Merkblätter

Nr. 24

Leitfaden zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten

-

Teil I: Außenbereiche

Landesumweltamt NRW, Essen 2000

Impressum

Herausgeber:	Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (LUA NRW) Wallneyer Straße 6, 45133 Essen, Telefon (0201) 7995-0, Telefax (0201)-1448 E-mail: poststelle@lua.nrw.de
Erscheinungsort/-datum:	Essen, 2000
Redaktion:	Dipl.-Geogr. Kathrin Heidbrink Dr. Heinz Neite Landesumweltamt NRW
ISSN:	0947 – 5788 (Merkblätter)
Druckerei:	JVA Geldern

Informationsdienste des LUA NRW	Umweltdaten aus NRW, Fachinformationen: - Internet unter http://www.lua.nrw.de - WDR-Videotext, 3. Fernsehprogramm, Tafel 177-179

Gedruckt auf 100% Altpapier ohne Chlorbleiche

Vorwort

Mit Einführung der neuen rechtlichen Grundlagen für den Bodenschutz durch das Bundes-Bodenschutzgesetz - BBodSchG - vom 17.03.1998, die Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung - BBodSchV - vom 12.07.1999 und das Landesbodenschutzgesetz - LbodSchG - vom 09.05.2000 ergeben sich insbesondere auf kommunaler Ebene neue Vollzugsaufgaben. Zur Vorbereitung auf diese Aufgaben können digitale Bodenbelastungskarten vor allem im Hinblick auf die Erfassung und Bewertung von Flächen mit schädlichen Bodenveränderungen und Verdachtsflächen eingesetzt werden. Sie stellen darüber hinaus Informationen für verschiedene bodenrelevante Planungs- und Genehmigungsverfahren bereit.

Digitale Bodenbelastungskarten unterstützen insbesondere die behördliche Ermittlungspflicht nach § 9 BBodSchG. Nach § 5 Abs. 1 LbodSchG erfassen die zuständigen Behörden schädliche Bodenveränderungen und Verdachtsflächen. Nach § 5 Abs. 2 LbodSchG können dazu Bodenbelastungskarten erstellt werden. Mithilfe digitaler Bodenbelastungskarten sind auch flächenhafte Auswertungen in Bezug auf die Vorsorge-, Prüf- und Maßnahmenwerte der BBodSchV möglich. Diese Auswertungen liefern Hinweise auf ggf. bestehende Überschreitungen der Bodenwerte und zeigen damit den möglichen weiteren Handlungsbedarf an.

Die in dem vorliegenden Teil I des Leitfadens dokumentierte Methode zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten ist ein Instrument zur flächenhaften Darstellung der stofflichen Bodenbelastung auf naturnah genutzten Böden der Nutzungen Acker, Grünland und Wald in den Außenbereichen der Kreise und kreisfreien Städte. Der Leitfaden wird in absehbarer Zeit um den Teil II ergänzt, in dem die Vorgehensweise zur flächenhaften Darstellung der stofflichen Bodenbelastung in den Siedlungsbereichen beschrieben wird.

Düsseldorf/ Essen im Juli 2000

Bärbel Höhn
Ministerin für Umwelt und Naturschutz,
Landwirtschaft und Verbraucherschutz
Nordrhein-Westfalen

Dr.-Ing. Harald Irmer
Präsident des Landesumweltamtes
Nordrhein-Westfalen

1 Einleitung 9

2 Einflussfaktoren der stofflichen Bodenbelastung 11

3 Datengrundlagen 15

3.1 Daten über Stoffgehalte in Böden 16

3.2 Nutzungsarten 17

3.3 Schwermetallgehalte oberflächennaher Gesteine 18

3.3.1 Schwermetallgrundgehalte oberflächennaher Gesteine 18

3.3.2 Ermittlung der Durchpausungsfaktoren 22

3.4 Überschwemmungsgebiete 25

3.5 Hintergrundwerte 25

3.6 Weitere Daten- und Kartengrundlagen 26

3.6.1 Bodenwerte der BBodSchV 26

3.6.2 Topografie 26

3.6.3 Altlasten 26

3.6.4 Immissionen 27

3.6.5 Emittentenstandorte 27

3.6.6 Klärschlammverwertungsflächen 28

3.6.7 Bergbaugebiete, Halden und Erzgänge 28

3.6.8 Materialaufschüttungen und -umlagerungen 28

4 Methodische Grundlagen und Werkzeuge 29

4.1 Räumliche Interpolation von Punktdaten 29

4.2 DV-Bausteine und Werkzeuge 33

4.2.1 Software zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten 33

4.2.2 Datenbankbaustein 34

4.2.3 Rasterbaustein 35

5 Arbeitsschritte zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten 37

5.1 Abgrenzung des Untersuchungsgebietes 38

5.2 Beschaffung und Bearbeitung der Karten- und Datengrundlagen, Beschaffung der Hard- und Software 39

5.3 Recherche und Validierung vorliegender Daten über Stoffgehalte in Böden 39

5.3.1 Recherche der Daten 39

5.3.2 Validierung der Daten 40

5.4 Berücksichtigung der Einflussgrößen (Standardisierung) 41
5.5 Ermittlung des Untersuchungsbedarfes 42
5.6 Messnetzplanung und ergänzende Untersuchungen 44
5.6.1 Messnetzplanung 44
5.6.2 Ergänzende Untersuchung 47

6 Anwendungen 48
6.1 Visualisierung der Ergebnisse 48
6.2 Anwendungsbereiche 50
6.2.1 Abgrenzung von Gebieten einheitlicher Hintergrundwerte 52
6.2.2 Ermittlung und Abgrenzung von Gebieten, in denen die Vorsorgewerte nach Anhang 2 Nr. 4 BBodSchV überschritten sind 52
6.2.3 Ermittlung und Abgrenzung von Gebieten im Hinblick auf das Auf- und Einbringen von Materialien nach § 12 BBodSchV 53
6.2.4 Ermittlung und Abgrenzung von Gebieten, die für die Verwertung von Abfällen nach BioAbfV und AbfKlärV geeignet sind 54
6.2.5 Ermittlung und Abgrenzung von Gebieten mit „geogen/ naturbedingt oder großflächig siedlungsbedingt“ erhöhten Stoffgehalten 54
6.2.6 Beurteilung der stofflichen Bodenbelastung im Einflussbereich von Emittenten (z.B. geplante Anlagen nach UVPG) 56
6.2.7 Ursachenbezogene Bewertung von Einzelflächen anhand von Hintergrundwerten 56
6.2.8 Ermittlungen zur Erfassung von schädlichen Bodenveränderungen und Verdachtsflächen nach § 5 LbodSchG und deren Abgrenzung 56
6.2.9 Abwägungs- und Kennzeichnungsgrundlage für besonders belastete Böden im Rahmen der Bauleitplanung nach §§ 1, 5 und 9 BauGB 59

7 Literatur 61

Anhang 65

I. Arbeits-, Ergebnis- und Auswertungskarten 66

II. Leitfaden für Probenahme und Analytik von Böden 68

III. Hintergrundwerte nach LABO und Bodenwerte nach BBodSchV 99

IV. Kurzbeschreibung Arbeiten mit dem Datenbank-Baustein 107

V. Kurzbeschreibung Arbeiten mit den Rastertools 110

Abbildungen:

Abb. 1: Nutzungsbedingte Unterschiede der vertikalen Verteilung immissionsbedingter, persistenter Schadstoffe im Boden (nach: KÖNIG et al. 1991) 13

Abb. 2: Datengrundlagen für digitale Bodenbelastungskarten sowie Angabe ihrer Quellen 15

Abb. 3: Fließdiagramm der Arbeitsschritte zur Erstellung der Arbeitskarte Schwermetallgrundgehalte oberflächennaher Gesteine 21

Abb. 4: Berechnungsbeispiel für die Anwendung der Gleichung 3 31

Abb. 5: Karten des Rasterbausteins 32

Abb. 6: Validierung im Datenbankbaustein - Korrekturmöglichkeit - (Bildschirmprint) 35

Abb. 7: Darstellungen der Arbeits-, Auswertungs- und Ergebniskarten in den BBK-Rastertools (Bildschirmprint) ohne Berücksichtigung der Ausschlussflächen 36

Abb. 8: Arbeitsschritte zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten 38

Abb. 9: Festlegung der Mindestprobenzahl im Datenbankbaustein (Bildschirmprint) 44

Abb. 10 Bilanzierung der Raumeinheiten nach fehlenden Proben und Untersuchungsbedarf (Bildschirmprint) 45

Abb. 11 Messnetzplanung mit den BBK-Rastertools (Bildschirmprint) 46

Tabellen:

Tab. 1 Angabe der in digitalen Bodenbelastungskarten zu erfassenden Stoffe sowie räumlich darstellbare Einflussfaktoren der Bodenbelastung und ihre Bedeutung für die Stoffgehalte 11

Tab. 2: DV-Bausteine und Werkzeuge zur Erstellung von digitalen Bodenbelastungskarten 34

Tab. 3: Mindestangaben für einen vollständigen Datensatz im Rahmen der Datenvalidierung 41

Tab. 4: Matrix zur Ermittlung des Untersuchungsbedarfes 42

Tab. 5: Beispielhafte Klassifizierungen der Bleigehalte (mg/kg) in der Ergebniskarte „geschätzte Stoffgehalte“ 49

Tab. 6: Anwendungsbereiche und Auswertungskarten digitaler Bodenbelastungskarten 51

1 Einleitung

Digitale Bodenbelastungskarten stellen die Verbreitung von Schadstoffen in Böden flächenhaft dar. Es werden die Gehalte von Stoffen in den Oberböden betrachtet, die persistent sind und von denen Beeinträchtigungen der Bodenfunktionen ausgehen können, wie Schwermetalle, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), polychlorierte Biphenyle (PCB) oder Dioxine/Furane (PCDD/F). Ausgangspunkt für digitale Bodenbelastungskarten sind Daten über die Stoffgehalte aus punktbezogenen Untersuchungen von Oberböden natürlich entwickelter Bodenprofile. Daneben sind Informationen über die verschiedenen Belastungsursachen erforderlich. Die Informationen über den Einfluss der Bodenausgangssubstrate, den Einfluss der Bodennutzung sowie über den Überschwemmungseinfluss werden bereits für die Herleitung des Flächenbezugs aus den punktbezogenen Daten über die Stoffgehalte benötigt. Für die weitere Aus- und Bewertung werden auch Informationen über punktuelle Belastungsursachen, wie Altlasten, Emissionsquellen, Halden oder Erzgänge verwendet. Für die räumliche Interpolation der punktbezogenen Daten wird das Kriging-Verfahren eingesetzt.

Die DV-Werkzeuge für die Erfassung der Daten über Stoffgehalte, für ihre Verwaltung und Aufbereitung (Erfassungsbaustein, Datenbankbaustein) sowie für die Durchführung der Interpolation und Erstellung der Arbeits-, Ergebnis- und Auswertekarten (z.T. Rastertools, andere Geo-Informationssysteme) wurden vom Landesumweltamt (LUA) des Landes Nordrhein-Westfalen entwickelt und werden für die Vorhaben zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten zur Verfügung gestellt. Zur weiteren Aus- und Bewertung werden Geo-Informationssysteme (GIS) in Verbindung mit Fachdatenbanken genutzt.

Die in dem vorliegenden Teil I „Außenbereiche“ des Leitfadens dokumentierte Methode zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten ist auf naturnah genutzten Böden der Nutzungsarten Acker, Grünland und Wald in den Außenbereichen eines Kreises oder einer kreisfreien Stadt anwendbar. Im Siedlungsbereich sind für Fragen des Bodenschutzes (z.B. auf Grund der Bodenschutzgesetzgebung) oder für Planungszwecke (z.B. Bauleitplanung) andere Nutzungsarten, wie Kleingärten, Park- und Freizeitanlagen, Kinderspielflächen, Wohngebiete oder Industrie- und Gewerbegrundstücke von Bedeutung. Die Böden dieser Flächen weisen oft gestörte Bodenprofile mit Einmischungen technogener Substrate (z.B. durch Umlagerungen von Bodenmaterial) auf.

Bisher können Siedlungsbereiche mit Nutzungen auf gestörten Böden auf Grundlage der Methode der Stadtbodenkartierung im Maßstab 1:5.000 kartiert werden, um den Aufbau, die Zusammensetzung und die Eigenschaften der Böden zu erfassen. Eine Darstellung ihrer stofflichen Belastung mit Schwermetallen oder anderen Stoffen liegt bisher nicht vor. Dagegen steht der Wunsch für planungsrelevante Fragestellungen im

Siedlungsbereich ebenfalls ein Instrument wie die digitale Bodenbelastungskarte zur Verfügung zu haben.

Ansätze für Methoden, die für die flächenhafte Darstellung der stofflichen Bodenbelastung anthropogen überprägter Böden anwendbar sind, werden gegenwärtig in Untersuchungen der Städte Düsseldorf, Duisburg und Wuppertal getestet. Die Ergebnisse werden nach Abschluss der Vorhaben als Teil II (Siedlungsbereiche) den vorliegenden Leitfaden ergänzen.

Der Leitfaden ist eine Arbeitshilfe für die Kreise und kreisfreien Städte, die im Rahmen des Förderprogramms „Maßnahmen des Bodenschutz“ (MURL 1999a) digitale Bodenbelastungskarten erstellen. Er beschreibt die Datengrundlagen, die methodischen Grundlagen und Werkzeuge sowie die einzelnen Arbeitsschritte des Verfahrens. Am Ende werden Hinweise auf die Anwendungsbereiche sowie ein Ausblick auf die weitere Entwicklung digitaler Bodenbelastungskarten gegeben. Im Anhang III befinden sich eine Dokumentation der Hintergrundwerte und der Bodenwerte der BBodSchV, ein Leitfaden zu Probenahme und Analytik sowie Kurzbeschreibungen für den Umgang mit den durch das LUA bereitgestellten Softwarewerkzeugen.

2 Einflussfaktoren der stofflichen Bodenbelastung

Die aktuell bestimmbare Menge von Stoffen in Böden ist von verschiedenen Faktoren abhängig. Generell ist nach Stoffgruppen, ihren Quellen, ihrem Verhalten, ihren Wirkungen und ihren räumlichen Verteilungen in Böden zu unterscheiden. Ob einzelne Stoffe oder Stoffgruppen überhaupt auftreten, hängt vom spezifischen Zusammenwirken der genannten Größen ab. Um Regelhaftigkeiten dieser Abhängigkeiten in ihren räumlichen Ausprägungen in digitalen Bodenbelastungskarten aufzeigen zu können, kommt den Quellen und den Eintragspfaden besondere Bedeutung zu. Räumlich abbildbar sind regelhaft auftretende stoffliche Belastungen durch folgende Ursachen:

- Ausgangsgestein (geogener Anteil)
- Überschwemmungen (Überschwemmungseinfluss)
- Bodennutzung (Nutzungseinfluss)
- regionale (lokale) Immissionen.

Dabei ist zu beachten, dass diese Einflussfaktoren für jeden Stoff von unterschiedlicher Bedeutung sein können und zudem noch räumlich variieren. Im Besonderen ist eine differenzierte Betrachtung für organische und anorganische Stoffe erforderlich. Tab. 1 gibt die räumlich darstellbaren Einflussfaktoren der Bodenbelastung und ihre Bedeutung für die Stoffgehalte an.

Tab. 1 Angabe der in digitalen Bodenbelastungskarten zu erfassenden Stoffe sowie räumlich darstellbare Einflussfaktoren der Bodenbelastung und ihre Bedeutung für die Stoffgehalte

Einflussfaktoren	anorganische Stoffe (Metalle)									organische Stoffe	
	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Tl	Zn	PAK	PCB
Gestein	o	o	+	++	+	++	o	++	++	-	-
Bodennutzung	+	+	+	+	+	+	+	+	+	++	+
Überschwemmungen	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Immissionen (bezogen auf Grünland)	?	++	o	+	?	o	++	?	++	++	+

(++: sehr bedeutend, +: bedeutend, o: wechselnd bedeutend,
-: unbedeutend, ?: keine Aussage möglich)

So sind die Einflussgrößen nicht immer trennscharf anthropogenen oder natürlichen Quellen zu zuordnen. Oft sind gleitende Übergänge vorhanden, die bei den beiden

Stoffgruppen von ganz unterschiedlicher Bedeutung sein können. Sie bestimmen die räumlichen Verteilungsmuster der Stoffe sowohl horizontal, d.h. im Oberboden, als auch vertikal im Bodenprofil.

Die Vielzahl der Quelltypen lässt sich vereinfacht über die Ausbreitungsmedien erfassen, die den Eintrag der Schadstoffe in die Böden bedingen. Hier sind neben direkten Verunreinigungen durch den Menschen, die Luft, das Wasser und das Gestein zu nennen. Ferner ist bei allen Medien die Entfernung zur Quelle von Bedeutung. Sie bestimmt den Grad der Verdünnung und damit die Immissionsmenge in die Böden.

Flächenhafte, anthropogen bedingte Immissionen erfolgen in erster Linie über den Luftpfad. Hier können alle Stoffe auftreten. Möglich sind auch Einträge aus Oberflächengewässern, deren Einflussbereiche oberirdisch durch die Ausdehnung der Überschwemmungsgebiete abgrenzbar sind. Unterirdisch können sie sich auf die Qualität des ufernahen Grundwassers auswirken und so möglicherweise auch zu Belastungen in den Böden führen (Wasserpfad). Ferner entstehen sowohl punktuelle als auch flächenhafte Belastungen durch den bodenbewirtschaftenden Menschen. Großräumig werden einerseits durch die jeweilige Bodennutzung zusätzliche Mengen an Stoffen eingetragen oder andererseits durch die mechanische Bodenbearbeitung im Profil verteilt und damit häufig verdünnt. Einen Sonderfall stellen Aufschüttungen und Altlasten dar. Sie zählen nicht zu den natürlichen Böden und ihre Stoffdaten werden in der digitalen Bodenbelastungskarte nicht berücksichtigt.

Die organischen Stoffgruppen werden flächenhaft fast ausschließlich über den Luft- oder den Wasserpfad eingetragen, so dass die räumlichen Verteilungsmuster in den Böden keinen Bezug zum Gestein oder zu einzelnen Bodenmerkmalen besitzen. Sie spiegeln eher die regionalen Emissions- und Depositionsbedingungen wider und sind daher fast ausschließlich auf die Oberböden begrenzt. Das bedeutet auch, dass der Bodennutzung auf den jeweiligen Flächen eine hohe Bedeutung für die vorhandene Menge an Schadstoffen in den Oberböden zukommt.

Natürliche, vor allem geogene Quellen können dagegen bei den persistenten anorganischen Schadstoffen von großem Einfluss sein. Das gilt besonders für Schwermetalle. Die geogenen Anteile an der Belastung setzen sich aus dem lithogenen und dem pedogenen Anteil zusammen. Dementsprechend wechselt ihre Höhe in Anlehnung an den Entwicklungszustand der betrachteten Böden regelhaft im Profil.

So kommen Schwermetalle in ganz unterschiedlichen Anteilen in den Ausgangsgesteinen der Bodenbildung vor. Dieser lithogene Anteil gelangt über die pedogenen Transformationsprozesse, die sich vereinfacht auf die verschiedenen Verwitterungsarten reduzieren lassen, in die Böden. Die dort vorherrschenden pedogenen Translokationsprozesse, die sich zum einen vereinfacht auf die Lessivierung, Podsolierung und Karbonatverlagerung sowie Bio- und Kryoturbationen zurückführen lassen, sowie zum ande-

ren nicht unabhängig von den Transformationsprozessen gesehen werden können, führen zu einer bodentypischen Verteilung der Schwermetalle im Profil (pedogener Anteil). Geogene Einträge durchsetzen demnach das gesamte Bodenprofil entsprechend seines Entwicklungszustandes. Sie lassen sich in ihrer Größenordnung räumlich - vereinfacht - über den Wechsel der Ausgangsgesteine der Bodenbildung erfassen.

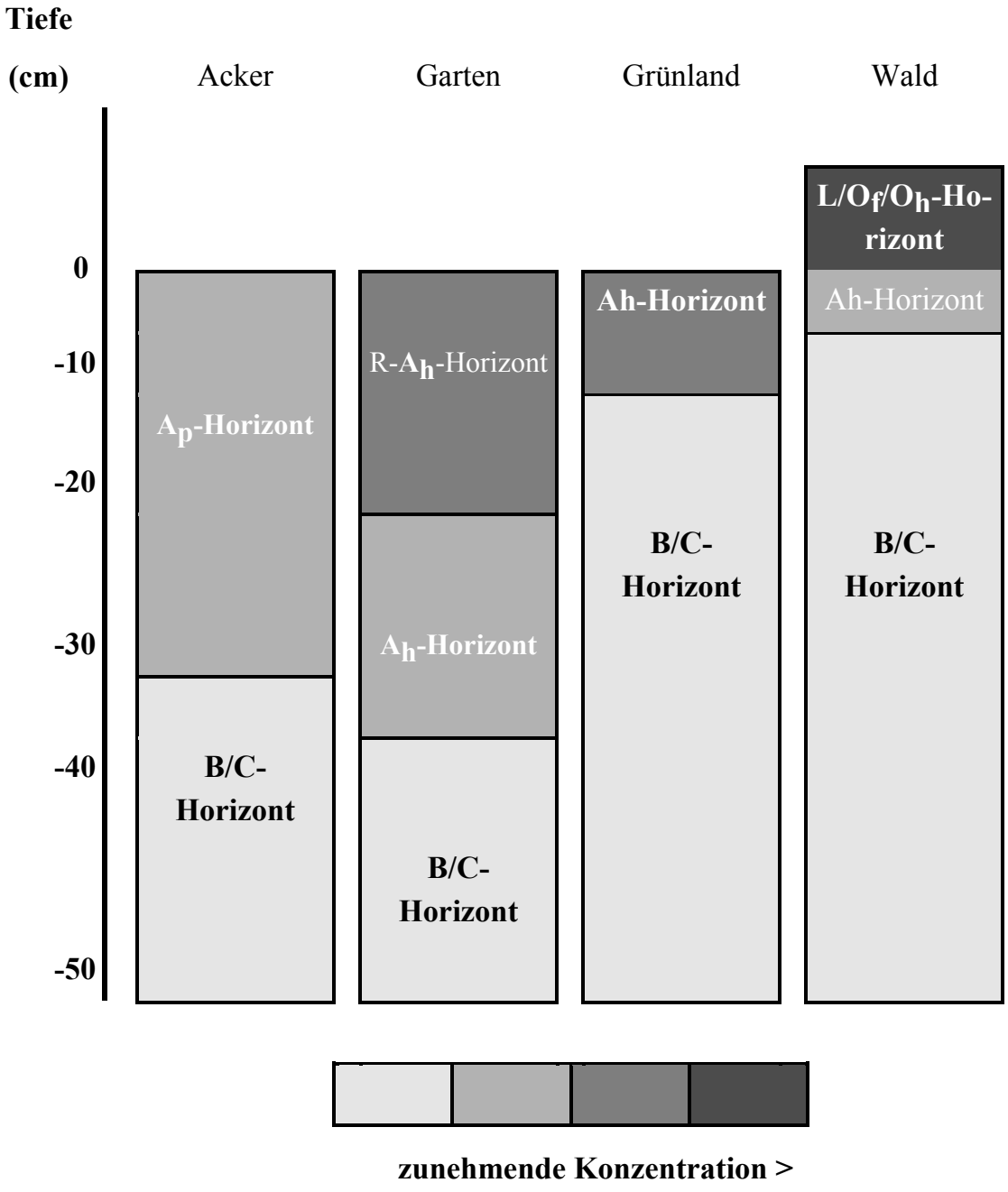


Abb. 1: Nutzungsbedingte Unterschiede der vertikalen Verteilung immissionsbedingter, persistenter Schadstoffe im Boden (nach: KÖNIG et al. 1991)

Die pedogenen Anteile sind über die Bodentypen beschreibbar. Über die Bodenform, d.h. die Kombination von oberflächennahem Ausgangsgestein und Bodentyp ist es möglich, räumliche Einheiten auszuweisen, die sich in ihren geogenen Schwermetallgehalten und damit in ihrer Gesamtbelastung signifikant voneinander unterscheiden.

Abb. 1 veranschaulicht den Zusammenhang zwischen der Höhe des messbaren Stoffgehaltes im Oberboden und der Ausprägung des Bodenprofils sowie der Humusform für anthropogene, immissionsbedingte Schadstoffe. Es wird deutlich, welche Anreicherungen Oberböden aufweisen können und wie sich - in Abhängigkeit von der Bodennutzung - unterschiedliche vertikale Verteilungen im Profil ergeben. Sind die B- oder C-Horizonte dagegen aus schwermetallreichen Ausgangsgesteinen entstanden, dreht sich die Einstufung der Konzentrationszunahme geradezu um. In den Oberböden pausen sich dann die geogenen Gehalte der Ausgangsgesteine durch. Diese Zusammenhänge sind in zahlreichen Untersuchungen bestätigt worden. Für die Abschätzung des geogenen Anteiles liegen weitgehend abgesicherte Informationen aus diesen Arbeiten vor (z.B. HINDEL & FLEIGE 1990; 1991; HINDEL et al. 1998; FAUTH et al. 1985; HORNBURG 1996).

3 Datengrundlagen

In digitalen Bodenbelastungskarten werden verschiedene Informationen, welche die aktuelle Belastungssituation der Böden mit Schadstoffen beschreiben und erklären, miteinander verschnitten. Unterschieden werden Arbeitskarten und weiter Sachinformationen, die sich einerseits in Bodenuntersuchungen und andererseits in Zusatzinformationen einteilen lassen. Die in Abb. 2 grau hinterlegten Daten sind unbedingt erforderlich, um digitale Bodenbelastungskarten erstellen zu können. Aus ihnen werden die notwendigen Informationen gewonnen, die für die flächenhafte Abschätzung der Stoffgehalte erforderlich sind.

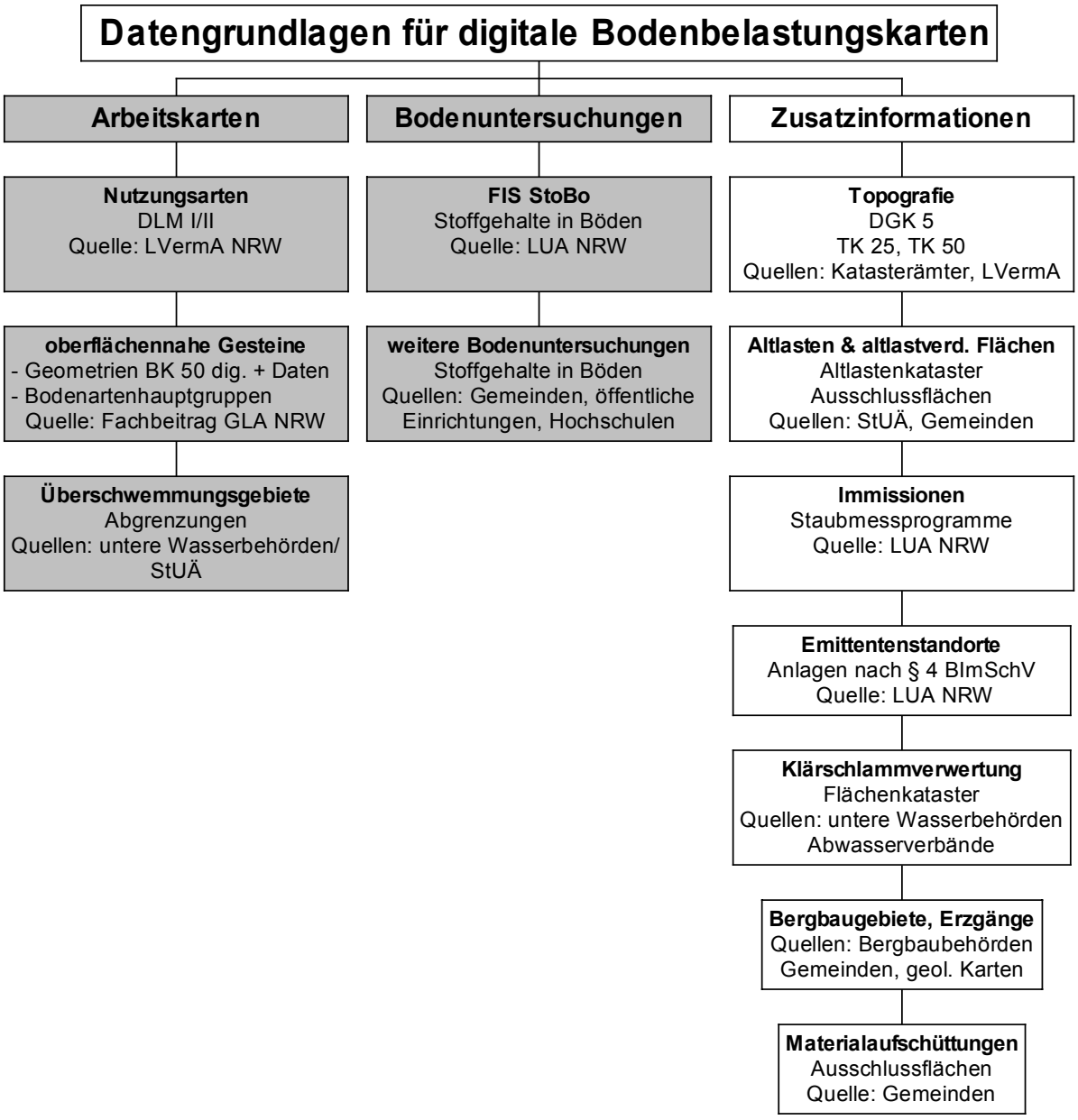


Abb. 2: Datengrundlagen für digitale Bodenbelastungskarten sowie Angabe ihrer Quellen

Die Zusatzinformationen dienen als Hintergrund für die kartografische Darstellung im GIS und sollen sowohl bei der Aufdeckung von lokalen anthropogenen Belastungen als auch bei der Interpretation der Ergebnisse helfen. In der Abb. 2 sind zusätzlich die Quellen für die einzelnen Daten benannt. Es ist ersichtlich, dass hier sehr unterschiedliche Informationen zusammengeführt und verarbeitet werden müssen. Alle Informationsgrundlagen müssen digital vorliegen. Vorhandene analoge Grundlagenkarten müssen gegebenenfalls digitalisiert und Sachinformationen in Datenbanken organisiert werden.

3.1 Daten über Stoffgehalte in Böden

In digitalen Bodenbelastungskarten werden die Gehalte der Stoffe in Böden erfasst, von denen Beeinträchtigungen der Bodenfunktionen ausgehen können. Für digitale Bodenbelastungskarten sind anorganische Stoffe (Schwermetalle) und organische Stoffe (PAK, PCB, ggf. PCDD/F) der Tab. 1 zu berücksichtigen. Entsprechende Ergebnisse von Bodenuntersuchungen können in ganz unterschiedlichen Datensammlungen vorhanden sein.

Die wichtigste Quelle für Daten über Stoffgehalte in Böden Nordrhein-Westfalens ist das Fachinformationssystem Stoffliche Bodenbelastung (FIS StoBo) (HEIDBRINK 1999). Im FIS StoBo sind neben den Messergebnissen zu den einzelnen Stoffen auch Angaben, welche die Messergebnisse erklären, enthalten. Zu diesen sog. Metainformationen 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 zur Interpretation des vorliegenden Messwertes hilfreich sein können. Der komplette Datenbestand des FIS StoBo wird im LUA verwaltet. Ein Datenauszug wird auf schriftliche Anfrage vom LUA zur Verfügung gestellt. Die Daten werden derzeit für die Kommunen kostenfrei zur Verfügung gestellt.

Für die Erstellung einer Bodenbelastungskarte soll außerdem geprüft werden, ob noch weitere Bodenuntersuchungen, z.B. bei den Kommunen, Abwasserverbänden oder Hochschulen, im Untersuchungsgebiet vorliegen. Diese Daten liegen, wenn sie überhaupt digital vorhanden sind, in der Regel in ganz unterschiedlichen Formaten vor, oft auch in analoger Form in Tabellen. Sie sind hinsichtlich ihrer Vollständigkeit und Konsistenz zu prüfen. Dazu werden alle geeigneten Daten mit dem Erfassungsbaustein des FIS StoBo erfasst und in das System eingestellt. Danach können die Daten in den Datenbankbaustein für die Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten integriert werden. Die so erzeugten Daten bilden die Ausgangsbasis für die weiteren Arbeitsschritte zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten.

3.2 Nutzungsarten

Der Einfluss der Bodennutzung auf die Höhe der gemessenen Stoffgehalte im Oberboden kann erheblich sein. Die Grenzen zwischen den hier betrachteten Nutzungen sind sehr scharf und lassen sich im Gelände auch sehr gut verifizieren. Für die Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten werden diese Abgrenzungen benötigt. Daher ist eine Kartengrundlage auszuwählen, die diese Informationen in der notwendigen Qualität und Aktualität enthält.

Für das Gebiet von Nordrhein-Westfalen liegen unterschiedliche Kartenwerke vor, welche die geforderten Informationen enthalten können. Auch wenn sie bereits in digitaler Form verfügbar sind, stellen sie nur Rohdaten dar, die für die Erstellung der Arbeitskarte „Nutzungsarten“ als Anwendung im Rahmen der digitalen Bodenbelastungskarten weiter aufbereitet werden müssen. Der Aufwand sowohl in fachlicher als auch in finanzieller Hinsicht ist höchst unterschiedlich. So sind Fernerkundungsdaten grundsätzlich erst einmal zu interpretieren und das Ergebnis mit der Realität abzugleichen, bevor die erforderlichen Auswertungen vorgenommen werden können. Kartenwerke wie ATKIS dagegen enthalten bereits die erforderlichen Interpretationen und können ohne weitere Bearbeitungsschritte ausgewertet werden.

Für die Erstellung einer Bodenbelastungskarte bzw. die Ableitung der Arbeitskarte „Nutzungsarten“ werden die ATKIS-Daten auf Grund ihrer Aktualität und Genauigkeit empfohlen. Die hohe Genauigkeit der ATKIS-Daten liegt in ihrer Entstehung begründet. Das Landesvermessungsamt Nordrhein-Westfalen (LVermA) erstellt aus den Kartenblättern der DGK 5, Luftbildkarten im Maßstab 1:5 000, Flächennutzungskartierungen und Stadtplänen mit einer Lagegenauigkeit von ± 3 m das Digitale Landschaftsmodell (DLM 25/II). Die topografischen Objekte sind im Vektorformat gespeichert. Neben den Geometrien sind in der Datenbank des ATKIS die Informationen über die Art der Objekte abgelegt. Die Ableitung der Arbeitskarte „Nutzungsarten“ kann weitgehend standardisiert, rechnergestützt durchgeführt werden.

Zur Ableitung der Arbeitskarte „Nutzungsarten“ sind die Abgrenzungen oder Geometrien der relevanten Nutzungsarten (ATKIS Objektarten) zu selektieren und in ein ALK-GIAP-Verfahren zu überführen. Zurzeit werden Ackerland (4101), Grünland (4102), Wald (4107) und die Wasserflächen unterschieden. Alle anderen Flächen können als Ausschlussflächen zusammengefasst werden. Ferner können alle erforderlichen Grenzen ebenfalls extrahiert werden (Kreisgrenze 7104, Gemeindegrenze 7106). Das Landesvermessungsamt berechnet für den Bezug eines Auszuges aus ATKIS Kosten, die sich zurzeit für Behörden oder Kommunen auf DM 15,00 - 20,00 pro km² abgegebene Fläche belaufen.

3.3 Schwermetallgehalte oberflächennaher Gesteine

Die Schwermetallgehalte der Ausgangsgesteine der Bodenbildung können einen erheblichen Einfluss auf die stoffliche Belastung von Oberböden haben. Um diese Information für das jeweilige Untersuchungsgebiet sachgerecht und fachlich korrekt ermitteln zu können, sind mehrere Arbeitsschritte unter Hinzuziehung weiterer Informationsgrundlagen erforderlich. Zunächst sind die verschiedenen Ausgangsgesteine zu ermitteln, wobei von besonderem Interesse die oberflächennah anstehenden Schichten (0-0,5 m unter GOF) sind. In einem zweiten Schritt sind die Ausgangsgesteine bezüglich ihrer Schwermetallgehalte zu vergleichen. Von einander abgegrenzt werden die Gebiete, die sich hinsichtlich ihrer Schwermetallgehalte von einander unterscheiden. In digitalen Bodenbelastungskarten werden mehrere Metalle unterschieden. In einem letzten Arbeitsschritt ist der geogene Anteil der Schwermetalle in den Böden zu ermitteln, der sich in die Oberböden durchpaust.

Als Informationsquellen stehen für diese Arbeitsschritte die Abgrenzungen der Bodeneinheiten aus der digitalen Bodenkarte im Maßstab 1:50.000 (BK 50dig) des Landes Nordrhein-Westfalen zur Verfügung. Dabei handelt es sich um eine spezielle Auswertung der BK 50dig und des dazugehörigen Sachdatenbestandes bezüglich der Identifikation der oberflächennahen Gesteine sowie Informationen über die Schwermetallgehalte von Locker- und Festgesteinen, die in Nordrhein-Westfalen verbreitet sind. Die Informationen können in digitaler Form für ein Untersuchungsgebiet als Fachbeitrag zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten vom Geologischen Landesamt (GLA) bezogen werden. Die Kosten für diesen Fachbeitrag belaufen sich zurzeit auf DM 2.000 pro Untersuchungsgebiet.

Zur Auswertung bezüglich der Überschreitung von Vorsorgewerten (vgl. Kap 6.2) bzw. zur Erstellung der Auswertungskarte „Vorsorgewerte-Vergleich“ müssen die Bodenarten berücksichtigt werden, da die Vorsorgewerte u.a. nach Bodenartenhauptgruppen abgestuft sind. Die Zuordnung der Datensätze zu den Bodenartenhauptgruppen nach BBodSchV erfolgt auf Basis der Angaben der Bodenart der oberflächennahen Gesteine aus der BK 50dig des GLA. Die Angaben zu den Bodenartenhauptgruppen nach BBodSchV können ebenfalls beim GLA angefordert werden bzw. werden demnächst auch Inhalt des Fachbeitrages sein.

3.3.1 Schwermetallgrundgehalte oberflächennaher Gesteine

Grundlage für die Ausweisung der räumlichen Einheiten der oberflächennahen Gesteine ist die digitale Bodenkarte im Maßstab 1:50.000 (BK 50dig). Die BK 50dig stellt einheitlich digital verfügbar bodenkundliche Fachinformationen landesweit, flächendeckend und blattschnittfrei bereit. Die digitale Bodenkarte beschreibt in ihren Abgrenzungen Bodeneinheiten, die durch die nach Flächenanteilen quantifizierten Bo-

dentypen, die Grundwasser- und Stauwasserverhältnisse, die Geogenese bzw. Gesteinsart mit ihrer Stratigraphie und die Bodenartenschichtung gebildet worden sind. Daneben sind für jede dieser Einheiten Sachdaten als digitale Legendeninformation vorhanden, die weitergehende räumliche Auswertungen ermöglichen. Für die Arbeitskarte „Schwermetallgrundgehalte oberflächennaher Gesteine“ ist die Bodenartenschichtung von Bedeutung. Sie enthält je Schicht nach Flächenanteilen quantifizierte Angaben zu den Fein- und Skelettbodenarten, Humus und Kalkgehalten und die Spanne der Mächtigkeiten. Die BK 50dig bietet damit eine einheitliche Beschreibung der Substrate und der wesentlichen Substrateigenschaften der Böden in NRW (SCHRAPS & SCHREY 1997). Daher liegt es nahe, die erforderlichen Informationen für die Abgrenzungen der oberflächennahen Ausgangsgesteine der Bodenbildung direkt aus den Legenden-Informationen der digitalen Bodenkarte abzuleiten.

Das GLA stellt diese Auswertung als Bestandteil seines Fachbeitrages zur Verfügung. Allerdings sind, wie bei allen Auswertungen aus diesem Kartenwerk, die maßstabsbedingten Generalisierungen zu beachten. Als Referenz ist der Maßstab 1:50.000 sehr geeignet, räumliche Variabilitäten in ausreichender Genauigkeit auch regional differenziert sichtbar zu machen. Kleinräumige lokale Besonderheiten sind in den Legendenbeschreibungen durch die flächenhafte Gewichtung noch berücksichtigt, lassen sich aber räumlich nicht mehr als eigene Einheit darstellen. Im Rahmen der Erstellung von digitalen Bodenbelastungskarten hat dieser Aspekt bisher nur eine untergeordnete Rolle gespielt. Notwendige Informationen beispielsweise über das Ausstreichen von Erzgängen, ließen sich über andere zusätzliche Informationsquellen erschließen und kartografisch getrennt darstellen.

Der zweite Bestandteil des Fachbeitrages des GLA enthält in tabellarischer Form die natürlichen Schwermetallgehalte der in Nordrhein-Westfalen vorkommenden Fest- und Lockergesteine. Hierbei handelt es sich um einen Auszug aus einer Datenbank, die im GLA gepflegt und ständig ausgebaut wird. Geliefert wird eine statistische Auswertung hinsichtlich Gesteinsalter (Stratigraphie) und Gesteinstyp (Petrographie). Angegeben sind die Anzahl der ausgewerteten Daten, der Median der Verteilung sowie die Extremwerte. Ferner ist die Methode verzeichnet, mit der die Proben analysiert wurden.

Sind im Fachbeitrag des GLA keine oder nur unzureichende Angaben zu den vorhandenen Gesteinen enthalten, können als Ergänzung auch die Datensammlungen von HINDEL & FLEIGE (1990; 1996), HINDEL et al. (1998) sowie daraus abgeleitete landesweite Auswertungen (HORNBURG 1996) verwendet werden. Benutzt werden die darin enthaltenen statistischen Auswertungen der jeweiligen Gesteinseinheiten. Bei den Festgesteinen enthalten die statistische Auswertungen keine Mediane. Daher muss in diesen Fällen auf die dort mitgeteilten geometrischen Mittelwerte zurückgegriffen werden. Für die Lockergesteine werden die Mediane der Cv-Horizonte benutzt.

Für die Sedimente in den Tälern der kleineren Flüsse und Bäche haben sich die Angaben des Geochemischen Atlas BRD (FAUTH et al. 1985) im Einzelfall als hilfreich herausgestellt. Da die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR, Hannover) die verwendeten Daten als Rohdatensatz auch digital zur Verfügung stellt, können sie regional statistisch bearbeitet werden. Berechnungen der statistischen Kennwerte sind damit dann auch möglich. Die Daten können bei der BGR erworben werden. Die Kosten richten sich nach der Datenmenge und der Rechtsform des Bestellers.

Beide Komponenten des gegebenenfalls ergänzten Fachbeitrages sind in einem GIS zu der Arbeitskarte „Schwermetallgrundgehalte oberflächennaher Gesteine“ zu vereinigen. Hierbei kann es vorkommen, dass in den Abgrenzungen der oberflächennahen Gesteine unterschiedlich alte Gesteine zusammengefasst sind, wie zum Beispiel Ton-, Schluff- und Sandsteine des Karbons und des Devons. Die natürlichen Schwermetallgehalte dieser gleichen, aber unterschiedlich alten Gesteine sind verschieden. Um die notwendige räumliche Trennung vornehmen zu können, müssen die Abgrenzungen der digitalen Bodenkarte präzisiert werden. Hierfür kann die digitale geologische Karte 1:100.000 (GK 100dig) verwendet werden. Eine Verschneidung der betreffenden Einheiten führt zu dem gewünschten Ergebnis und macht damit die Anwendung des Datenbankauszuges möglich.

Die so zusammengestellten Daten weisen zahlreiche Einheiten oberflächennaher Gesteine aus. Es ist sinnvoll zu prüfen, ob Gesteinstypen mit gleichen oder ähnlichen Gehalten zusammengefasst werden können. Die Abb. 3 zeigt hierfür einen Weg und hilfreiche Informationen für diesen Arbeitsschritt auf.

Ziel dieses Arbeitsschrittes ist es, eine überschaubare Anzahl von Einheiten zu erhalten. Die BK 50dig unterscheidet die Ausgangsgesteine der Bodenbildung auch hinsichtlich ihrer Entstehung. So werden beispielsweise bei den Lockergesteinen Sande bezüglich der Art ihrer Ablagerung unterschieden, wie Flugsand vom glazifluvialen Sand. In abgeschlossenen Untersuchungsgebieten kann es sich dabei um ein und dasselbe Gestein handeln nämlich quartären Sand, der regional unterschiedlich bewegt und damit auch abgelagert wurde. Hier sind Zusammenfassungen möglich, nicht zuletzt auch deshalb, weil für diese Ausdifferenzierung keine ausreichende Datenbasis zur Ableitung natürlicher Schwermetallgehalte in dem Datenbankauszug vorhanden ist.

Nach diesen Arbeitsschritten wird die Arbeitskarte „Schwermetallgrundgehalte oberflächennaher Gesteine“ erzeugt, die im Rasterbaustein Verwendung findet. Dafür ist sie noch mit den Kennziffern für die oberflächennahen Gesteine des Datenbank- und Rasterbausteins zu versehen und in das erforderliche ALK-GIAP-Entladeformat zu konvertieren.

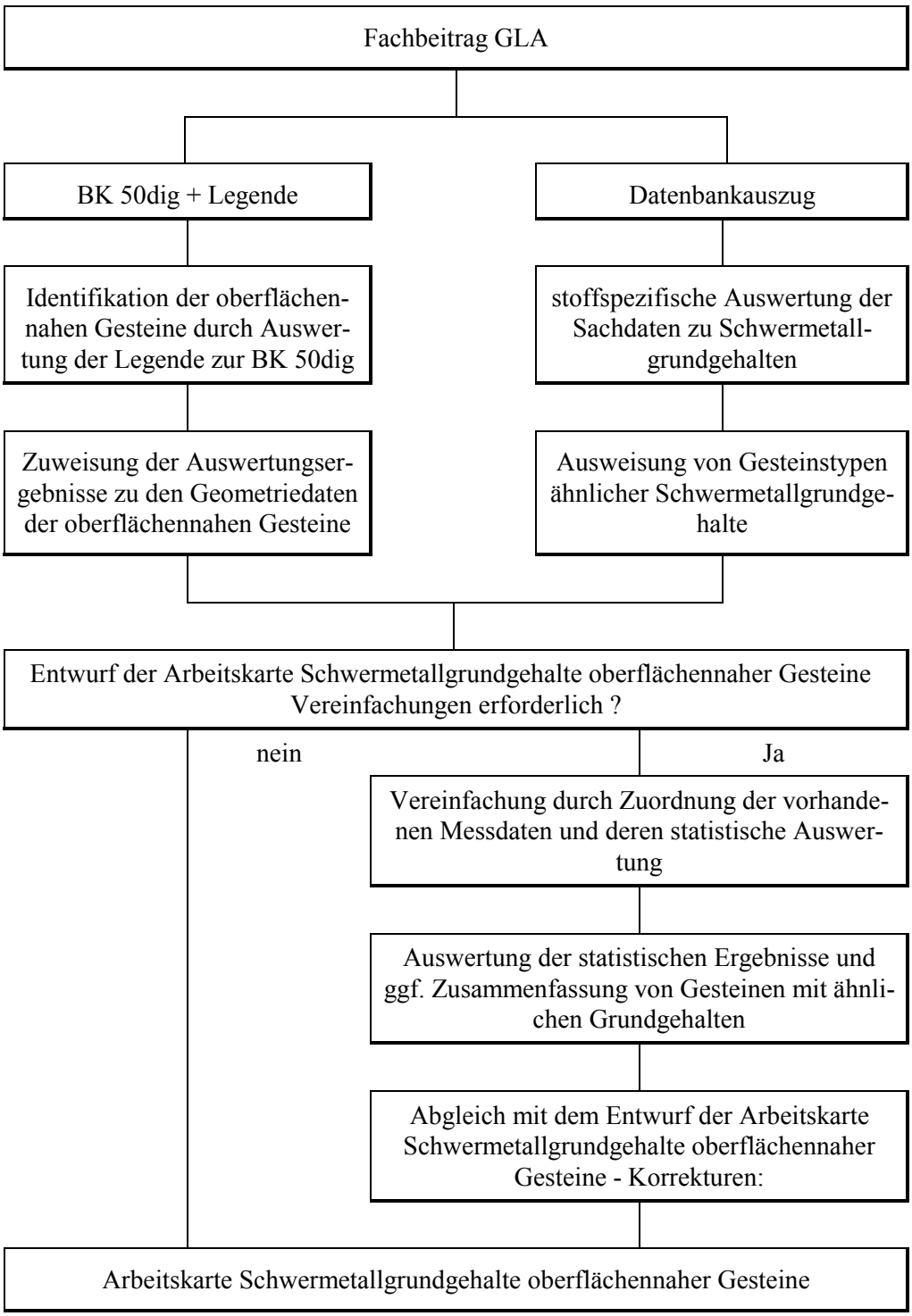


Abb. 3: Fließdiagramm der Arbeitsschritte zur Erstellung der Arbeitskarte Schwermetallgrundgehalte oberflächennaher Gesteine

3.3.2 Ermittlung der Durchpausungsfaktoren

Die Stoffgehalte in Böden sind unterschiedlicher Herkunft. Insbesondere Schwermetalle sind bereits im Ausgangsgestein der Bodenbildung vorhanden. Sie gelangen durch die Prozesse der Bodenbildung in den Feinboden. Die geogen bedingten Stoffgehalte werden von den anthropogen eingetragenen Stoffgehalten überlagert. Die gemessenen Stoffgehalte in Oberböden entsprechen daher immer der Summe aus der geogen bedingten Vorbelastung und der anthropogen bedingten Zusatzbelastung. Die Kenntnis der geogen bedingten Stoffgehalte ist Grundlage für die Standardisierung, die ihrerseits Voraussetzung ist für die Interpolation mittels geostatistischer Methoden zur Ableitung des Flächenbezugs aus den punktbezogenen Daten.

Ausgangsdaten sind die real gemessenen Stoffgehalte im Oberboden (Ah, Ap oder O-Horizonte). Das entspricht Beprobungstiefen in einem Intervall von +10 cm über bis - 30 cm unter der Geländeoberfläche, und zwar je nach Nutzungstyp der untersuchten Böden. Dabei soll der Tatsache Rechnung getragen werden, dass Auflagen und Oberböden die Senke für alle aus der Atmosphäre eingetragenen Stoffe bilden. Bei nur geringen oder mäßigem Gesteinseinfluss 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 oberflächennahem Gestein, Nutzungstyp und Überschwemmungseinfluss) 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 aus dem Fachbeitrag des GLA oder anderen Quellen 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. Dieser ist in den Datenbankbaustein zu übernehmen.

Die Berechnung der Durchpausungsfaktoren beginnt mit Nickel, da dieses Schwermetall kaum anthropogen in Oberböden angereichert wird. Wenn die Daten für Nickel nicht den Anforderungen genügen, z.B. sehr geringe Gehalte, zu wenige Daten etc., dann können auch Daten anderer Schwermetalle verwendet werden, deren ubiquitäre anthropogene Anreicherung in Böden ebenfalls vernachlässigbar ist.

a) Berechnung der pedogenen Anreicherungsfaktoren (AFp) für jede Raumeinheit. (Gleichung 1)

$$AFp = \frac{Median\ der\ Verteilung\ der\ Meßwerte\ einer\ Raumeinheit}{Median\ /\ Geometrischer\ Mittelwert\ des\ Ausgangsgesteins}$$

b) Ergebnisvergleich

Erwartetes Ergebnis: Alle Raumeinheiten auf Löss oder vergleichbaren Substraten mit zonalen Bodentypen als Regelfall der Bodenentwicklung (Braunerden, Parabraunerden) sollten Abreicherungen für Nickel aufweisen, da Nickel in der Regel nicht als Immission aus der Luft in Oberböden gelangt. Die übrigen Raumeinheiten können sowohl für Nickel als auch für die restlichen Metalle Anreicherungen aufweisen.

c) Korrektur der Anreicherungsfaktoren für alle Raumeinheiten, die AFp für Nickel > 1 aufweisen durch Bezug dieser AFp auf die AFp der einzelnen Nutzungsraumeinheiten im Löss. Die so ermittelten Abreicherungen (AFpkorr) liegen in der Regel zwischen 0,5 und 0,9 und zeigen dann auch nur den pedogenen Anteil an.

Ergebnis AFp	Bewertung
< 1	Abreicherung Nickel/Löss
> 1	Anreicherung alle übrigen Raumeinheiten

d) Zur Abschätzung des Durchpausungsfaktors wird der AFpges für Nickel errechnet. Dazu werden alle AFp bzw. AFpkorr arithmetisch gemittelt.

e) Der so ermittelte Wert wird als Durchpausungsfaktor für Nickel / Löss in den Datenbankbaustein übernommen.

Methodischer Hinweis: Bei der Berechnung des geogenen Anteils ist zu beachten, dass die Nickel-Hintergrundwerte nach HINDEL & FLEIGE und nach FAUTH et al. aus Totalaufschlüssen bestimmt (Lösungsmittel Flusssäure) wurden. Das gilt teilweise auch für die Angaben im Fachbeitrag des GLA. Mit diesem Lösungsmittel werden höhere Ausbeuten an Metallen erreicht als mit dem bei Bodenanalysen sehr verbreiteten Königswasseraufschluss. Werden solche Daten miteinander verglichen, dann können negative Zahlen entstehen. Das bedeutet, dass die Vergleichszahlen zu hoch sind. Hier sind dann ggf. rechnerische Korrekturen erforderlich. Allerdings spielt das bei der Darstellung der geschätzten flächenhaften Stoffgehalte keine Rolle, da bei der Effektberücksichtigung alle zuvor abgezogenen geogenen Anteile wieder addiert werden.

Die Berechnung der AFp für die übrigen Schwermetalle geht nach dem gleichen Schema vor. Anders als bei Nickel kommen beispielsweise Blei oder Cadmium in ganz unterschiedlichen Anteilen anthropogen und geogen vor. Die Anreicherungsfaktoren liegen in der Regel zwischen 3 und 15. Bei solch hohen Ergebnissen sind dann Abschätzungen des geogenen Anteils erforderlich. Dazu werden die Ergebnisse aus den Berechnungen für Nickel benutzt, da sich prinzipiell die Anteile der Metalle, die geogenen Ursprungs sind, in ihren pedogenen Umverteilungen ähnlich verhalten.

Ergebnis AFp	Bewertung
< 1	Abreicherung
> 1	Anreicherung

a) Berechnung der Anreicherungsfaktoren für jede Raumeinheit

b) Ergebnisvergleich
Erwartetes Ergebnis: Anreicherungen in allen Einheiten. Liegen einzelne AFp < 1, dann sind keine weiteren Korrekturen erforderlich. (Gleichung 2)

$$AFpkorr = \frac{\text{AFp Nickel (Gesteinseinheit 1 / Nutzung A)}}{\text{AFp Schwermetall Y (Gesteinseinheit 1 / Nutzung A)}}$$

c) Korrekturen der Anreicherungsfaktoren (AFpkorr) für die Raumeinheiten mit AFp > 1 durch Quotientenbildung zwischen AFp für Nickel der Raumeinheiten (Löss/Nutzung A) und den übrigen Raumeinheiten (Gesteinseinheit 1/ Nutzung A) usw.

d) Zur Abschätzung des „Verdünnungseffektes“ bzw. des Durchpausungsfaktors werden nun alle AFp bzw. AFpkorr für jede in der Karte der oberflächennahen Gesteine ausgewiesenen Gesteinseinheit arithmetisch gemittelt. Es wird der AFpges für jedes Metall errechnet.

e) Der so ermittelten Werte werden als stoff- und substratspezifische Durchpausungsfaktoren in den Datenbankbaustein übernommen.

Beispiel: *Die Mediane der gemessenen Zinkgehalte einer homogenen Raumeinheit lauten für Acker 57 mg/kg, Grünland 64 mg/kg und Wald 110 mg/kg. Der geogene Gehalt dieser Einheit wird mit 9 mg/kg angegeben. Dieser Wert wird in den Datenbank-Baustein eingegeben.*

Die Berechnung der pedogenen Anreicherungsfaktoren mit der o.a. Formel ergibt für Acker: AFp = 6,33, für Grünland AFp = 7,11 und Wald AFp = 12,22.

Als Korrekturwerte werden die Anreicherungsfaktoren für Löss herangezogen. Sie lauten für Acker AFp = 0,48 , Grünland AFp = 0,6 und Wald AFp = 0,8.

Die Anwendung der Korrekturformel für die A AFpkorr liefert dann für Acker AFpkorr = 0,076, Grünland AFpkorr = 0,084 und Wald AFpkorr = 0,065. Daraus errechnet sich ein Durchpausungsfaktor von 0,075für Zink. Auch dieser Wert wird in den Datenbank-Baustein eingestellt.

Der geogene Anteil beträgt dann 0,675 mg/kg.

Dieses Beispiel zeigt zweierlei:

1. *Die großen Anreicherungsfaktoren deuten auf die Immission als dominante Belastungsursache hin.*
2. *Die nur sehr geringen geogenen Gehalte dieses oberflächennahen Gesteins von nur 9 mg/kg Zink bedeutet auch nur einen sehr geringen geogenen Anteil im Oberboden. Damit spielt der Gesteinseinfluss in dieser Einheit nur eine sehr untergeordnete Rolle.*

Bei einer zum Teil unvollständigen Datenlage kann die Abschätzung der geogenen Gehalte unsicher sein. Gegebenenfalls sind dann gebietsbezogene Anpassungen der Angaben der geogenen Gehalte notwendig.

3.4 Überschwemmungsgebiete

Die Abgrenzungen der Überschwemmungsgebiete liegen bei den zuständigen Fachbehörden häufig noch nicht digital vor. Zur Erstellung der Arbeitskarte „Überschwemmungsgebiete“ müssen analoge Kartengrundlagen (u.a. Karte der gesetzlich festgelegten Überschwemmungsgebiete, Bodenkarten, Historische Karten) hinzugezogen und aufbereitet werden. Diese Kartengrundlagen können in verschiedenen Einrichtungen vorhanden sein. Anlaufstellen sind die unteren Wasserbehörden oder die Staatlichen Umweltämter (StUÄ). Es ist in der Regel davon auszugehen, dass hier ein erheblicher Aufwand gegeben ist, um die Abgrenzungen zu digitalisieren.

3.5 Hintergrundwerte

Der Hintergrundgehalt eines Bodens setzt sich aus dem geogenen Grundgehalt eines Bodens und der ubiquitären Stoffverteilung als Folge diffuser Einträge in den Boden zusammen. **Hintergrundwerte** beruhen auf den ermittelten Hintergrundgehalten und bezeichnen unter Angabe der statistischen Kenngrößen (50. und 90. Perzentil) und der Differenzierung hinsichtlich der Bodeneigenschaften und Standortverhältnisse sowie der Bezugsgrößen Nutzung (Acker, Grünland, Wald) und Gebietstyp (Typen 0, I, II, III) die repräsentativen Stoffkonzentrationen in Böden. Punktuelle Belastungsschwerpunkte gehen nicht in die Ermittlung von Hintergrundwerten ein (LABO 1998). Für NRW werden die Hintergrundwerte der stofflichen Bodenbelastung aus den Daten des FIS StoBo ermittelt. Im Anhang III sind sie in Form von Tabellen dokumentiert.

Für die Bewertung der flächenbezogenen stofflichen Bodenbelastung nach Hintergrundwerten (Auswertungskarte „Hintergrundwerte-Vergleich“) und für die Ermittlung des Untersuchungsbedarfes werden regionale oder lokale Hintergrundwerte eingesetzt. Die Ergebnisse der Interpolation werden wie folgt klassifiziert: niedrige Stoffgehalte < 50-Perzentil, mittlere Stoffgehalte 50-Perzentil - 90-Perzentil, hohe Gehalte > 90-Perzentil. Für ein Untersuchungsgebiet oder ein Teilgebiet können

darüber hinaus lokale Hintergrundwerte für verschiedene Nutzungen anhand der Ist-Belastung und einer nachfolgenden statistischen Auswertung ermittelt und für die in Kap. 6.2 beschriebenen Anwendungsbereiche genutzt werden.

3.6 Weitere Daten- und Kartengrundlagen

3.6.1 Bodenwerte der BBodSchV

Im Anhang 2 der BBodSchV sind Maßnahmen-, Prüf- und Vorsorgewerte angegeben. Diese Werte sollen zu einer einheitlichen Bewertung von Schadstoffkonzentrationen in Böden herangezogen werden. Bei Prüf- und Maßnahmenwerten wird nach Wirkungspfaden unterschieden. Für digitale Bodenbelastungskarten sind in erster Linie die Wirkungspfade Boden - Mensch (direkter Kontakt) und der Wirkungspfad Boden - Nutzpflanze von Bedeutung. Der Wirkungspfad Boden - Grundwasser wird derzeit noch nicht betrachtet (vgl. Kap. 6). Im Anhang III sind die Bodenwerte der BBodSchV tabellarisch zusammengestellt.

3.6.2 Topografie

Die topografischen Basisdaten dienen als Hintergrund bei der Visualisierung der Ergebnisse. Für diesen Zweck ist die topografische Karte im Maßstab 1: 50.000 (TK 50) im Rasterformat am besten geeignet. Sie liegt flächendeckend für Nordrhein-Westfalen vor.

Für die Messnetzplanung und die Probenahme wird die Deutsche Grundkarte im Maßstab 1:5.000 (DGK 5) als Hintergrundkarte verwendet. Die DGK 5 liegt ebenfalls flächendeckend für NRW vor. Die topografischen Basisdaten sind über das Landesvermessungsamt, deren Vertriebspartnern oder die Vermessungs- und Katasterämter der Kreise und kreisfreien Städte zu beziehen.

3.6.3 Altlasten

Altlasten und altlastenverdächtige Flächen (Altablagerungen und Altstandorte) werden in digitalen Bodenbelastungskarten nachrichtlich (z.B. mit Symbolen) dargestellt. In einigen Kommunen liegen digitale Karten der Altlasten und altlastenverdächtige Flächen als Objekte im Vektorformat vor. In diesen Fällen sind die Geometrien der Flächen und die Informationen über die Flächen gespeichert.

In anderen Kommunen liegen die Informationen über die Altlasten und altlastenverdächtige Flächen in Altlastenkatastern ohne kartografischen Bezug vor. Mit geringem Aufwand können die Angaben zu den einzelnen Altlasten und altlastenverdächtige Flächen digital in eine Tabelle aufgenommen werden. Die Flächen werden in ihrer Lage (Schwerpunkt der Fläche in 7-stelligen Gauß-Krüger-Koordinaten), ihrer Größe, ihrer ehemaligen Nutzung (z.B. Altablagerung, Altstandort) und der aktuellen Nutzung

charakterisiert (1. Typ der Altlast, 2. Bearbeitungsstand). Für die Bewertung in digitalen Bodenbelastungskarten und für die Messnetzplanung ist eine digitale Karte im Vektorformat besser geeignet. Im Rahmen der Messnetzplanung werden Altlasten und altlastenverdächtige Flächen als Ausschlussflächen behandelt. Karten und Verzeichnisse über die Altlasten liegen bei den Kommunen und den StUÄ vor.

3.6.4 Immissionen

Gebiete mit erhöhten Immissionsbelastungen, die nicht auf eine spezifische Quelle in der Umgebung zurückzuführen sind, können durch Ablagerungen aus dem Ferntransport verursacht sein. Die Stoffe gelangen über die Abluft von weiter entfernt liegenden Emittenten in die Atmosphäre, werden durch Luftbewegung verbreitet und letztendlich im Boden deponiert. Durch Vegetation wird die Rauigkeit der Oberfläche erhöht. Die Stoffe werden primär an der größeren Oberfläche der Pflanzen sorbiert und gelangen mit den abgestorbenen Pflanzenteilen auf den Boden. Durch diese Filterungsprozesse gelangen unter Bäumen mehr Stoffe durch Immissionen auf den Boden als unter Feldfrüchten oder unter Gras. Stoffe, die an Partikeln (Staub) oder Tröpfchen (Nebel, Regen) gebunden sind, werden durch Sedimentation auf dem Boden deponiert (trockene bzw. nasse Deposition).

Hinweise auf Gebiete mit erhöhten Depositionsmengen können die seit den 60-iger Jahren umfangreich durchgeführten Staubmessprogramme der ehemaligen LIS und des LUA liefern. Damals wurden zuerst die Staubmengen bestimmt, ab ca. 1980 aber auch Inhaltsstoffe des Staubes, wie z.B. Schwermetalle analysiert. Diese Daten können beim LUA angefordert werden.

3.6.5 Emittentenstandorte

Um die Interpretation der Ergebnisse zu erleichtern oder lokale Ursachenbeziehungen herstellen zu können, sollen in digitalen Bodenbelastungskarten die Standorte der bekannten Emittenten als Zusatzinformationen nachrichtlich dargestellt werden. Verwendung finden die Standorte der genehmigungsbedürftigen Anlagen gemäß §4 BImSchV. Das LUA führt das entsprechende landesweite Informationssystem Stoffe und Anlagen (ISA) und stellt auf Anfrage die notwendigen Informationen als Datenbankauszüge zur Verfügung. Darin sind die einzelnen Emittenten bezüglich ihrer Lage (7-stellige Gauß-Krüger-Koordinaten), des Emittententyps, Angaben zu den emittierten Stoffen und deren Menge sowie sonstiger relevanter Parameter charakterisiert. Die Daten können durch weitere Informationen über Emissionsquellen ergänzt werden, falls historische Recherchen Hinweise auf inzwischen aufgegebene, ehemalige Emittenten ergeben.

3.6.6 Klärschlammverwertungsflächen

Ein großer Teil der Daten aus dem FIS StoBo entstammt Bodenuntersuchungen, die im Rahmen der Abfallklärschlammverordnung (AbfKlärV 1992) durchgeführt wurden. Sie stellen eine wichtige Datengrundlage für die Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten dar. Allerdings umfassen sie bei den Bodenuntersuchungen nur die Schwermetalle, für die Grenzwerte in der AbfKlärV genannt sind.

Häufig sind sie digital aufzubereiten oder zu bearbeiten, bevor sie zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten herangezogen werden können. Dabei ist bei den Entnahmestellen der Bodenproben darauf zu achten, dass sie hinreichend genau räumlich lokalisierbar sind (6 bis 7-stellige Gauss-Krüger-Koordinaten). Die Abgrenzungen der Verwertungsflächen können als Zusatzinformationen auch zur Interpretation der Ergebnisse oder für weitere Auswertungen herangezogen werden.

Für die Ergänzung der bereits vorliegenden Bodenuntersuchungen und als Interpretationshilfe sind räumliche Informationen wie Lage und Abgrenzung der Flächen, auf denen Klärschlamm ausgebracht wurde, von Nutzen. Die Daten sind bei den Abwasserverbänden zu recherchieren und hinsichtlich ihrer Verwendung zu prüfen.

3.6.7 Bergbaugebiete, Halden und Erzgänge

Informationen über Flächen, auf denen in der Vergangenheit oberirdisch Bergbau betrieben wurde, auf denen Halden mit Bergematerial angelegt wurden und Informationen über oberirdisch austretende Erzgänge werden in digitalen Bodenbelastungskarten zur Bewertung vorhandener stofflicher Bodenbelastungen als Zusatzinformationen herangezogen. Die Bergbaugebiete, Halden und Erzgänge werden in digitalen Bodenbelastungskarten nachrichtlich (z.B. mit Symbolen) dargestellt. Hierfür werden Angaben zu den Bergbaugebieten, Haldenstandorten und Erzgängen digital in einer Tabelle aufgenommen.

Die Informationen sind in der Regel individuell zu recherchieren. Als Quellen kommen die geologischen Spezialkarten mit ihren Auswertungen infrage, ferner historische Aufzeichnungen oder Angaben, die von den zuständigen Einrichtungen bei den Kommunen oder Bergbauaufsichtsbehörden vorgehalten werden.

3.6.8 Materialaufschüttungen und -umlagerungen

Großflächige Materialaufschüttungen, Abgrabungen oder Rekultivierungsmaßnahmen sind als Zusatzinformationen hilfreich. Sie kennzeichnen jene Gebiete, in welchen die Ergebnisse der flächenhaften Abschätzung nicht gelten. Je nach Ausprägung können sie nachrichtlich dargestellt oder als Ausschlussfläche verwendet werden. Die notwendigen Informationen sind bei den zuständigen Stellen der Gemeinden zu recherchieren, gegebenenfalls aufzubereiten und zu übernehmen.

4 Methodische Grundlagen und Werkzeuge

4.1 Räumliche Interpolation von Punktdaten

Für die Interpolation von Einzeldaten stehen statistische Methoden zur Verfügung. Sollen räumliche Verbreitungsmuster herausgefunden werden, sind geostatistische Verfahren notwendig. Sie dienen der Analyse von Erhaltensneigungen (Persistenzeffekten) bei räumlich-zufallsbedingten Vorgängen. Persistenzeffekte sind gekennzeichnet durch eine überzufällige räumliche Anordnung ähnlich großer Werte, was statistisch bedeutet, dass räumlich benachbarte Beobachtungspunkte mit größerer Wahrscheinlichkeit eher geringe als sehr große Wertedifferenzen aufweisen. Mit zunehmender Distanz nehmen die Persistenzeffekte ab (STREIT 1981).

Ziel der raumbezogenen Interpolation auf Basis geostatistischer Verfahren ist die bestmögliche Schätzung der zu erwartenden Werte anhand einer Stichprobe. Geostatistische Verfahren können daher nur angewendet werden, wenn die folgenden Annahmen erfüllt sind (HEINRICH 1992):

- Die zufallsbedingte (stochastische) Komponente macht einen erheblichen Anteil aus.
- Der stochastische Anteil enthält eine autokorrelative Komponente, d.h. es treten räumliche Persistenzeffekte auf.
- Die Werteverteilung ist stetig.
- Zeitliche Komponenten gehen nicht in die Schätzung ein.

Auf Grund ihrer plausiblen, nachvollziehbaren Ergebnisse werden geostatistische Methoden für klimatologische, geologische und bodenkundliche Fragestellungen eingesetzt (z.B. STREIT 1981, HEINRICH 1992, AKIN 1992). Ein solches Verfahren 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.: 25m x 25 m). Für jede Rasterzelle wird mithilfe 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 raumbezogener Interpolationen gehören.

Die Erstellung der digitalen Bodenbelastungskarten verwendet als geostatistisches Verfahren das Kriging. Allerdings ist der Ansatz, durch dieses geostatistische Verfahren die punktuell gewonnenen Messwerte von Stoffgehalten in Böden in die Fläche zu übertragen, nicht ohne weiteres möglich, weil die Annahme der Persistenz und Stetigkeit in der Realität nicht gegeben ist. So stellen die Grenzen zwischen unterschiedlichen oberflächennahen Gesteinen, verschiedenen Bodennutzungen oder Gebieten mit und ohne Überschwemmungseinfluss unter Umständen Sprünge in den gemessenen Werten dar, über die nicht hinweg interpoliert werden darf. Da die Ursachen und die räumlichen Abgrenzungen dafür bekannt sind, kann durch entsprechende rechnerische Korrekturen an den Eingangsdaten die notwendige Persistenz und Stetigkeit hergestellt werden.

Vor der eigentlichen Interpolation müssen im Rahmen der Standardisierung die Einflussgrößen (oberflächennahes Gestein, Bodennutzung, Überschwemmung) quantitativ ermittelt werden. Der Datensatz geht dann - bereinigt um diese Einflussgrößen - in die Interpolation ein. Die Werte der Stoffgehalte sind nach der Standardisierung im Wesentlichen nur noch durch die Stoffeinträge über den Luftpfad geprägt. Das Interpolationsergebnis beruht dann auf einem homogenisierten, d.h. von bekannten und räumlich scharf abgrenzbaren Einflüssen bereinigten Datensatz.

Die Korrektur wird für jeden in die Interpolation eingehenden Datensatz und für jeden zu betrachtenden Stoff mit der folgenden Gleichung 3 durchgeführt:

$$S_B = (S - G)*NF*ÜF \qquad \text{(Gleichung 3)}$$

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

Die geogen bedingten Stoffgehalte der Gesteine des Bodens entsprechen dem Anteil der Stoffgehalte, die aus dem Ausgangsgestein im Boden verbleiben. Dazu werden Durchpausungsfaktoren errechnet. Nach Abzug dieses Korrekturgliedes wird das 50. Perzentil für die durch Überschwemmung bestimmten Datenkollektive berechnet. Danach folgt in ähnlicher Vorgehensweise die Berechnung der Nutzungsfaktoren. Durch den Bezug auf den Median aller Nutzungen und außerhalb von Überschwemmungsge-

bieten liegenden Datensätze (Standardkollektiv) werden die weiteren zur Korrektur notwendigen Umrechnungsfaktoren durch Division des 50. Perzentils des betrachteten Datenkollektives durch das 50.-Perzentil des Standardkollektives ermittelt .

In der Abb. 4 wird die Berechnung der korrigierten Stoffgehalte an einem Beispiel erläutert.

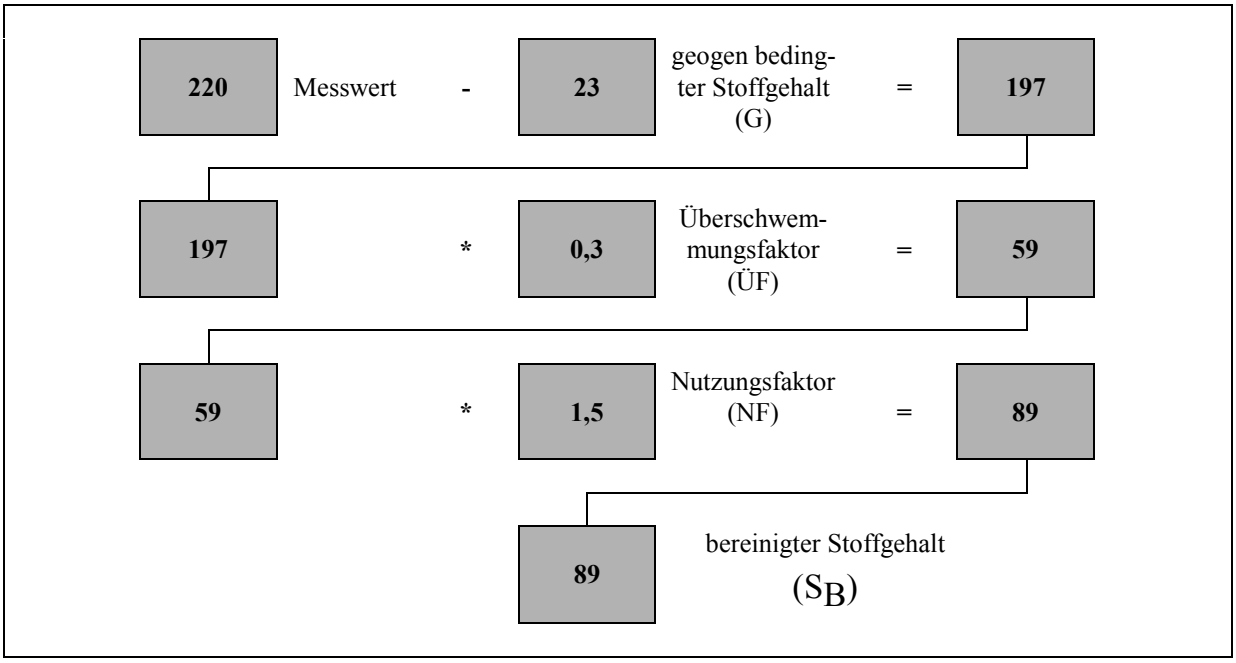


Abb. 4: Berechnungsbeispiel für die Anwendung der Gleichung 3

Als Ergebnisse der Interpolationen stehen dann verschiedene digitale Rasterkarten zur Verfügung. Für jeden Stoff entstehen die in der Abb. 5 genannten Arbeits-, Ergebnis- und Auswertungskarten (vgl. auch Anhang I). Nach der Interpolation werden zunächst die Stoffgehalte flächenbezogen in der **Arbeitskarte „standardisierte geschätzte Stoffgehalte“** dargestellt, wobei die geogenen Grundgehalte und der Überschwemmungseinfluss eliminiert und die Werte auf eine mittlere Nutzung (Median aller Nutzungen) bezogen sind. Das Ergebnis ist eine standardisierte Werteoberfläche in Form eines Rasters, in der für jede Rasterzelle ein durch die Interpolation ermittelter Wert vorliegt. Die Größe der Rasterzelle ist frei wählbar. Für den angestrebten Maßstab 1:50.000 bieten sich Rastergrößen zwischen 25x25 und 50x50 m an.

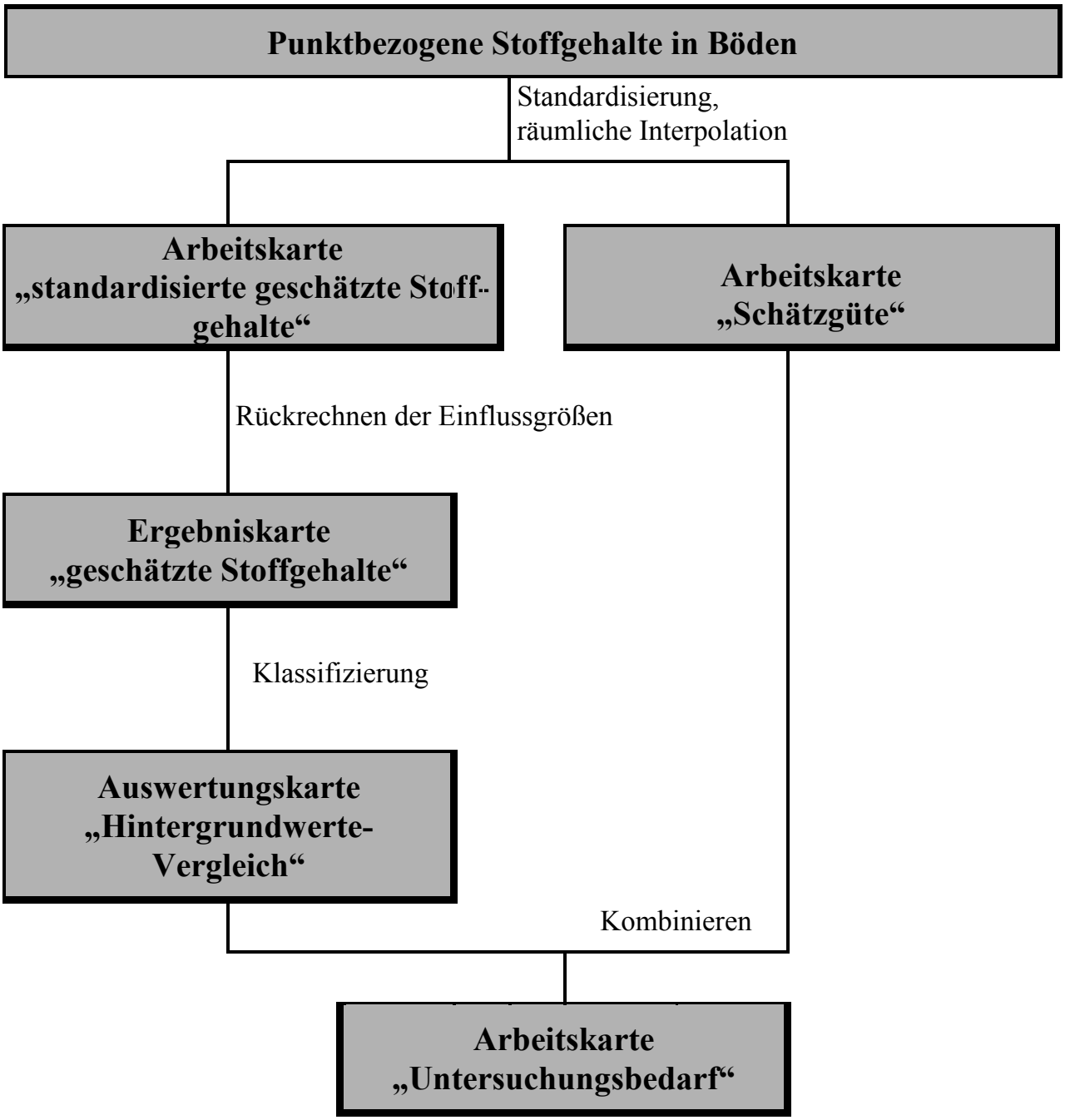


Abb. 5: Karten des Rasterbausteins

Neben dieser Arbeitskarte wird durch geeignete Klassifizierung der Semivarianzen bezüglich der Schätzgüte (niedrig, mittel, hoch) die **Arbeitskarte „Schätzgüte“** generiert. Nach der Rückrechnung der Einflussgrößen wird die **Ergebniskarte „geschätzte Stoffgehalte“** erzeugt. Die Rückrechnung erfolgt mit der - durch Umformen der Gleichung 1 gewonnenen - Gleichung 4 für jede Rasterzelle.

$$S = \frac{S_B}{NF * ÜF} + G \qquad \text{(Gleichung 4)}$$

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

Die Klassifizierung der Daten über flächenbezogenen Werte der Stoffgehalte in Böden anhand von (regionalen/ lokalen) Hintergrundwerten (< 50 Perzentil, 50 - 90 Perzentil, > 90 Perzentil) liefert die **Auswertungskarte „Hintergrundwerte-Vergleich".** Durch eine Kombination der Arbeitskarte „Schätzgüte" mit der Auswertungskarte „Hintergrundwerte-Vergleich" entsteht die **Arbeitskarte „Untersuchungsbedarf"**, die für die Messnetzplanung der ergänzenden Bodenuntersuchungen im betrachteten Untersuchungsgebiet benötigt wird.

4.2 DV-Bausteine und Werkzeuge

Für die Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten wird Hard- und Software des BIS NRW eingesetzt (MURL 1999b). Neben Spezialentwicklungen zu bestimmten Fragestellungen besteht die Software des BIS aus Standard-Softwareprodukten mit entsprechend erweiterten Funktionen. Durch den modularen Aufbau des BIS wird gewährleistet, dass eine Integration der Softwaremodule in bereits bestehende Informationssysteme der Kommunen oder anderer Institutionen erleichtert wird.

4.2.1 Software zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten

In der Tab. 2 sind die benötigten DV-Bausteine und Werkzeuge aufgeführt sowie die Funktionen genannt, die damit bearbeitet werden können.

Die Software zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten und der Erfassungsbaustein des FIS StoBo sind voneinander unabhängig in unterschiedlicher DV-Umgebung lauffähig. Als Betriebssystem ist Windows 95, 98 oder NT möglich. Mit dem Erfassungsbaustein des FIS StoBo können Daten in eine einheitliche Datenbankstruktur geschrieben werden, um sie so für den Import in die BBK-Tools vorzubereiten.

Die im Auftrag des LUA entwickelte Software zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten, die „BBK-Tools" gliedert sich in einen Datenbankbaustein und eine Komponente zur Verarbeitung von Rasterkarten, die Rastertools.

Tab. 2: DV-Bausteine und Werkzeuge zur Erstellung von digitalen Bodenbelastungskarten

DV-Bausteine/Werkzeuge	Funktion
Werkzeuge zur Aufbereitung der Kartengrundlagen (z.B. ALK-GIAP, ArcINFO)	Digitalisierung, Konvertierung und Erstellen der ALK-GIAP-Verfahren
FIS StoBo-Erfassungsbaustein *	Erfassung von Daten zur stofflichen Belastung von Böden
BBK-Datenbankbaustein*	Datenverwaltung, Validierung und Standardisierung der Daten über Stoffgehalte in Böden
BBK-Rastertools *	räumliche Interpolation, Erstellung der Arbeits-, Ergebnis- und Auswertungskarten, Messnetzplanung für ergänzende Untersuchungen
Werkzeuge zur Auswertung und Visualisierung der Ergebnisse (ArcView, SICAD/SD, MapInfo etc.)	Auswertung und Visualisierung der Ergebnisse in Form thematischer Karten

* werden vom LUA zur Verfügung gestellt

Der Datenbankbaustein dient zur Vorbereitung der punktbezogenen Daten, die Rastertools zur Bearbeitung der Arbeitskarten und der Erstellung der Ergebniskarten sowie einiger Auswertungskarten. Die Kommunikation zwischen den Rastertools und dem DB-Baustein erfolgt über ODBC. Durch die Nutzung der Funktionen von Geoinformationssystemen (GIS) können alle Arbeitsschritte von der Aufbereitung der Daten- und Kartengrundlagen bis hin zur Darstellung/Visualisierung der Ergebnisse durchgängig bearbeitet werden. Der Erfassungsbaustein und die Software zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten wird den Kommunen, die am Förderprogramm teilnehmen, zurzeit kostenfrei zur Verfügung gestellt.

4.2.2 Datenbankbaustein

Der Datenbankbaustein verwaltet die Daten- und Kartengrundlagen in Projekten. Für ein Untersuchungsgebiet wird jeweils ein eigenes Projekt angelegt (z.B. Projekt Stadt XY, Projekt Kreis TZ). Ein Projekt teilt sich in ein Standardprojekt und in mehrere Teilprojekte. Im Standardprojekt werden die für alle Auswertungen gemeinsam zu nutzenden Daten- und Kartengrundlagen abgelegt, wie z.B. die TK 50 oder DGK 5 sowie die Arbeitskarten Nutzungsarten, Schwermetallgrundgehalte oberflächennahe Gesteine und Überschwemmungsgebiete. Je ein Teilprojekt wird für jeden betrachteten Schadstoff angelegt (z.B. Teilprojekt Zink, Teilprojekt Blei, etc.), in dem die jeweils anfallenden Arbeits-, Auswertungs- und Ergebniskarten abgelegt werden.

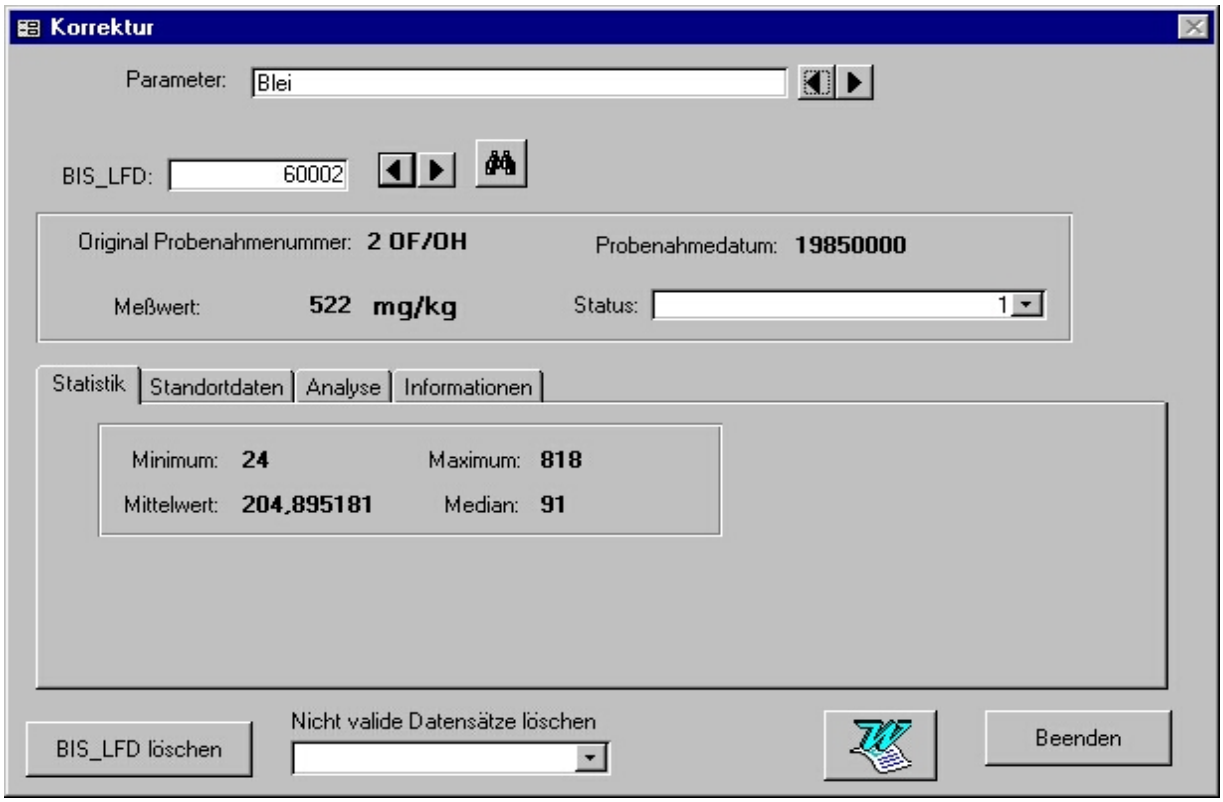


Abb. 6: Validierung im Datenbankbaustein - Korrekturmöglichkeit - (Bildschirmprint)

Die aus dem FIS StoBo selektierten Daten werden in den Datenbankbaustein importiert und in den entsprechenden Tabellen abgelegt. Daten, die aus anderen Quellen stammen, werden über den Erfassungsbaustein eingestellt. Von dort können sie ebenfalls in den Datenbankbaustein übernommen werden. Mithilfe der Funktionen zur Validierung (s. Abb. 6), zur Berechnung der Korrekturfaktoren und zur Standardisierung werden die Daten für die Interpolation vorbereitet.

4.2.3 Rasterbaustein

Der Rasterbaustein (vgl. Abb. 7) arbeitet unter Einbeziehung des Datenbankbausteines. Er umfasst die Funktionen zum Import der Kartengrundlagen im Vektorformat, zur Vektor-Raster-Konvertierung, zur räumlichen Interpolation auf Grundlage der mit dem Datenbankbaustein vorbereiteten Daten über die Stoffgehalte sowie zur Erstellung der Arbeits-, Auswertungs- und Ergebniskarten. Die importierten Kartengrundlagen und die Arbeits-, Auswertungs- und Ergebniskarten sowie die Probenahmestandorte können mithilfe des Rasterbausteins visualisiert werden.

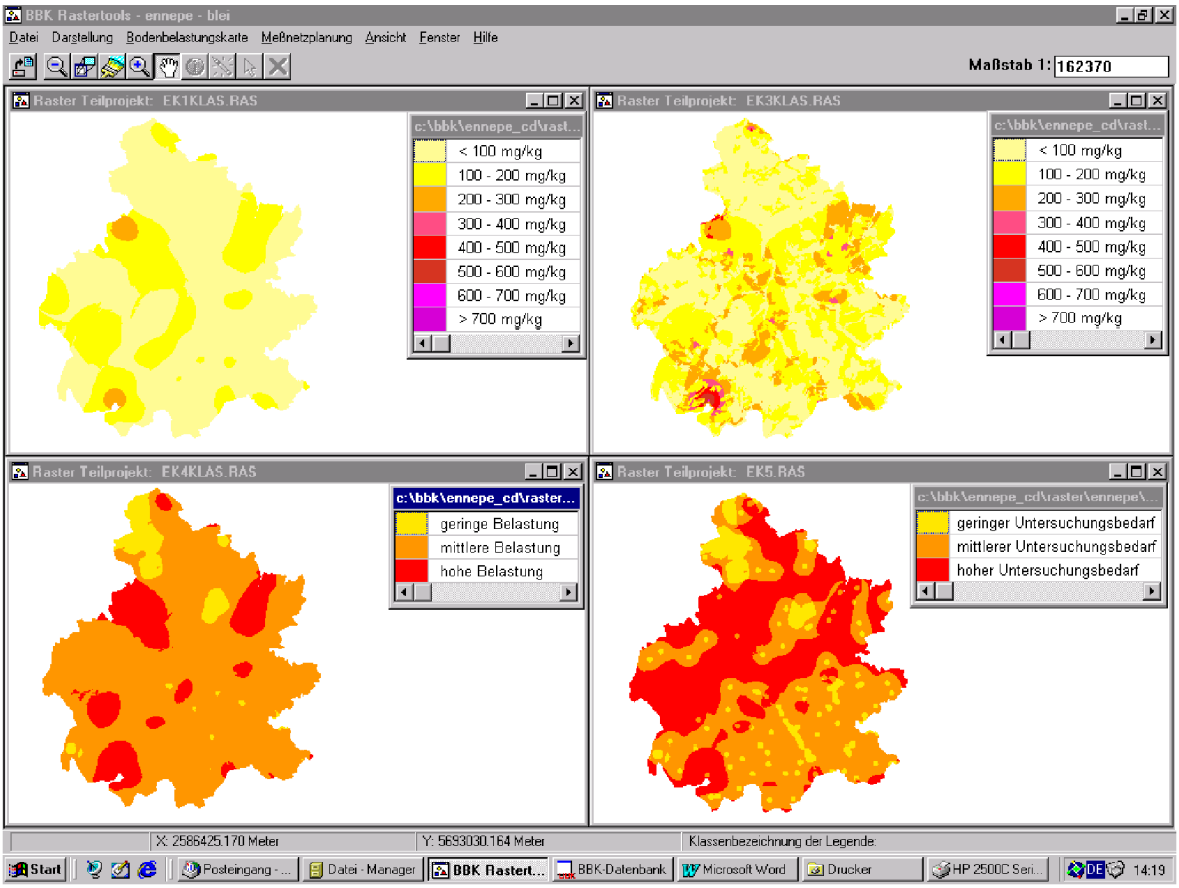


Abb. 7: Darstellungen der Arbeits-, Auswertungs- und Ergebniskarten in den BBK-Rastertools (Bildschirmprint) ohne Berücksichtigung der Ausschlussflächen

- **oben links: Arbeitskarte standardisierte geschätzte Stoffgehalte (Blei)**
- **oben rechts: Ergebniskarte geschätzte Stoffgehalte (Blei)**
- **unten links: Auswertungskarte Hintergrundwerte-Vergleich (Blei)**
- **unten rechts: Arbeitskarte Untersuchungsbedarf (Blei)**

Weiterhin bietet der Rasterbaustein die Funktionen, die zur Messnetzplanung für eine gezielte Probenahme für ergänzende Untersuchungen notwendig sind. Grundlage dafür ist die Arbeitskarte „Untersuchungsbedarf“. Im Rasterbaustein werden für die Gebiete mit hohem Untersuchungsbedarf neue Probenahmestellen festgelegt.

Der Rasterbaustein stellt Exportfunktionen für die Rasterkarten zur Verfügung. Damit können die erzeugten Ergebnis- und Auswertungskarten, aber auch die aufgerasterten Arbeitskarten in verschiedenen Formaten (BMP, TIF oder ARC-ASCII) exportiert werden. Mithilfe von Geoinformationssystemen als Werkzeuge zur Darstellung können diese Informationen auch flexibel aufbereitet und weiterverarbeitet werden. Zusammen mit diesen Werkzeugen stellen die Arbeits-, Ergebnis- und Auswertungskarten sowie die zusätzlichen Daten- und Kartengrundlagen ein Informationssystem dar, mit dem weitere Auswertungen und Bewertungen zu Fragen der stofflichen Bodenbelastung vorgenommen werden können.

5 Arbeitsschritte zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten

Die bisher erläuterten Karten- und Datengrundlagen sind mit der beschriebenen Methode und den zur Verfügung gestellten Werkzeugen zu bearbeiten. Ein effektives Bearbeiten ist immer dann gegeben, wenn alle erforderlichen Informationen in der notwendigen Qualität vorhanden sind und die Erstellung der digitalen Bodenbelastungskarte der in Abb. 8 aufgeführten Reihenfolge der Arbeitsschritte folgt.

Nach der Festlegung des Untersuchungsgebietes beginnt eine unter Umständen sehr intensive Phase des Zusammenstellens und Auswertens aller erforderlichen Informationen. Daran schließt sich ihre Aufbereitung für den Einsatz in den DV-Werkzeugen an. Besondere Bedeutung hat die Validierung der Daten. Ihr Ergebnis bestimmt die Qualität der zu erzeugenden Bodenbelastungskarten ganz erheblich mit.

Je nach Problemlage im Untersuchungsgebiet kann an dieser Stelle auch entschieden werden, welche Zusatzinformationen für die Interpretation der Ergebnisse hilfreich sein können. In Kapitel 3.6 sind einige aufgeführt, deren größter Teil sicherlich in allen Gebieten sinnvoll sein wird. Darüber hinaus besteht auch die Möglichkeit, regionale oder lokale Besonderheiten mit zu berücksichtigen.

Die Methode zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten sieht ergänzende Bodenuntersuchungen vor, und zwar immer dann, wenn sich aus den durchgeführten Berechnungen im Datenbank- und Rasterbaustein noch Untersuchungsbedarf ergibt. Wie umfänglich der Bedarf an ergänzenden Bodenuntersuchungen ist, kann erst nach der Erstellung einer ersten vorläufigen Ergebniskarte „geschätzte Stoffgehalte“ bzw. nach der Erstellung der Arbeitskarte „Untersuchungsbedarf“ entschieden werden, die die Gebiete aufzeigt, die noch entsprechende Datenlücken aufweisen und noch ergänzend untersucht werden sollen.

Zur Erstellung der Ergebniskarte „geschätzte Stoffgehalte“ sind alle neu gewonnenen Informationen in gleicher Weise aufzubereiten und zu verarbeiten. Geostatistisch betrachtet, ist ein Optimum erreicht, wenn kein weiterer hoher oder mittlerer Untersuchungsbedarf mehr errechnet wird. Darüber hinaus kann fachlich entschieden werden, ob in Gebieten mit hohen Bodenbelastungen weitere Verdichtungen des Messnetzes noch zur Verbesserung der Schätzgüte führen.

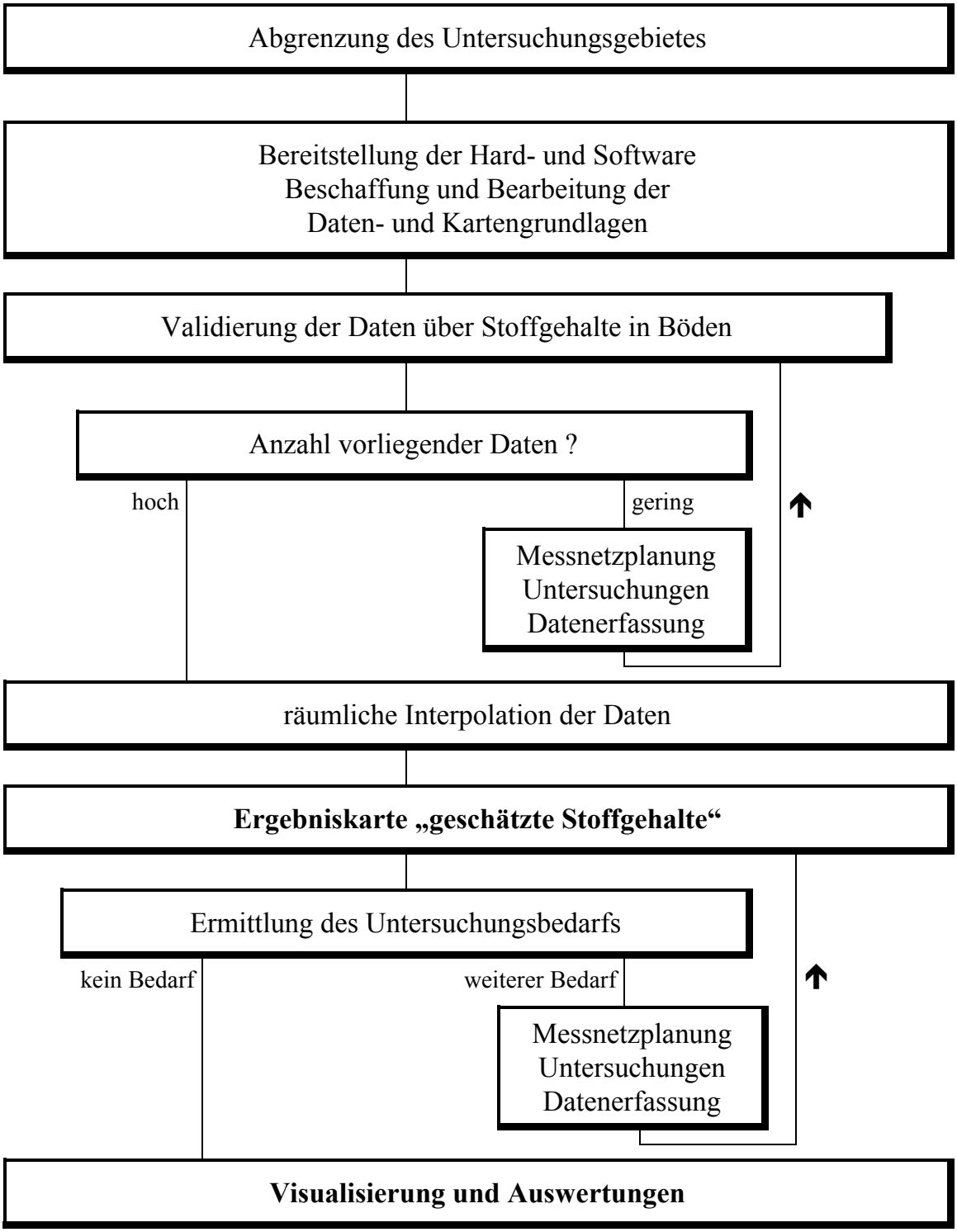


Abb. 8: Arbeitsschritte zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten

5.1 Abgrenzung des Untersuchungsgebietes

In einem ersten Schritt wird das Untersuchungsgebiet festgelegt. Digitale Bodenbelastungskarten werden in der Regel für das Gebiet einer kreisfreien Stadt oder eines Kreises im Maßstab 1:50.000 erstellt. Bei sehr großen Gebietskörperschaften besteht die Möglichkeit, das Untersuchungsgebiet aufzuteilen und die Bearbeitung nacheinander durchzuführen.

Bei der Festlegung des Untersuchungsgebietes ist zu berücksichtigen, dass digitale Bodenbelastungskarten nur für naturnahe Böden mit land- oder forstwirtschaftlicher Nutzung (Acker, Grünland, Wald) erstellt werden. Die notwendigen Abgrenzungen können aus der Arbeitskarte „Nutzungsarten“ entnommen werden, die z.B. aus ATKIS abgeleitet wird. Zusätzlich sind die Informationen über Altlasten und altlastenverdächtige Flächen (als Ausschlussflächen) und Informationen über die Bodenbeschaffenheit aus der digitalen Bodenkarte (BK 50dig) sowie im Einzelfall weitere Informationen zu berücksichtigen.

Die Siedlungsbereiche kreisfreier oder kreisangehöriger Städte sind nicht Bearbeitungsgebiet der digitalen Bodenbelastungskarte. Zurzeit werden in den Städten Düsseldorf, Duisburg und Wuppertal Ansätze zur Erfassung und flächenbezogenen Darstellung der stofflichen Bodenbelastung im Siedlungsbereich entwickelt. Die Ergebnisse werden nach Abschluss der Vorhaben als Teil II (Siedlungsbereiche) den vorliegenden Leitfaden ergänzen.

5.2 Beschaffung und Bearbeitung der Karten- und Datengrundlagen, Beschaffung der Hard- und Software

Für die Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten sind zunächst die notwendigen Karten- und Datengrundlagen zu beschaffen und die benötigte Software, insbesondere die DV-Werkzeuge, bereitzustellen. Die notwendigen digitalen Kartengrundlagen, der Fachbeitrag des GLA und der Auszug aus dem Digitalen Landschaftsmodell des LVermA (DLM I/II, ATKIS), können bei den zuständigen Ämtern beschafft werden. Die Abgrenzungen der Überschwemmungsgebiete ist wie in Kap. 3.4 beschrieben zu recherchieren. Gleiches gilt für die gewünschten Zusatzinformationen (vgl. Kap. 3.6).

Die DV-Werkzeuge sind in Kap. 4.2 bereits beschrieben worden. FIS StoBo-Erfassungsbaustein, BBK-Datenbankbaustein und BBK-Rasterbaustein werden vom LUA für die beteiligten Kreise oder Kommunen derzeit kostenfrei zur Verfügung gestellt. Sie sind auf einem leistungsfähigen PC unter den gängigen WINDOWS Betriebssystemen lauffähig.

5.3 Recherche und Validierung vorliegender Daten über Stoffgehalte in Böden

5.3.1 Recherche der Daten

Der Datenauszug aus dem FIS StoBo sowie weitere vorliegende Daten zu Stoffgehalten in Böden, die das Untersuchungsgebiet betreffen, stellen die Ausgangsbasis für die weiteren Arbeitsschritte dar. Weitere Quellen für die Beschaffung von Bodendaten sind in Kap. 3.1 beschrieben.

Alle für das festgelegte Untersuchungsgebiet vorhandenen Daten sind zur weiteren

Bearbeitung erst in den Datenbankbaustein, dann in den Rasterbaustein zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten zu übernehmen. Dabei hat es sich als sinnvoll herausgestellt, zuvor die entsprechenden Metainformationen des FIS StoBo oder Informationen zu erfassen und auszuwerten, die bei den datenführenden Stellen vorliegen. So kann bereits vorab entschieden werden, ob einzelne Datensammlungen überhaupt für die Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten geeignet sind.

5.3.2 Validierung der Daten

Die Bodendaten, die für die Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten verwendet werden, unterliegen bestimmten Qualitätsanforderungen, vor allem hinsichtlich der Kenntnis der Entnahmestelle der Bodenproben und der verwendeten analytischen Untersuchungsmethoden. Um diese Qualitätsanforderungen sicherstellen zu können, sind zusätzlich zu den Angaben der Stoffgehalte weitere Informationen über die Daten (Metadaten) erforderlich. Nur wenn inhaltlich und räumlich nachvollziehbar ist, wie eine Probe entnommen und untersucht wurde, kann entschieden werden, ob das Messergebnis für eine räumliche Interpolation geeignet ist. Es sollen nur Daten berücksichtigt werden, die mit vergleichbaren Entnahmetechniken, Probenvorbereitungen und Analyseverfahren gewonnen wurden. Ferner ist die Angabe weiterer bodenkundlicher Begleitparameter wie pH-Wert, Humusgehalt usw. wünschenswert. Diese erleichtern die Beurteilung der vorliegenden Analysedaten und geben ggf. Hinweise, ob ein naturnahes Bodenprofil mit land- oder forstwirtschaftlicher Nutzung beprobt wurde. Weiterhin können sie die Aussagen der Bodenbelastungskarten verbessern oder weitergehende Auswertungen ermöglichen, wenn sie für die vorhandenen Messergebnisse vorliegen.

Selbstverständlich müssen alle übrigen Angaben zu den ausgewählten Bodendaten auch vollständig vorliegen. Dazu können die ausgewählten Daten in den Datenbankbaustein eingestellt werden. Dort ist eine Routine zur Prüfung dieser Informationen integriert. Fehlen Angaben zur Nutzung, zum oberflächennahen Gestein oder zum Überschwemmungseinfluss werden die betreffenden Messwerte gleich als nicht valide gekennzeichnet. Es kann an diesem Punkt dann entschieden werden, ob die Möglichkeit besteht, fehlende Informationen nach zu erheben, ansonsten wird der Datensatz nicht in die weitere Berechnung eingehen.

Ein vollständiger Datensatz zu einem Entnahmestandort sollte also neben den Messwerten zu einzelnen Parametern (Schwermetalle, PAK, PCB etc.) eine eindeutige Probennummer und auch die in Tab. 3 genannten Angaben enthalten. Weitere Angaben zum Untersuchungsprogramm (Name des Untersuchungsprogramms, Untersuchungsgebiet) zur Bodenprofilbeschreibung (Bodentyp, Besonderheiten, Profilbeschreibung) und zu weiteren Begleitparametern (Skelettanteil, Raumgewicht, etc.) sind wünschenswert.

Tab. 3: Mindestangaben für einen vollständigen Datensatz im Rahmen der Datenvalidierung

Angaben zum Untersuchungsprogramm

- Datum der Probenahme
- Probenehmende Stelle und Probenehmer

Angaben zur Untersuchungsfläche

- Gemeinde, Ortsbezeichnung

Angaben zu verwendeten Karten als Zusatzinformation

Standortbeschreibung

- Nutzungsart,
- oberflächennahes Gestein
- Überschwemmungseinfluss

Angaben zur Umgebungssituation (Belastungsverdacht)

Angaben zu Koordinaten

- Gauss-Krüger-Koordinaten Rechts- und Hochwert (sechs- bis siebenstellig),

Angaben zur Bodenprofilbeschreibung und zur Probenahme

- Entnahmetiefe, -horizont,
- Probenahmetechnik

Angaben zur Probenvorbereitung, Analysevorschrift und Bestimmungsgrenzen

Angaben zu Begleitparametern (wünschenswert)

- pH-Wert
- Bodenart
- Gehalt an organischer Substanz
- Rohdichte, trocken

Bei der Erhebung neuer Daten sollte bei der Probenahme und Analytik bereits auf vollständige Untersuchungen bzw. Angaben geachtet werden (vgl. Anhang II „Leitfaden für Probenahme und Analytik von Böden“).

Diese Qualitätsanforderungen sind im Rahmen der Validierung zu prüfen. Fehlende Angaben können nach erfolgter Recherche ergänzt werden, andernfalls kann der Datensatz nicht verwendet werden. Im Ergebnis ist meistens nur eine Teilmenge der zuvor recherchierten Daten für die weitergehende Auswertung geeignet.

5.4 Berücksichtigung der Einflussgrößen (Standardisierung)

Voraussetzung für die räumliche Interpolation von Punktdaten über Stoffgehalte in Böden ist die Berücksichtigung der räumlich abgrenzbaren Einflussgrößen Nutzung, Gestein und Überschwemmung. Hierfür wird eine Standardisierung aller validen Datensätze durchgeführt (vgl. Kap. 3.3.2, 4.2.2).

Bis auf die Berechnung der Durchpausungsfaktoren (vgl. Kap. 3.3.2), die außerhalb des Datenbankbausteines vorgenommen wird, findet die Berücksichtigung der Einflussgrößen im Rahmen der Standardisierung im Datenbankbaustein statt. Alle Berechnungen werden hier vorgenommen. Sind alle Arbeitschritte in der vorgegebenen Reihenfolge und sachgerecht ausgeführt worden, ist am Ende der standardisierte Datensatz vorhanden und kann in den Rasterbaustein übernommen werden.

5.5 Ermittlung des Untersuchungsbedarfes

Das Verfahren zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten sieht bei Bedarf auch ergänzende Bodenuntersuchungen vor. Dabei sind zwei Fallunterscheidungen erforderlich. Auf der einen Seite muss sichergestellt sein, dass alle vorkommenden Kombinationen von Belastungsursachen in ihrer Aussage auch statistisch abgesichert sind. Auf der anderen Seite erfordert die flächenhafte Interpolation eine mehr oder weniger gleichmäßige Verteilung aller Messpunkte im Untersuchungsgebiet. Beide Fälle sind für jeden Stoff zu prüfen und entsprechend mit den bereits vorhandenen Untersuchungsergebnissen zu bilanzieren.

Ein Bedarf für zusätzliche Untersuchungen wird demnach stoffspezifisch festgestellt und besteht insbesondere in den Gebieten, die bisher nicht ausreichend beprobt worden sind, für die nicht ausreichend Messergebnisse vorliegen oder für die nach einem Vergleich der geschätzten Stoffgehalte mit Hintergrundwerten eine hohe Belastung nachgewiesen wurde.

Um diesen Bedarf räumlich sichtbar machen zu können, werden zwei Karten miteinander verschnitten. Gebiete, die unzureichend untersucht sind, weisen auch eine unzureichende Schätzgüte auf. Gebiete mit einer hohen stoffspezifischen Bodenbelastung sind die Gebiete, deren geschätzte Stoffgehalte über dem 90. Perzentil der regionalen oder lokalen Hintergrundwerte für diesen Stoff liegen. Verwendet werden die Arbeitskarte „Schätzgüte“ und die Auswertungskarte „Hintergrundwerte-Vergleich“, die entsprechend einer Bewertungsmatrix (Tab. 4) miteinander kombiniert werden.

Tab. 4: Matrix zur Ermittlung des Untersuchungsbedarfes

Schätzgüte	**geschätzte Stoffgehalte** *(bewertet nach Hintergrundwerten)*		
	gering	mittel	hoch
hoch	gering	gering	mittel
mittel	gering	mittel	hoch
gering	mittel	hoch	hoch

Es entsteht die Arbeitskarte „Untersuchungsbedarf“. Diese Arbeitsschritte führt der Rasterbaustein selbstständig durch. Das System hält die Hintergrundwerte für alle Stoffe nicht differenziert nach siedlungsstrukturellen Gebietstypen vor. Weitere Eingabemöglichkeiten bestehen.

Es ist zweckmäßig, die Ermittlung des Untersuchungsbedarfes an den Stoffen zu orientieren, für die nur wenige Entnahmestandorte oder Messwerte vorliegen. Das sind in der Regel die PAK oder PCB, in wenigen Fällen auch einzelne Schwermetalle wie Arsen, Nickel, Quecksilber oder Thallium. Diese Metalle wurden bisher nicht im Rahmen der Klärschlammverwertung untersucht.

Als Minimum-Anforderung sollte pro 4 qkm , d.h. pro Blatt Deutsche Grundkarte (DGK 5) mindestens eine Probenahmestelle vorliegen. Bei Interpolationsradien von 2 – 3 km stellt diese Anforderung ein statistisches Minimum dar, weil die Lage der Entnahmestandorte, insbesondere wenn Daten aus älteren Untersuchungsprogramme mit ganz anderen Zielsetzungen verwendet werden, für diesen Zweck nicht immer optimal ist. Es entstehen dann unter Umständen größere Lücken, für die keine Aussagen gemacht werden können.

Als Beispiel seien Bodendaten angeführt, die im Rahmen der Klärschlammverwertung erhoben worden sind. Sie liefern für ein Untersuchungsgebiet von 250 km² 200 Probenahmestellen. Rechnerisch gesehen ist die Minimumanforderung damit erfüllt. Allerdings beziehen sich die Daten nur auf Ackerböden, die im gewählten Beispiel nur in einem Drittel des Untersuchungsgebietes auftreten. Die übrige Fläche ist durch Grünlandwirtschaft oder Forstwirtschaft geprägt, wofür wiederum nur einzelne Untersuchungsergebnisse vorhanden sind.

In diesen Fall besteht trotz der recht hohen Zahl an Probenahmestellen immer noch ergänzender Untersuchungsbedarf.

So ist im zweiten Schritt immer zu prüfen, ob für alle - räumlich auch relevanten - Belastungskombinationen (homogene Raumeinheiten) ausreichend Daten vorliegen. Als Minimum sollten 10 Probenahmestellen pro Kombination vorhanden sein.

In dem genannten Beispiel kann das bedeuten, dass beispielsweise bei Vorliegen von zwei verschiedenen oberflächennahen Gesteinen mit Grünland und Wald maximal noch 40 weitere Probenahmestellen erforderlich sind. Die Anzahl der Proben erhöht sich diesem Fall, da an Waldstandorten zwei Proben entnommen werden (Oberboden und Auflage).

Nach erfolgter stoffspezifischer Bilanz der genannten Fälle (vgl. Messnetzplanung in den DV-Werkzeugen) werden die Ergebnisse tabellarisch zusammengestellt. Unter sachlichen, organisatorischen und finanziellen Aspekten kann dann die Gesamtzahl der

ergänzend zu untersuchenden Probenahmestellen und die daraus folgende Probenanzahl abgeleitet werden. Die Probenahmestellen sind entsprechend diesem Ergebnis im Untersuchungsgebiet festzulegen. Das geschieht im Rahmen der Messnetzplanung wieder stoffspezifisch unter Einbeziehung der jeweiligen Arbeitskarte „Untersuchungsbedarf“.

5.6 Messnetzplanung und ergänzende Untersuchungen

5.6.1 Messnetzplanung

Ziel der Messnetzplanung auf Grundlage der stoffspezifischen Arbeitskarten „Untersuchungsbedarf“ ist die Verdichtung der Probenahmestellen in bisher wenig untersuchten Gebieten oder in Gebieten, für die eine hohe Belastung ausgewiesen wurde. Sie wird für alle Stoffe oder Stoffgruppen rechnergestützt mithilfe der BBK-Tools vorgenommen. Es soll ein optimales Beprobungsnetz entstehen.

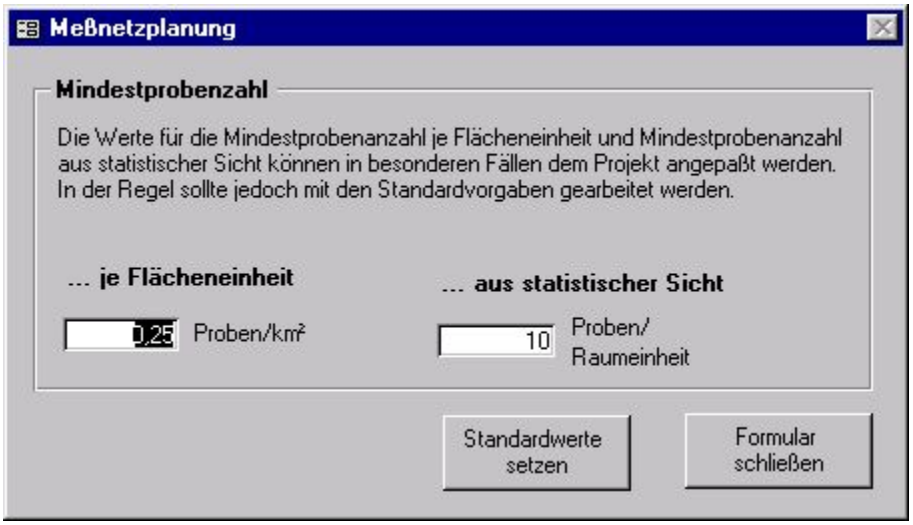


Abb. 9: Festlegung der Mindestprobenzahl im Datenbankbaustein (Bildschirmprint)

Zunächst kann im Datenbankbaustein die Mindestprobenanzahl für das Untersuchungsgebiet festgelegt werden (Abb. 9). Liegen keine Untersuchungsergebnisse vor, kann im Datenbankbaustein eine „Erstbeprobungsdatenbank“ angelegt werden.

Die Standardwerte sind je Flächeneinheit mindestens 0,25 Proben pro km² und aus statistischer Sicht 10 Proben pro Raumeinheit. Eine homogene Raumeinheit ist die räumliche Abbildung der Kombinationen der verschiedenen Belastungsursachen im Untersuchungsgebiet. Die homogenen Raumeinheiten sind hinsichtlich ihrer Nutzung, ihrer oberflächennahen Gesteine und ihrer Lage innerhalb oder außerhalb eines Überschwemmungsgebietes einheitlich (homogen). Sie werden im Rasterbaustein im Menü „Messnetzplanung“ durch die Verschneidung der Arbeitskarten Schwermetallgrundgehalte oberflächennahe Gesteine (nur für Schwermetalle), Nutzungsarten und Über-

schwemmungsgebiete gebildet. Sind diese Arbeitskarten bereits um die Ausschussflächen (z.B. Altlasten- und Wasserflächen) reduziert, gibt der Rasterbaustein die Größe der Flächen des tatsächlichen Untersuchungsbedarfes an. Bei Bedarf können auch mehr als 10 Probenahmestellen festgelegt werden.

Für die Ausweisung von Flächen mit geringem, mittlerem bzw. hohem Untersuchungsbedarf wird die Arbeitskarte „Untersuchungsbedarf“ eines Referenzparameters mit der Karte der homogenen Raumeinheiten verschnitten. Der Referenzparameter wird vom Bearbeiter ausgewählt und sollte ein für das Untersuchungsgebiet typisches Ergebnis in der Arbeitskarte „Untersuchungsbedarf“ repräsentieren. Es werden drei Kategorien erzeugt: Flächen der homogenen Raumeinheiten mit hohem, mittlerem und geringem Untersuchungsbedarf.

Danach kann im Datenbankbaustein für diesen Stoff eine Bilanz der Raumeinheiten über schon vorhandene Proben bzw. die noch fehlenden Proben abgerufen werden (Abb. 10). Die Bilanz erfolgt für jede Raumeinheit, differenziert in Anteile mit geringem, mittlerem und hohem Untersuchungsbedarf und Angabe über die Anteile an der Gesamtfläche des Untersuchungsgebietes. **In ihrer Größe unbedeutende Raumeinheiten können von der Beprobung ausgeschlossen werden.** Des weiteren kann in diesem Dialog die endgültige Anzahl der noch benötigten Proben für die einzelnen homogenen Raumeinheiten und in der Addition auch für das Gesamtgebiet festgelegt werden.

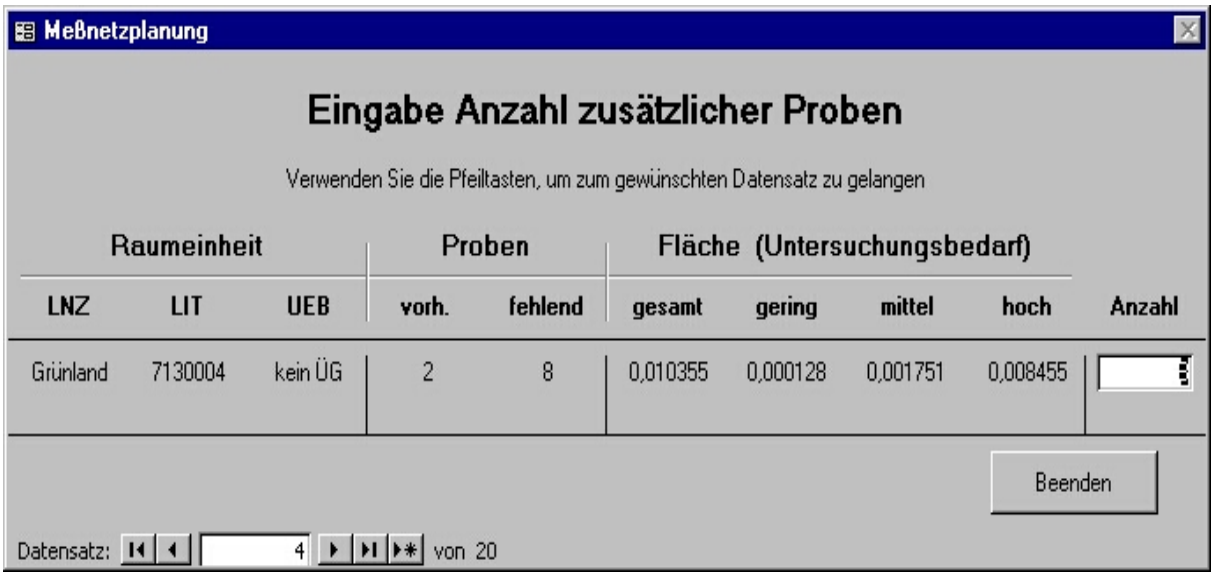


Abb. 10 Bilanzierung der Raumeinheiten nach fehlenden Proben und Untersuchungsbedarf (Bildschirmprint)

Nach diesen Arbeitsschritten erfolgt die Festlegung der Probenahmestellen für die ergänzenden Untersuchungen, die im Rasterbaustein durchgeführt wird. Empfehlenswert ist es, das Verfahren durch gleichzeitiges Einblenden der jeweiligen DGK 5-Blätter sowie der vorhandenen Probenahmestellen zu unterstützen. So ist eine optimale Orientierung im Raum und genaues Setzen der Probenahmestellen gewährleistet. Der Anwender geht nun alle noch zu beprobenden Raumeinheiten durch und legt für die jeweils aktuell gewählte Raumeinheit die fehlenden Hauptprobenahmestellen und Ersatzprobenahmestellen durch Digitalisierung am Bildschirm fest.

Die Probenahmestellen werden unter Berücksichtigung folgender Prioritäten verteilt:

1. Flächen mit hohem Untersuchungsbedarf, vorzugsweise in Gebieten mit sehr schlechter Schätzgüte auf bisher nicht beprobten DGK 5-Blättern.
2. Flächen mit mittlerem Untersuchungsbedarf, vorzugsweise in Gebieten mit sehr schlechter Schätzgüte auf bisher nicht beprobten DGK 5-Blättern.
3. Flächen mit geringem Untersuchungsbedarf in Gebieten mit sehr schlechter Schätzgüte auf bisher nicht beprobten DGK 5-Blättern.

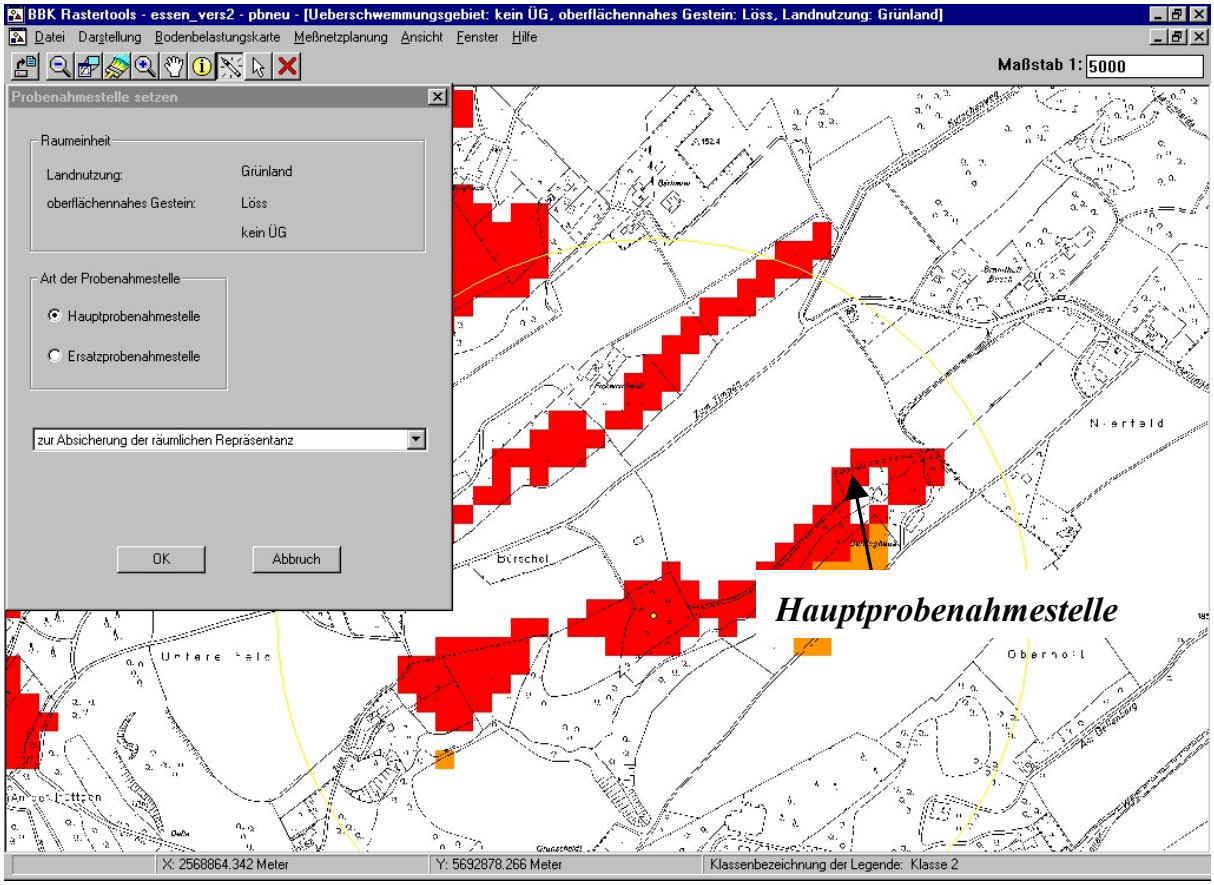


Abb. 11 Messnetzplanung mit den BBK-Rastertools (Bildschirmprint)

Durch eine entsprechende Vergrößerung des Kartenausschnittes am Bildschirm können die Punkte auf der DGK 5 sehr genau platziert werden. Für die großräumige Orientierung steht der eingeblendete Blattschnitt der DGK 5 zur Verfügung. Er dient als Hilfsraster und verhindert Häufungen von Probenahmestellen in Teilen des Untersuchungsgebietes. Die Haupt-Probenahmestellen werden durch ein grünes, die Ersatz-Probenahmestellen durch ein blaues Kreissymbol gekennzeichnet. Es wird zunächst die Haupt-Probenahmestelle und dann die Ersatz-Probenahmestelle gesetzt. In einem Dialog gibt der Anwender einen Hinweis auf die zugehörigen Haupt-Probenahmestelle (Abbildung 11).

Um den neu gesetzten Punkt (entspricht einer Probenahmestelle) wird ein Kreis mit einem Radius von 500 m gezeichnet, der den Hinweis auf genügend Abstand zu weiteren Probenahmestellen oder zu Rändern gibt. Der Benutzer hat die Möglichkeit, bereits gesetzte Punkte zu verschieben oder zu löschen. Für jede Raumeinheit werden so viele Probenahmestellen festgelegt, bis die Sollzahl (mind. 10 pro Raumeinheit) erreicht ist. Die neu gesetzten Probenahmestellen werden mit ihren Angaben über Nutzung, oberflächennahes Gestein und Überschwemmungsgebiet, die die homogene Raumeinheit charakterisieren, in die Datenbank geschrieben.

Die BBK-Tools sehen die interaktive Festlegung von Probennahmestellen durch den Bearbeiter am Bildschirm vor. Es soll an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass die Messnetzplanung nur von erfahrenen Fachleuten durchgeführt werden kann, die Arbeiten am PC nur unterstützend wirken können.

Nachdem die erforderlichen Probenahmestellen festgelegt sind, ist der nächste Schritt, die Lage der geplanten Haupt-Probenahme- und Ersatz-Probenahmestellen neben den schon vorhandenen Probenahmestellen in eine topografische Karte zu übertragen bzw. über ein GIS zu visualisieren. Mit diesen Informationen können dann bei den zuständigen Behörden die notwendigen Informationen eingeholt werden, um die Betretungsrechte für die Probeentnahme auf den Grundstücken einzuholen.

5.6.2 Ergänzende Untersuchung

Im Rahmen einer Überblicksbegehung werden die Probenahmestellen aufgesucht und auf ihre Eignung hin untersucht bzw. geprüft. Nur wenn die ausgewählten Voraussetzungen (Bodennutzung, oberflächennahes Gestein, Lage im Überschwemmungsgebiet) für richtig befunden wurden, wird die Probenahmestelle endgültig festgelegt und Proben entnommen.

Für die Probenahme, Probenaufbereitung und Analytik werden einheitliche Arbeitsschritte und Methoden angewandt. Sie sind im Anhang II „Leitfaden für die Probenahme und Analytik von Böden“ dokumentiert.

6 Anwendungen

6.1 Visualisierung der Ergebnisse

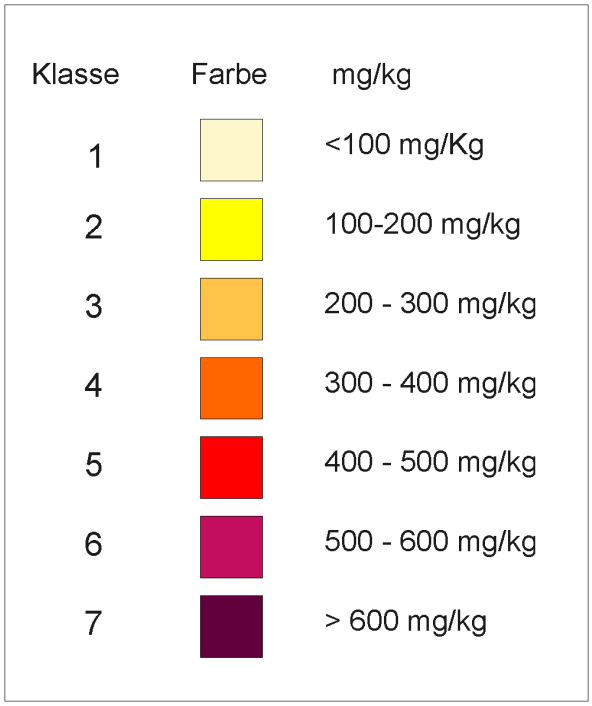
Nach Abschluss aller Arbeiten liegen rund 70 digitale Karten vor, die nun für Anwendungen zur Verfügung stehen. Sie sind in dem Rasterbaustein in den angelegten Teilprojekten übersichtlich und eindeutig abgelegt. Sie können hier ebenfalls visualisiert werden. Möglich sind auch kombinierte Darstellungen mit Abgrenzungen aus den Vektordaten oder den erzeugten Arbeitskarten sowie topografischen Karten. Besonders hilfreich ist die Möglichkeit, sich auch alle Probenahmestellen anzeigen zu lassen. Das Werkzeug selbst verfügt über stufenlose Vergrößerungs- bzw. Verkleinerungsfunktionen. Daneben kann der gewünschte Maßstab der Darstellung auch direkt individuell eingegeben werden.

Eine Ausgabe der Karten auf einem Drucker ist in dem Rasterbaustein nicht vorgesehen. Er verfügt daher über eine Exportfunktion. So können alle erzeugten Karten in andere GIS-Werkzeuge exportiert und diesen zur Verfügung gestellt und dann ausgedruckt werden. Dann sind auch Darstellungen verschiedener Stoffe über- oder nebeneinander möglich sowie Kombinationen mit weiteren Informationen zur weiteren Auswertung.

In erster Linie wird die stoffspezifische **Ergebniskarte „geschätzte Stoffgehalte“** für alle weiteren Auswertungen herangezogen. In ihr ist die flächenhafte Verbreitung des einzelnen Stoffes dargestellt. Die Erscheinungsform der Ergebniskarte hängt ganz entscheidend von der Gestaltung der Legende der Karte ab. Die Karte selbst besteht aus einzelnen Rasterzellen mit 25 x 25 Quadraten. Jedem Quadrat ist ein geschätzter Wert zugeordnet. Um diese Werte in ihrer räumlichen Verteilung in der Karte darstellen zu können, müssen Werteklassen gebildet werden. Diese können ganz unterschiedlich sein. Generell gilt, je mehr Klassen gebildet werden, umso differenzierter wird die räumliche Verteilung dargestellt. Allerdings ist zu beachten, dass bei einer sehr differenzierten Darstellung, die Wirkung der Karte eher verwirrend als erklärend sein kann.

Als Beispiel sei die Ergebniskarte für Blei genannt. Liegen die Bleiwerte für Oberböden in einer Gemeinde zwischen 60 und 375 mg/kg, dann sehen die Standardeinstellungen der Rastertools für diesen Stoff eine Einteilung in sieben Klassen vor, und zwar mit einer Klassenbreite von 100 mg/kg (Tab. 5).

Tab. 5: Beispielhafte Klassifizierungen der Bleigehalte (mg/kg) in der Ergebniskarte „geschätzte Stoffgehalte“



Wird dagegen eine ebenfalls siebenstufige Klasseneinteilung mit einer Klassenbreite von nur 50 mg/kg gewählt, sieht die Karte völlig anders aus. Es ist zu beachten, dass die Ergebniskarte für Blei keine Bewertungen enthält, sondern die geschätzten Stoffgehalte nur räumlich darstellt. Aus- oder Bewertungen dieser Ergebnisse können erst in weiteren Schritten erfolgen. Der Rasterbaustein liefert mit der Auswertungskarte „Hintergrundwerte-Vergleich“ bereits eine mögliche Bewertung der Ergebnisse.

Der Rasterbaustein hält Standard-Klassifikationen für Cd, Cu, Hg, Pb, Zn und B(a)P vor. Für die Auswertungskarte „Hintergrundwerte-Vergleich“ werden Hintergrundwerte für die Stoffe Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, B(a)P, PCB und PCDD/F für die verschiedenen Nutzungen vorgehalten.

6.2 Anwendungsbereiche

Digitale Bodenbelastungskarten sollen die auf Grund des Bodenschutzrechtes anfallenden Aufgaben bzgl. der stofflichen Belastung von Böden, z.B. zum Umgang mit schädlichen Bodenveränderungen, vorbereiten. Bodenbelastungskarten können damit insbesondere auch als Grundlage für Prioritätssetzungen der weiteren Bearbeitung von Einzelfällen herangezogen werden, um der Sollvorschrift zum „Ergreifen der geeigneten Maßnahmen" durch die zuständige Behörde nach § 9 Abs. 1 BBodSchG gerecht zu werden. Darüber hinaus können digitale Bodenbelastungskarten Informationen für bodenrelevante Planungs- und Genehmigungsverfahren sowie für Fragen der Abfallverwertung bereitstellen.

Im Einzelnen ergeben sich insbesondere folgende Anwendungsbereiche:

1. Abgrenzung von Gebieten einheitlicher Hintergrundwerte,
2. Ermittlung und Abgrenzung von Gebieten, in denen die Vorsorgewerte nach Anhang 2 Nr. 4 BBodSchV überschritten sind,
3. Ermittlung und Abgrenzung von Gebieten im Hinblick auf das Auf- und Einbringen von Materialien nach § 12 BBodSchV,
4. Ermittlung und Abgrenzung von Gebieten, die für die Verwertung von Abfällen nach BioAbfV und AbfKlärV geeignet sind,
5. 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,
6. Beurteilung der stofflichen Bodenbelastung im Einflussbereich von Emittenten (z.B. geplante Anlagen nach UVPG),
7. Ursachenbezogene Bewertung von Einzelflächen anhand von Hintergrundwerten,
8. Ermittlungen zur Erfassung von schädlichen Bodenveränderungen und Verdachtsflächen nach § 5 LbodSchG und deren Abgrenzung,
9. Abwägungs- und Kennzeichnungsgrundlage für besonders belastete Böden im Rahmen der Bauleitplanung nach §§ 1, 5 und 9 BauGB.

Die wesentliche Grundlage für die genannten Anwendungsbereiche ist die als Ergebnis der räumlichen Interpolation erstellte stoffspezifische **Ergebniskarte „geschätzte Stoffgehalte"** (Kap. 4.1), in der für jeden Stoff der geschätzte Stoffgehalt flächendeckend dargestellt wird. Durch weitergehende Auswertungen können diese Ergebnisse für die o.g. Anwendungsbereiche genutzt und in Form von **Auswertungskarten** dargestellt werden. Tab. 6 nennt die für jeden Anwendungsbereich heranzuziehenden Auswertungskarten.

Tab. 6: Anwendungsbereiche und Auswertungskarten digitaler Bodenbelastungskarten

Anwendungsbereiche	heranzuziehende Auswertungskarten
1. Abgrenzung von Gebieten einheitlicher Hintergrundwerte	„Hintergrundwerte-Vergleich“
2. Ermittlung und Abgrenzung von Gebieten, in denen Vorsorgewerte überschritten sind	„Vorsorgewerte-Vergleich“
3. Ermittlung und Abgrenzung von Gebieten im Hinblick auf das Auf- und Einbringen von Materialien nach § 12 BBodSchV	„Vorsorgewerte-Vergleich“
4. Ermittlung und Abgrenzung von Gebieten, die für die Verwertung von Abfällen nach BioAbfV und AbfKlärV geeignet sind	„Vorsorgewerte-Vergleich“
5. Ermittlung und Abgrenzung von Gebieten mit geogenen/ naturbedingt oder siedlungsbedingt erhöhten Stoffgehalten	„geogene Vorbelastung“
6. Beurteilung der stofflichen Bodenbelastung im Einflussbereich von Emittenten (z.B. geplanten Anlagen nach UVPG)	„Hintergrundwerte-Vergleich“
7. Ursachenbezogene Bewertung von Einzelflächen anhand von Hintergrundwerten	„Hintergrundwerte-Vergleich“
8. Ermittlungen zur Erfassung von schädlichen Bodenveränderungen und Verdachtsflächen nach § 5 LbodSchG und deren Abgrenzung	„Verdachtsflächen“
9. Abwägungs- und Kennzeichnungsgrundlage für besonders belastete Böden im Rahmen der Bauleitplanung	„Verdachtsflächen“

Erläuterung der Auswertungskarten:
„Hintergrundwerte-Vergleich“: Karte der Gebiete einheitlicher lokaler Hintergrundwerte
„Vorsorgewerte-Vergleich“: Karte der Gebiete mit der Besorgnis des Entstehens schädlicher Bodenveränderungen
„ geogene Vorbelastung“: Karte der Gebiete mit geogen/ naturbedingt erhöhten Schadstoffgehalten
„Verdachtsflächen“: Karte der Flächen mit dem Verdacht schädlicher Bodenveränderungen

Nachfolgend werden dazu die einzelnen Auswertungsschritte beschrieben. Zu beachten ist, dass es sich bei den Auswertungen um mittelmaßstäbliche Darstellungen und Abschätzungen auf Grund von Interpolationen handelt, die im Hinblick auf Einzelanordnungen weitergehende Konkretisierungen im Einzelfall erfordern.

6.2.1 Abgrenzung von Gebieten einheitlicher Hintergrundwerte

Lokale Hintergrundwerte können von der zuständigen Behörde für ein Untersuchungsgebiet oder Teilgebiete anhand der Ist-Belastung und einer nachfolgenden statistischen Auswertung (z. B. durch die Berechnung der 50. und 90. Perzentilwerte) für verschiedene Nutzungen ermittelt werden. Anhand dieser Werte können die Daten aus der **Ergebniskarte „geschätzten Stoffgehalte“** (vgl. Kap. 4.1) klassifiziert und Gebiete mit Unter- oder Überschreitungen lokaler Hintergrundwerte abgegrenzt und in der **Auswertungskarte „Hintergrundwerte-Vergleich“** dargestellt werden.

6.2.2 Ermittlung und Abgrenzung von Gebieten, in denen die Vorsorgewerte nach Anhang 2 Nr. 4 BBodSchV überschritten sind

Nach § 7 Abs. 1 BBodSchG sind Grundstückseigentümer und Nutzer von Böden verpflichtet, Vorsorge gegen das Entstehen schädlicher Bodenveränderungen zu treffen, die durch Ihre Nutzung auf dem Grundstück oder in dessen Einwirkungsbereich hervorgerufen werden können. Das Entstehen schädlicher Bodenveränderungen ist nach § 9 BBodSchV in der Regel zu besorgen, wenn Schadstoffgehalte im Boden gemessen werden, die die in Anhang 2 Nr. 4 BBodSchV genannten Vorsorgewerte überschreiten.

Aus den genannten Gründen sind Gebiete, in denen die Vorsorgewerte für die in Anhang 2 Nr. 4 genannten Stoffe überschritten sind, zu ermitteln und darzustellen. Da die Vorsorgewerte nach Bodenart, pH-Wert und Humusgehalt differenziert sind, muss zunächst für jeden Stoff neben der **Ergebniskarte „geschätzte Stoffgehalte“** eine Arbeitskarte „Vorsorgewerte“ vorliegen, in der für alle Flächen die stoffspezifischen Vorsorgewerte dargestellt sind.

Zur Erstellung der Arbeitskarte „Vorsorgewerte“ sind Informationen über die Humusgehalte, die pH-Werte und Bodenarten aus den A-Horizonten (da nur dieser Teil des Mineralbodens im Rahmen der digitalen Bodenbelastungskarte betrachtet wird) erforderlich. Die Vorsorgewerte für Metalle nach Anhang 2 Nr. 4.1 sind nach Bodenartenhauptgruppen (Ton, Lehm/ Schluff, Sand) und pH-Werten abgestuft. Sie gelten nur für Böden mit Humusgehalten ≤ 8%. Für Böden mit Humusgehalten > 8% gelten nach Anhang 2 Nr. 4.3 Buchstabe d die Vorsorgewerte für Metalle nicht. Auf Grund der Erkenntnisse über Hintergrundwerte sollten daher

- für Acker- und Grünlandböden die Vorsorgewerte für Metalle um den Faktor 2 erhöht werden (Ausnahme Quecksilber, da der doppelte Vorsorgewerte für die Bodenart Ton dem Prüfwert für Quecksilber entspricht) und
- für Waldböden die Vorsorgewerte für Blei, Kupfer und Quecksilber um den Faktor 2 erhöht werden. Diese Metalle werden in der organischen Auflage und dem Oberboden in besonderem Maße akkumuliert.

Die Vorsorgewerte für organische Stoffe nach Anhang 2 Nr. 4.2 sind bereits nach dem Humusgehalt (≤ bzw. >8%) differenziert.

Als weitere Datengrundlagen zur Erstellung der Arbeitskarte „Vorsorgewerte" sind für die Nutzungen Acker, Grünland, Parkfläche (wie Grünland) und Garten (wie Acker) die von den Landwirtschaftskammern im Rahmen der guten fachlichen Praxis empfohlenen Ziel-pH-Werte (LANDWIRTSCHAFTSKAMMER RHEINLAND 1994) sowie die Angaben zur Bodenart[1] (ggf. korrigiert durch vorliegende Angaben) heranzuziehen. Liegen keine Angaben zum Humusgehalt vor, sind für die genannten Nutzungen Humusgehalte von ≤ 8% anzunehmen.

Als Datengrundlagen für die Nutzung Wald sind die tatsächlich gemessenen pH-Werte und die Angaben zur Bodenart, vgl. Fußnote 1, (ggf. korrigiert durch vorliegende Angaben) heranzuziehen. Liegen keine Angaben zum pH-Wert vor, ist für Waldböden ein pH-Wert < 5,0 anzunehmen. Liegen keine Angaben zum Humusgehalt vor, ist für Waldböden ein Humusgehalt von > 8% anzunehmen.

Nach einer Verschneidung der **Ergebniskarte „geschätzten Stoffgehalte"** mit der Arbeitskarte „Vorsorgewerte" sind in der stoffspezifischen **Auswertungskarte „Vorsorgewerte-Vergleich"** die Gebiete zu ermitteln und abzugrenzen, in denen eine Überschreitung des Vorsorgewertes vorliegt. Dieser Arbeitsschritt ist für jeden zu betrachtenden Stoff durchzuführen. Anschließend sind durch Kombination der stoffspezifischen Auswertungskarten die Gebiete zu ermitteln und darzustellen, in denen mindestens für einen Stoff eine Überschreitung des Vorsorgewertes festgestellt wurde.

Die im Rahmen der o.g. Auswertung berücksichtigten Stoffe sind in der Legende der Auswertungskarte zu benennen.

6.2.3 Ermittlung und Abgrenzung von Gebieten im Hinblick auf das Auf- und Einbringen von Materialien nach § 12 BBodSchV

In § 12 BBodSchV werden Anforderungen an das Auf- und Einbringen von Materialien auf oder in den Boden geregelt. Das Auf- oder Einbringen von Materialien ist nach § 12 Abs. 2 u.a. zulässig, wenn nach den Schadstoffgehalten der Böden am Ort des Auf- oder Einbringens die Besorgnis des Entstehens schädlicher Bodenveränderungen nicht hervorgerufen wird, d.h. wenn die Vorsorgewerte der BBodSchV am Ort des Auf- oder Einbringens nicht überschritten werden.

Im Hinblick auf die Auf- und Einbringung von Bodenaushub kommt in diesem Zu-

---

[1] Die Zuordnung der Datensätze zu den Bodenartenhauptgruppen nach BBodSchV erfolgt auf Basis der Angaben zur Bodenart aus der digitalen Bodenkarte 1:50.000 (BK 50). Das GLA stellt diese Auswertung zur Verfügung (vgl. Kap. 3.3)

sammenhang auch der Beurteilung der Stoffgehalte der Böden am Entnahmeort besondere Bedeutung zu. Sofern nämlich am Entnahmeort die Vorsorgewerte gemäß Anhang 2 Nr. 4 BBodSchV unterschritten werden, besteht naturgemäß auch am Aufbringungsort nicht die Besorgnis des Entstehens schädlicher Bodenveränderungen. Umgekehrt ergeben sich in Gebieten mit Vorsorgewertüberschreitungen entsprechende Einschränkungen für das Auf- und Einbringen von Bodenmaterial gemäß § 12 Abs. 2 und Abs. 10 BBodSchV.

Insofern kann auch für diese Fragestellung die **Auswertungskarte „Vorsorgewerte-Vergleich“** als eine Entscheidungsgrundlage herangezogen werden.

Falls die geschätzten Stoffgehalte eines Gebietes deutlich unterhalb der Vorsorgewerte liegen und kein sonstiger Belastungsverdacht besteht, kann darüber hinaus davon ausgegangen werden, dass keine weiteren Untersuchungen, z. B. im Hinblick auf die in § 12 Abs. 3 BBodSchV geforderten Standortuntersuchungen hinsichtlich der stofflichen Bodenbelastung erforderlich sind.

6.2.4 Ermittlung und Abgrenzung von Gebieten, die für die Verwertung von Abfällen nach BioAbfV und AbfKlärV geeignet sind

Werden auf einer Fläche die nach § 9 Abs. 2 BioAbfV festgelegten Bodenwerte überschritten, soll die Aufbringung von Bioabfällen oder Gemischen nach § 9 Abs. 2 BioAbfV von der zuständigen Behörde untersagt werden. Da die Bodenwerte der BioAbfV weitgehend den Vorsorgewerten der BBodSchV entsprechen, kann zur Ermittlung und Abgrenzung von Gebieten mit Überschreitungen der Bodenwerte der BioAbfV die **Auswertungskarte „Vorsorgewerte-Vergleich“** herangezogen werden.

Im Hinblick auf die landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlamm sieht die AbfKlärV in § 4 Abs. 8 ebenfalls einzuhaltende Bodengrenzwerte vor, die allerdings z.T. erheblich von den Vorsorgewerten der BBodSchV abweichen. Im Vorgriff auf eine Anpassung der AbfKlärV an die BBodSchV ist aus fachlicher Sicht zu empfehlen, auch bezüglich einer Klärschlammverwertung in der Landwirtschaft die **Auswertungskarte „Vorsorgewerte-Vergleich“** als Entscheidungsgrundlage für oder gegen eine Klärschlammaufbringung heranzuziehen.

6.2.5 Ermittlung und Abgrenzung von Gebieten mit „geogen/ naturbedingt oder großflächig siedlungsbedingt“ erhöhten Stoffgehalten

Für Böden mit geogen/ naturbedingt oder großflächig siedlungsbedingt erhöhten Schadstoffgehalten werden in der BBodSchV an verschiedenen Stellen Ausnahmeregelungen getroffen:

- Die Besorgnis des Entstehens schädlicher Bodenveränderungen bei Überschreitung der Vorsorgewerte besteht nach § 9 Abs. 2 und 3 BBodSchV bei Böden mit

naturbedingt oder siedlungsbedingt erhöhten Schadstoffgehalten nur, wenn eine erhebliche Freisetzung von Schadstoffen oder zusätzliche Einträge nachteilige Auswirkungen auf die Bodenfunktionen erwarten lassen.

- Eine schädliche Bodenveränderung besteht nach § 4 Abs. 8 BBodSchV bei Überschreitung der Prüf- und Maßnahmenwerte nicht bei Böden, mit naturbedingt erhöhten Gehalten an Schadstoffen allein auf Grund dieser Gehalte, soweit diese Stoffe nicht durch Einwirkungen auf den Boden in erheblichem Umfang freigesetzt wurden oder werden. Bei Böden mit großflächig siedlungsbedingt erhöhten Schadstoffgehalten kann ein Vergleich dieser Gehalte mit den im Einzelfall ermittelten Schadstoffgehalten in die Gefahrenbeurteilung einbezogen werden.
- Eine Verlagerung von Bodenmaterial ist nach § 12 Abs. 10 BBodSchV in Gebieten mit erhöhten Schadstoffgehalten innerhalb des Gebietes zulässig, wenn die in § 2 Abs. 2 Nr. 1 und 3 Buchstabe b und c BBodSchG genannten Bodenfunktionen (d.h. die natürlichen Bodenfunktionen und die Nutzungsfunktionen als Fläche für Siedlung und Verkehr sowie als Standort für die land- und forstwirtschaftliche Nutzung) nicht zusätzlich beeinträchtigt werden und insbesondere die Schadstoffsituation am Ort des Aufbringens nicht nachteilig verändert wird.

Auch in der BioAbfV ist eine vergleichbare Ausnahmeregelung enthalten. Nach § 9 Abs. 4 BioAbfV kann das Aufbringen von Bioabfällen auf Böden mit Überschreitungen der Bodenwerte der BioAbfV (§ 9 Abs. 2) im Rahmen regionaler Verwertung bei geogen bedingt erhöhten Schwermetallgehalten von Böden zugelassen werden (Ausnahme: Cadmium).

Aus den genannten Gründen sind Gebiete mit erhöhten Schadstoffgehalten zu ermitteln und abzugrenzen.

Zur Ermittlung von Gebieten mit geogen/ naturbedingt erhöhten Gehalten an Schadstoffen können insbesondere die Arbeitskarte „Schwermetallgrundgehalte oberflächennaher Gesteine“ (als Auswertung der digitalen Bodenkarte 1:50.000 und der beim GLA vorgehaltenen Datenbank der Schwermetallgrundgehalte, vgl. Kap. 3.3) herangezogen werden. In Kombination mit weiteren Datengrundlagen könnten Gebiete, deren Böden auf Grund hoher Schwermetallgrundgehalte oberflächennaher Gesteine erhöhte Schadstoffgehalte aufweisen, ermittelt und in der **Auswertungskarte „geogene Vorbelastung“** abgegrenzt werden. Die dabei anzuwendende Methode befindet sich zurzeit noch in der Entwicklung.

Die Ermittlung und Abgrenzung der Gebiete mit großflächig siedlungsbedingt erhöhten Gehalten an Schadstoffen erfolgt auf Landesebene. Die dafür anzuwendende Methode wird derzeit entwickelt.

6.2.6 Beurteilung der stofflichen Bodenbelastung im Einflussbereich von Emittenten (z.B. geplante Anlagen nach UVPG)

Für die Beurteilung der stofflichen Belastung der Böden durch Emittenten können lokale Hintergrundwerte herangezogen werden. Weist die Ist-Belastung der Böden im Einflussbereich der Emittenten im Vergleich zu den lokalen Hintergrundwerten erhöhte Werte auf, kann dies auf den Emittenten als Verursacher der Bodenbelastung hindeuten. Die Arbeitskarte „standardisierte geschätzte Stoffgehalte“ (vgl. Kap. 4.1) kann zur weiteren Ursachenanalyse herangezogen werden.

Zur Bewertung der Umweltauswirkungen einer geplanten Anlage nach § 12 des Gesetzes über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG) können ebenfalls lokale Hintergrundwerte herangezogen werden. Angaben zur stofflichen Bodenbelastung im Beurteilungsgebiet der geplanten Anlage können der **Auswertungskarte „Hintergrundwerte-Vergleich“** entnommen werden.

6.2.7 Ursachenbezogene Bewertung von Einzelflächen anhand von Hintergrundwerten

Bei der ursachenbezogenen Bewertung von Einzelflächen beispielsweise von Verdachtsflächen und altlastverdächtigen Flächen können lokale Hintergrundwerte herangezogen werden. Dabei geht es vor allem um die Frage, ob die auf der zu beurteilenden Fläche ermittelten Stoffgehalte der Böden (z. B. einer altlastverdächtigen Fläche) sich aus dem Belastungsniveau ihrer Umgebung tatsächlich hervorheben oder ob die Stoffgehalte der zu beurteilenden Einzelfläche z. B. Folge einer über die Beurteilungsfläche hinausgehenden Belastungsursache (z.B. Immissionsbelastung) sind bzw. sein können. Entsprechende Angaben zu den lokalen Hintergrundwerten können der **Auswertungskarte „Hintergrundwerte-Vergleich“** entnommen werden.

Lokale Hintergrundwerte können nach § 4 Abs. 8 BBodSchV auch in die Gefahrenbeurteilung einbezogen werden, wenn bei Böden großflächig siedlungsbedingt erhöhte Schadstoffgehalte vorliegen

6.2.8 Ermittlungen zur Erfassung von schädlichen Bodenveränderungen und Verdachtsflächen nach § 5 LbodSchG und deren Abgrenzung

Nach § 5 Abs. 1 LbodSchG erfassen die unteren Bodenschutzbehörden schädliche Bodenveränderungen und Verdachtsflächen. Zu ermitteln sind hierbei auch Angaben zu möglichen Gefährdungen. Hierfür ist **Ergebniskarte „geschätzte Stoffgehalte“** im Hinblick auf die wirkungspfad- und nutzungsdifferenzierten Prüf- und Maßnahmenwerte des Anhanges 2 der BBodSchV auszuwerten (vgl. § 4 Abs. 2 BBodSchV).

Für den Wirkungspfad Boden/ Mensch sind in Anhang 2 Nr. 1 für verschiedene Nutzungen Prüf- und Maßnahmenwerte (Maßnahmenwerte nur für Dioxine/ Furane) ent-

halten. Da digitale Bodenbelastungskarten im Wesentlichen für die Nutzungen Acker, Grünland und Wald im Außenbereich erstellt werden, sind die für den Wirkungspfad Boden/ Mensch genannten Nutzungen nur in Einzelfällen (z.B. für große Parkflächen) zu beurteilen.

Für den Wirkungspfad Boden/ Pflanze sind in Anhang 2 Nr. 2 für Ackernutzung Prüf- und Maßnahmenwerte, für Grünlandnutzung ausschließlich Maßnahmenwerte enthalten. Vor dem Hintergrund der verfolgten Zielsetzung, nämlich der Ermittlung von Verdachtsflächen und den unterschiedlichen Rechtsfolgen einer Prüfwert- bzw. Maßnahmenwertüberschreitung, erscheint es gerechtfertigt, im Falle von Maßnahmenwerten diese nicht in voller Höhe für einen Vergleich heranzuziehen, sondern nur einen Bruchteil davon (z. B. 50 %).

Soweit Prüf- oder Maßnahmenwerte für Ackernutzung mit Ammoniumnitrat als Extraktionsverfahren angegeben sind (Cadmium, Blei und Thallium), sind diese für den Vergleich mit den in der **Ergebniskarte „geschätzte Stoffgehalte"** angegebenen und mittels Königswasseraufschluss ermittelten Gesamtgehalten hilfsweise ebenfalls in Gesamtgehalte umzurechnen. Liegen für die Umrechnung keine aus vorhandenen Bodenuntersuchungsergebnissen ableitbaren gebietsspezifischen Umrechnungsformeln vor, sind folgende aus einem NRW-weiten Bodenuntersuchungsprogramm (LIEBE et al. 1997) ermittelten allgemeinen Umrechnungsformeln anzuwenden (Me_{KW}=königswasserextrahierbarer Gesamtschwermetallgehalt des Bodens; Me_{AN}=ammoniumnitratextrahierbarer Schwermetallgehalt):

- Blei: $$\log Pb_{KW}\,[mg/kg] = \frac{\log Pb_{AN}\,[mg/kg] + 0{,}614\,pH - 1{,}03}{0{,}760}$$

- Cadmium: $$\log Cd_{KW}\,[mg/kg] = \frac{\log Cd_{AN}\,[mg/kg] + 0{,}466\,pH - 0{,}99}{0{,}943}$$

Bei der Umrechnung gemäß o. g. Formeln sind zusätzlich Vorgaben zum anzunehmenden pH-Wert der Böden zu treffen. Dabei sind die von den Landwirtschaftskammern angegebenen Ziel-pH-Werte (Landwirtschaftskammer Rheinland 1994) heranzuziehen. Nachfolgend sind entsprechende Umrechnungen angegeben.

Stoff	mobile Gehalte (mg/ kg)	umgerechnet auf Gesamtgehalte (mg/kg) bei Ziel-pH-Wert		
		5,5	6,0	6,5
Pb	0,1	60	150	380
Cd*	0,05	2	3,5	6

*Für Cadmium wurde der Maßnahmenwert der BBodSchV für den Pfad Boden-Pflanze von 0,1 mg/kg - wie im Text erläutert - nur zu 50% berücksichtigt.

Eine Methodik zur Betrachtung des Wirkungspfades Boden/ Grundwasser steht zurzeit noch nicht zur Verfügung, da die Prüfwerte in Anhang 2 Nr. 3 BBodSchV zur Beurteilung dieses Pfades als Sickerwasserkonzentrationen angegeben sind und noch kein allgemein gültiger Algorithmus zur Umrechnung auf die in der **Ergebniskarte „geschätzte Stoffgehalte"** angegebenen Boden-Gesamtgehalte (Königswasseraufschluss) vorliegt. Sobald hierzu Umrechnungsfunktionen angegeben werden können, ist insbesondere ein Vergleich der geschätzten Stoffgehalte mit den Prüfwerten für die Nutzung Wald im Hinblick auf eine Verlagerung von Schadstoffen aus Wald-Oberböden in das Grundwasser von Bedeutung.

Zur Erfassung und Abgrenzung von Verdachtsflächen auf schädliche Bodenveränderungen ist für jeden zu betrachtenden Wirkungspfad und Stoff ein Vergleich der Daten aus der **Ergebniskarte „geschätzte Stoffgehalte"** mit den Prüf- und Maßnahmenwerten der BBodSchV unter Berücksichtigung der o.g. Umrechnungen durchzuführen. Dafür wird zunächst die stoffspezifische Arbeitskarte „Prüf- oder Maßnahmenwerte" benötigt, in der für jede Fläche die Prüf- und Maßnahmenwerte der BBodSchV angegeben sind. Durch eine Kombination der **Ergebniskarte „geschätzte Stoffgehalte"** mit den stoffspezifischen Arbeitskarten „Prüf- oder Maßnahmenwerte" wird die **Auswertungskarte „Verdachtsflächen"** erzeugt. Sie enthält für jeden zu betrachtenden Stoff die Abgrenzungen der Flächen, für die möglicherweise eine Überschreitung der Prüf- oder Maßnahmenwerte ermittelt wurde. Anschließend sind durch Kombination der stoffspezifischen Auswertungskarten die Flächen zu ermitteln und darzustellen, in denen mindestens für einen Stoff eine Überschreitung der Prüf- oder Maßnahmenwerte festgestellt wurde.

Die im Rahmen der o.g. Auswertung berücksichtigten Stoffe sind in der Legende der Auswertungskarte zu benennen.

6.2.9 Abwägungs- und Kennzeichnungsgrundlage für besonders belastete Böden im Rahmen der Bauleitplanung nach §§ 1, 5 und 9 BauGB

Im Bauleitplanverfahren gilt sowohl für Bebauungspläne als auch für sogenannte Vorhaben- und Erschließungspläne das bauplanungsrechtliche Abwägungsgebot, nach dem u.a. auch ”gesunde Wohn- und Arbeitsverhältnisse” zu gewährleisten und damit auch Bodenbelastungen zu berücksichtigen sind. Zudem sollen im Flächennutzungsplan die für bauliche Nutzungen vorgesehene Flächen und alle im Geltungsbereich eines Bebauungsplans gelegenen Flächen, deren Böden erheblich mit umweltgefährdenden Stoffen belastet sind, gekennzeichnet werden. Zweck dieser Kennzeichnung ist eine „Warnfunktion“ für die jeweiligen weiteren Planungsstufen.

Im Hinblick auf die Berücksichtigung von Bodenbelastungen bzw. von Flächen mit Bodenbelastungsverdacht in der Bauleitplanung ist die **Ergebniskarte „geschätzte Stoffgehalte“** weitergehend auszuwerten. Eine Einschränkung ergibt sich allerdings aus dem verwendeten Maßstab. Bodenbelastungskarten werden in der Regel im Maßstab 1: 50 000 erstellt. Karten bzw. Auswertungen dieses Maßstabes eignen sich allerdings für den Einsatz im Rahmen der Bauleitplanung nur eingeschränkt.

Für die Bauleitplanung sind insbesondere die nutzungsdifferenzierten Prüf- und Maßnahmenwerte der BBodSchV für die Wirkungspfade Boden-Mensch und Boden-Nutzpflanze als Beurteilungsmaßstäbe zur Feststellung eines konkreten Bodenbelastungsverdachtes im Plangebiet heranzuziehen. Im Einzelnen ist wie folgt zu verfahren:

- In Abhängigkeit von der geplanten Flächennutzung sind die beurteilungsrelevanten Einwirkungspfade zu bestimmen.
- Die wirkungspfadspezifischen Beurteilungsmaßstäbe sind Anhang 2 der BBodSchV zu entnehmen. Handelt es sich dabei um Maßnahmenwerte, so ist vom Vorliegen eines Bodenbelastungsverdachts bereits dann auszugehen, wenn der Schadstoffgehalt im Boden der Beurteilungsfläche 50% des Maßnahmenwertes übersteigt.
- Soweit Prüf- oder Maßnahmenwerte für den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze in Nutzgärten nach Anhang 2 Nr. 2.2 BBodSchV mit Ammoniumnitrat als Extraktionsverfahren angegeben sind (Cadmium, Blei und Thallium), sind diese für den Vergleich mit den in der **Ergebniskarte „geschätzte Stoffgehalte”** angegebenen, mittels Königswasseraufschluss ermittelten Gesamtgehalten hilfsweise ebenfalls in Gesamtgehalte umzurechnen (Einzelheiten des Vorgehens siehe Kap. 6.2.8). Bei der Umrechnung gemäß der dort genannten Formeln ist von einem anzunehmenden pH-Wert von 6,0 für Nutzgärten auszugehen.

Da bei der Beurteilung einer Fläche zusätzlich eine Orientierung an der Hintergrundbelastung der Böden geboten sein kann, ist dafür zusätzlich die Auswertungskarte „Hintergrundwerte-Vergleich“ auf Grundlage der regionalen Hintergrundwerte (vgl. Kap. 4.1) heranzuziehen.

7 Literatur

AbfKlärV (1992): Klärschlammverordnung vom 15. April 1992.- BGBl., Teil I, S. 912-934.

AD-HOC-ARBEITSGRUPPE BODEN (1996): Anleitung zur Entnahme von Bodenproben. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und den staatlichen Geologischen Diensten in der Bundesrepublik Deutschland: Geologisches Jahrbuch, Reihe G, Heft 1, S. 3 - 34.

AG BODENKUNDE der Geologischen Landesämter und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in der BRD (1996): Bodenkundliche Kartieranleitung.- 4. Aufl., 392 S.

AGATZ, K.; BALLER, T., & P. REINIRKENS (1998): Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten - Ergebnis- und Erfahrungsbericht; Hrsg: Landesumweltamt NRW, 83 S.

AKIN, H. (1992): Möglichkeiten und Grenzen der geostatistischen Verfahren in der Praxis; dargestellt am Beispiel einer Roll-Front-Uranerzlagerstätte. In: PESCHEL, G.J. (Hrsg.): Anwendung geostatistischer Verfahren. Beiträge zur Mathematischen Geologie und Geoinformatik, Band 3, Verlag Sven von Loga, S.61-71.

BBodSchG (1998): Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz - BBodSchG) vom 17. März 1998. Bundesgesetzblatt, Teil I, Nr. 16, 502-510.

BBodSchV (1999): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung vom 12. Juli 1999. Bundesgesetzblatt, Teil I, Nr. 36, 1554-1582.

BLUHM, M. (1998): Optimierung der Erfassung von Geländedaten für Umweltinformationssysteme, IfGIprints. Hrsg.: Werner Kuhn und Ulrich Streit, Institut für Geoinformatik, Westfälische Wilhelmsuniversität, Münster, Verlag Natur & Wissenschaft, Solingen, 178 S.

BLUHM, M., REINIRKENS, P. (1995): Digitale Bodenbelastungskarten - 1. Teilprojekt. Abschlußbericht. Hrsg.: Landesumweltamt NRW. 101 S. + Anhang.

BUND-/LÄNDER-ARBEISGRUPPE „BZE“ (1994): Bundesweite Bodenzustandserhebung im Wald (BZE). Arbeitsanleitung.- Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. 141 S., Bonn.

DELSCHEN, T., & J. LEISNER-SAABER (1995): Leitfaden für die Durchführung eines länderübergreifenden Untersuchungsprogramms zum Schwermetalltransfer Boden-Pflanze.- AK „Bodenbelastung“ der Länderarbeitsgemeinschaft Boden, ad-hoc AG „Schwermetalltransfer Boden-Pflanze“. Hrsg.: Landesumweltamt NRW (Stand März 1995); 14 S., Essen.

DOMINIK, P. & A. PAETZ (1995): Methodenhandbuch Bodenschutz I. Hrsg.: Umweltbundesamt. Texte 10/95. 191 S.

FAUTH. H. et al. (1985): Geochemischer Atlas der Bundesrepublik Deutschland.- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. Hannover.

FRÄNZLE, O., SCHMOTZ, W., KRINITZ, J., HERTLING, T. u.a. (1994): Handlungsanleitung für Schadstoffuntersuchungen in Böden. Teil II: Handlungsanleitung. Hrsg. Umweltbundesamt.

HEIDBRINK, K. (1999): Fachinformationssystem Stoffliche Bodenbelastung (FIS StoBo). Hrsg.: Landesumweltamt NRW, 58 S.

HEINRICH, U. (1992): Zur Methodik der räumlichen Interpolation mit geostatistischen Verfahren - Untersuchungen zur Validität flächenhafter Schätzungen diskreter Messungen kontinuierlicher raumzeitlicher Prozesse. Deutscher Universitäts Verlag. 123 S.

HINDEL, R. & H. FLEIGE (1990): Schwermetallgehalte in Böden der Bundesrepublik Deutschland – VDI Berichte Nr. 837, S. 53 – 74.

HINDEL, R. & H. FLEIGE (1991): Schwermetalle in Böden der Bundesrepublik Deutschland - geogene und anthropogene Anteile.- Umweltbundesamt, Texte 10/91. 137 S.

HINDEL, R., GEHRT, E., KANTOR, W. & E. WEIDNER (1998): Spurenelementgehalte in Böden Deutschlands: Geowissenschaftliche Grundlagen und Daten.- In: ROSENKRANZ, EINSELE; HARRESS (Hrsg.): Bodenschutz - ergänzbares Handbuch. Nr. 1520, 75 S.

HORNBURG, V. (1996): Schwermetall-Gesamtgehalte in verschiedenen Böden nordrhein-westfälischer Naturräume. Geol. Jb., A 144, 209-254.

HYGIENE-INSTITUT DES RUHRGEBIETES (1994): Erarbeitung und Zusammenstellung von Hinweisen zur Entnahme von Bodenproben.- Bericht erstellt im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Energie und Bundesangelegenheiten, 83 S., Gelsenkirchen.

KÖNIG; W:; HEMBROCK-HEGER, A. & M. WILKENS (1991): Persistente organische Chemikalien im Boden. UWSF-Z. Umweltchem. Ökotox. 3(1), 33-36.

LABO (1998): Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden. In: ROSENKRANZ, EINSELE; HARRESS (Hrsg.): Bodenschutz - ergänzbares Handbuch. Nr. 9006, S. 1-115.

LANDESUMWELTAMT NRW (1994): Bestimmung von Polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) in Bodenproben. LUA-Merkblatt 1. Hrsg.: Landesumweltamt NRW, Essen.

LANDESUMWELTAMT NRW (1996): Bestimmung von 6 Polychlorierten Biphenylen (PCB) in Böden, Schlämmen, Sedimenten und Abfällen. LUA-Merkblatt 6. Hrsg.: Landesumweltamt NRW, Essen.

LANDWIRTSCHAFTSKAMMER RHEINLAND (1994): Empfehlungen für die Düngung von Acker und Grünland nach Bodenuntersuchungen.. 6. Auflage, Bonn.

LbodSchG (2000): Gesetz zur Ausführung und Ergänzung des Bundes-Bodenschutzgesetzes in Nordrhein-Westfalen vom 30. Mai 2000. Landesbodenschutzgesetz für das Land Nordrhein-Westfalen (LbodSchG). Gesetz- und Verordnungsblatt Nr. 29, S. 439-444.

LIEBE, F.; BRÜMMER, G. & G. WELP (1997): Mobilität anorganischer Schadstoffe in Böden Nordrhein-Westfalens. In: Landesumweltamt NRW (Hrsg.): Materialien zur Altlastensanierung und zum Bodenschutz, Band 2, Essen.

LÖLF (1988): Mindestuntersuchungsprogramm Kulturboden zur Gefährdungsabschätzung von Altablagerungen und Altstandorten im Hinblick auf eine landwirtschaftliche oder gärtnerische Nutzung. Hrsg.: Landesanstalt für Ökologie, Landschaftsentwicklung und Forstplanung Nordrhein-Westfalen, Recklinghausen.

LWA (1986): Sedimentuntersuchungen in Fließgewässern (1978-1983).- Schriftenreihe des Landesamtes für Wasser und Abfall NW, Heft 41. Düsseldorf.

MEULI, R.; W. ATTINGER, GRÜNWALD,A.; von STEIGER, B.; PEPELS, A.; SCHULIN, R. (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.

MINDESTDATENSATZ BODENUNTERSUCHUNGEN (1991): Abschlußbericht des Arbeitskreises „Mindestdatensatz Bodenuntersuchungen“ der SAG Informationsgrundlagen Bodenschutz. Hrsg.: Bodenschutzzentrum NRW.

MINISTERIUM FÜR UMWELT, RAUMORDNUNG UND LANDWIRTSCHAFT (1999a): Richtlinie über die Gewährung von Zuwendungen für Maßnahmen des Bodenschutzes (RdErl. des MURL vom 18.12.1998 – IV C 3 – 340-04-01, Ministerialblatt NW 32 vom 01.06.1999, S. 599 - 624).

MINISTERIUM FÜR UMWELT, RAUMORDNUNG UND LANDWIRTSCHAFT (1999b): Bodeninformationssystem - Bodenschutz braucht Bodeninformation. 38 S.

PILZ, J. (1992): Ausnutzung von a-priori-Kenntnissen in geostatistischen Modellen. In: PESCHEL, G.J. (Hrsg.): Anwendung geostatistischer Verfahren. Beiträge zur Mathematischen Geologie und Geoinformatik, Band 3, Verlag Sven von Loga, S.2-11.

SCHRAPS, W.-G. & H.P. SCHREY (1997): Schutzwürdige Böden in Nordrhein-Westfalen - Bodenkundliche Kriterien für eine flächendeckende Karte zum Bodenschutz - Zeitschrift Pflanzenernährung und Bodenkunde, 160 (4): 407 - 412; Weinheim.

STREIT, U. (1981): Kriging - eine geostatistische Methode zur räumlichen Interpolation hydrologischer Informationen. Wasserwirtschaft 71, H.7/8, S.219-223.

STREIT, U. (1982): Zur Methodik der Interpolation und Mittelbildung punktbezogener Daten bei räumlichen Informationssystemen. Klagenfurter Geographische Schriften, H.2/1982.

SUTTNER, T., JONECK, M., SPIES, D., FRIED, G. & P. GRUBER (1992): Merkblatt für die Anlage von Bodenmessnetzen zur Bodenbeobachtung und Beweissicherung bei Problemstoffemittenten. Hrsg.: Bayerisches Geologisches Landesamt, München.

WACKERNAGEL, H. & G. HUDSON (1992): Kriging mit externer Drift am Beispiel von Temperaturmessungen aus Schottland. In: PESCHEL, G.J. (Hrsg.): Anwendung geostatistischer Verfahren. Beiträge zur Mathematischen Geologie und Geoinformatik, Band 3, Verlag Sven von Loga, S.15-24 .

Anhang

I. Arbeits-, Ergebnis- und Auswertungskarten

Arbeitskarten

Durch die Interpolation vorliegender Daten über Stoffgehalte in Böden werden für jeden Stoff folgende Arbeitskarten erzeugt:

- standardisierten geschätzte Stoffgehalte
- Schätzgüte

Aus digitalen Kartengrundlagen werden folgende Arbeitskarten erzeugt:

- Bodenarten(-hauptgruppen)
- Nutzungsarten
- Schwermetallgrundgehalte oberflächennaher Gesteine
- Überschwemmungsgebiete

Durch Verknüpfungen dieser Arbeitskarten mit Daten werden weitere Arbeitskarten für jeden Stoff erzeugt:

- Vorsorgewerte
  = Verknüpfung der Arbeitskarte „Bodenarten(-hauptgruppen)“ mit Bodenparametern (Humusgehalt, pH-Wert) und Vorsorgewerten der BBodSchV
- Prüf- und Maßnahmenwerte
  = Verknüpfung der Arbeitskarte „Nutzungsarten“ mit Prüf- und Maßnahmenwerten der BBodSchV
- Untersuchungsbedarf
  = Verknüpfung der Arbeitskarte „Schätzgüte“ mit der Auswertungskarte „Hintergrundwerte-Vergleich“

Ergebniskarte

Die wesentliche Grundlage für die Anwendungsbereiche digitaler Bodenbelastungskarten ist die für jeden Stoff erzeugte Ergebniskarte:

„geschätzte Stoffgehalte“
= Verknüpfung der Arbeitskarte „standardisierte geschätzte Stoffgehalte“ mit den Arbeitskarten „Nutzungsarten“, „Überschwemmungsgebiete“ und „Schwermetallgrundgehalte oberflächennaher Gesteine“

Auswertungskarten

Durch weitergehende Auswertungen der Ergebniskarte werden folgende Auswertungskarten erzeugt:

- „Hintergrundwerte-Vergleich“
  = Klassifizierung der Ergebniskarte „geschätzte Stoffgehalte“ nach regionalen/ lokalen Hintergrundwerten
- „Vorsorgewerte-Vergleich“
  = Verknüpfung der Ergebniskarte „geschätzte Stoffgehalte“ mit der Arbeitskarte „Vorsorgewerte“
- „Verdachtsflächen“
  = Verknüpfung der Ergebniskarte „geschätzte Stoffgehalte“ mit der Arbeitskarte „Prüf- und Maßnahmenwerte“
- „geogene Vorbelastung“
  = Verknüpfung der Ergebniskarte „geschätzte Stoffgehalte“ mit der Arbeitskarte „Schwermetallgrundgehalte oberflächennaher Gesteine“

II. Leitfaden für Probenahme und Analytik von Böden

1 Einleitung

Im Rahmen der Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten werden Daten über Stoffgehalte in Böden erhoben, die bestimmten Qualitätsanforderungen, z.B. hinsichtlich der genauen Herkunft der Bodenproben und deren analytischen Untersuchung, erfüllen müssen (vgl. auch Kap. 5.3.2). Um dieses zu gewährleisten, wurden Vorgaben für die Probenahme und die Analytik entwickelt. Durch eine Vereinheitlichung der Methoden kann weitgehend sichergestellt werden, dass die Daten untereinander vergleichbar und damit für die Methode der digitalen Bodenbelastungskarte geeignet sind.

Mit dem Ziel, Bodenuntersuchungsverfahren zu harmonisieren und ihre Ergebnisse vergleichbar zu machen, sind in den letzten Jahren zahlreiche Hinweise und Empfehlungen zur Probenahme, Probenaufbereitung und Analytik herausgegeben worden (vgl. LÖLF 1988, MINDESTDATENSATZ BODENUNTERSUCHUNGEN 1991, SUTTNER et al. 1992; BUND-/LÄNDER-ARBEITSGRUPPE „BZE“ 1994, FRÄNZLE et al. 1994, HYGIENE-INSTITUT DES RUHRGEBIETES 1994, LANDESUMWELTAMT 1994 und 1996, DELSCHEN & LEISNER-SAABER 1995, DOMINIK & PAETZ 1995, AG BODENKUNDE 1996, AD-HOC-ARBEITSGRUPPE BODEN 1996). Der vorliegende Leitfaden zur Probenahme und Analytik von Böden wurde speziell für die Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten entwickelt. Der Leitfaden ist eine Anleitung zur einheitlichen Vorgehensweise sowohl bei der Probenahme als auch bei der Analytik der Bodenproben. Er ist damit auch ein Beitrag zur Qualitätssicherung dieser Arbeitsschritte.

Die Methode zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten ist für Böden mit natürlichem Profilaufbau unter naturnahen Nutzungen (Acker, Gründland und Wald) anwendbar. Die in der Regel erforderlichen ergänzenden Beprobungen an Oberböden bzw. in Wäldern zusätzlich auch an Humus-Auflagen werden horizontweise oder im Wald lagen- und tiefenbezogen entnommen. Die Proben werden auf ihre Gehalte an Schwermetallen und persistenten organischen Schadstoffen untersucht. Zusätzlich werden bodenkundliche Begleitparameter wie z.B. pH-Werte, C_{org}-Gehalt oder die Bodenart ermittelt. Digitale Bodenbelastungskarten geben die Stoffgehalte der Böden als Konzentrationen in mg/kg Trockenmasse an. Um Aussagen über die Stoffvorräte und die Flächenbelastung (z.B. in mg/ha oder $\mu g/m^2$) zu ermöglichen, werden neben der Angabe der Flächengröße auch Ergebnisse zur Trockenrohdichte der beprobten Lagen, Horizonte oder Tiefenstufen ermittelt, um aus den Konzentrationsangaben einen Flächenbezug herstellen zu können.

Zur Auswahl der Probenahmestellen wird eine Messnetzplanung durchgeführt. Sie berücksichtigt die im Untersuchungsgebiet vorkommenden - durch Belastung bedingte -

Fallunterscheidungen. Der Rasterbaustein erzeugt dazu eine Karte, in welcher die vorkommenden Kombinationen aus Ausgangsgestein, Überschwemmungsgebieten und Bodennutzungen in „homogenen“ Raumeinheiten dargestellt sind. Diese Vorinformationen werden bei der Auswahl der Probenahmestelle berücksichtigt.

Da die Informationen zur Bodennutzung, zu Schwermetallgehalten der Ausgangsgesteine und zu Überschwemmungsgebieten als Einflussgrößen mit in die Berechnung der räumlichen Interpolation eingehen, müssen diese für jeden Untersuchungspunkt vollständig vorliegen. Nur wenn die Erhebung dieser Daten bzw. die Arbeitsschritte zur Vorbereitung der Interpolation vollständig und sorgfältig von Fachleuten durchgeführt werden, kann ein einwandfreies Ergebnis erzielt werden, das für die Erstellung der flächenbezogenen Aussagen geeignet ist.

Nachfolgend werden die für die Beprobung und Analytik im Rahmen der Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten erforderlichen Arbeitsschritte dargestellt. Die nach der Auswahl der Untersuchungsflächen, der Entnahme der Bodenproben und der Analytik gemäß den Vorgaben erhobenen Daten ergänzen dann den Datenbestand der digitalen Bodenbelastungskarten (vgl. Abb.1).

Festlegen der Probenahmestellen

Ermittlung der Eigentümer

Überblicksbegehung mit Aufsuchen der Probenahmestellen im Feld

Überprüfung der angenommenen Voraussetzungen der Raumeinheit (Gestein, Nutzung, Überschwemmung)

Festlegung der Probenahmestelle (Haupt- oder Ersatzprobenahmestelle)

Probenahme

Ausmessen der Koordinaten (ggf. GPS), Dokumentation in Feldprotokoll (alternativ GISPAD-Verfahren)

Analytik

Abb. 1: Übersicht über Arbeitsschritte

2 Messnetzplanung / Auswahl der Probenahmestellen

Für alle vorkommenden homogenen Raumeinheiten sollte eine ausreichende Daten-

grundlage vorliegen oder durch die ergänzenden Untersuchungen erreicht werden. Ziel ist es, eine im gesamten Untersuchungsgebiet vergleichbare Aussagegenauigkeit zu erreichen. Mithilfe der Messnetzplanung im Datenbankbaustein und im Rasterbaustein können sowohl die Anzahl der noch zu ergänzenden Probenahmestellen bestimmt als auch deren Lage festgelegt werden. Das Ergebnis der Messnetzplanung sind definierte **Probenahmestellen** mit Angabe der Koordinaten, Nutzungsart, oberflächennahen Gesteine und ihrer Lage bezüglich der bekannten Überschwemmungsgebiete. Für jede Probenahmestelle wird zusätzlich eine **Ersatzprobenahmestelle** festgelegt.

In einem weiteren Schritt werden alle durch die Messnetzplanung festgelegten Haupt- und Ersatzprobenahmestellen in Topografische Karten (TK 50, DGK 5B) eingetragen, um einen Überblick über die Verteilung und die Lage der Punkte zu gewinnen. Alternativ können die Probenahmestellen auch über ein GIS visualisiert werden.

Mit diesen Informationen können über die Katasterämter der zuständigen Kreise, Städte und Gemeinden die Eigentümer der betroffenen Flächen ermittelt werden. Sind alle Eigentümer bekannt, sollten diese schriftlich um Zustimmung zur geplanten Probenahme gebeten werden. Nachdem die Eigentümer ihr Einverständnis zur Beprobung gegeben haben, sind alle verfügbaren Informationen zu den Haupt- und Ersatz-Probenahmestellen zusammenzustellen und ggf. in einen PEN-Computer (siehe 4.2) einzugeben, damit sie im Gelände vor Ort zur Verfügung stehen.

Überblicksbegehung

Im Rahmen einer Überblicksbegehung sind alle Probenahmestellen aufzusuchen, um die Übereinstimmung der Vorinformationen mit den tatsächlichen Gegebenheiten zu überprüfen. Kommt eine Probenahmestelle für die Untersuchung nicht infrage, so ist die bereits bei der Messnetzplanung mit festgelegte Ersatz-Probenahmestelle aufzusuchen und zu überprüfen.

Folgende Kriterien führen zum **Ausschluss** der Probenahmestelle:

- Die Fläche weist eine andere Nutzung auf, als anhand der Vorinformationen erwartet. Eine Graseinsaat bei der Flächenstillegung (Ap-Horizont noch voll ausgeprägt) oder ein Futtergrasanbau mit regelmäßigem Umbruch gelten nicht als Nutzungsänderung von Acker zum Grünland.
- Die Fläche zeigt eine starke Inhomogenität, z.B. durch anthropogene Einflüsse wie Auffüllungen oder Abgrabungen.
- Die Überprüfung der Vorinformation aus der Messnetzplanung zur Einheit der oberflächennahen Gesteine zeigt keine Übereinstimmung mit dem tatsächlich angetroffenen Ausgangsgestein der Bodenbildung. Die Überprüfung wird durch eine Überblickssondierung mit mehreren Bohrstockeinschlägen (Pürckhauer-Bohrstock) bis

1m Tiefe vorgenommen (Profilbeschreibung auf einem Formular, Anhang H).

- Die Lage innerhalb oder außerhalb eines Überschwemmungsgebietes stimmt nicht mit den Vorinformationen aus der Messnetzplanung überein.

Die Ausprägung und Mächtigkeit der Bodenhorizonte sollte auf der zu beprobenden Fläche möglichst einheitlich sein. Bei der exakten Festlegung der Probenahmestelle ist ausreichend Abstand zu Grundstücks- und Nutzungsgrenzen, Straßen, Gebäuden, etc. zu halten (> 20 m). Im Einzelfall können die Eigentümer befragt werden, um z.B. Informationen über die Historie der Untersuchungsflächen (Überschwemmungshäufigkeit, Bodenverbesserungsmaßnahmen wie Dränage, Tiefumbruch oder spezielle Arten der Düngung wie Klärschlamm- oder Kompostapplikation etc.) zu ermitteln.

Als Ergebnis der Überblicksbegehung lassen sich die tatsächlichen Probenahmestellen festlegen. Bei der Planung der Probenahmeroute sollten auch Überlegungen zum Probenahmezeitpunkt mit einfließen. So kann in bestimmten Vegetationsperioden die Zugänglichkeit eines Probenahmestandortes erschwert sein, z.B. in einem Getreidefeld, kurz vor der Ernte oder in einem Maisfeld, wenn eine gewisse Pflanzenhöhe erreicht ist. Bei Waldstandorten kann bei Durchnässung des Bodens die Trennung der Auflagehorizonte vom Mineralboden problematisch sein. Die Probenahme solcher Flächen sollte auf einen späteren Zeitpunkt verschoben werden. Die Anzahl der geplanten Probenahmen pro Tag sollte in jedem Fall ein gewissenhaftes Arbeiten vor Ort ermöglichen. Insbesondere für die Probenahmen im Wald ist mit erhöhtem Zeitaufwand zu rechnen (Für Anhaltspunkte zum geschätzten Zeitbedarf s. Anhang D).

3 Dokumentation im Gelände

3.1 Erfassungsbogen

Zur Dokumentation der Probenahme im Gelände wurde ein Erfassungsbogen („Digitale Bodenbelastungskarte – Feldprotokoll“) entwickelt, der als Anhang H beigefügt ist. Dieser Erfassungsbogen wurde bei der Beprobung der Testgebiete mit Erfolg eingesetzt, ist aber je nach Fragestellung erweiterbar. Er enthält Angaben zu folgenden Punkten:

- Untersuchungsprogramm
- Untersuchungsfläche
- verwendete Karten
- Standortbeschreibung
- Umgebungssituation
- Koordinaten

- Profilbeschreibung
- Probenzuordnung

Das Feldprotokoll ist, soweit möglich, bereits vorab auszufüllen. Dies gilt insbesondere für die Punkte 1 bis 4. Im Gelände wird vor der eigentlichen Probenahme anhand von Bohrstockeinschlägen mit einem Pürckhauer-Bohrstock eine Profilansprache des Mineralbodens bis 1 m Tiefe durchgeführt. Im Wald sind zusätzlich die Auflage-Horizonte und geringmächtige A-Horizonte mithilfe kleiner Schürfe (Spatentiefe) anzusprechen. Die Beschreibung der Horizonte sollte sich an die Vorgaben der AG Bodenkunde (1996) anlehnen. Jede beprobte Fläche sollte zusätzlich durch eine Fotografie dokumentiert werden.

3.2 Einsatz digitaler Erfassungssysteme

Alternativ zu der Verwendung des analogen Erfassungsbogens können auch mobile Datenerfassungssysteme (MDE-Systeme) eingesetzt werden, die die digitale Aufnahme der Daten im Gelände unterstützen.

MDE-Systeme bestehen aus feldtauglichen Computern, die mit einer Datenerfassungssoftware bestückt sind, mit der sowohl Geometrie- als auch Sachdaten vollständig und konsistent erfasst werden können. Für die Erfassung der Sachdaten zu den Probenahmestandorten sollte gewährleistet sein, dass bereits im Gelände Plausibilitätsprüfungen durchgeführt werden können, die die Vollständigkeit und Korrektheit der erfassten Daten Gewähr leisten. Die Exportfunktion des verwendeten Systems sollte die Weiterverarbeitung der Daten mit Geo-Informationssystemen (GIS) sowie die direkte Integration der Daten in Datenbanken (z.B. Erfassungsbaustein des FIS StoBo) ermöglichen.

Im Rahmen bereits abgeschlossener Beprobungen wurde vom LUA eine Software auf der Basis des MDE-Systems GISPAD (con terra GmbH) verwendet, mit der die Daten zu den Probenahmestandorten erfasst werden konnten. Das System stellt eine digitale topografische Feldkarte (z.B. DGK 5, TK 50) sowie die als Ergebnis der Messnetzplanung festgelegten Probenahmestellen zur Verfügung. Ergänzend können weitere Basisdaten wie z.B. die Arbeitskarte „Nutzungsarten“ in das Gelände mitgenommen werden. Damit ist ein Abgleich der Karten mit der im Gelände vorgefundenen Situation sofort möglich. Ausgehend von den Standorten der Messnetzplanung werden die tatsächlichen Probenahmestellen in die digitale Karte eingezeichnet und über Bildschirmformulare mit den Sachattributen beschrieben. Die Datenaufnahme wird durch Plausibilitätsprüfungen begleitet. Durch die direkte Digitalisierung der Probenahmestellen und die Eingabe der Sachdaten im Gelände entfällt die spätere Übertragung der Daten aus Feldkarten und Feldprotokollen.

3.3 Koordinatenbestimmung mit dem Global Positioning System (GPS)

Alternativ zu herkömmlichen Hilfsmitteln (z. B. Maßband/Schrittmaß und Übertragung auf eine topografische Karte) kann die Einmessung eines Standortes und die Bestimmung der Gauß-Krüger-Koordinaten mithilfe des Global Positioning System (GPS) erfolgen. In Kombination mit Korrekturdatendiensten (z.B. „RASANT“ des LVermA) ermöglichen GPS-Empfänger die schnelle Aufnahme der Position der Probenahmestelle mit einer Abweichung von etwa 3-5m.

In der Vergangenheit wurden verschiedene GP-Systeme mit unterschiedlichen Leistungsdaten getestet. Hierbei zeigte sich, dass die Genauigkeit und Sicherheit der Positionsbestimmung erheblich von regionalen und örtlichen Gegebenheiten beeinflusst wird. In abgeschirmten Lagen, in dichten Waldbeständen oder außerhalb der Reichweite der Korrekturdatensender - respektive der Leistungsdaten des GPS-Empfängers - ist eine GPS-Positionsmessung im angestrebten Genauigkeitsbereich ggf. nicht möglich. In den übrigen Fällen lassen sich in der Regel gute Ergebnisse erzielen, so dass der Einsatz von GPS grundsätzlich positiv bewertet wird.

Die Kombination von GPS-Empfängern mit MDE-Systemen, die die gemessene Position auf einer topografischen Karte anzeigen und in den Datenbestand übernehmen, bietet den wichtigen Vorteil, dass die Positionsmessung durch eine visuelle Plausibilitätsprüfung begleitet werden kann. Gleichzeitig wird durch die Visualisierung der augenblicklichen Position des Probenehmers in der digitalen Karte die Orientierung im Gelände und das Auffinden der vorgesehenen Probenahmestellen wesentlich erleichtert.

Falls kein GPS-Empfänger zur Verfügung steht, müssen die Probenahmestellen durch genaues Ausmessen in ihrer Lage bestimmt werden. Durch Abtragen auf einer topografischen Karte (am besten DGK 5) kann die genaue Position markiert werden und die Gauß-Krüger-Koordinaten bestimmt werden, so dass die Wiederauffindbarkeit gewährleistet ist.

4 Entnahme von Bodenproben

4.1 Allgemeines

Der Zeitpunkt der Probenahme sollte stets in Absprache mit dem Labor erfolgen, da die Analyse der Bodenproben möglichst ohne Zeitverzögerung direkt nach der Entnahme erfolgen sollte. Eine lange und/oder unsachgemäße Lagerung kann die Probe verändern und somit zu falschen Analyseergebnissen führen.

Eine Auswahl an Geräten für die Probenahme wurde in den Testgebieten überprüft. So

wurden in den bereits beprobten Testgebieten u.a. der Pürckhauer-Bohrstock für die Überblickssondierung und die Probenahme auf Acker-Standorten eingesetzt. Zur Probenahme auf Grünland wurde ein Edelstahlzylinder eingesetzt. Im Wald wird die Verwendung eines Wurzelbohrers empfohlen. Für die volumenbezogene Probenahme auf den Grünland- und Ackerböden wurden Stechzylinder verwendet. Eine Liste aller empfohlenen Gerätschaften befindet sich im Anhang C. Es sollten möglichst Geräte aus Edelstahl verwendet werden, da bei Verwendung anderer Materialien, z.B. aus Kunststoffen die Analysenergebnisse organischer Schadstoffe verfälscht werden können.

Bei der Entnahme von Bodenproben ist darauf zu achten, dass die Beschriftung der Probengefäße eindeutig, leserlich und haltbar (wasserfester Filzstift) durchgeführt wird. Diese sollte vorab erfolgen. Es ist darauf zu achten, grundsätzlich nur mit sauberen Gerätschaften zu arbeiten. Die Geräte sind nach jeder Probenahme zu reinigen. Zur Reinigung des Bohrstockes genügt es, wenn nach einer groben Reinigung der erste Einstich verworfen wird. Bei hartnäckigen Verschmutzungen kann die Reinigung auch mit Wasser und Zellstoff durchgeführt werden. Eine Verunreinigung nachfolgend entnommener Proben durch eine Verschleppung von Bodenmaterial ist so zu vermeiden.

4.2 Entnahme unter verschiedenen Nutzungen

Unter den verschiedenen Nutzungsarten (Acker, Grünland, Wald) werden verschiedene Horizonte bzw. Tiefenstufen beprobt (s. Abb. 2). Zur Orientierung sind hier typische Tiefenstufen in Bezug zur Mineralbodenoberfläche angegeben. Der Festlegung der Beprobungstiefe liegt zu Grunde, dass sich eingetragene Schadstoffe überwiegend im Auflage-Humus und dem humushaltigen mineralischen Oberboden akkumulieren und die Verteilung der Stoffeinträge der Intensität der biotischen Aktivität (z.B. Bioturbation) folgt bzw. auf Nutzflächen durch die Pflugtätigkeit des Menschen beeinflusst wird. Zur Beprobung auf landwirtschaftlichen Nutzflächen werden i.d.R. nur die mineralischen Oberbodenhorizonte (Ah oder Ap) herangezogen, während unter Wald neben dem Oberboden (0-5 cm) auch die Auflage als Mischprobe von L, Of- und Oh-Lage beprobt wird. Die Beprobung wird immer auf einem möglichst einheitlich ausgeprägten Areal durchgeführt.

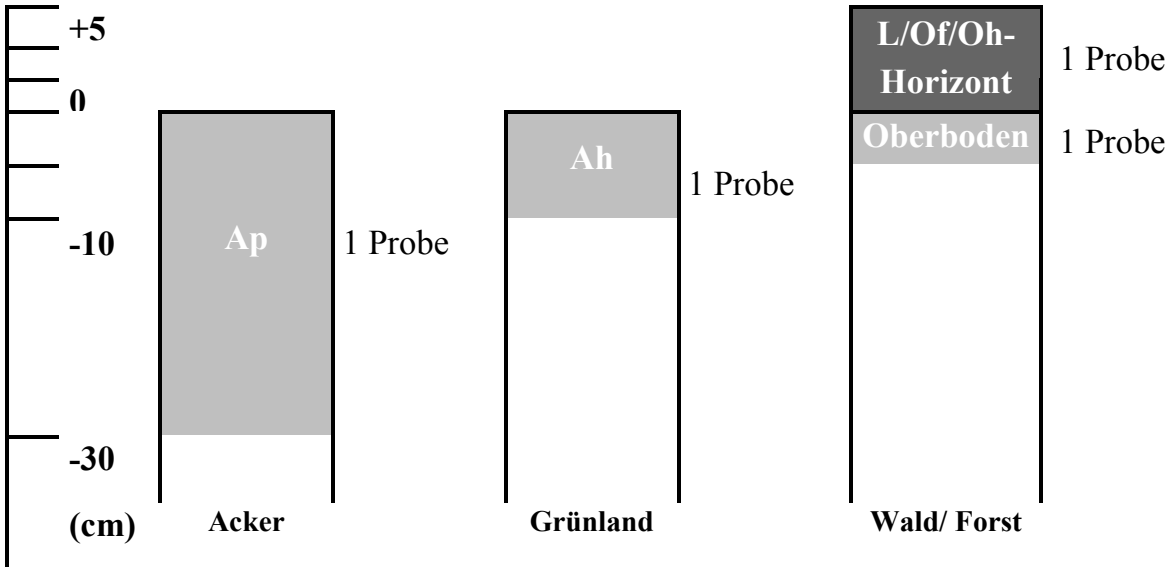


Abb. 2: Typische Tiefenstufen und zu beprobende Horizonte bei unterschiedlichen Nutzungsarten

4.2.1 Beprobung von Grünland- und Ackerstandorten

Die Beprobung wird auf zum Ausgleich von kleinräumigen Inhomogenitäten des Bodens nach folgendem **Entnahmemuster** durchgeführt. Dazu wird um eine Fluchtstange eine kreisförmige Fläche definiert (Durchmesser des Kreises ca. 10 m) und die Entnahmepunkte z.B. mit Stangen und Band markiert. Die Entnahme der Bodenproben erfolgt aus mehreren Bohrungen, die zu einer Mischprobe vereint werden. Die Mischproben sind aus **mindestens 9 Einstichen** zu gewinnen (s. Abb. 3), d.h. aus einem Einstich im Zentrum eines Kreises und mindestens 8 weiteren Einstichen auf dem Radius (zur Vereinfachung an die Himmelsrichtungen angelehnt).

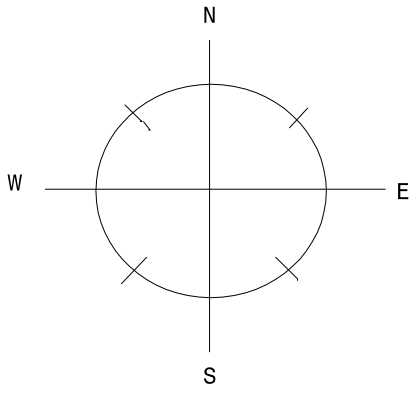


Abb. 3: Entnahmemuster für Beprobung

Die Beprobung wird tiefenbezogen, aber unter Berücksichtigung der Horizontgrenzen durchgeführt. Die **Probenahmetiefe** wird nutzungsorientiert festgelegt:

- **Ackerböden: 0 - Untergrenze des Ap-Horizontes, jedoch maximal 30 cm**
- **Grünlandstandorte: 0 - Untergrenze des Ah-Horizontes, jedoch maximal 10 cm**

Da nicht über Horizontgrenzen hinweg beprobt werden sollte, wird bei weniger mächtigen Horizonten die Probenahmetiefe der tatsächlichen Horizontmächtigkeit angepasst. Bei Grünland ist die Bearbeitungstiefe bzw. die Mächtigkeit des Ah-Horizontes zu überprüfen und zu beachten. Andere, äußerlich als Grünland angesprochene Flächen, auf denen Acker-Futterbau z.B. mit Futtergras-Einsaaten betrieben wird, sind als Acker einzustufen, da sie einen Ap-Horizont aufweisen. Auch durch Änderung in der Bearbeitung (z. B. Minimalbodenbearbeitung auf Ackerflächen) kann es zu Abweichungen in der Horizontierung kommen.

Um die erforderliche Probenmenge von ca. 2000 g zu erhalten, sind folgende Einstichzahlen nötig, wobei die Anzahl von 9 Einstichen nicht zu unterschreiten ist:

- Ackerflächen: Pürckhauer-Bohrstock ca. 20 - 25 Einstiche
  N_{min}-Bohrer ca. 9 Einstiche
- Grünlandstandorte: Pürckhauer-Bohrstock ca. 60 - 65 Einstiche
  N_{min}-Bohrer ca. 25-30 Einstiche
  Edelstahl-Zylinder (∅ 5 cm) ca. 9 Einstiche

Bestimmung der Trockenrohdichte

Zur Umrechnung von Stoffkonzentrationen in Stoffmengen zur Ermittlung von Flächenbelastungen werden Daten über die Trockenrohdichte benötigt. Zur Bestimmung der Trockenrohdichte werden zusätzlich Proben mit definiertem Volumen entnommen. Auf Acker- und Grünlandstandorten erfolgt die Probenahme bei ausreichend mächtigen A-Horizonten mit Stechzylindern (ca. 365 cm^3). Dabei werden 4 Stechzylinder pro Standort zu einer Mischprobe vereinigt. Wenn bei technischen Schwierigkeiten oder bei starken Inhomogenitäten der Bodenoberfläche (Damm-Kulturen im Spargel- oder Kartoffelanbau) die Trockenrohdichte mittels Stechzylindern nicht zu erheben ist, sollte auf Daten von vergleichbaren Flächen zurückgegriffen werden.

4.2.2 Beprobung von Waldstandorten

Bei Waldstandorten wird ebenfalls eine möglichst homogene Fläche ausgewählt (kreisförmige Fläche von 5 - 10 m Durchmesser). Der Einsatz von GPS sollte nicht dazu verleiten, auf Grund des besseren Signalempfangs nur mehr oder weniger große Lichtungen für die Beprobung auszuwählen. Bei der Beprobung von Waldstandorten wer-

den stets zwei Proben (organische Auflage + Mineralboden) entnommen. Bei Standorten mit L-Mull als Humusform, d.h. wenn außer einer frischen Laubstreu im Herbst keine organische Auflage erkennbar ist, wird nur der Mineralboden beprobt.

Wald-Probenahmetiefen:

- **Oberboden tiefenbezogen 0-5 cm (ohne Berücksichtigung der Horizontgrenzen)**
- **Auflage horizontbezogen (L-, Of-, Oh-Lage)**

Bei der Probenahme im Wald ist auf die sorgfältige Trennung der organischen Auflage vom mineralischen Oberboden zu achten. Zahlreiche Schadstoffe werden durch die organische Substanz gebunden und reichern sich in dem organischen Material, insbesondere im Oh-Horizont an. Eine fehlerhafte bzw. unsaubere Trennung hat daher große Auswirkungen auf die Messergebnisse der Schadstoffgehalte. In Zweifelsfällen kann mithilfe des Gehaltes an organischem Kohlenstoff (C_{org}) die Trennung der Horizonte (evtl. auch vor der eigentlichen Analytik) überprüft werden. Die Grenze zwischen organischer Auflage und Mineralboden ist durch den Gehalt an organischer Substanz festgelegt (AG Bodenkunde, 1996):

Mineralboden: Gehalt an organischer Substanz < 30 % (C_{org} < 15 %)

organische Auflage: Gehalt an organischer Substanz > 30 % (C_{org} > 15 %)

In Anlehnung an die Untersuchungen der Bodenzustandserhebung Wald (BUNDESMINISTERIUM LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN, 1994) wird der Mineralboden metrisch bis in eine Tiefe von 5 cm beprobt. Bei mächtigen humosen Oberböden kann zusätzlich eine weitere Probe (5-10 cm) genommen werden. Ebenso können bei Podsolen zusätzlich die Anreicherungshorizonte beprobt werden.

Die Anordnung der Entnahmestellen sollte auch mithilfe eines Schemas in Anlehnung an das Vorgehen bei den Grünland- und Ackerstandorten erfolgen. Als Probenahmegerät wird ausdrücklich die Entnahme mithilfe eines Wurzelbohrers empfohlen, um eine einfache Umrechnung auf eine Schadstoffmenge pro Flächeneinheit auch für Waldstandorte zu ermöglichen. Dazu wird sowohl beim Mineralboden, als auch bei der organischen Auflage das gesamte Probenmaterial zur Mengenerfassung benötigt. Eine Teilung der Probe im Feld ist daher nicht möglich.

Gewinnung von Proben aus der organischen Auflage

Die Probenahme sollte möglichst mithilfe eines Wurzelbohrers erfolgen, der die Entnahme einer nahezu ungestörten Probensäule erlaubt. Vor der Beprobung werden nur offensichtlich störende, lose aufliegende Äste, Zweige oder Zapfen beiseite gelegt. Der Wurzelbohrer wird zunächst durch die organische Auflage bis in den Mineralboden eingetrieben. Die so gewonnene Probe ist vollständig und ungestört in eine Halbschale

(in Form einer „Regenrinne“) zu überführen. Dort wird der entnommene Mineralboden besonders sorgfältig von der organischen Auflage abgetrennt und verworfen. Die so gewonnene Probe der organischen Auflage ist **vollständig** der Mischprobe zuzuführen, um den Bezug zur Fläche, von der die Probe stammt, nicht zu verlieren. Dieser Flächenbezug ist für die Umrechnung der Konzentrationsangaben auf eine Flächenbelastung (z.B. $\mu g/m^2$) unerlässlich.

Die Mischprobe sollte im Wald aus **mindestens 4 Teilproben (=Einstichen)** bestehen. Die Probenmenge sollte **mindestens 2 Liter** betragen. Daher ist bei geringmächtigen organischen Auflagen die Anzahl der Einstiche entsprechend zu erhöhen. Die Anzahl der Einstiche ist unbedingt zu dokumentieren. Bei besonders mächtigen Auflagen kann auch bei Entnahme von 4 Einstichen mehr Probenmaterial vorliegen, als das Probenahmegefäß fassen kann. Das „überschüssige“ Material darf aus o.g. Gründen keinesfalls verworfen werden, sondern muss in zusätzlichen Gefäßen mit in das Labor transportiert werden, um dort zu einer Mischprobe vereint zu werden.

Gewinnung der Proben aus dem Mineralboden

Von kleineren Bereichen der Fläche (∅ ca. 25 cm) wird die Auflage sorgfältig vom Mineralboden abgehoben und zur Seite gelegt. Reste der organischen Auflage auf der Mineralbodenoberfläche werden anschließend mit einer Kelle, wenn möglich auch mit einem kleinen Handbesen oder breiten Pinsel entfernt. In die so vorbereitete Stelle wird der Wurzelbohrer bis zu 5cm eingetrieben (Markierung am Bohrer) und mithilfe einer Kelle aus dem Boden entnommen. Die so gewonnene Bodensäule kann direkt der Mischprobe zugeführt werden, die **mindestens 5 Einstiche** und **etwa 2000 g** umfassen sollte. Auch die Probe des Mineralbodens muss **vollständig** zum Labor transportiert werden.

Mithilfe der nach o.g. Schema entnommenen Proben kann zusätzlich zum reinen Konzentrationsbezug im Rahmen der digitalen Bodenbelastungskarte auch für Proben aus dem Wald auf die Flächenbelastung (z.B. in $\mu g/m^2$) umgerechnet werden (Konzentration * Probenmenge (trocken) * Fläche des Wurzelbohrers * Anzahl der Einstiche). Daher darf das Probenmaterial vor der Erfassung der gesamten Probenmenge nicht geteilt werden, da sonst der Bezug zwischen Fläche und Probenmenge verloren geht.

Wenn der Einsatz eines Wurzelbohrers, z.B. auf stark steinigen Standorten, nicht möglich ist, so muss die Probenahme mit Edelstahlkellen an kleinen Schürfen erfolgen. Hierzu werden die Proben von **mindestens 5 Teilflächen** (ca. 0,25 * 0,25 m) entnommen. Zur besseren Trennung der organischen Auflage vom Mineralboden werden neben den Teilflächen kleine, ca. 20 – 30 cm tiefe Profilgruben aufgegraben. Nach der Entnahme der Probe der organischen Auflage wird der humose Mineralboden (0-5 cm) entnommen.

Da die Bestimmung der Trockenrohdichte auf stark steinigen Standorten problematisch ist, sollte für diese Standorte auf eine Umrechnung auf die Flächenbelastung (Schadstoffmenge pro Flächeneinheit) verzichtet werden. Die Entscheidung für die Methode zur Entnahme mit dem Wurzelbohrer erfolgte auf Grund der geringeren Anzahl möglicher Fehlerquellen, sowohl für den Probenehmer vor Ort, als auch bei der späteren Umrechnung auf die Flächenbelastung. Hinzu kommt eine erhebliche Zeitersparnis durch den Verzicht auf die Entnahme volumenbezogener Proben im Wald, z.B. mithilfe von Stechrahmen.

Für Berechnungen auf Basis von Konzentrationsangaben können alle Proben verwendet werden, bei der Betrachtung der Flächenbelastung müssen die Standorte im Wald, dessen Proben aus Schürfen gewonnen wurden, ausgeklammert werden. Daher ist die verwendete Methode der Probenahme im Wald unbedingt zu dokumentieren.

4.3 Probenteilung, Probengefäße und Transport

Das entnommene Material wird vor Ort in einer Edelstahlschüssel gesammelt, gut gemischt und in braune Weithalsflaschen (Lichtschutz) abgefüllt. Bei den Waldproben ist unbedingt darauf zu achten, die vollständige Probe in die Flaschen zu überführen. Für die Bestimmung der Trockenrohdichte von Acker- und Grünlandproben werden die mit einem Stechzylinder entnommenen Bodenproben (Proben mit definiertem Volumen) in einen Polyethylenbeutel gefüllt.

Die Probenteilung für die Bestimmung der verschiedenen Parameter, sollte in der Regel nur im Labor nach Lufttrocknung und Homogenisierung vorgenommen werden (Abb. 4).

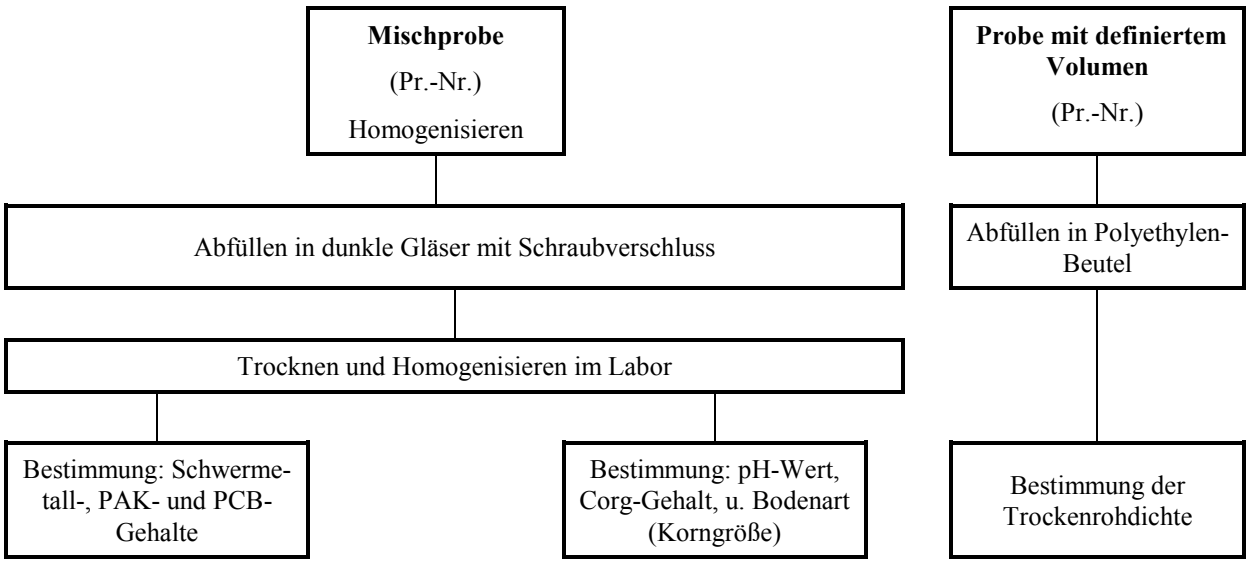


Abb. 4: Aufteilung der Acker- und Grünlandproben bei Homogenisierung im Labor

Im Einzelfall kann eine Probenteilung auch im Feld durchgeführt werden. Auf vollständige Homogenisierung vor Abfüllung der entnommenen Probe ist zu achten!

Grundsätzlich sollte aber auf eine Probenteilung im Gelände verzichtet werden, weil eine gründliche Homogenisierung des Probenmaterials zum Teil nicht möglich ist, z.B. bei sehr nassen und bindigen Böden.

5 Aufbereitung der Proben für die Analytik und Lagerung

5.1 Aufbereitung von Acker- und Grünlandproben

Die Arbeitsschritte der Probenvorbehandlung für Acker- und Grünlandproben sind in Abb. 5 dargestellt. Das im Rahmen der Probenentnahme homogenisierte Material wird emissionsarm an der Luft im Umlufttrockenschrank getrocknet. Nach Zerstoßen vorhandener Bodenaggregate mittels Handmörser wird das Probenmaterial oder eine repräsentative Teilprobe auf < 2 mm gesiebt (Feinboden), der Siebrückstand (Grobboden) wird zur Ermittlung des Skelettanteils gewogen und getrennt aufbewahrt. Besonderheiten in der Probenzusammensetzung werden dokumentiert.

Die Bestimmung der Schwermetallgesamtgehalte, der Polyzyklischen Aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) und der Polychlorierten Biphenyle (PCB) sowie der Trockensubstanz (m_T) erfolgt an einer repräsentativen homogenisierten Teilmenge der lufttrockenen Fraktion < 2 mm. Kann die Analyse der PAK und PCB nicht direkt nach der Probenvorbehandlung durchgeführt werden, so ist der homogenisierte Feinboden in einer braunen Glasflasche bei < 4°C im Kühlschrank zu lagern.

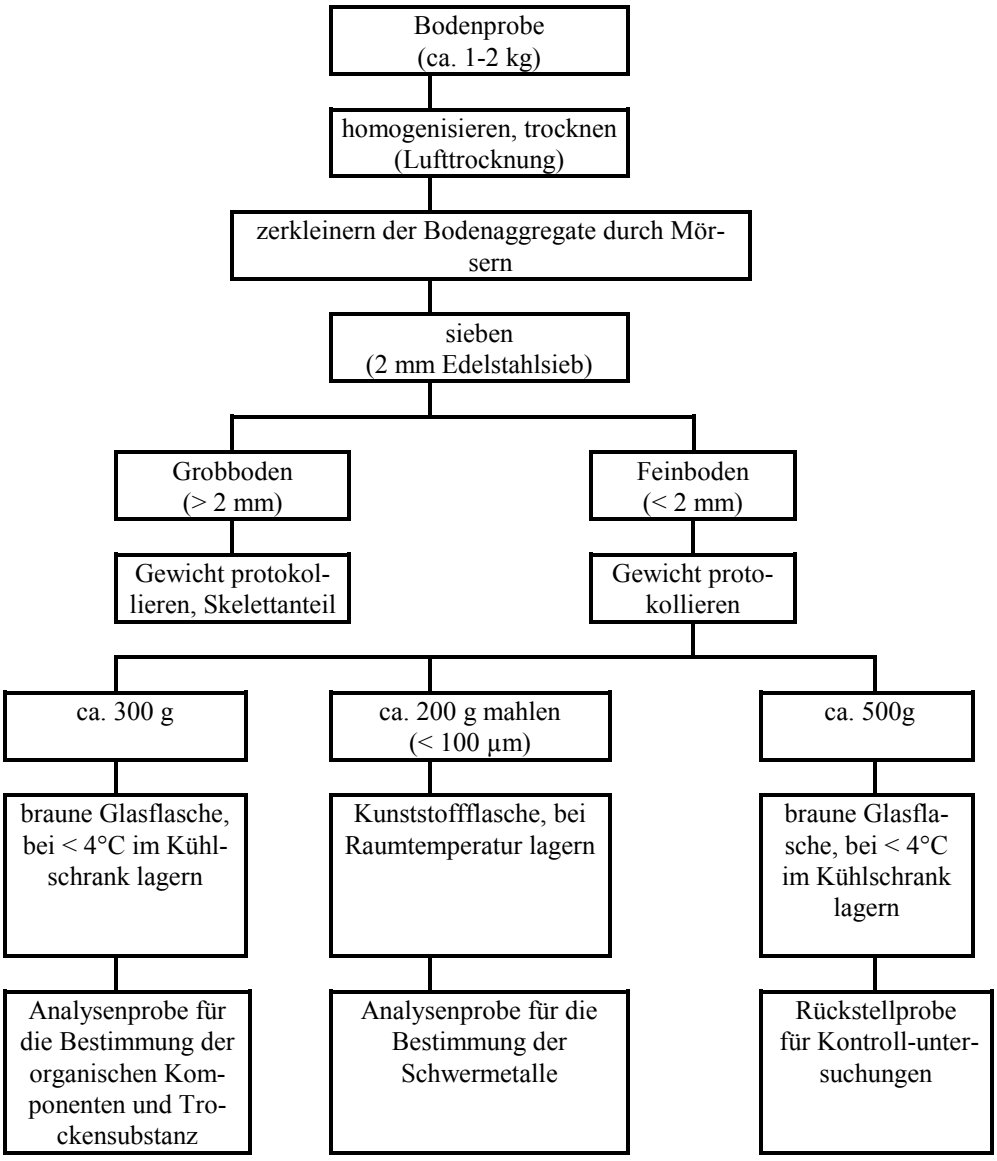


Abb. 5: Probenvorbehandlung von Acker-, Grünland- und Waldoberbodenproben, Aufteilung des Feinbodens für die Analyse und Kontrolluntersuchung

Weitere Probenaufbereitungsschritte:

- Für die Bestimmung der Schwermetallgesamtgehalte wird eine homogenisierte Teilmenge des Feinbodens in einer Achatkugelmühle auf < 100 µm gemahlen und bis zur Analyse in einer Kunststoffflasche bei Raumtemperatur gelagert.
- Die Bestimmung des Trockenrückstandes wird an einer repräsentativen Teilprobe der luftgetrockneten Fraktion < 2 mm durchgeführt, um das Ergebnis auf die Trockenmasse (m_T) beziehen zu können.
- Die Bestimmung des pH-Wertes und der Korngrößenverteilung, mittels Fraktionierung durch Pipett-Analyse, erfolgt aus einer luftgetrockneten und auf < 2 mm gesiebten Teilprobe.

- Aus einer weiteren Feinbodenteilprobe, die mit einer Scheibenschwingmühle auf < 150 µm gemahlen wurde, erfolgt die Bestimmung des C_{org}-Gehaltes.

Von jeder Probe wird ein Teil des lufttrockenen Feinbodens als Rückstellprobe (ca. 500 g) in braunen Glasflaschen kühl gelagert (<4° C im Kühlschrank), um Wiederholungs- oder Kontrolluntersuchungen durchführen zu können.

Sollte die Bestimmung der allgemeinen Bodenparameter (pH-Wert, Korngröße, C_{org}-Gehalt) nicht im gleichen Labor durchgeführt werden, in dem auch die Schadstoffe analysiert werden, so ist eine weitere Bodenprobe in einen Polyethylenbeutel abzufüllen. Das Probematerial ist nach den in Abb. 6 dargestellten Arbeitsschritten vorzubereiten.

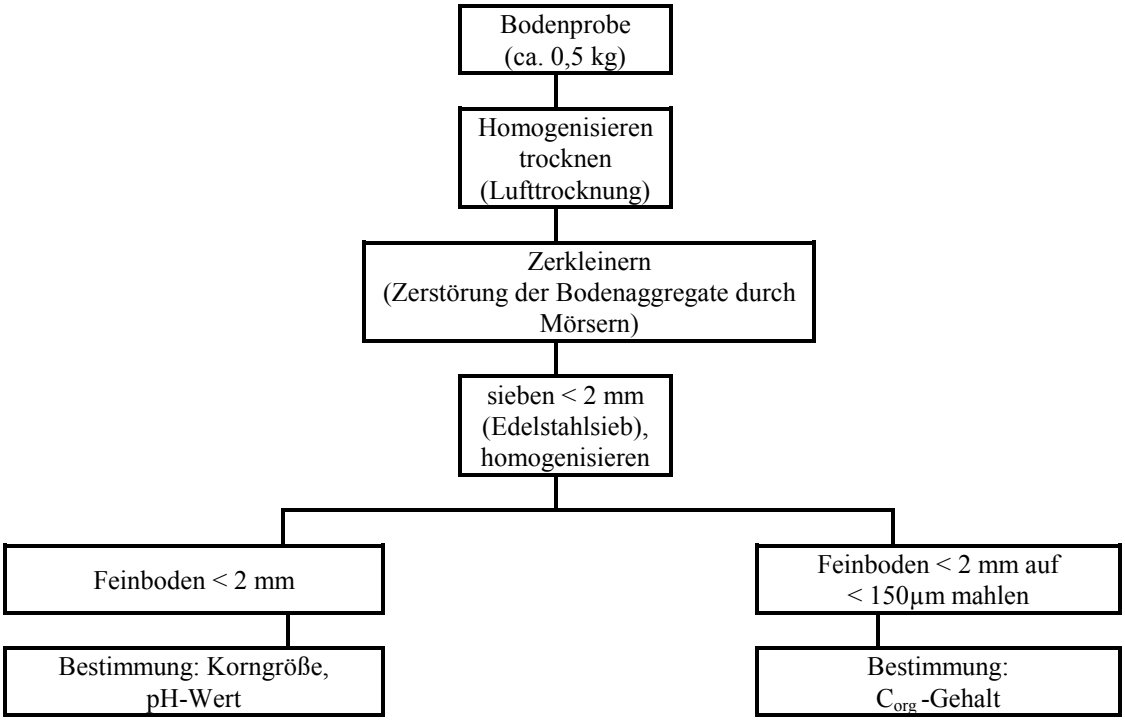


Abb. 6: Ablaufschema der Probenvorbehandlung zur Bestimmung der allgemeinen Bodenparameter: pH-Wert, Korngrößenverteilung und organischer Kohlenstoffgehalt (C_{org})

5.2 Aufbereitung von Waldoberbodenproben und Waldauflagen

Die gesamte **Waldoberbodenprobe** wird zur Bestimmung der Gesamtmasse an der Luft getrocknet und gewogen. Das Gesamtgewicht der luftgetrockneten Probe wird für die Berechnung der Flächenbelastung benötigt. Durch Sieben werden Feinboden (Partikelgröße < 2 mm) und Grobboden getrennt und die Massen separat bestimmt.

Weitere Probenaufbereitungsschritte (s. Abb. 5):

- Eine Bestimmung der Polyzyklischen Aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK), der Polychlorierten Biphenyle (PCB) sowie der Trockensubstanz (m_T) erfolgt jeweils an einer repräsentativen homogenisierten Teilmenge des Feinanteils (< 2 mm) der Oberbodenprobe.
- Zur Bestimmung der Schwermetallgesamtgehalte wird ein Anteil des Feinmaterials mithilfe einer Achatkugelmühle auf < 100 µm gemahlen
- Die Bestimmung des pH-Wertes und die Korngrößenverteilung mittels Fraktionierung durch Siebung und durch Pipett-Analyse, erfolgt aus einer luftgetrockneten und < 2 mm gesiebten Teilprobe.
- Aus einer weiteren Feinbodenteilprobe, die mit einer Scheibenschwingmühle auf < 150 µm gemahlenen wurde, erfolgt die Bestimmung des C_{org}-Gehaltes.

Von jeder lufttrockenen gesiebten Auflagen- bzw. Oberbodenprobe wird eine Rückstellprobe angefertigt.

Die gesamte **Waldauflagenprobe** (Of/Oh) wird bei Raumtemperatur emissionsarm an der Luft getrocknet und anschließend gewogen. Das Gesamtgewicht der bei luftgetrockneten Probe wird für die Berechnung der Flächenbelastung benötigt.

Weitere Probenaufbereitungsschritte:

- Für die Erstellung der Analysenprobe wird eine repräsentative homogenisierte Teilmenge in einem Mixer mit Schneidwerkzeug zerkleinert. Anschließend wird über ein 2 mm Sieb gesiebt, evtl. ist manuelles Durchreiben erforderlich. Äste, Zapfen u. ä.. sowie sonstige Grobstreu werden verworfen. Die Bestimmung der Gehalte an PAK und PCB sowie der Trockensubstanz (m_T) erfolgt aus dieser Teilprobe.
- Zur Bestimmung der Schwermetallgesamtgehalte wird ein Teil der Feinbodenprobe mittels Achatkugelmühle auf < 100 µm gemahlen.
- Die Bestimmung des pH-Wertes erfolgt aus einer luftgetrockneten und auf < 2 mm gesiebten Teilprobe.
- Aus einer weiteren Feinbodenteilprobe, die mit einer Scheibenschwingmühle auf < 150 µm gemahlenen wurde, erfolgt die Bestimmung des C_{org}-Gehaltes.

5.3 Bestimmung der Trockenrohdichte von Acker- und Grünlandproben

Zur Bestimmung der Trockenrohdichte wird die Bodenprobe mit definiertem Volumen (s. Abb. 4) bei 105°C im Trockenschrank bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. In die Berechnung geht die Trockenmasse und das Gesamtvolumen (Anzahl x Volumen des verwendeten Stechzylinders) der Probe ein.

5.4 Liste der zu untersuchenden Parameter

Die innerhalb einer digitalen Bodenbelastungskarte zu untersuchenden Parameter mit den entsprechenden Untersuchungsverfahren (DIN-Normen) und Bestimmungsgrenzen (BSG) sind in Anhang A zusammengestellt.

6 Qualitätssicherung

In der Qualitätssicherung (QS) sind die Begriffe Repräsentativität und Reproduzierbarkeit zentrale Begriffe, die alle Teilbereiche von der Probenahmeplanung bis zur analytischen Bestimmung betreffen.

Repräsentativität ist hierbei zu verstehen als die Richtigkeit der mittels Bodenproben gewonnenen Informationen zur Darstellung der tatsächlichen Situation in dem untersuchten Gebiet. Reproduzierbarkeit ist demnach die Präzision (Genauigkeit), mit der die zur Probenahme, Probenbehandlung und Analytik eingesetzten Methoden wiederholt in der Lage sind, gleiche Bedingungen gleich darzustellen.

Das Bodeninformationssystem, insbesondere die Methode zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten, stellt bestimmte Anforderungen an die langfristige Kontinuität der Probenahme, Probenbehandlung und Analytik, um großräumige Gebietsvergleiche zu ermöglichen. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass fehlerfrei funktionierende Probenahmeprozeduren von großer Wichtigkeit sind.

Die Leistung des gesamten analytischen Systems wird vom Labor selbst kritisch geprüft. Maßnahmen zur Analytischen Qualitätssicherung werden in einem Qualitätssicherungshandbuch des Labors beschrieben und können vor Auftragsvergabe abgefragt werden.

Da es für die Bodenbelastungskarte kein Verzeichnis der Untersuchungsstellen für Bodenproben gibt, können in Absprache mit dem Landesumweltamt (LUA NRW) mindestens zwei Kontrollproben an das geplante Labor vergeben werden. Diese sind auf die verschiedenen Parameter (Schwermetalle, PAK und PCB) vorab zu untersuchen. Nach Begutachtung der Analysenergebnisse der Kontrollproben kann die Analyse der beprobten Standorte erfolgen. Um die Richtigkeit der Analysenergebnisse zu überprüfen, sind innerhalb eines Untersuchungsgebietes grundsätzlich mindestens zehn Prozent des gesamten Probenumfanges zusätzlich an ein weiteres Labor zur Analyse zu

vergeben. Diese Paralleluntersuchungen ermöglichen es, systematische Fehler aufzudecken.

Qualitätssicherungs (QS)-Merkmale

- Mindestens 10 Probenahmestellen pro homogener Raumeinheit
- Ausschlusskriterien bei der Überblicksbegehung
- fachgerechte Probenahme nach gleicher Methodik (Geräte, Dokumentation)
- leistungsfähige Analytik (DIN-Methoden, Bestimmungsgrenzen, QS)
- Kontrollproben werden vom LUA bereitgestellt
- Paralleluntersuchungen, mindestens 10% der anfallenden Proben eines Untersuchungsgebietes an ein zweites Labor vergeben
- Gleiche Methodik bei der Weiterbearbeitung der Daten und der Auswertung
- qualifiziertes Personal für alle Arbeitsschritte

A: Liste der Parameter, Untersuchungsverfahren und Bestimmungsgrenzen

Parameter	Untersuchungsverfahren	Bestimmungs-grenzen
allgemeine Begleitparameter		
pH-Wert	DIN/ISO 10390 mit CaCl2	
organischer Kohlenstoff (Corg)	DIN ISO 10 694 (C-Analysator) oder DIN 19 684 Teil 2 (K-Dichromat)	
Korngrößenverteilung	DIN 19683 Teil 2	
Trockenrückstand und Wassergehalt	DIN ISO 11 465	
Trockenrohdichte	DIN 19683 Teil 12 E-DIN ISO 11272	
Schwermetallgehalte		
Aufschluß:	DIN ISO 11466	
Messung:		
Arsen	DIN EN ISO 11885	0,6 mg/kg
Blei	DIN 38 406 E 6 o. DIN EN ISO 11885	2,0 mg/kg
Cadmium	DIN EN ISO 5961 o. DIN EN ISO 11885	0,08 mg/kg
Kupfer	DIN 38 406 E 7 o. DIN EN ISO 11885	0,4 mg/kg
Chrom	DIN 38 406 E 10 o. DIN EN ISO 11885	3,0 mg/kg
Nickel	DIN 38 406 E 11 o. DIN EN ISO 11885	1,0 mg/kg
Quecksilber	DIN 38 406 E 12-3	0,05 mg/kg
Zink	DIN 38 406 E 8 o. DIN EN ISO 11885	1,0 mg/kg
Thallium: Aufschluß:	VDLUFA-MethodenhandbuchVII, 1.Teillief. 1996 (HNO_3-Aufschluß)	
Messung:	VDLUFA- MethodenhandbuchVII, 1.Teillief. 1996 DIN 38406 E26	0,4 mg/kg
Organische Schadstoffe		
PAK	LUA-Merkblatt 1/1994 A: THF/US und HPLC B: Toluol/Soxhlet und GC-MS	2 bis 20 µg/kg
PCB	LUA Merkblatt 6/1996 und in Anlehnung an DIN 38414 S 20 Hexan/Soxhlet und GC-MS o. GC-ECD	0,1 µg/kg

B: Geräte und Materialien für die Messnetzplanung und Datenerfassung

Dateneingabe:

- PEN-Computer mit Software zur Datenerfassung und GPS-Gerät, Karten:
- Karte der Nutzungsarten (aggregiert aus ATKIS)
- Karte der Schwermetallgrundgehalte oberflächennaher Gesteine
- Karte der Überschwemmungsgebiete
- ggf. weitere Karten zu Belastungsschwerpunkten (Altlasten, Emittentenstandorte)
- Topografische Karten (DGK 5, TK 50)

C: Geräte und Materialien für die Geländearbeiten

Geräte und Materialien	**geschätzte Kosten** in DM
aktuelle Straßenkarten	10,-
Braunglas-Weithalsschliffflaschen (2 l) mit Schliffverschluss oder Braunglas-Weithalsflaschen (1 l) mit Schraubverschluss (Deckel innen mit aluminiumbeschichteter Korkeinlage)	10,- 5,-
Edelstahl Zylinder (Gesamthöhe 12 cm, Markierung für Einschlagtiefe in 10 cm, ∅ 50 mm)	15,- bis 33,-
Aluminiumkoffer mit 10 Stechzylindern (365 cm^3)	500,-
Edelstahlschaufeln (klein) zur Homogenisierung und Abfüllung des Probenmaterials	20,-
Edelstahlschüsseln zur Homogenisierung des Probenmaterials	15,-
Flasche mit 10%iger Salzsäure zur Bestimmung des Carbonatgehaltes	5,-
Fluchtstangen • aus Holz mit Kunststoffspitze • aus Stahl mit Stahlspitze	 22,- 25,-
Fotoapparat	50,- bis ...
kleine Edelstahlkellen	15,-
Kühlboxen und Kühlakkus	20,- bis 100,-
Pürckhauer Bohrstöcke (oder N_{min} Bohrer, andere Rillenbohrer) mit Knebel	350,-
Kunststoffhammer	150,-
Maßband (50 m)	70,- bis 150,-
Messer	2,- bis 10,-
Polyethylen-Beutel (Stück)	0,50

Fortsetzung: Geräte und Materialien für die Geländearbeiten

Schlaghaube (komplett) • Schlaghaube für Ringe • Führungszylinder für Ringe • Schon-Hammer mit Nylonkopf, ∅ 70 mm, 2 kg, rückschlagfreie Ausführung	320,- 100,- 95.- 105,-
selbstklebende Etiketten	2,- bis 5,-
Spaten	50,- bis 100,-
wasserfeste Stifte	2,- bis 5,-
Wasserflasche (Profilaufnahme)	5,-
Wurzelbohrer	360,- bis 400,-
Handbesen, breiter Pinsel	5,-
Halbschalen aus Edelstahl (für Wurzelbohrer), (Länge 30 cm, ∅ 12 cm, Stärke 1 mm)	40,- bis 50,-

D: Geschätzter Zeit- und Personalaufwand

Annahme: Die Messnetzplanung schlägt 50 Probenahmestellen (20 Acker-, 20 Grünland- und 10 Waldflächen) und 50 Ersatzstellen vor.

Tätigkeit	Zeitaufwand	Personenaufwand
Beschaffung verfügbarer Karten, Übertragung der Probenahmestellen in Karten	1 Tag	1 Person
Ermittlung der Eigentümer	3-4 Tage	1 Person
Benachrichtigung der Eigentümer	0,5 Tage	1 Person
Überblicksbegehung: je nach Zugänglichkeit 6-10 Flächen pro Tag, 50 Hauptprobenahmestellen und 25 Ersatzprobenahmestellen	8-12 Tage	2 Personen
Kurzinterview mit 50 Eigentümern	5 Tage	1 Person
Probenahme: 8-10 Probenahmestellen pro Tag*	8-14 Tage	2 Personen
Überprüfung der Ergebnisse, Dateneingabe, Nachbereitung	10 Tage	1 Person

* Bei Probenahmen im Wald sollten möglichst nur 5 Punkte pro Tag eingeplant werden. Zeitdruck bei der Probenahme sollte schon bei der Planung vermieden werden. Probenahmefehler ziehen, wenn sie überhaupt erkannt werden, einen großen Zeitaufwand zur Bereinigung und erhebliche Folgekosten nach sich.

Diese Zeitangaben sind nur zur ungefähren Abschätzung gedacht. Der tatsächliche Zeitaufwand in der Praxis ist stark abhängig von der Qualifikation der Probenehmer, der Zugängigkeit der Probenahmeflächen, dem Zeitpunkt der Beprobung etc..

E: Geschätzte Kosten für Analysen

Untersuchungsparameter gemäß Tab. 1:	
Lufttrocknung, Absiebung, Homogenisierung	ca. 20,- DM
Trockensubstanz	ca. 10,- DM
pH-Wert	ca. 10,- DM
C_{org}-Gehalt	ca. 50,- DM
Bodenart (Korngröße)	ca.120,- DM
Trockenrohdichte	ca. 15,- DM
Schwermetallgesamtgehalte	
(As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Tl, Zn)	ca. 150,- DM
16 EPA-PAK	ca. 100,- DM
6 PCB	ca. 100,- DM
Gesamtkosten (pro Probe)	**ca. 600,- DM**

Je nach Anzahl der zu untersuchenden Proben und Untersuchungsumfang können von den Laboratorien Rabatte eingeräumt werden.

Bei der Zusammenstellung der Analysenkosten ist darauf zu achten, dass bei der Beprobung von Waldflächen pro Fläche **2 Proben** (Auflage- und Oberbodenprobe) zu analysieren sind.

F: Abkürzungen und Begriffe

ATKIS	Amtlich-Topographisch-Kartographisches-Informationssystem
BIS NRW	Bodeninformationssystem Nordrhein-Westfalen
BSG	Bestimmungsgrenze
C_{org}	Organischer Kohlenstoff
DIN	Deutsches Institut für Normung
E-DIN	Entwurf einer DIN-Vorschrift
DGK 5 Bo	Deutsche Grundkarte auf der Grundlage der Bodenschätzung, 1:5.000
FIS StoBo	Fachinformationssystem Stoffliche Bodenbelastung
GISPAD	Software zur mobilen Datenerfassung
GIS	Geo-Informationssysteme
GPS	Global Positioning System
LUA NRW	Landesumweltamt NRW
MDE-System	Mobile Datenerfassungssysteme
m_T	Trockenmasse
PAK	Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe
PCB	Polychlorierte Biphenyle
PEN-Computer	Feldtauglicher PC, der über einen Stift zu bedienen ist
pH	pH-Wert
TK 50	Topographische Karte, 1:50.000
VDLUFA	Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten

G: Liste der zu analysierenden Einzelkomponenten

Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

NAP	Naphthalin
ACY	Acenaphthylen
ACE	Acenaphthen
FLU	Fluoren
PHT	Phenanthren
ANC	Anthracen
FLT	Fluoranthen
PYR	Pyren
BAA	Benzo(a)anthracen
CHR	Chrysen
BBF	Benzo(b)fluoranthen
BKF	Benzo(k)fluoranthen
BAP	Benzo(a)pyren
DBA	Dibenz(ah)anthracen
BPE	Benzo(ghi)perylen
INP	Indenopyren

Summe 16 EPA-PAK

Polychlorierte Biphenyle (PCB):

PCB-28	2,4,4'-Trichlorbiphenyl
PCB-52	2,2',5,5'-Tetrachlorbiphenyl
PCB-101	2,2',4,5,5'-Pentachlorbiphenyl
PCB-138	2,2',3,4,4',5'-Hexachlorbiphenyl
PCB-153	2,2',4,4',5,5'-Hexachlorbiphenyl
PCB-180	2,2',3,4,4',5,5'-Heptachlorbiphenyl

Summe 6 PCB

Fortsetzung: Liste der zu analysierenden Einzelkomponenten

Schwermetalle:

As	Arsen
Cd	Cadmium
Cr	Chrom
Cu	Kupfer
Hg	Quecksilber
Ni	Nickel
Pb	Blei
Tl	Thallium
Zn	Zink

H Digitale Bodenbelastungskarten Feldprotokoll

Probenahmestelle (Nr.)_____	1

Allgemeine Angaben

1. Angaben zum Untersuchungsprogramm

Untersuchungsprogramm	
Untersuchungsgebiet	
Datum der Probenahme	
Probenehmende Stelle	
Probenehmer(in)	

2. Angaben zur Untersuchungsfläche

Gemeinde	
Ortsbez. (Flur)	
Eigentümer/ Kontaktadresse	
Anmerkungen	

3. Angaben zu verwendeten Karten

TK 50 Blatt-Nr._____ BK 50 Blatt-Nr._____

DGK5 Blatt-Nr._____ GK 25 Blatt-Nr._____

4. Standortbeschreibung (zutreffendes bitte ankreuzen)

Haupt-Probenahmestelle	❒	Proben-Nr.:
Ersatz-Probenahmestelle	❒	Proben-Nr.:

Nutzungsart

Acker ❒	Grünland ❒	Wald ❒ Nadelwald ❒ Laubwald ❒ Mischwald ❒	überprüft ❒

Einheit der oberflächennahen Gesteine

	überprüft ❒

Probenahmestelle (Nr.)_____	2

Überschwemmungseinfluss

Ja ❒	nein ❒	überprüft ❒

Höhe ü. NN (m)	
Exposition	Geländeform
Hangneig. (° od. %)	Bewuchs

Anmerkungen

5. Angaben zur Umgebungssituation

Bodenverbesserungsmaßnahmen: ❒ JA ❒ NEIN ❒ k.A.*

wenn ja, welche:_____

Altlastenverdacht, Altstandort in der näheren Umgebung : ❒ JA ❒ NEIN ❒ k.A.*

Bemerkungen: _____

Erosionserscheinungen in der näheren Umgebung: ❒ JA ❒ NEIN ❒ k.A.*

Bemerkungen: _____

Immissionssituation: ❒ k.A.*

Standortgeschichte: ❒ k.A.*

* k.A. = keine Angabe

6. Koordinaten

analog gemessen ❒ mit GPS gemessen ❒

Gauß-Krüger-Rechtswert							
Gauß-Krüger-Hochwert							

Probenahmestelle (Nr.)_____ 3

Probenahme

7. Bodenprofilbeschreibung

Bodentyp	
Substrat	
Einstufung nach Bodenschätzung (DGK5 Bo)	
Anmerkungen	

Profilbeschreibung

Tiefe (cm)		Horizont-symbol	Boden-farbe	Humus-gehalt	Hydro-morphie		Boden art	Skelett (vol%)	Carbo-natgehalt	Bei-meng-ungen	Bemerkungen
von	bis				ox.[1]	red.[2]					

[1] oxidative Hydromorphiemerkmale
[2] reduktive Hydromorphiemerkmale

8. Angaben zur Probenahme

Proben-Nr.	Tiefe		Entnahmeart		Entnahme-Gerät	Anzahl der Einzel-proben
	von	bis	gestört	ungestört		

Probenahmestelle (Nr.)_____ 4

Allgemeine Angaben / Überblicksbegehung

Profilbeschreibung I

Tiefe (cm)		Horizont-symbol	Boden-farbe	Humus-gehalt	Hydro-morphie		Boden -art	Skelett (vol%)	Carbo-natgehalt	Bei-meng-ungen	Bemerkungen
von	bis				ox.[1]	red.[2]					

[1]oxidative Hydromorphiemerkmale
[2] reduktive Hydromorphiemerkmale

Tiefe (cm)		Horizont-symbol	Boden-farbe	Humus-gehalt	Hydro-morphie		Boden -art	Skelett (vol%)	Carbo-natgehalt	Bei-meng-ungen	Bemerkungen
von	bis				ox.[1]	red.[2]					

[1]oxidative Hydromorphiemerkmale
[2] reduktive Hydromorphiemerkmale

Tiefe (cm)		Horizont-symbol	Boden-farbe	Humus-gehalt	Hydro-morphie		Boden -art	Skelett (vol%)	Carbo-natgehalt	Bei-meng-ungen	Bemerkungen
von	bis				ox.[1]	red.[2]					

[1]oxidative Hydromorphiemerkmale
[2] reduktive Hydromorphiemerkmale

III. Hintergrundwerte nach LABO und Bodenwerte nach BBodSchV

Hintergrundwerte

Der Hintergrundgehalt eines Bodens setzt sich aus dem geogenen Grundgehalt eines Bodens und der ubiquitären Stoffverteilung als Folge diffuser Einträge in den Boden zusammen. Hintergrundwerte beruhen auf den ermittelten Hintergrundgehalten und bezeichnen unter Angabe statistischer Kenngrößen (50. und 90. Perzentil) und der Differenzierung hinsichtlich der Bodeneigenschaften und Standortverhältnisse sowie der Bezugsgrößen Nutzung (Acker, Grünland, Wald) und Gebietstyp (Typen 0, I, II, III) die repräsentativen Stoffkonzentrationen in Böden. Sie bieten einen Maßstab für das Erkennen einer spezifischen Bodenbelastung im Rahmen der ursachenbezogenen Betrachtung der orientierenden Untersuchung. Punktuelle Belastungsschwerpunkte gehen nicht in die Ermittlung von Hintergrundwerten ein (LABO 1998).

Für NRW werden die Hintergrundwerte der stofflichen Bodenbelastung aus den Daten des FIS StoBo ermittelt. In der Tab. 4 a+b sind die ermittelten Hintergrundwerte anorganischer und organischer Schadstoffe angegeben.

Bodenwerte

In der BBodSchV sind bundeseinheitliche Werte für die Untersuchung und Bewertung von Verdachtsflächen und schädlichen Bodenveränderungen festgelegt. Bodenwerte (Vorsorgewerte sowie Prüf- und Maßnahmenwerte) sind Angaben über Stoffkonzentrationen im Boden, deren Überschreitung unterschiedliche Konsequenzen haben.

1. Vorsorgewerte

Vorsorgewerte sind definiert als „Bodenwerte, bei deren Überschreiten unter Berücksichtigung von geogenen oder großflächig siedlungsbedingten Schadstoffgehalten in der Regel davon auszugehen ist, dass die Besorgnis einer schädlichen Bodenveränderung besteht“. (§ 8 Abs. 2 Nr. 1 BBodSchG)

Vorsorgewerte sind substratdifferenziert (Bodenarten Ton, Lehm/ Schluff, Sand; Humusgehalt) und nutzungsunabhängig.

In der Tab. 1 sind die Vorsorgewerte der BBodSchV angegeben.

2. Prüf- und Maßnahmenwerte

Prüfwerte sind definiert als „Werte, bei deren Überschreiten unter Berücksichtigung der Bodennutzung eine einzelfallbezogene Prüfung durchzuführen und festzustellen ist, ob eine schädliche Bodenveränderung oder Altlast vorliegt“. (§ 8 Abs. 1 Nr. 1 BBodSchG)

Nach einer einzelfallbezogenen Prüfung kann bei Unterschreiten der Prüfwerte der Gefahrenverdacht für das jeweilige Schutzgut, den Wirkungspfad und die Nutzung ausgeräumt werden.

Maßnahmenwerte sind definiert als „Werte für Einwirkungen oder Belastungen, bei deren Überschreiten unter Berücksichtigung der jeweiligen Bodennutzung in der Regel von einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast auszugehen ist und Maßnahmen erforderlich sind“. (§ 8 Abs. 1 Nr. 2 BBodSchG)

In den Tab. 2 und 3 sind die Prüf- und Maßnahmenwerte für die Wirkungspfade Boden-Mensch und Boden-Nutzpflanze angegeben.

Tab. 1: Vorsorgewerte für Böden mit nicht naturbedingt und großflächig siedlungsbedingt erhöhten Hintergrundgehalten

			Bodenart		
Stoff	pH-Wert	Humusgehalt [2)]	Ton	Lehm/ Schluff	Sand [1)]
Blei	≥ 5,0	≤ 8%	100	70	40
	< 5,0		70	40	40
Cadmium	≥ 6,0	≤ 8%	1,5	1	0,4
	< 6,0		1	0,4	0,4
Kupfer		≤ 8%	60	40	20
Nickel	≥ 6,0	≤ 8%	70	50	15
	< 6,0		50	15	15
Quecksilber		≤ 8%	1	0,5	0,1
Zink	≥ 6,0	≤ 8%	200	150	60
	< 6,0		150	60	60
Benzo(a)pyren		≤ 8%		0,3	
		> 8%		1	
PAK_{16}		≤ 8%		3	
		> 8%		10	
PCB_6		≤ 8%		0,05	
		> 8%		0,1	

Angaben in mg/kg Trockenmasse, Feinboden, Analytik nach Anhang 1 BBodSchV

1) Stark schluffige Sande sind entsprechend der Bodenart Lehm/ Schluff zu bewerten

2) Die Vorsorgewerte für Metalle finden für Böden und Bodenhorizonte mit einem Humusgehalt von mehr als 8 Prozent keine Anwendung. Für diese Böden können die zuständigen Behörden ggf. gebietsbezogene Festsetzungen treffen

Tab.2: Prüfwerte nach BBodSchV für den Wirkungspfad Boden-Mensch (direkte Aufnahme von Schadstoffen)

	Nutzung			
	Kinderspiel-flächen	Wohn-gebiete	Park-und Freizeitanlagen	Industrie-und Gewerbe-grundstücke
Stoff	0-10 cm	0-10 cm	0-10 cm	0-10 cm
Arsen	25	50	125	140
Blei	200	400	1.000	2.000
Cadmium	10 [1)]	20 [1)]	50	60
Cyanide	50	50	50	100
Chrom	200	400	1.000	1.000
Nickel	70	140	350	900
Quecksilber	10	20	50	80
Aldrin	2	4	10	-
Benzo(a)pyren	2	4	10	12
DDT	40	80	200	-
Hexachlorbenzol	4	8	20	200
Hexachlorcyclo-hexan	5	10	25	400
Pentachlorphenol	50	100	250	250
Polychlorierte Biphenyle (PCB_6) [2)]	0,4	0,8	2	40

Angaben in mg/kg Trockenmasse, Feinboden, Analytik nach Anhang 1 BBodSchV

1) In Haus- und Kleingärten, die sowohl als Aufenthaltsbereiche für Kinder als auch für den Anbau von Nahrungspflanzen genutzt werden, ist für Cadmium der Wert von 2,0 mg/kg TM als Prüfwert anzuwenden

2) Soweit PCB-Gesamtgehalte bestimmt werden, sind die ermittelten Messwerte durch den Faktor 5 zu dividieren

Tab.3: Prüf- und Maßnahmenwerte nach BBodSchV für den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze

	Nutzung		
	Ackerbau, Nutzgarten		Grünland
	0-30 cm		0-10 cm
Stoff	Prüfwert	Maßnahmenwert	Maßnahmenwert
Arsen	200 [1) 3)]		50 [1)]
Blei	0,1 [2)]		1200 [1)]
Cadmium		0,04/ 0,1 [2) 4)]	20 [1)]
Kupfer			1300 [1) 5)]
Nickel			1900 [1)]
Quecksilber	5 [1)]		2 [1)]
Thallium	0,1 [2)]		15 [1)]
Benzo(a)pyren	1		
PCB			0,2

Angaben in mg/kg Trockenmasse, Feinboden, Analytik nach Anhang 1 BBodSchV

1) Extraktionsverfahren: Königswasser

2) Extraktionsverfahren: Ammoniumnitrat

3) Bei Böden mit zeitweise reduzierenden Verhältnissen gilt ein Prüfwert von 50 mg/kg Trockenmasse

4) Auf Flächen mit Brotweizenanbau oder Anbau stark Cadmium-anreichernder Gemüsearten gilt als Maßnahmenwert 0,04 mg/kg Trockenmasse; ansonsten gilt als Maßnahmenwert 0,1 mg/kg Trockenmasse

5) Bei Grünlandnutzung durch Schafe gilt als Maßnahmenwert 200 mg/kg Trockenmasse

Tab. 4: Hintergrundwerte für Böden in NRW

a) anorganische Stoffe (Schwermetalle)

Für **anorganische Stoffe (Schwermetalle)** werden die Hintergrundwerte nach folgenden Gebietstypen (Siedlungsstrukturen) differenziert:

Typ 0: landesweite Hintergrundwerte, ohne Differenzierung nach Gebietstypen,

Typ I: Ballungskerne und solche Kreise, die im weiteren Einflussbereich von Erzabbaugebieten liegen,

Typ II: Großstadtrandbereiche und Bereiche, in denen geogen in geringem Umfang erhöhte Schwermetallgehalte im Boden zu finden sind,

Typ III: Ländliche Gebiete sowie Gebiete außerhalb des Einflussbereiches vorrangiger Belastungsursachen.

Bei der Berechnung der Hintergrundwerte für die Gebietstypen I-III wurden Daten aus den Städten Aachen, Stolberg, Mechernich, Eschweiler und Duisburg nicht berücksichtigt. Für diese Städte werden wegen der besonderen Belastungssituation durch Erzabbau und Immissionen lokale Hintergrundwerte ermittelt.

b) organische Stoffe (PAK, PCB, PCDD/F)

Für **organische Stoffe (polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), polychlorierte Biphenyle (PCB), polychlorierte Dibenzodioxine und -furane (PCDD/F))** werden die Hintergrundwerte nach folgenden Gebietstypen (Siedlungsstrukturen) differenziert:

Typ 0: landesweite Hintergrundwerte, ohne Differenzierung nach Gebietstypen,

Typ I: hohe Siedlungsdichte, Kernzone, sehr starker industrieller Besatz, Schwerpunkte der industriellen Entwicklung des Landes,

Typ II: mittlere Besiedlungsdichte, mittlerer industrieller Besatz,

Typ III: geringe Siedlungsdichte, Klein- und Mittelstädte in ländlicher Umgebung, kaum Industrie, starke landwirtschaftliche oder forstwirtschaftliche Prägung.

Tab. 4a: Hintergrundwerte für **anorganische Stoffe** in Böden Nordrhein-Westfalens; Angabe der Gesamtgehalte (Acker, Grünland: Königswasserextraktion, Wald: Mikrowellen-Druckaufschluss (HNO_3, H_2O_2, HCl))

			Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
			mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Acker Oberboden		**n**						
Typ 0	**50 P.**	n >> 100	0,42	25	12	12	30	67
	90 P.	n >> 100	0,77	39	22	24	52	119
Typ I	**50 P.**	n >> 100	0,53		16		44	108
	90 P.	n >> 100	1,00		34		96	245
Typ II	**50 P.**	n >> 100	0,40		14		29	66
	90 P.	n >> 100	0,80		26		50	111
Typ III	**50 P.**	n >> 100	0,40		11		27	60
	90 P.	n >> 100	0,70		18		44	99
Grünland Oberboden								
Typ 0	**50 P.**	n >> 100	0,63	28	18	25	56	127
	90 P.	n >> 100	1,41	48	46	54	130	333
Typ I	**50 P.**	n >> 100	0,92		21		79	179
	90 P.	n >> 100	1,91		58		213	494
Typ II	**50 P.**	n >> 100	0,76		17		61	123
	90 P.	n >> 100	1,21		36		117	216
Typ III	**50 P.**	n >> 100	0,50		16		43	105
	90 P.	n >> 100	1,31		43		107	304
Wald Auflage (L+F)								
Typ 0	**50 P.**	481	0,81	19	23	14	167	110
	90 P.	481	1,33	35	40	23	304	187
Typ I	**50 P.**	141	0,76		27		194	116
	90 P.	141	1,37		48		333	201
Typ II	**50 P.**	191	0,90		23		174	115
	90 P.	191	1,40		38		286	190
Typ III	**50 P.**	149	0,73		21		126	96
	90 P.	149	1,13		33		255	142
Wald Auflage (OH)								
Typ 0	**50 P.**	314	0,66	38	36	21	337	117
	90 P.	314	1,21	56	67	33	568	191
Typ I	**50 P.**	110	0,62		42		375	128
	90 P.	110	1,21		81		604	217
Typ II	**50 P.**	135	0,70		35		335	120
	90 P.	135	1,26		59		532	188
Typ III	**50 P.**	69	0,62		32		272	93
	90 P.	69	1,17		58		511	132
Wald Oberboden								
Typ 0	**50 P.**	488	0,23	48	16	16	108	64
	90 P.	488	0,77	82	32	37	205	132
Typ I	**50 P.**	142	0,25		19		132	78
	90 P.	142	0,60		42		221	149
Typ II	**50 P.**	192	0,26		17		137	63
	90 P.	192	0,90		31		211	123
Typ III	**50 P.**	153	0,14		9		66	40
	90 P.	153	0,76		18		101	118

Tab. 4b: Hintergrundwerte für **organische Stoffe** in Böden Nordrhein-Westfalens

		B(a)P		PCB (Σ 6 Kong.)		PCDD/F	
		µg/kg	n	µg/kg	n	ng I-TEq/kg	n
Acker Oberboden							
Typ 0	**50 P.**	44	322	-		-	
	90 P.	200	322	-		-	
Typ I	**50 P.**	-		6,5	61	-	
	90 P.	-		43,8	61	-	
Typ II	**50 P.**	60	238	-		-	
	90 P.	260	238	-		-	
Typ III	**50 P.**	25	94	4,5	41	-	
	90 P.	70	94	10,1	41	-	
Grünland Oberboden							
Typ 0	**50 P.**	210	82	-		5,0	157
	90 P.	830	82	-		8,9	157
Typ I	**50 P.**	-		4,3	28	7,4	10
	90 P.	-		12,6	28	18,0	10
Typ II	**50 P.**	400	25	-		6,3	35
	90 P.	730	25	-		11,0	35
Typ III	**50 P.**	150	56	1,8	71	4,7	112
	90 P.	940	56	3,9	71	7,9	112
Wald Oberboden							
Typ 0	**50 P.**	25	53	-		-	
	90 P.	640	53	-		-	
Typ I	**50 P.**	-		-		-	
	90 P.	-		-		-	
Typ II	**50 P.**	71	31	-		-	
	90 P.	640	31	-		-	
Typ III	**50 P.**	23	20	-		-	
	90 P.	360	20	-		-	

IV. Kurzbeschreibung Arbeiten mit dem Datenbank-Baustein

1. Mit der Funktion *Projekt neu* wird ein neues Projekt erzeugt. Der Benutzer muß einen Namen (max. 8 Zeichen) für das neue Projekt eingeben. Unter diesem Namen wird eine Access-Datenbank in einem frei wählbaren Verzeichnis angelegt, in der die notwendigen Tabellenstrukturen dann vorhanden sind. Nachdem die Datenbank angelegt worden ist, wird sie automatisch geöffnet. Wenn bereits ein Projekt existiert, kann dieses mit der Funktion *Projekt öffnen* zur Bearbeitung geöffnet werden. Nach Auswahl des Pfades kann in der Auswahlliste der Projekte ein Projekt gewählt und durch die Bestätigung mit der OK-Taste geöffnet werden. Falls bereits ein Projekt geöffnet ist, muss dieses zuvor geschlossen werden.

2. Die Funktion *Daten Import* dient zum Importieren von Daten in den BBK-Datenbankbaustein. Dazu müssen die aus dem FIS StoBo entladenen Daten bzw. die mit dem Erfassungsbaustein erfassten Daten vorliegen. Beim Datenimport werden die Tabellen mit den Probendaten (“DATEN_PR”) und den Messwerten (“DATEN_PA”) durch die in den Import-Tabellen befindlichen Daten ergänzt. Durch mehrmaligen Import können Daten an die existierenden Tabellen angehängt werden.

3. Mit den Funktionen *Ausgangssubstrate* und *Überschwemmungsgebiete* aus dem Menü *Dateneingabe* können fehlende Angaben zu den Themen ergänzt werden.

4. Mit der Funktion *Nutzungstypen* im Menü *Bearbeiten* erfolgt die Zuordnung der Nutzungsarten des FIS StoBo zu den für Bodenbelastungskarten relevanten Nutzungstypen.

5. Mit der Funktion *Oberflächennahe Gesteine* im Menü *Bearbeiten* erfolgt die Benennung der Einheit oberflächennahe Gesteine und die Zuordnung der Substrate zu den o*berflächennahen Gesteinen*.

6. Die geogenen Grundgehalte sind nicht für alle Substrate und alle Regionen in NRW bekannt. Daher müssen für jedes Testgebiet die geogenen Grundgehalte für alle vorkommenden Substrate aus den verfügbaren abgeschätzt werden. Außerdem ist die Angabe eines „Durchpausungsfaktors” erforderlich, der den Anteil des geogenen Grundgehaltes angibt, der sich in den Oberboden durchpaust. Dieser muss für jeden Stoff aus den vorhandenen Messwerten und den geogenen Grundgehalten außerhalb des Datenbankbausteines berechnet werden.

7. Mit der Funktion *Geogene Gehalte* im Menü *Bearbeiten* erfolgt die Eingabe der geogenen Grundgehalte und der Durchpausungsfaktoren für alle Substrate und alle zu bearbeitenden Stoffe.

8. Die Validierung dient dazu, die verfügbaren Daten auf ihre Eignung zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten zu prüfen. Zunächst erfolgt eine automatische Validierung. Anschließend besteht die Möglichkeit der manuellen Validierung. Es besteht weiterhin die Möglichkeit zur Korrektur.

9. *Standardisierung über Einflussgrößen*: Die räumliche Verbreitung der Stoffgehalte ist von mehreren räumlich abgrenzbaren Faktoren abhängig, die dazu führen, dass die für eine räumliche Interpolation notwendige Persistenz ganz oder teilweise aufgehoben wird. Ziel der Standardisierung über Einflussgrößen ist es nun, die Einflüsse einzelner räumlich wirkender Faktoren zu quantifizieren und anschließend aus den Daten zu eliminieren, so dass am Ende ein standardisierter Datensatz entsteht. Dieser kann dann als Grundlage für die räumliche Interpolation dienen. Entsprechend der drei räumlich abgrenzbaren Einflussfaktoren Ausgangssubstrate, Überschwemmungsgebiete und Bodennutzung werden Korrekturfaktoren bzw. Korrekturglieder für die Standardisierung ermittelt:

   1. Ausgangssubstrate: Anhand von Literaturauswertungen werden die geogenen Grundgehalte bzw. deren Anteile im Oberboden ermittelt. Diese Werte werden von den gemessenen Werten subtrahiert.

   2. Überschwemmungen: Als Korrekturfaktor für den Überschwemmungseinfluss wird das Verhältnis des Medianes aller Daten außerhalb des Überschwemmungsgebietes zum Median der Daten innerhalb des Überschwemmungsgebietes verwendet. Alle Messwerte innerhalb der Überschwemmungsgebiete werden mit dem Korrekturfaktor multipliziert. Die Berechnung der Mediane erfolgt nach dem Abzug der geogenen Ausgangsgehalte.

   3. Bodennutzung: Die Ermittlung des Einflusses der Nutzungsart erfolgt aus dem um den geogenen und Überschwemmungseinfluss korrigierten Datensatz. Für jede Nutzungsart wird der Median berechnet. Bei einer Standardisierung auf die Bodennutzung wird der Median über alle Werte aller Nutzungsarten ermittelt. Dieser nutzungsspezifische Wert wird mit den in 2. ermittelten Werten multipliziert.

   Durch diese Vorgehensweise entsteht ein homogener Datensatz, in dem die Werte von den Einflüssen aus Bodennutzung, Überschwemmung und Geologie bereinigt sind. Die Standardisierung läuft voll automatisch ab.

10. Die Messnetzplanung erfolgt größtenteils in den BBK-Rastertools. Im Datenbankbaustein muss jedoch zuvor die Mindestprobenanzahl je Flächeneinheit und Mindestprobenanzahl aus statistischer Sicht sowie die Anzahl fehlender Proben je Raumeinheit eingegeben werden. Die Mindestprobenanzahl je Flächeneinheit gibt die Anzahl der Proben an, die auf die Fläche bezogen mindestens genommen werden sollen (10 Proben pro homogener Raumeinheit; 1 Probe je 4 qkm). Aus der Mindestprobenanzahl je Flächeneinheit und der Gesamtgröße des Untersuchungsgebietes ergibt sich die Anzahl der Proben. Die Mindestprobenanzahl aus statistischer Sicht gibt die Mindestprobenanzahl für jede Raumeinheit an, die notwendig ist, um valide statistische Aussagen bei der Berechnung der Korrekturfaktoren für die Standardisierung machen zu können. In der Praxis wird man hier immer Kompromisse zwischen statistischen Erfordernissen und praktischer Durchführbarkeit machen müssen.
11. Mit der Funktion *Beenden* wird der BBK-Datenbankbaustein verlassen.

V. Kurzbeschreibung Arbeiten mit den Rastertools

1. Der BBK-Datenbankbaustein sollte immer gestartet sein, wenn man mit den BBK-Rastertools arbeitet, da sonst die Datenbankanbindung der Rastertools nicht funktioniert.
2. Starten der BBK-Rastertools und *Datei - Projekt neu* auswählen.
3. Projektname und Projektbezeichnung angeben und das neue Projekt im richtigen Verzeichnis anlegen.
4. Projekteigenschaften angeben, z.B. für das Testgebiet Neuss:

   Einheit: Meter
   Minimaler X-Wert: 2539000
   Minimaler Y-Wert: 5663000
   Maximaler X-Wert: 2559000
   Maximaler Y-Wert: 5682200
   Datenbank: Pfad zur Testdatenbank angeben (durchsuchen)
   Rasterweite: 50
   No-Data-Value: -9999
   Projektbezeichnung: Testgebiet Neuss

5. Als nächstes werden die vorbereiteten Vektordaten importiert: *Datei - Vektor – Import z.B:*. DB_ALTLA.DAT: Altlastengebiete und Ausschlussflächen (optional)
   DB_ATKIS.DAT: Landnutzung aus den ATKIS-Blöcken
   DB_LITHO.DAT: Lithologische Einheiten
   DB_UEBER.DAT: Überschwemmungsgebiete
   DB_U-GEB.DAT: Untersuchungsgebiet
6. Die importierten Vektordaten kann man sich ansehen, in dem man ein neues Darstellungsfenster öffnet und auf *Darstellen - Vektorendaten* anzeigen.
7. Danach kann die Vektor-Rasterkonvertierung erfolgen: *Bodenbelastungskarte - Vektor-Raster Konvertierung.*
8. Ein Teilprojekt neu erstellen (*Datei - Teilprojekt neu*), den Namen (z.B. Blei) und die Bezeichnung eingeben.
9. Nun muss die Teilprojektregion definiert werden, da aber die meisten Angaben mit der der Projektregion identisch ist, können diese durch Anklicken des Buttons *Region setzen von Projekt* übernommen und gegebenenfalls verändert werden (Rasterweite: 25000).
10. Als nächstes kann die Interpolation der Messwerte für dieses Teilprojekt erfolgen: *Bodenbelastungskarte - Interpolation*.

11. Der zu interpolierende Stoff ist in der Auswahlliste anzuklicken und die Datenbankverbindung wird per ODBC hergestellt. Für den Suchradius und die Anzahl der Nachbarpunkte kann man die Voreinstellung 2000 und 20 übernehmen. Für Stoffe, bei denen nur eine geringe Anzahl an Datensätzen vorliegt (wie z.B. Benzo(a)pyren), ist ein größerer Suchradius anzugeben, um ein flächendeckendes Interpolationsergebnis zu erreichen. Für die Arbeitskarten „standardisierte geschätzte Stoffgehalte“ und „Schätzgüte“, die als erstes erstellt werden, können hier Namen vergeben werden (z.B. Zn1.ras. Die Arbeitskarte „standardisierte geschätzte Stoffgehalte“ ist zu klassifizieren (z.B. nach vorgegebenen Standard-Klassifikation für Zink Zn_13.lut) und neu abzuspeichern. Für die zweite Arbeitskarte „Schätzgüte“ ist eine Neu-Klassifikation nicht erforderlich. Weiterhin sind geeignete Farben zuzuordnen, z.B. über den vorhandenen Farbkeil (Darstellung - Farbe – Standardpalette laden – EKARTE1.COL).

Passender Farbkeil:

AUSSCHL.COL	Farbpalette für Altlastenstandorte und Ausschlussflächen
EKARTE1.COL	Farbpalette für die Arbeitskarte standardisierte geschätzte Stoffgehalte (Karte 1)
EKARTE2.COL	Farbpalette für die Arbeitskarte Schätzgüte (Karte 2)
EKARTE3.COL	Farbpalette für die **Ergebniskarte geschätzte Stoffgehalte** (Karte 3)
EKARTE4.COL	Farbpalette für die Auswertungskarte „Hintergrundwerte-Vergleich“ (Karte 4)
EKARTE5.COL	Farbpalette für die Arbeitskarte Untersuchungsbedarf (Karte 5)
LITHO.COL	Farbpalette für bis zu 9 verschiedene Geogene Grundgehalte
LNZ.COL	Farbpalette für die Arbeitskarte Nutzungsarten (aus dem ATKIS-Datenbestand gewonnene Landnutzungen)
UEBERSCH.COL	Farbpalette für die Arbeitskarte Überschwemmungsgebiete
U-GEBIET.COL	Farbpalette für das Untersuchungsgebiet

12. Nach der Interpolation sollten die Arbeitskarten nacheinander mit dem Raster der Untersuchungsgebiete ausgeschnitten werden: *Bodenbelastungskarte - Raster clipen* (ausschneiden). Das Quellraster wählen z.B. INTERPOL.RAS wird mit Clipraster UGGRENZ.RAS geclippt und als Ergebnis z.B. als EK1.RAS gespeichert. Das gleiche wird jetzt noch für das Quellraster ESTIMATE.RAS durchgeführt und als Ergebnis z.B. EK2.RAS abgespeichert. Es ist sinnvoll, diese Karten nach den bearbeiteten Stoffen zu benennen z.B. Pb1.ras für die 1. Karte Blei (Schätzwerte),

Pb2.ras für die 2. Karte Blei (Schätzvarianzen) usw.

13. Für die neu erzeugte Karte sollte im Menüpunkt *Darstellen - Farben* die richtige vorgefertigte Farbpalette geladen werden (s. Pkt. 8).

14. Dann werden die Einflussgrößen zurückgerechnet: *Bodenbelastungskarte - Rückrechnung der Einflussgrößen*. Als Karte der Schätzwerte gibt man die ausgeschnittene Karte der interpolierten Messwerte an (die beispielsweise EK1.RAS heißen könnte). Die **Ergebniskarte geschätzte Stoffgehalte** wird z.B. als EK3.RAS gespeichert und dementsprechend klassifiziert.

    Beispielhafte Klassifizierungen für Blei:

    Karte 1 und 3:
    0 - 50 mg/kg
    50 - 100 mg/kg
    100 - 150 mg/kg
    150 - 200 mg/kg
    200 - 250 mg/kg
    250 - 300 mg/kg
    300 - 350 mg/kg
    > 350 mg/kg

    Dazu kann ein bereits vorgefertigtes Look-Up-Table geladen werden (PB-EK13.LUT).

15. Im Anschluss erfolgt die Klassifikation der **Ergebniskarte geschätzte Stoffgehalt** nach Hintergrundwerten zur Erstellung der Auswertungskarte „Hintergrundwerte-Vergleich“. Dazu wählt man im entsprechenden Fenster die Ergebniskarte (z.B. EK3.ras) aus. Die Auswertungskarte „Hintergrundwerte-Vergleich“ kann als EKARTE04.RAS oder EK4.RAS gespeichert werden. Klassifikationsschemata sind für einige Parameter in der Liste vorhanden. Diese Klassifizierung erfolgt anhand der Hintergrundwerte für Böden in NRW für die verschiedenen Nutzungen.

16. Im weiteren Schritt wird nun die Arbeitskarte „Untersuchungsbedarf“ ermittelt. Dafür ist es erforderlich, dass die Arbeitskarte „Schätzgüte“ und die Auswertungskarte „Hintergrundwert-Vergleich“ vorliegen. Als erstes wird die Karte „Schätzgüte“ angeben, dann die Karte „Hintergrundwerte-Vergleich“ und schließlich den Namen für die Arbeitskarte „Untersuchungsbedarf“ festgelegt. Das Look-Up-Table (hier ABUBED.LUT Abschätzung des Untersuchungsbedarfs) wird automatisch zugeordnet, eine weitere Klassifizierung ist nicht nötig.

17. Die in den Rastertools erstellten Karten können nun über die Funktion Datei - Raster - Export als Rasterkarte exportiert werden. Folgende Export-Formate werden unterstützt: ARC-ASCII-Grid (*.asc), Spatial-Desktop-Bitmap (*.bmp), ARCVIEW Bitmap (*.bmp) und TIFF (*.tif).

18. Messnetzplanung

Unter diesem Menüpunkt befinden sich die Funktionen zur Unterstützung des Anwenders bei der Messnetzplanung. Die Funktionsaufrufe sind in der Reihenfolge der Bearbeitungsschritte angeordnet.

Die Messnetzplanung führt der Anwender für einen Referenzparameter durch. Der Referenzparameter (Stoff) wird vom Benutzer festgelegt. Dieser sollte ein für das Untersuchungsgebiet typisches Ergebnis in der Karte des Untersuchungsbedarfes repräsentieren.

1. Festlegung der Mindestprobenzahl im Datenbankbaustein: 1 Probe /4qkm, 10 Proben / Raumeinheit
2. In den Rastertools das aktuelle Projekt und das aktuelle Teilprojekt öffnen. Zur Bildung der homogenen Raumeinheiten: *Messnetzplanung Homogene Raumeinheiten* anwählen.
   Die homogenen Raumeinheiten werden vom System durch Verschneidung der Grundlagenkarten zur Nutzung, Gestein und Überschwemmung und um die Reduzierung um die Ausschlussflächen gebildet.
3. Zur Bilanzierung der einzelnen Raumeinheiten nach Untersuchungsbedarf verschneidet das System die einzelnen Raumeinheiten mit der Karte des Untersuchungsbedarfes
4. Dann muss das Raster des Untersuchungsbedarfes für diesen Parameter gewählt werden, das Raster entspricht der Arbeitskarte „Untersuchungsbedarf“ im aktuellen Teilprojekt (z.B. Blei 5).
5. Dann wird das Raster der Homogenen Raumeinheiten gewählt (homre).
6. Die Bilanzierung nach Untersuchungsbedarf führt das System durch.
7. Der Stand der Bilanzierung wird durch einen Rollbalken dokumentiert (0-100%).
8. Die Statistik der Raumeinheiten wird geschrieben.
9. Im Datenbankbaustein *Messnetzplanung Probenzahl festlegen* kann nun die Bilanzierung der Raumeinheiten über schon vorhandene Proben bzw. noch fehlende Proben abgerufen werden. In einem Dialog kann die Anzahl der noch benötigten Proben für das Gesamtgebiet bzw. für jede einzelne homogene Raumeinheit festgelegt werden. Auf diese Art und Weise kann die Standard-Einstellung (s. 1) für jede Raumeinheit modifiziert werden und den individuellen Vorgaben angepasst werden. Z.B. können für bestimmte Raumeinheiten, weil sie besonders klein sind und damit keine große Rolle spielen, die Angaben über fehlende Proben herunter gesetzt werden.
10. *Messnetzplanung - Probenahmestellen setzen*

    Hier muss das Raster des Untersuchungsbedarfes für diesen Parameter gewählt werden, das Raster entspricht der Arbeitskarte „Untersuchungsbedarf“ im aktu-

ellen Teilprojekt (z.B. Blei 5), dann wird das Raster der Homogenen Raumeinheiten gewählt (homre).

11. Es erfolgt die Verschneidung zu temporären Raumeinheiten nach Untersuchungsbedarf.

12. Nach Auswahl der Raumeinheit werden die neuen Messpunkte gesetzt. Der Ablauf der Messpunkteingabe gliedert sich in 3 Schritte, die für alle Beprobungsflächen durchgeführt werden. Für jede Raumeinheit wird gemeldet, wie viele Probenpunkte noch zu setzen sind. Die noch zu setzenden Probenpunkte sollten in erster Linie in Flächen mit hohem Untersuchungsbedarf gesetzt werden und dort, wo bisher (auf dem DGK5 Blatt) nur wenig bzw. weniger als 10 Proben vorhanden sind. Auf eine möglichst gute Verteilung der Probenpunkte ist zu achten.

    1. Die Raumeinheiten der aktuellen Beprobungsfläche werden im Eingangsraster selektiert und in ein temporäres Raster übertragen.
    2. Dieses Raster wird zusammen mit den vorhandenen (rote Kreissymbole) sowie einem 2x2 km-Hilfsraster (DGK 5-Blattschnitte) dargestellt. Grundlage für die vorhandenen Probenpunkte bilden die in der Datenbank abgelegten Koordinaten. Der Bearbeiter erkennt die Lage bzw. Verteilung der Beprobungsfläche, differenziert nach geringem, mittlerem und hohem Untersuchungsbedarf. Die Probenahme und die Ersatzprobenahmestellen sind durch die Darstellung in verschiedenen Farben zu unterscheiden. Über den Menüpunkt *Darstellung - Darstellen* kann der Anwender wie in jedem Darstellungsfenster zusätzliche Datenschichten als Orientierungshilfe zur Darstellung auswählen. Zu empfehlen sind hier die jeweiligen DGK 5 Blätter zur besseren Orientierung einzuladen und in der Darstellung ausreichend zu zoomen.
    3. Der Anwender digitalisiert die für die aktuelle Raumeinheit fehlenden Haupt- und Ersatzprobenahmestellen (Mauseingabe). Es wird jeweils zuerst der Probenpunkt und dann der zugehörige Ersatzpunkt gesetzt. In einem Dialog gibt der Anwender den Grund für das Setzen zum digitalisierten Messpunkt, bei Ersatzpunkten zusätzlich einen Hinweis auf den zugehörigen Hauptpunkt an. Die Hauptpunkte werden durch ein grünes, die Ersatzpunkte durch ein blaues Kreissymbol gekennzeichnet. Der Benutzer hat die Möglichkeit, bereits gesetzte Punkte zu verschieben oder zu löschen. Die Anzahl der für eine Raumeinheit gesetzten Probenpunkte wird mitgezählt und mit der vorgesehenen Anzahl abgeglichen. Ist die vorgesehene Anzahl zu setzender Punkte erreicht, wird eine Meldung ausgegeben.

    Die Arbeitsschritte 1 bis 3 werden für jede Raumeinheit durchgeführt. Die neu gesetzten Probenpunkte werden zusammen mit dem Hinweis

auf den zugehörigen Ersatzpunkt, die homogene Raumeinheit und die Attribute an die Datenbank (Tabelle PR_NEU) gegeben.

Nach dem Schließen des Bearbeitungsfensters kann der Anwender entscheiden, ob er die nächste Raumeinheit bearbeiten oder den Vorgang beenden möchte. Beim Beenden werden die neu gesetzten Probenpunkte in der Datenbank gespeichert.

13. Die festgelegten Hauptprobenahmestellen und Ersatzprobenahmestellen werden mit ihren Koordinaten in die Tabelle PR_neu geschrieben. Durch Einbindung in ein GIS und Verknüpfung mit topographischen Karten können die Punkte visualisiert werden und eine Karte für die Überblicksbegehung und die Probenahme erstellt werden. Die genauen Koordinaten sind im Gelände zu ermitteln, nachdem die Entscheidung für den Haupt- oder Ersatzpunkt nach Überprüfung der Voraussetzung getroffen wurde.

14. Falls überhaupt keine Messpunkte im Untersuchungsgebiet vorhanden sind und dementsprechend auch keine Rasterkarten vorliegen, muss zunächst in dem Datenbank-Baustein eine Erstbeprobungsdatenbank angelegt werden. Nach Import der Vektordaten kann dann eine Karte des Untersuchungsgebietes erstellt werden, die demnach für alle Flächen einen hohen Untersuchungsbedarf aufweist.

Seit 1. April 1994 sind bisher folgende Merkblätter im Landesumweltamtes NRW erschienen:

1	Bestimmung von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) in Bodenproben	15,00 DM
2	Betrieb und Unterhaltung von mechanisch-biologischen Kläranlagen	15,00 DM
3	Abwasserbeseitigung im Außenbereich (Kleinkläranlagen)	15,00 DM
4	Leitfaden für die Abwicklung der Luftreinhalteplanung in NRW	15,00 DM
5	Leitfaden für die Vorgehensweise bei akuten Dioxin-Schadensfällen	15,00 DM
6	Bestimmung von 6 polychlorierten Biphenylen (PCB) in Böden, Schlämmen, Sedimenten und Abfällen	15,00 DM
7	Anforderungen an die Verwendung von Stahlwerksschlacken im Wasserbau	15,00 DM
8	Anforderungen an biologische Bodenbehandlungsanlagen nach dem Mietenverfahren	20,00 DM
9	Anforderungen an Sachverständige bei der Bearbeitung von Altlasten (Stand Juli 1997)	15,00 DM
10	Geräuschimmissionsprognose von Sport- und Freizeitanlagen – Berechnungshilfen –	15,00 DM
11	Richtlinie – Schnittstellenspezifikation für die Vorlage von Betriebskenndaten bei der nach § 3 Abs. 1 zuständigen Behörde gemäß Deponieselbstüberwachungs-verordnung	30,00 DM
12	Merkblatt zur Anwendung der TA Siedlungsabfall bei Deponien	30,00 DM
13	Bemessung kommunaler Kläranlagen – Hinweise für die Bemessung von Belebungsanlagen mit dem Programm ARA-BER (Version 4.0)	15,00 DM
14	Gewässerstrukturgüte in Nordrhein-Westfalen Kartieranleitung	30,00 DM
15	Simulation kommunaler Kläranlagen – Hinweise zur Anwendung der dynamischen Simulation am Beispiel von SIMBA –	20,00 DM
16	Referenzgewässer der Fließgewässertypen Nordrhein-Westfalens	30,00 DM
17	Leitbilder für kleine bis mittelgroße Fließgewässer in Nordrhein-Westfalen Gewässerlandschaften und Fließgewässertypen	30,00 DM
18	Ökologische Durchgängigkeit von Hochwasserrückhaltebecken	20,00 DM
19	Anforderungen an raumlufttechnische Maßnahmen mit Gasabscheidung in Chemischreinigungen	20,00 DM
20	Empfehlungen für die Durchführung und Auswertung von Säulenversuchen gemäß Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV)	20,00 DM
21	Praxisleitfaden zum Einsatz der Ionenmobilitätsspektrometrie bei der Untersuchung von Rüstungsaltlasten	25,00 DM
22	Weitere Sachverhaltsermittlung bei Überschreitung von Prüfwerten nach der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung für die Wirkungspfade Boden – Mensch und Boden – Nutzpflanze	30,00 DM
23	Abwasserbehandlung in Pflanzenanlagen	20,00 DM
24	Leitfaden zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten – Teil I: Außenbereiche	30,00 DM

Vertrieb: Landesumweltamt NRW • Postfach 102 363 • 45023 Essen