeitung berücksichtigt. Erfahrungen aus den Siedlungsgebieten in NRW zeigen, dass in vielen solche Unterscheidungen bezogen auf das gesamte Stoffspektrum - statistisch signifikant sind (LUA 2006).

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

Als Ergebniskarten entstehen Karten der geschätzten Stoffgehalte in Oberböden, welche die Bodenbelastung in den Grenzen der Raumeinheiten wiedergeben. Grundsätzlich sind auch andere Tiefenstufen in gleicher Weise bearbeitbar.

7.8 Übertragung auf das Stadtgebiet

Die Übertragung der vorgenannten Ansätze aus dem Testgebiet auf den gesamten Siedlungsbereich ist nur möglich, wenn innerhalb des Testgebietes belastbare Ergebnisse erreicht wurden. Im Einzelfall kann es erforderlich sein, im Stadtgebiet auch mehrere Ansätze für unterschiedliche Teilflächen anzuwenden.

Die Bearbeitung im Stadtgebiet erfolgt in Analogie zum Testgebiet. Zunächst ist eine Überblicksuntersuchung durchzuführen, die gegebenenfalls in Teilbereichen im Zuge eines Verdichtungsschrittes weitergeführt wird. Es ist jedoch davon auszugehen, dass der Beprobungsaufwand mit zunehmender Bearbeitungsdauer immer stärker abnimmt, da vermehrt Informationen vorliegen, die Analogieschlüsse erleichtern. Obwohl die BBK im Siedlungsbereich im Maßstab 1 : 10.000 bearbeitet wird, müssen sehr kleinräumige Nutzungsarten ggf. gesondert betrachtet werden. So können sensible Nutzungen wie Spielplätze oder Kindergärten mit ihren Informationen zur Bodenbelastung teilweise nur nachrichtlich in der BBK dargestellt werden. Sind in einer Stadt ähnliche spezifische Bodennutzungen vorhanden, die hinsichtlich ihrer Bodenbelastung relevant sind, sind sie entweder in das Verfahren zu integrieren oder nachrichtlich als Punktinformation darzustellen.

8 Bodenuntersuchungen im Rahmen der BBK

Eine qualifizierte Ergänzung des Datenbestandes einer BBK durch Nachuntersuchungen erfordert eine reibungslose Zusammenarbeit zwischen den Bearbeitern der Messnetzplanung und den bodenkundlich ausgebildeten Probennehmern. Die Anforderungen an die Probenahme sowie praktische Erwägungen sind bei der Messnetzplanung im Vorfeld weitestgehend zu berücksichtigen. Ebenso müssen den Probennehmern die Veranlassung der Probenahme und die Vorgaben der Messnetzplanung bewusst sein, um auf mögliche Schwierigkeiten im Rahmen der praktischen Feldarbeit treffend reagieren zu können.

Grundsätzlich ist der Probenahme eine konkrete Messnetzplanung voranzustellen. Hierbei sind die Anforderungen im Hinblick auf eine Mindestdatenanzahl (1 pro 4 km² bzw. mindestens 10, empfehlenswert 20 pro homogener Raumeinheit) und die Ergebnisse der Karte des Untersuchungsbedarfs (Kapitel 5.5) heranzuziehen. Die geplanten Probenahmestellen sind in typischen Bereichen einer homogenen Raumeinheit zu platzieren, zudem ist stets eine Ersatzprobenahmestelle vorzusehen, für den Fall, dass die erste im Feld verworfen werden muss.

Neben den reinen Koordinaten und einer Kartendarstellung sind für die praktische Probenahme alle Informationen bereitzustellen, die zu der Auswahl des Standortes im Rahmen der Messnetzplanung geführt haben und die bei einer Überprüfung im Gelände zum Ausschluss führen könnten. Hierzu zählen insbesondere:

- Nutzung, ggf. Nutzungsdauer
- Bodenbildendes Substrat, ggf. erwarteter Bodentyp
- Vorhandener oder fehlender Überschwemmungseinfluss

Diese Angaben sind neben den allgemeinen Informationen zum Untersuchungsgebiet und zur –fläche in das im Rahmen der Messnetzplanung vorzubereitende Probenahmeprotokoll zu integrieren. Im Rahmen der Probenahme (und vorab in der Messnetzplanung) ist zudem ein Abstand zu Nutzungsgrenzen, Gebäuden, Straßen etc. von mindestens 20 Metern einzuhalten. Auf Ackerflächen sollte keine Probenahme im Bereich des Vorgewendes, von Mieten- oder Lagerplätzen erfolgen

Vor der eigentlichen Probenahme erfolgt eine Überblicksbegehung der zur Beprobung anstehenden Fläche. Diese dient der Überprüfung aller relevanten Anhaltspunkte, die zum Ausschluss der Fläche von der Probenahme führen:

- Die Überprüfung der Vorinformationen aus der Messnetzplanung zeigt Unstimmigkeiten (Nutzung, Substrat, Überschwemmung).
- Anthropogene Veränderungen wie Auffüllungen oder Abgrabungen
- Kleinräumige Abweichungen, z. B. durch Muldenlagen, Bodenverbesserungsmaßnahmen (Drainage, Tiefumbruch), erkennbare Auffälligkeiten im Bewuchs

Falls Auffälligkeiten nur kleinräumig sind und weniger als 10 % der Fläche ausmachen, so kann eine Verlegung der tatsächlichen Probenahmestelle auf

dieser Fläche erwogen werden. Andernfalls ist die vorgesehene Ersatzprobenahmestelle aufzusuchen.

Im Rahmen der Probenahme ist zudem eine bodenkundliche Profilaufnahme vorzunehmen, die sich an den Erfordernissen im Rahmen der Bearbeitung der BBK und den später geplanten Auswertungen orientiert. Der Mindestumfang der Profilaufnahme anhand der Felder des Aufnahmeformulars der bodenkundlichen Kartieranleitung (KA 5) ist in Anhang 1 wiedergegeben.

Die Probenahme selbst erfolgt punktbezogen mit mehreren Einstichen zum Ausgleich kleinräumiger Inhomogenität (Abbildung 9). Ausnahmen ergeben sich bei der Bearbeitung von Überschwemmungs- oder Siedlungsbereichen.

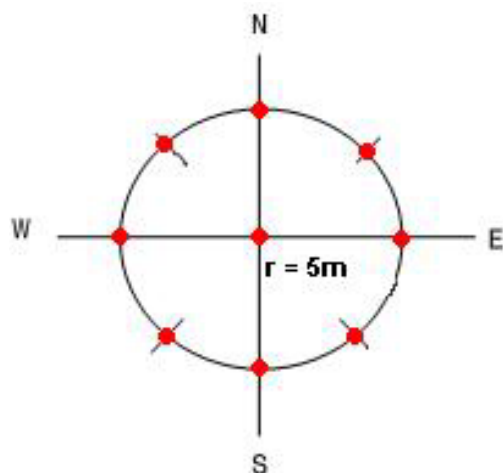


Abbildung 9: Schema einer punktbezogenen Probenahme mit 9 Einstichen nach dem Satellitenprinzip

Die Probenahme erfolgt grundsätzlich horizontbezogen und in der Regel in Anlehnung an die Tiefenstufen, die in der BBodSchV vorgegeben wurden.

Im Hinblick auf die allgemeine Vorgehensweise bei der Probenahme und

auf die zu berücksichtigenden Sicherheitsaspekte sind die Vorgaben der einschlägigen Regelwerke (z. B. DIN 10381 Teile 1-4, für Siedlungsböden auch Teil 5) zu berücksichtigen.

Die Analytik der Bodenproben sollte grundsätzlich nach den Vorgaben der BBodSchV vollzogen werden. Dabei ist sicherzustellen, dass die im Anhang 2 beschriebenen Bestimmungsgrenzen von der Untersuchungsstelle erreicht werden.

Die Erfassung der Daten mit Angaben aus der Probenahme und bodenkundlichen Ansprache kann zusammen mit den Analyseergebnissen mit dem Modul UBoden des LfUG erfolgen.

8.1 Bodenuntersuchungen im Überschwemmungsbereich

Ergänzende Bodenuntersuchungen im Überschwemmungsbereich erfordern über die im vorangegangenen Kapitel dargestellten allgemeinen Anforderungen eine differenziertere Vorgehensweise bei der Messnetzplanung im Hinblick auf die Anzahl und Lage der Probenahmestandorte (s. Kapitel 6). Aus diesem Grund ist ein genaues Aufsuchen der Probenahmestelle (im Meterbereich) erforderlich. Da hier auch schon kleinräumig ein Wechsel der Bodeneigenschaften und der Belastungssituation zu erwarten ist, ist eine eigenhändige Verlegung von Probenahmestellen durch den Probenehmer nicht möglich. Vielmehr sollten im Rahmen der Messnetzplanung bereits mehrere Ersatzprobenahmestellen ausgewiesen werden.

Aufgrund der sehr heterogenen Verhältnisse und der daraus resultierenden

Schwierigkeiten bei der Probenahme sollte die Messnetzplanung in Überschwemmungsflächen von der punktbezogenen Probenahme vorzugsweise auf eine Beprobung repräsentativer Teilflächen ausweichen. Diese Teilflächen sollten etwa 1 ha Fläche umfassen und typisch für die homogene Raumeinheit sein (vgl. Kapitel 6). Die Probenahme dieser Teilfläche ist durch ein regelmäßiges Begehungsmuster mit mindestens 25 Einstichen als Flächenmischprobe anzulegen.

8.2 Bodenuntersuchungen im Siedlungsbereich

Bodenuntersuchungen im Siedlungsbereich erfordern eine ausgesprochen differenzierte Vorgehensweise im Rahmen der Messnetzplanung und der praktischen Probenahme. Bei der Untersuchung des Testgebietes wird dabei zunächst allen drei methodischen Ansätzen (s. Kapitel 7.4) gefolgt. Planung und Umsetzung der Felduntersuchungen laufen für das Testgebiet und später für das übrige Stadtgebiet in gleicher Weise ab.

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

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

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

Stellt sich bei der Bearbeitung des Testgebiets heraus, dass ein oder zwei Ansätze keine Relevanz entfalten, werden diese bei der Bearbeitung des restlichen Stadtgebiets nicht mehr berücksichtigt.

Im Zuge der Probennahmekampagne werden sowohl die Proben zur Erfassung der immissionsbezogenen Komponente und zur Erfassung der substratbezogenen Komponente der Bodenbelastung als auch für den raumanalytischen Ansatz genommen. Bei den Bodenuntersuchungen im Rahmen der Erstellung einer BBK im Siedlungsbereich ist zum Ausgleich sehr kleinräumiger Inhomogenität eine flächenrepräsentative Probenahme durchzuführen. Die zu beprobende Flächen-

größe der Einzelflächen sollte 200 bis 1.000 m² betragen. Größere Flächen als 1.000 m² sind ungünstig, da es beim Immissions- und raum-analytischen Ansatz letztlich Ziel ist, Punktdaten als Stützstellen für die Interpolation zu gewinnen. Die Proben werden dabei als horizont- bzw. tiefenstufenbezogene Mischproben von mindestens 20 Bohrungen gewonnen.

Von den in der BBodSCHV vorgegebenen, nutzungsbezogenen Bodentiefen kann abgewichen werden, wenn sich im Einzelfall aus Schichtung und Horizontierung Abweichungen ergeben und diese dokumentiert werden. Auf Grund der im Bodenprofil nicht mit statischen Tiefen deckungsgleichen Substratverteilung und der damit in Verbindung stehenden Schadstoffsituation ist im stadtbodenkundlichen Bereich ein Vorgehen alleine nach vorgegebenen Tiefen nicht zweckmäßig. Eine alleinige Differenzierung in den humosen Oberboden und den gegebenenfalls technologisch geprägten Unterboden ist nicht ausreichend. So sind im Unterboden deutliche Substratwechsel oder sonstige Auffälligkeiten stets getrennt zu beproben.

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

- Rasenflächen: 10 (bis 15) cm
- Rabatten-/Gehölze: 20 (bis 30) cm
- Garten: 30 (bis 40) cm
- Brachland: 10 (bis 20) cm

- Acker: ca. 30 cm
- Grünland: 10 (bis 15) cm
- Wald: 5 (bis 10) cm, ggf. zusätzlich organische Auflagehorizonte

Bei manchen Nutzungsarten, die jedoch bei der Bearbeitung der BBK Siedlungsbereich nur selten betrachtet werden, existiert kein humoser Oberboden. Hier ist der obere Horizont bzw. sind die oberen Horizonte getrennt zu beproben. Als Orientierung für die Mächtigkeit des obersten Horizontes werden folgende Annahmen getroffen:

- Sandspielbereiche
 - Sand: 30 (bis 50) cm ¹⁾
 - Dränschicht: 15 (bis 25) cm
- Tennenplätze
 - Deckschicht: ca. 5 cm²⁾
 - Tragschicht(en): 15 (bis 30) cm
- Brachflächen mit Pioniervegetation:
Ai-Horizont ca. 3 cm, z.T. fehlend ²⁾

¹⁾ Probennahme optional

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

Bei humusfreien und nicht nach Horizonten differenzierbaren Nutzungsarten (z. B. Abgrabungsflächen) sollte für die Darstellung der Oberböden der oberste abgrenzbare Horizont (Maximaltiefe 20 cm) genommen werden.

Feldansprache und Probennahme des Unterbodens erfolgen zunächst horizont- bzw. schichtbezogen. Im Rahmen der BBK sollten Informationen zum Stoffgehalt der Unterböden nur in einer Karte digital dargestellt werden. Dabei ist zu entscheiden, ob nur Informationen des ersten Unterbodenhorizontes einfließen oder ob eine gewichtete Mit-

telwertbildung über den gesamten beprobten Unterboden erfolgt. Unterbodenhorizonte ggf. auch bereits für die Analytik zusammengefasst werden. Die zu betrachtende Gesamttiefe sollte auf 100 cm begrenzt bleiben.

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

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

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

Immissionsansatz

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

- Rasenflächen in älteren (möglicherweise repräsentativen) Grün- und Parkanlagen

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

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

Zur Sicherstellung einer langfristigen Unberührtheit bietet sich vorab die Auswertung von historischen topographischen Karten, Luftbildern und ggf. Zeugenbefragungen an. Es ist anzustreben, dass die Beprobungsflächen möglichst seit dem 2. Weltkrieg keine Umlagerungen erfahren, um einen tatsächlichen Immissionseinfluss insbesondere der emissionsintensiven Nachkriegszeit (1950er bis 1980er Jahre) zu erkunden. Es ist in jedem Fall bei der Probenahme zu prüfen, dass die Böden keine aktuellen Bearbeitungshorizonte (Ap, R) und allenfalls geringe Anteile von technogenen Beimengungen aufweisen. Um festzustellen, ob die für die immissionsbezogene Probenahme ausgewählte Fläche überhaupt geeignet ist, sollten daher vorab drei Bohrungen bis zu maximal 100 cm Tiefe abgeteuft werden (Feststellung technogener Substrate).

Innerhalb des Testgebiets bzw. des übrigen Stadtgebiets sollten die Flächen des Immissionsansatzes möglichst gleichmäßig positioniert werden. Sind lokale Emittenten bekannt, kann die Lage der Beprobungsflächen auch entsprechend angepasst werden.

Substratansatz

Zur Erfassung technogener Substrate im Untersuchungsgebiet sollte das Testgebiet alle wesentlichen stadtypischen Nutzungsarten (vgl. Kap.7.5.2) jeweils zunächst 5 - 10 mal aufweisen. Im übrigen Stadtgebiet ist von einer höheren Anzahl von Beprobungsflächen pro Nutzungsart auszugehen (mindestens 20).

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

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

Die Auflistung ist ggf. um weitere, eher seltener anzutreffende Nutzungsarten zu ergänzen.

Wald-, Acker- oder Grünlandflächen auf natürlichen Böden (größer 1 ha) sollten entsprechend den Bearbeitungskriterien der BBK im Außenbereich untersucht werden, auch wenn die Flächen im unmittelbaren Siedlungsbereich liegen.

Zunächst sind Überblickssondierungen durchzuführen (bodenkundliche Feldkartierung), die Probennahme erfolgt direkt im Anschluss. Bei der Feldansprache sollte sichergestellt sein, dass diese nur von feldbodenkundlich geschulten Personen durchgeführt wird, die sich insbesondere auch mit den stadtypischen Substraten auskennen. Grundlage der Kartierung sind die Bodenkundliche Kartieranleitung (AG Boden 2005) und die Stadtbodenkartieranleitung (AK STADTBÖDEN 1997). Die Bodenansprache erfolgt grundsätzlich horizont- bzw. schichtweise. Schwanken dabei die Horizontmächtigkeiten, sollten entsprechende Spannweiten dokumentiert werden (z. B. Horizont X mit Tiefe 20/30 cm bis 60 cm).

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

Raumanalytischer Ansatz

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

Eines der wesentlichen Abgrenzungskriterien für die Raumeinheiten im Siedlungsraum ist die Bodennutzung in ihrer zeitlichen Differenzierung.

Im Rahmen der Feldbeprobung sollten ergänzend Angaben zum Alter der jeweiligen Untersuchungsfläche erfasst werden (Alter der Gebäude, Alter des Baumbestandes). Hilfreich ist die Berücksichtigung eingescannter historischer TK 25 im Rahmen der Messnetzplanung (Hinweise auf das Nutzungsalter sowie lange Zeit unberührte Areale).

In den im Zusammenhang bebauten Gebieten wechseln die Nutzungen sehr kleinräumig bei gleichzeitig nur geringer Parzellengröße. Das zwingt lokal zu kleinräumigeren Betrachtungen sowie in der Messnetzplanung zu variablen Untersuchungsichten.

9 Anwendungsbereiche

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

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

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

Im Einzelnen ergeben sich insbesondere folgende Anwendungsbereiche:

1. Abgrenzung von Gebieten einheitlicher Hintergrundgehalte,
2. Ermittlung und Abgrenzung von Gebieten, in denen die Vorsorgewerte nach Anhang 2 Nr. 4 BBodSchV überschritten sind,
3. Ermittlung und Abgrenzung von Gebieten, die für die Verwertung von Abfällen gem. AbfKlärV geeignet sind,
4. Ermittlung und Abgrenzung von Gebieten mit „geogen/ naturbedingt oder großflächig siedlungsbedingt“ erhöhten Stoffgehalten nach § 8 Abs. 2 Nr. 1 BBodSchG in Verbindung mit § 9 Abs. 2 und 3, § 12 Abs. 10 sowie Anhang 2 Nr. 4.1 BBodSchV,
5. Beurteilung der stofflichen Bodenbelastung im Einflussbereich von Emittenten (z. B. geplante Anlagen nach UVPG),
6. Ursachenbezogene Bewertung von Einzelflächen anhand von Hintergrundgehalten,
7. Erfassung und Abgrenzung von schädlichen Bodenveränderungen nach § 9 SächsABG,
8. Abwägungs- und Kennzeichnungsgrundlage für besonders belastete Böden im Rahmen der Bauleitplanung nach §§ 1, 5 und 9 BauGB

10 Maßnahmen zur Qualitätssicherung

Die Maßnahmen zur Qualitätssicherung bei der Erstellung einer BBK beinhalten insbesondere folgende Aspekte, die nachfolgend erläutert werden:

- Qualifiziertes Personal für alle Arbeitsschritte
- Möglichkeit der Projektbegleitung durch das LfUG
- Beachtung dieses Leitfadens
- Bodenkundlich ausgebildete Probennehmer
- Kriterien für die Auswahl von Untersuchungsstellen (Labors)
- Vergabe von 10 % der Proben an ein zweites Labor
- Mindestanforderungen an die Güte und räumliche Dichte der Daten

Der wesentliche Beitrag im Rahmen der Qualitätssicherung bei der Erstellung einer BBK ist der Einsatz von qualifiziertem Personal für alle Arbeitsschritte. Hervorzuheben sind Kenntnisse der Bodenkunde und –chemie sowie bodenschutzrechtlicher Regelungen und die methodisch sichere Anwendung von GIS- und Statistiksoftware.

Bei der Erstellung einer BBK sollte im Sinne einer aktiven Projektbeteiligung nach Möglichkeit das LfUG einbezogen werden. Auch die Einhaltung der Vorgaben dieses vom LfUG erstellten Leitfadens ist als Bestandteil einer Qualitätssicherung im Rahmen der BBK anzusehen.

Die Probennahme im Rahmen der BBK sollte von geeigneten Probennehmern mit bodenkundlicher Ausbildung durch-

geführt werden. Bei der Bearbeitung einer BBK im Siedlungsbereich sind darüber hinaus Erfahrungen auf dem Gebiet der Probennahme von Stadtböden und in der Ansprache technogener Substrate nachzuweisen. Die Einhaltung der in Kapitel 8 genannten Anforderungen (z. B. im Hinblick auf die Ausschlusskriterien oder auf die bodenkundliche Profilaufnahme) kann ohne eine fundierte Ausbildung nicht gewährleistet werden. Ein wichtiger Baustein der Qualitätssicherung ist der Abgleich von Laborergebnissen mit den protokollierten Feldbefunden und standörtlichen Vorinformationen. Dieser Abgleich erfordert, dass die Probennehmer mit den Bearbeitern der BBK Hand in Hand arbeiten.

Richtige und qualitätsgesicherte Analytik stellt umfangreiche Anforderungen an ein Laboratorium. So ist bei Untersuchungen im Rahmen der BBK vorab zu prüfen, ob das Labor die erforderliche Kompetenz aufweist. Hinweise hierzu können insbesondere folgende sein:

- Akkreditierung nach DIN EN 17025 bzw. DIN EN ISO/IEC 17025: 2005
- Notifizierung nach spezifischen Länderverordnungen gem. §18 BBodSchG
- Untersuchungsstelle nach §3 Abs. 5 und 6 AbfKlärV mit Anerkennung für die verschiedenen Untersuchungsgruppen
- erfolgreiche Teilnahme an Schwermetallringversuchen (z. B. der LfL)

Zudem ist sicherzustellen, dass die im Anhang 2 genannten Analyseverfahren

mit den erforderlichen Bestimmungsgrenzen im Labor erprobt sind.

Insbesondere für den Fall, dass Analysen nicht durch entsprechend akkreditierte oder notifizierte Untersuchungsstellen durchgeführt werden, sollten zur weiteren Qualitätssicherung etwa 10 % der Proben zusätzlich durch ein anderes qualifiziertes Labor überprüft werden. Die Auswahl dieser Proben sollte durch den Bearbeiter der BBK nach der Sichtung der Untersuchungsergebnisse erfolgen, wobei insbesondere auch Proben mit auffälligen Werten (z. B. potenzielle Ausreißer) oder Proben mit hohen Gehalten (z. B. > Prüfwerte) für einzelne Parameter zu berücksichtigen sind. Dies hat den Vorteil, dass gerade die kritischen Proben noch einmal überprüft werden. Bei hohen absoluten und/oder relativen Abweichungen sollten von beiden beteiligten Laboren Nachuntersuchungen durchgeführt werden. Letztlich gilt es zu klären, ob systematische Fehler vorliegen und welche Konsequenzen daraus gezogen werden müssen. In den meisten Fällen kann diese Maßnahme der Qualitätssicherung bereits in den Rahmen der Ausschreibung analytischer Leistungen integriert werden, in dem darin dargelegt wird, dass:

- a) 10 % der Proben zusätzlich von einem zweiten Labor untersucht werden
- b) der wirtschaftlichste Anbieter den Auftrag für die Hauptuntersuchungen erhält und durch repräsentative Probenteilung Material für die Vergleichsuntersuchung nach Vorgabe durch den Auftraggeber bereitzustellen hat

- c) der Anbieter mit dem nächstwirtschaftlichen Angebot automatisch den Auftrag für die Kontrolluntersuchungen an 10 % des Gesamtprobenumfangs erhält
- d) sich die Anbieter mit der Abgabe eines Angebotes bereiterklären, nach Auswertung der Angebote sowohl Leistungen nach b) oder auch nach c) auszuführen.

Die Aussagesicherheit im Hinblick auf die flächenhafte Darstellung hängt wesentlich von der Güte und räumlichen Dichte der Punktinformationen der Stoffgehalte ab. Mindestanforderungen zur Untersuchungsdichte finden sich in den Kapiteln 5.3 und 8. Die Güte der Datengrundlagen ist durch Einhalten der Mindestanforderungen nach Tabelle 1 für bereits bestehende Datensätze und zusätzlich nach Anhang 1 für neue Untersuchungen sicherzustellen.

11 Zitierte und weiterführende Literatur

- AG BODEN (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung (KA5). 5. verbesserte und erweiterte Auflage. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung. Hannover. 438 S.
- 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
- BAUMGARTEN, H. et al. (1997): Stadtbodenkartierung Krefeld – Praxisnahe Bewertung von Bodenfunktionen in einem urban-industriell geprägten Raum. Mitteiln. Deutsche Bodenkundliche Ges., 85
- GARBE, M. et al. (2003): Digitale Bodebelastungskarte Wuppertal – Fortführung Siedlungsbereich; Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft; Bd. 102, Heft 2; Frankfurt/Oder
- 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
- HEINRICH, U. (1992): Zur Methodik der räumlichen Interpolation mit geostatistischen Verfahren: Untersuchungen zur Validität flächenhafter Schätzungen diskreter Messungen kontinuierlicher raumzeitlicher Prozesse; Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden
- HILLER, D.A. & MEUSER, H. (1998): Urbane Böden; Springer-Verlag, Berlin Heidelberg
- HOLLAND, K. (1995): Die Böden Stuttgarts. Schriftenreihe des Amtes für Umweltschutz der Stadt Stuttgart, Heft 3/1995
- IFUA (2005 c): Digitale Bodenbelastungskarte Gelsenkirchen – Siedlungsbereich; Abschlussbericht; IFUA-Projekt-GmbH Bielefeld; Gutachten im Auftrag der Stadt Gelsenkirchen; unveröffentlicht
- LABO (2003): Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden. In: ROSENKRANZ et al. (Hrsg.): Bodenschutz Ergänzbares Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser. 9006. Erich Schmidt Verlag, Berlin
- LABO (2004 a): Flächenhafte Darstellung punktbezogener Daten über Stoffgehalte in Böden. Bericht des Ad-hoc UA „Punkt zu Fläche“ an die LABO v. 01.07.2004
- LABO (2004 b,c,d): Geostatistische und statistische Methoden und Auswerteverfahren für Geodaten mit Punkt- bzw. Flächenbezug; a: Teil 1 Grundlagen, b: Teil 2 Anwendungsbeispiele, c: Teil 3 Empfehlungen für die Anwendung statistischer und geostatistischer Methoden zur flächenbezogenen Auswertung von Daten über Stoffgehalte in Böden
- LfL – Landesanstalt für Landwirtschaft (2006): Hinweise und Empfehlungen zum Umgang mit arsen- und schwermetallbelasteten landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden. Dresden

- LfUG – Landesamt für Umwelt und Geologie Sachsen (2006): Handlungsempfehlungen für die Umsetzung des Bodenschutzrechtes in Gebieten mit großflächig erhöhten Schadstoffgehalten
- LUA – Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (2000): Leitfaden zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten, Teil I: Außenbereiche. Merkblätter des LUA, Nr. 24, Essen
- LUA – Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (2006): Leitfaden zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten im Siedlungsbereich; unveröffentlichter Abschlussbericht der IFUA-Projekt-GmbH zum gleichlautenden F&E-Vorhaben (Autoren: Barkowski, D.; Krüger, G.; Meuser, H.; Reinirkens, P.) vom Juni 2006; Projekt-Nr. P 205088, Publikation als LUA Merkblatt in Vorbereitung.
- MEULI, R. et al. (1996): Reproduzierbarkeit einer regionalen Erhebung der Bodenbelastung durch Schwermetalle, dargestellt am Beispiel eines Testgebietes im Zürcher Furttal. Institut für terrestrische Ökologie, Fachbereich Bodenschutz ETH Zürich
- MEUSER, H. & BLUME H.-P. (2004): Anthropogene Böden; in BLUME, H.-P. (Hrsg.): Handbuch des Bodenschutzes; Ecomed Verlag, Landsberg/Lech, 3. Auflage
- MEUSER, H. (1996 a): Technogene Substrate in 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 Substrat in Böden städtisch-industrieller Verdichtungsräume; Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde, 159; Weinheim
- MEUSER, H. (2002): Antropogene Gesteine; in BLUME, H.-P. (Hrsg.): Handbuch des Bodenschutzes; Ecomed Verlag, Landsberg/Lech, 3. Auflage, S. 1-9
- SCHRAPS, G. et al. (2000): Stoffbestand, Eigenschaften und räumliche Verbreitung urban-industrieller Böden – Ergebnisse aus dem Projekt Stadtbodenkartierung Oberhausen-Brücktorviertel. Bericht des Geologischen Dienstes, Krefeld
- STREIT, U. (1982): Zur Methodik der Interpolation und Mittelbildung punktbezogener Daten bei räumlichen Informationssystemen. Klagenfurter Geographische Schriften, H.2/1982
- UMEG (2002): Methodische Empfehlungen zur Abgrenzung von Gebieten mit großflächig siedlungsbedingt erhöhten Schadstoffgehalten in Böden. Forschungsvorhaben im Auftrag des Umweltbundesamtes, UBA-Forschungsbericht 200 71 238.

Anhang 1:

Mindestdatensatz bei Neuuntersuchungen im Rahmen der BBK

Feld KA5	Datenfeld	Inhalte
	Flächendaten	
	Katasterangaben	Freitext
	Versiegelungsart	Freitext
	Versiegelungsgrad	je Versiegelungsart in % bzw. klassiert nach KA 5 S. 53, Tabelle 4
	Nutzungsart	KA 5 S. 72, Liste 13; vereinfachte Schlüsselliste
	Anteilsklasse der Nutzungsart	je Nutzungsart in % bzw. klassiert nach KA 5 S. 53, Tabelle 4
	Punktdaten: Titeldaten	
2	Projektbezeichnung	Freitext
3	Profil-Nr.	Freitext
4	Datum der Aufnahme	Freitext
5	Bearbeiter	Freitext
6	Rechtswert	Freitext
7	Hochwert	Freitext
9	Aufschlussart / Aufnahmeintensität / Probenahme	KA5 S. 56, Liste 2; reduzieren auf "Aufschlussart", vereinfachte Schlüsselliste
10	Bemerkungen	
	Punktdaten: Aufnahmesituation	
11	Neigung	KA 5 S. 58, Tabelle 6
18	Bodenabtrag / -auftrag	
19	Nutzungsart / Versiegelung	Freitext mit Beispielen aus KA 5 S. 72, Liste 13
20	Vegetation und Bedeckungsgrad	Freitext; "Bedeckungsgrad" entfällt
22	Anthropogene Veränderungen / Bautechnische Maßnahmen	Freitext
24	Bemerkungen	
	Punktdaten: Horizontbezogene Daten	
25	Horizontunter-/obergrenze	in cm unter Geländeoberfläche
27	Horizontsymbol	KA 5 S. 83-85; Listen der Hauptsymbole sowie geogener und pedogener Merkmale
28	Bodenfarbe	KA 5 S. 109/110, Tabelle 13 und Liste 18
	Geruch	unter Bemerkungen Freitext mit Beispielen aus KA 5 S. 190, Liste 30 sowie ITVA-Arbeitshilfe
29	Humusgehalt	KA 5 S. 111/112, Tabellen 14 und 15
30	Oxidative Hydromorphiemerkmale	mit Feld 31 zusammenzufassen; Freitext mit KA 5-Tabelle 16 als Beispiel
31	Reduktive Hydromorphiemerkmale	mit Feld 30 zusammenzufassen; Freitext mit KA 5-Tabelle 16 als Beispiel
42	Substratartensymbol	

Fortsetzung Mindestdatensatz bei Neuuntersuchungen im Rahmen der BBK

Feld KA5	Datenfeld	Inhalte
43	Substratgenese	KA 5 S. 137/138, Tabelle 27; vereinfachte Schlüsselliste
44a	Feinbodenart / Torfart	KA 5 S. 144-147, Tabelle 30; vereinfachte Schlüsselliste
44b	Grobbodenfraktionen + Anteilsklassen	KA 5 S. 150, Tabelle 32
44c	Summe Skelettanteil	KA 5 S. 150, Tabelle 33
46	Carbonatgehalt	KA 5 S. 169, Tabelle 40
47a	Bodenausgangsgestein	KA 5 S. 174-177, Tabelle 43; vereinfachte Schlüsselliste
47d	Substanzielle Substratinhomogenitäten	Freitext mit Beispielen aus KA 5 S. 183, Liste 27
49	Bemerkungen	
	Punktdaten: Profilkennzeichnung	
50	Bodensystematische Einheit	
51	Substratsystematische Einheit	
52	Humusform	
53	Wasserstand unter GOF	in dm unter Geländeoberfläche
58	Bemerkungen	Freitext; Synthese aus Datenfeldern 10/24/49/58
	Daten zur Probenkennzeichnung	
	Probennummer	Freitext
	Entnahmetiefe der Probe (Ober-/Untergrenze)	in cm unter Geländeoberfläche

Anhang 2

Analyseverfahren mit Bestimmungsgrenzen (BG) im Rahmen der BBK

Parameter mit Einheit	BG	Norm/Verfahren
Trockenmasse (%)	0,1	DIN ISO 11465
Korngrößenverteilung*		DIN/ISO 19682 Teil 2 bzw. DIN 19683 Teil 2
Trockenrohdichte		DIN 19683 Teil 12
pH-Wert		DIN/ISO 10390 mit CaCl ₂
TIC (% TM)	0,01	DIN/ISO 10694
TOC (% TM)	0,1	DIN/ISO 10694
Extraktion mit Königswasser		DIN/ISO 11466
Arsen (mg/kg TM)	1,0	DIN EN ISO 11885
Quecksilber (mg/kg TM)	0,1	DIN EN 1483
Blei (mg/kg TM)	10	DIN/ISO 11885
Cadmium (mg/kg TM)	0,2	DIN/ISO 11885
Chrom (mg/kg TM)	10	DIN/ISO 11885
Kupfer (mg/kg TM)	10	DIN/ISO 11885
Nickel (mg/kg TM)	10	DIN/ISO 11885
Zink (mg/kg TM)	10	DIN/ISO 11885
Thallium (mg/kg TM)	0,1	VDLUFA Methodenhandbuch VII (HNO ₃ -Aufschluss)
PCB 28 (mg/kg TM)**	0,0001	DIN 38414-S 20
PCB 52 (mg/kg TM)**	0,0001	DIN 38414-S 20
PCB 101 (mg/kg TM)**	0,0001	DIN 38414-S 20
PCB 138 (mg/kg TM)**	0,0001	DIN 38414-S 20
PCB 153 (mg/kg TM)**	0,0001	DIN 38414-S 20
PCB 180 (mg/kg TM)**	0,0001	DIN 38414-S 20
Naphthalin (mg/kg TM)	0,01	Merkblatt 1 / 1994 Landesumweltamt NRW
Acenaphthylen (mg/kg TM)	0,01	Merkblatt 1 / 1994 Landesumweltamt NRW
Acenaphthen (mg/kg TM)	0,01	Merkblatt 1 / 1994 Landesumweltamt NRW
Fluoren (mg/kg TM)	0,01	Merkblatt 1 / 1994 Landesumweltamt NRW
Phenanthren (mg/kg TM)	0,01	Merkblatt 1 / 1994 Landesumweltamt NRW
Anthracen (mg/kg TM)	0,01	Merkblatt 1 / 1994 Landesumweltamt NRW
Fluoranthen (mg/kg TM)	0,01	Merkblatt 1 / 1994 Landesumweltamt NRW
Pyren (mg/kg TM)	0,01	Merkblatt 1 / 1994 Landesumweltamt NRW
Benzo(a)anthracen (mg/kg TM)	0,01	Merkblatt 1 / 1994 Landesumweltamt NRW
Chrysen (mg/kg TM)	0,01	Merkblatt 1 / 1994 Landesumweltamt NRW
Benzo(b)fluoranthen (mg/kg TM)	0,01	Merkblatt 1 / 1994 Landesumweltamt NRW
Benzo(k)fluoranthen (mg/kg TM)	0,01	Merkblatt 1 / 1994 Landesumweltamt NRW
Benzo(a)pyren (mg/kg TM)	0,01	Merkblatt 1 / 1994 Landesumweltamt NRW
Indeno(1,2,3-cd)pyren (mg/kg TM)	0,01	Merkblatt 1 / 1994 Landesumweltamt NRW
Dibenz(a,h)anthracen (mg/kg TM)	0,01	Merkblatt 1 / 1994 Landesumweltamt NRW
Benzo(ghi)perylen (mg/kg TM)	0,01	Merkblatt 1 / 1994 Landesumweltamt NRW
PCDD/PCDF (ng I-TE/kg TM)	0,5	AbfKlärV unter Beachtung DIN 38414-24 und der VDI-Richtlinie 3499

* In der Regel ist eine Bestimmung der Korngrößenverteilung mittels Fingerprobe bis zur Bodenart ausreichend; in Zweifelsfällen kann eine zusätzliche Sieb- und Schlämmanalyse erfolgen

** nach LAGA wird aus der Summe der 6 Kongeneren nach Ballschmiter durch Multiplikation mit dem Faktor 5 der Gesamtgehalt PCB_{gesamt} berechnet

Impressum

Materialien zum Bodenschutz

Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten zur flächenhaften Darstellung und Beurteilung von Schadstoffen in sächsischen Böden (Leitfaden)

Titelbild

Ausschnitt einer Interpolationskarte für Arsengehalte im Oberboden. Autor: Kati Kardel, LfUG

Herausgeber:

Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie
Öffentlichkeitsarbeit
Zur Wetterwarte 11, 01109 Dresden
E-Mail: Abteilung1.LfUG@smul.sachsen.de (kein Zugang für elektronisch signierte sowie für verschlüsselte elektronische Dokumente)

Bearbeiter/Redaktion:

Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie
Abteilung Natur, Landschaft, Boden
Referat Bodenschutz
Dr. Ingo Müller

Diese Veröffentlichung ist ausschließlich als Download unter www.umwelt.sachsen.de/lfug verfügbar.

Hinweis:

Diese Veröffentlichung wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie (LfUG) herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlhelfern im Wahlkampf zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Druckschrift nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme des Landesamtes zugunsten einzelner Gruppen verstanden werden kann. Den Parteien ist es gestattet, die Druckschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.

Copyright:

Diese Veröffentlichung ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, auch die des Nachdrucks von Auszügen und der fotomechanischen Wiedergabe, sind dem Herausgeber vorbehalten.

