



Bodenbelastungskarte Ruhrgebiet

LANUV-Fachbericht 7



Bodenbelastungskarte Ruhrgebiet

LANUV-Fachbericht 7

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen

Recklinghausen 2008



IMPRESSUM

Herausgeber Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz
Nordrhein-Westfalen (LANUV NRW)
Lebnizstr. 10, 45659 Recklinghausen
Telefon 02361-305-0
Telefax 02361-3053215
E-Mail: poststelle@lanuv.nrw.de

Der vorliegende Fachbericht basiert auf Gutachten der IFUA Projekt GmbH in Bielefeld, die im Auftrag des LANUV erstellt wurden.

Redaktion Dr. Heinz Neite (LANUV NRW)

Autoren Gerald Krüger, Dr. Dietmar Barkowski (IFUA Projekt GmbH)

Titelbild Ruhrgebietslandschaft (Dorothea Sopczak, LANUV NRW)

ISSN 1864-3930 LANUV-Fachberichte

Informationsdienste: Informationen und Daten aus NRW zu Natur, Umwelt und Verbraucherschutz unter

- www.lanuv.nrw.de

Aktuelle Luftqualitätswerte zusätzlich im

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

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

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

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
2	Untersuchungsgebiet	6
3	Daten und Methoden	7
3.1	Recherche und Aufbereitung der flächenhaften Rauminformationen	7
3.2	Erstellung der Konzeptkarte	9
3.3	Aufbereitung und Bereinigung der Bodendaten	10
3.4	Statistische Analyse der validen Bodendaten	13
3.5	Variogrammanalyse	13
3.6	Interpolation	15
4	Ergebnisse der BBK Ruhrgebiet	16
4.1	Vergleich mit Vorsorgewerten	17
4.2	Vergleich mit Prüf- bzw. Maßnahmenwerten	18
5	LANUV-Bericht für das ENVASSO-Projekt	20
6	Fachbeitrag des LANUV zum RFNP der Städteregion Ruhr	22
6.1	Vergleich mit Vorsorgewerten	23
6.2	Vergleich mit Prüf- bzw. Maßnahmenwerten	24
6.3	Zonen der Bodenbelastung	25
6.4	Ableitung von Hintergrundwerten	26
7	Zusammenfassung	27
8	Literatur	28

1 Einleitung

In digitalen Bodenbelastungskarten (BBK) wird die Belastung von Oberböden mit Schwermetallen und organischen Schadstoffen flächenhaft dargestellt. BBK werden in der Regel für das Gebiet einer Stadt oder eines Kreises erstellt. Für die Bearbeitung von BBK stehen Arbeitshilfen zur Verfügung (Außenbereiche: LUA NRW 2000; Siedlungsbereiche: LANUV NRW 2007). Die Ergebnisse der BBK liegen für zahlreiche Städte und Kreise in Nordrhein-Westfalen vor.

In der vorliegenden Auswertung wurden für 9 Städte des Ruhrgebietes die – im Wesentlichen auf Immissionen und andere diffuse Ursachen zurückzuführenden – Stoffgehalte im Oberboden berücksichtigt und erstmals in einer städteübergreifenden Bodenbelastungskarte für das Ruhrgebiet (**BBK Ruhrgebiet**) flächenhaft dargestellt. Betrachtet wurden Böden der Außen- und Siedlungsbereiche der Städte. Die verwendete Methodik orientierte sich an dem *"Leitfaden zur Erstellung Digitaler Bodenbelastungskarten im Siedlungsbereich"* (LANUV NRW 2007). Die Ergebnisse für 8 Schwermetalle und Benzo(a)pyren wurden mit den Vorsorge-, sowie Prüf- und Maßnahmenwerten der BBodSchV verglichen. Auf Grundlage der Daten und Ergebnisse der BBK Ruhrgebiet wurden 2 gesonderte Auswertungen durchgeführt:

- Im Rahmen des europäischen **ENVASSO**-Projektes (**Environmental Assessment of Soil for Monitoring**¹) wurden für das gesamte Untersuchungsgebiet die flächenhaft geschätzten Schwermetallgehalte (nur Blei, Cadmium und Quecksilber) der Oberböden als Indikatoren der stofflichen Bodenbelastung mit den Vorsorge-, sowie Prüf- und Maßnahmenwerten der BBodSchV verglichen. Die Ergebnisse des ENVASSO-Projektes sind in dem Bericht "Soil contamination by heavy metals in the Ruhr area" dokumentiert (NEITE et al. 2007).
- Innerhalb des Untersuchungsgebietes liegen 6 Städte der Städteregion Ruhr, für die zurzeit ein **Regionaler Flächennutzungsplan (RFNP)** aufgestellt wird². Für den RFNP wurden die Parameter Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber, Zink und Benzo(a)pyren berücksichtigt. Die flächenhaft dargestellten Stoffgehalte der Oberböden wurden 3 Zonen der Bodenbelastung zugeordnet. Für die einzelnen Zonen wurden Hintergrundwerte der Stoffgehalte ermittelt. Die Ergebnisse für das Planungsgebiet des RFNP sind in dem Bericht „Bodenbelastungskarte Ruhrgebiet – Themenkarte zum Regionalen Flächennutzungsplan der Städteregion Ruhr“ dokumentiert (IFUA 2007).

Nachfolgend werden zunächst die wesentlichen Arbeitsschritte zur Erstellung der BBK Ruhrgebiet beschrieben (Kap. 3). In Kap. 4 sind die Ergebnisse der BBK Ruhrgebiet dokumentiert. Die gesonderten Auswertungen für das ENVASSO-Projekt und für das Planungsgebiet des RFNP werden in den Kap. 5 und Kap. 6 zusammenfassend dargestellt.

¹ siehe: <http://www.envasso.com>

² siehe: http://www.staedteregion-ruhr-2030.de/cms/regionaler_flaechennutzungsplan.html

2 Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet der BBK Ruhrgebiet umfasst die 9 Städte Bochum, Bottrop, Duisburg, Essen, Gelsenkirchen, Gladbeck, Herne, Mülheim und Oberhausen und weist eine Fläche von 1.052 km² auf (Abbildung 1). Das Gebiet wird im Süden von der Ruhr durchzogen, im Westen erstreckt sich der Rhein. Die Städte sind vor allem durch anthropogene Nutzungen geprägt, etwa ein Fünftel der Fläche wird aber auch landwirtschaftlich und forstlich genutzt.

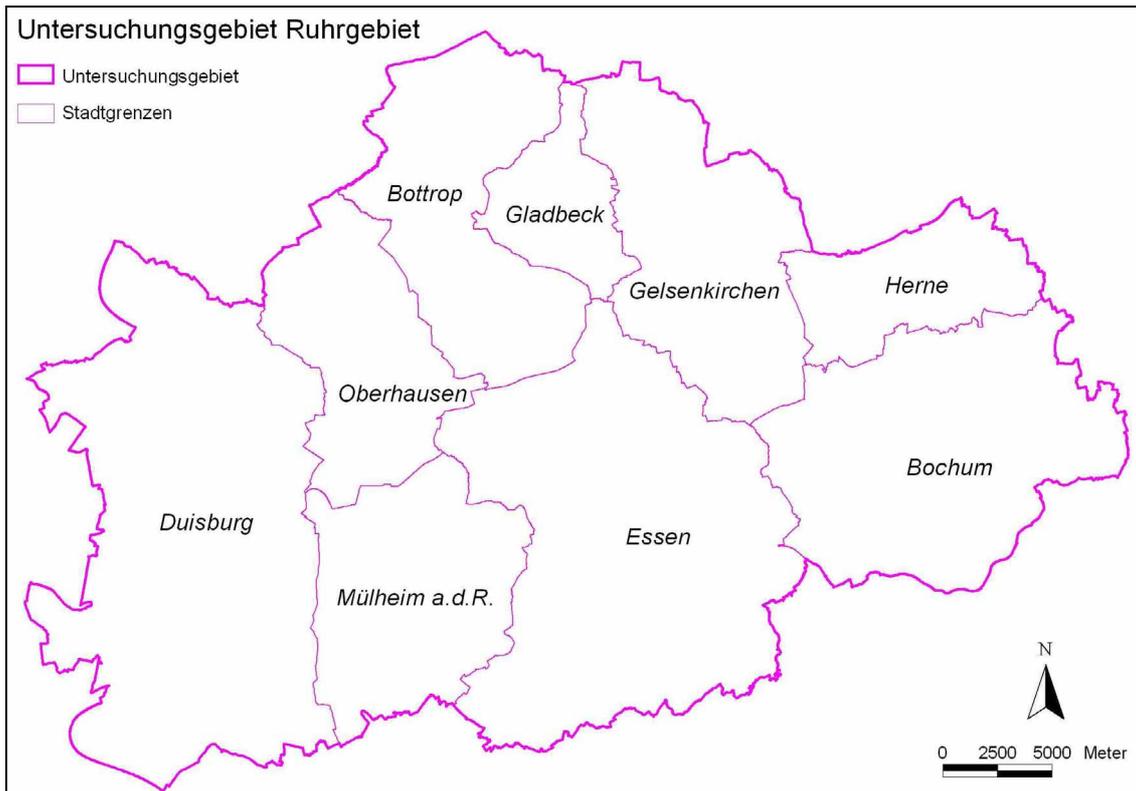


Abbildung 1: Städte im Untersuchungsgebiet der BBK Ruhrgebiet

3 Daten und Methoden

Die Arbeitsschritte zur Erstellung der BBK Ruhrgebiet sind in dem Ablaufdiagramm der Abbildung 2 dargestellt. Das Diagramm orientiert sich dabei an dem Immissionsansatz zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten im Siedlungsbereich (LANUV NRW 2007). Dieser Ansatz geht von der Annahme aus, dass die immissionsbedingte Bodenbelastung - wie die Deposition selbst - interpolierbar ist. Der Immissionsansatz bezieht sich für die vorliegende Auswertung auf die oberen 30 Zentimeter des Bodens, da insbesondere dort der Einfluss der Deposition wirksam werden konnte. Voraussetzung für die Erfassung der immissionsbedingten Bodenbelastung ist allerdings, dass der Einfluss anderer Belastungsfaktoren minimiert ist (z. B. durch gezielte Auswahl von Probennahmeflächen). Die immissionsbedingte Bodenbelastung kann außerdem quantitativ nur auf denjenigen Flächen erfasst werden, die für lange Zeit ungestört der Immission ausgesetzt waren. Im Umkehrschluss lassen sich die so gewonnenen Aussagen deshalb uneingeschränkt nur auf diejenigen Flächen beziehen, die den erwähnten Voraussetzungen genügen.

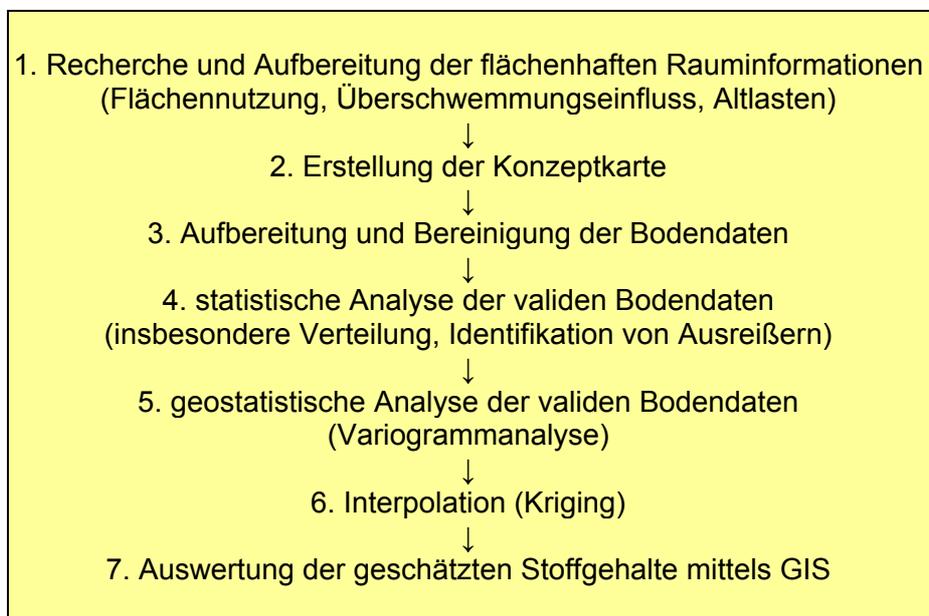


Abbildung 2: Ablaufdiagramm der Arbeitsschritte zur Erstellung der BBK Ruhrgebiet

3.1 Recherche und Aufbereitung der flächenhaften Rauminformationen

Im Untersuchungsgebiet treten nach der Flächennutzungskartierung des Regionalverbandes Ruhr insgesamt 148 verschiedene Flächennutzungen auf. Diese Nutzungen wurden vier verschiedenen Klassen zugeordnet.

- Acker, Grünland (Flächenanteil: 19,1 %)
- Grünflächen im Siedlungsbereich (Flächenanteil: 40,3 %)
- überbaute, versiegelte Flächen (Flächenanteil: 17,7 %)
- nicht berücksichtigte Nutzungen (Flächenanteil: 22,9 %)

Die Klasseneinteilung orientierte sich daran, ob eine Übertragung der geschätzten Stoffgehalte auf die einzelnen Nutzungen unter Berücksichtigung des gewählten methodischen Ansatzes fachlich vertretbar ist. Die Flächennutzung im Untersuchungsgebiet der BBK Ruhrgebiet ist in Abbildung 3 dargestellt.

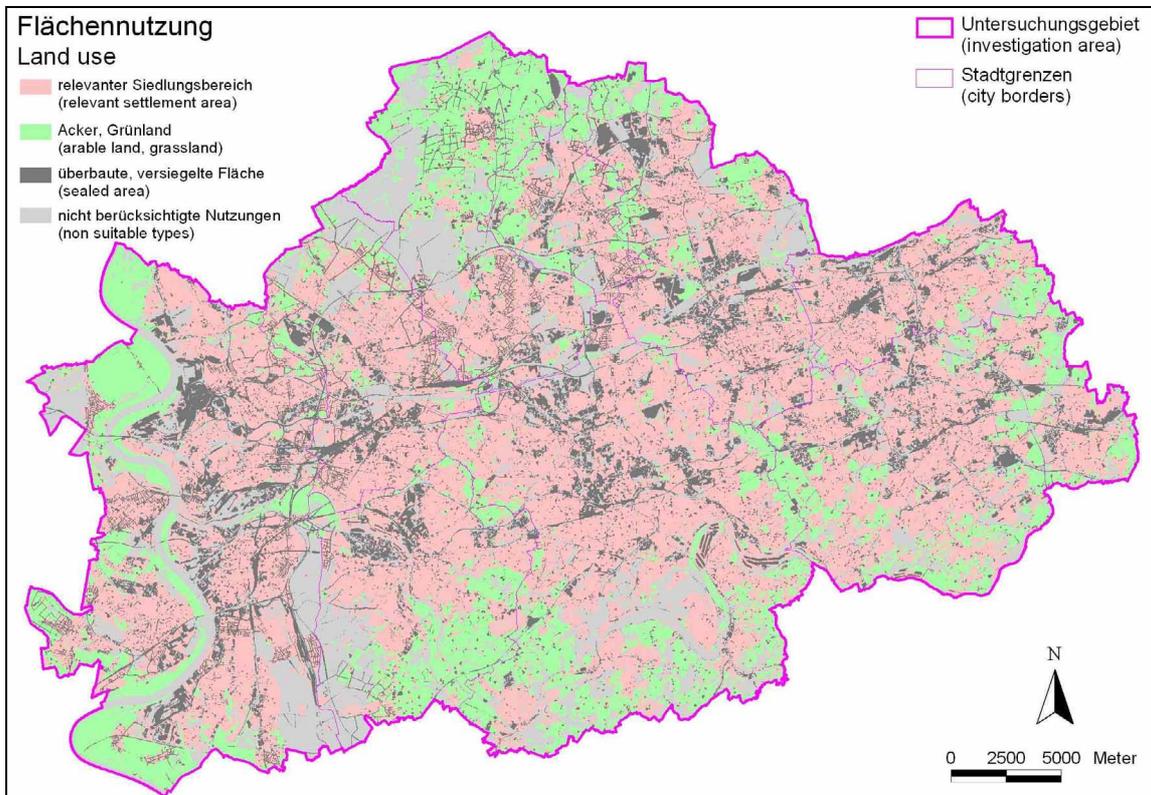


Abbildung 3: Flächennutzung (Datengrundlage: Regionalverband Ruhr, Essen; Flächennutzungskartierung; Stand: 2004-2005)

Die folgenden Auswertungen der BBK Ruhrgebiet (Vergleich mit Beurteilungswerten der BBodSchV) beziehen sich nur auf die Nutzungsklassen "Acker, Grünland" sowie "Grünflächen im Siedlungsbereich" (das sind insbesondere Wohnbauflächen, Gärten, Freiflächen im hausnahen Bereich und Mischbauflächen). Als Ausschlussflächen werden dagegen die Nutzungen der Klassen "überbauten und versiegelten Flächen" (z. B. Straßen, Gebäude, Anlagen) einerseits sowie "nicht berücksichtigte Nutzungen" (z. B. Wald³, Begleitgrün, Wasserflächen) gekennzeichnet. Für Ausschlussflächen gilt, dass

- ggf. verfügbare Bodenproben von diesen Flächen nicht für die weiteren Berechnungen berücksichtigt werden und
- für diese Flächen auch keine flächenhaften Aussagen zur stofflichen Bodenbelastung getroffen werden können.

Als weitere Ausschlussflächen wurden in der BBK Ruhrgebiet Überschwemmungsgebiete sowie Altstandorte und Altablagerungen von der Bearbeitung ausgeklammert. Die Angaben zu den Überschwemmungsgebieten (insbesondere von Rhein, Ruhr und Emscher) basieren auf der digitalen Karte der hochwassergefährdeten Bereiche (LUA NRW 2003). Es handelt sich um aktuell berechnete oder historische (preußische) Überschwemmungsgebiete. Zusätzlich wurde beidseitig dieser Gebiete ein 100 m breiter Puffer als zusätzliche Ausschlussflächen festgelegt. Die flächenhaften Abgrenzungen der Altstandorte und Altablagerungen im Untersuchungsgebiet wurden von den Städten bereitgestellt.

³ In der Regel besondere, schlecht vergleichbare Belastungssituation infolge Auskämmeffekten und Bodenversauerung.

3.2 Erstellung der Konzeptkarte

Die flächenhaften Rauminformationen zu Flächennutzung und Überschwemmungsgebieten, sowie Altstandorten und Altablagerungen (und ggf. weitere Flächendaten) werden im Rahmen der Erstellung einer BBK in einer Konzeptkarte überlagert (LANUV NRW 2007, vgl. auch Abbildung 4).

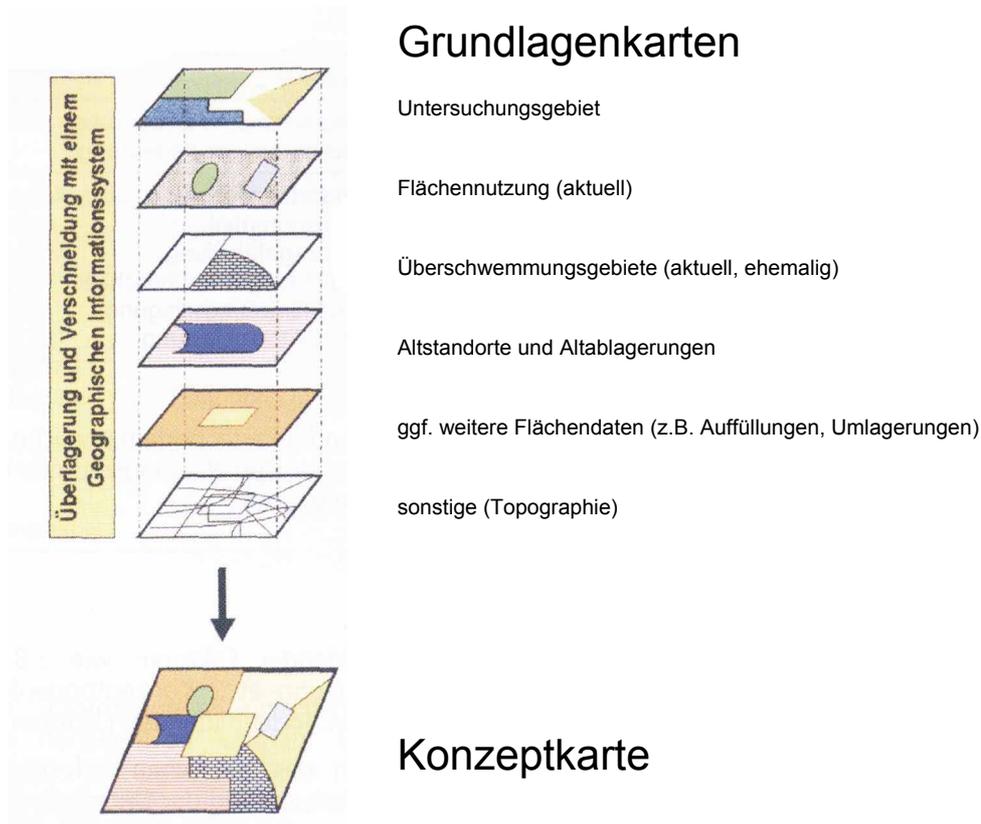


Abbildung 4: Allgemeine Darstellung zur Erstellung einer Konzeptkarte (nach SCHNEIDER et al. 2000, verändert)

Durch eine Verschneidung der Flächendaten werden so genannte "homogene Raumeinheiten" generiert, für die die Stoffgehalte der Oberböden flächenhaft dargestellt werden können.

Im Rahmen der Erstellung der BBK Ruhrgebiet wurde in der Konzeptkarte nur eine Raumeinheit erzeugt, die die in Kap. 3.1 genannten relevanten Nutzungsklassen umfasst und für die die geschätzten Stoffgehalte flächenhaft dargestellt werden konnten (berücksichtigte Einheiten, vgl. Abbildungen 8 und 13). Zusätzlich werden in diesen Abbildungen die nicht berücksichtigten Einheiten (Ausschlussflächen) dargestellt.

3.3 Aufbereitung und Bereinigung der Bodendaten

Für die Erstellung der BBK Ruhrgebiet erfolgte keine eigenständige Probennahmekampagne. Stattdessen wurde auf bereits vorliegende Daten zurückgegriffen. Die für die BBK Ruhrgebiet verwendeten Bodendaten entstammen drei verschiedenen Quellen unterschiedlicher Qualität (insbesondere im Hinblick auf das Vorhandensein von Standortinformationen und die Konkretisierung der Vorgaben zur Probennahme):

1. Daten aus der Erstellung Digitaler Bodenbelastungskarten (BBK) im Siedlungsbereich (Immissionsansatz)
2. Daten aus BBK im Außenbereich
3. Daten aus dem FIS StoBo (**F**ach**I**nformations**S**ystem **S**toffliche **B**odenbelastung) des Landes NRW⁴

Die Daten für die unter Punkt 1 und 2 genannten BBK wurden für Teilgebiete des Untersuchungsgebietes im Rahmen der Erstellung kommunaler BBK ermittelt und sind daher bezüglich der Datenqualität als hochwertig einzustufen. Die Probennahme und Analytik für diese Datenbestände erfolgte nach dem "*Leitfaden zur Erstellung Digitaler Bodenbelastungskarten im Siedlungsbereich*" (LANUV NRW 2007) bzw. dem "*Leitfaden zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten Außenbereich*" (LUA NRW 2000). Demgegenüber sind die Daten aus dem unter Punkt 3 genannten FIS StoBo als deutlich heterogener bezüglich der Datenqualität einzustufen. Daher wurden folgende Kriterien als Mindestanforderung definiert:

- Beprobung naturnaher und anthropogener Böden
- Nutzungen des Außenbereichs (Acker, Grünland und Wald) und des Siedlungsbereichs (Gartenland, Hausgarten, Grünanlage, Park- und Freizeitanlage, Brachland, Wohnbaufläche etc.)
- Probennahme aus dem Bereich des Oberbodens; Probennahmetiefen angepasst an die jeweilige Nutzung, jedoch nicht einheitlich
- Angaben zu Gehalten an technogenen Substraten nicht zwingend notwendig
- Aussagen zur Lage inner- und außerhalb von Überschwemmungsgebieten nicht zwingend notwendig
- unterschiedlich genaue Lokalisierbarkeit, mindestens jedoch 6-stellige Gauß-Krüger-Koordinaten
- Analytik der Gesamtgehalte

Neben Bodendaten aus dem Untersuchungsgebiet selbst wurden Bodendaten von Standorten aus der direkten Nachbarschaft des eigentlichen Untersuchungsgebietes zum Randabgleich bei der Interpolation einbezogen.

Die vorliegenden Bodendaten weisen meist Bezugstiefen von 0-10 cm oder 0-30 cm auf. Im Rahmen der Projektbearbeitung wurde 0-30 cm als Bezugstiefe gewählt. Während bei vielen Nutzungen des Siedlungsbereichs infolge Durchmischung häufig kein deutlicher Unterschied zwischen den Belastungen 0-10 und 0-30 cm besteht, sind die Unterschiede im Außenbereich in der Regel deutlicher ausgeprägt. So fallen die Gehalte bei Grünland mit einer Bezugstiefe 0-10 cm häufig höher aus als auf vergleichbaren Ackerflächen, wo es durch regelmäßige Bodenbearbeitung zu einer Durchmischung (d.h. in der Regel Verdünnung) kommt. Um mit der angewandten Methodik über das Untersuchungsgebiet interpolieren zu können, ist es notwendig, die Gehalte mit einem Korrekturfaktor anzugleichen. Die hier verwendeten

⁴ siehe: <http://www.lanuv.nrw.de/boden/boschu-lua/fisstobo.html>

parameterspezifischen Korrekturfaktoren berechnen sich aus dem Quotient der jeweiligen Mediane der Gehalte auf Ackerflächen und auf Grünland (vgl. Methodik BBK-Außenbereich, LUA NRW 2000).

Die recht heterogenen Datengrundlagen wurden in eine einheitliche Datenbasis überführt. Soweit möglich wurden fehlende Angaben mittels Verschneidung mit den flächenhaften Rauminformationen (Kapitel 3.1) ergänzt. Je geringer die Qualität der Ausgangsdaten war, desto umfangreicher musste die Bereinigung des Datenkollektivs in Bezug auf die Mindestqualitätsanforderungen ausfallen.

Die Bereinigung der Daten erfolgte nach folgenden Kriterien:

- Entfernung der Standorte im Überschwemmungsbereich inkl. Puffer
- Entfernung der Standorte unpassender (z.B. Wald) oder unklarer Nutzung (z.B. Flächennutzung zur Zeit unbestimmbar)
- Entfernung der Standorte im Bereich von Altstandorten und Altablagerungen⁵
- Nur Berücksichtigung von Standorten mit passenden Tiefen (von 0 bis 10, max. 30 cm)
- Entfernung der Standorte mit ungenauen Koordinaten
- Korrektur der Gehalte auf Grünlandstandorten (s.o.)

Die räumliche Lage der validen Standorte inkl. angrenzender Nachbarschaft - differenziert nach Schwermetallen und B(a)P - geht aus den folgenden Abbildungen 5 und 6 hervor, wobei insbesondere für B(a)P deutliche Lücken im Messnetz (z. B. im Stadtgebiet von Essen⁶) zu erkennen sind.

⁵ in Einzelfällen, wenn durch Recherchen etc. sichergestellt werden konnte, dass es sich nur um Verdachtsflächen ohne Belastung handelt, wurden die Flächen miteinbezogen

⁶ nach Fertigstellung der zurzeit laufenden BBK im Siedlungsbereich der Stadt Essen werden auch für B(a)P ausreichend Daten zur Verfügung stehen

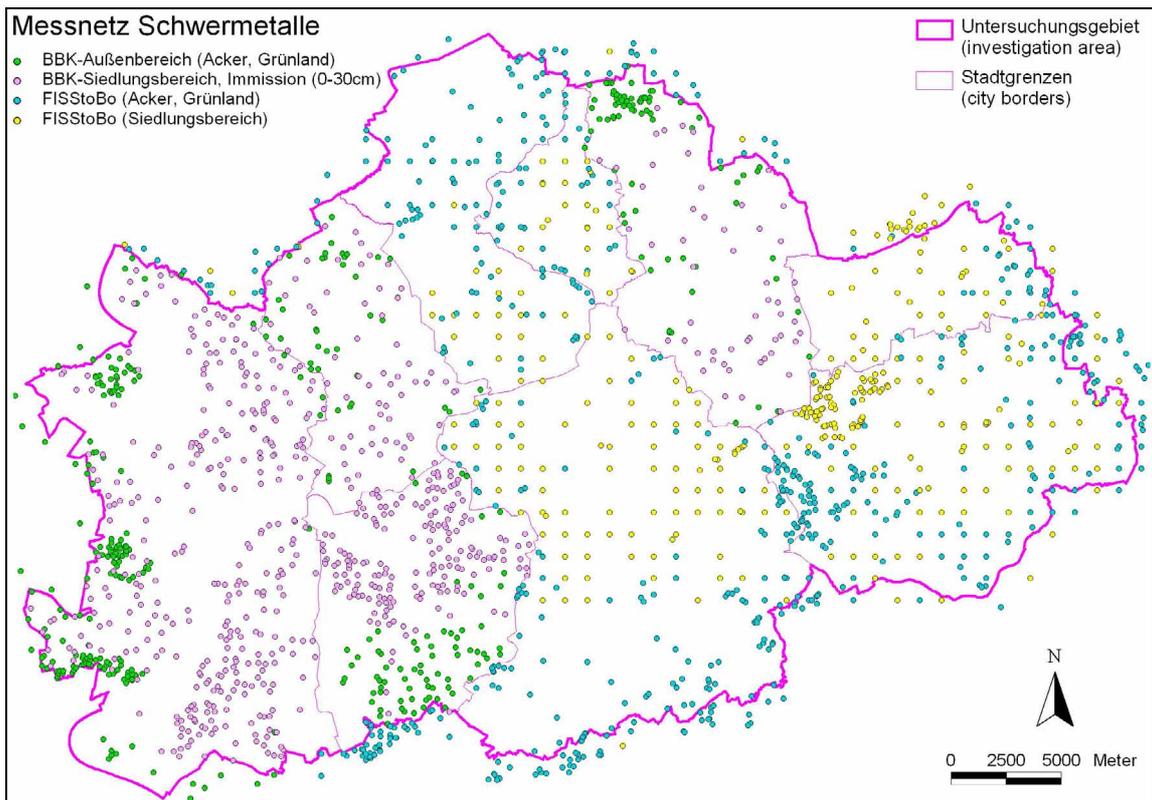


Abbildung 5: Valide Standorte der BBK Ruhrgebiet (Schwermetalle)

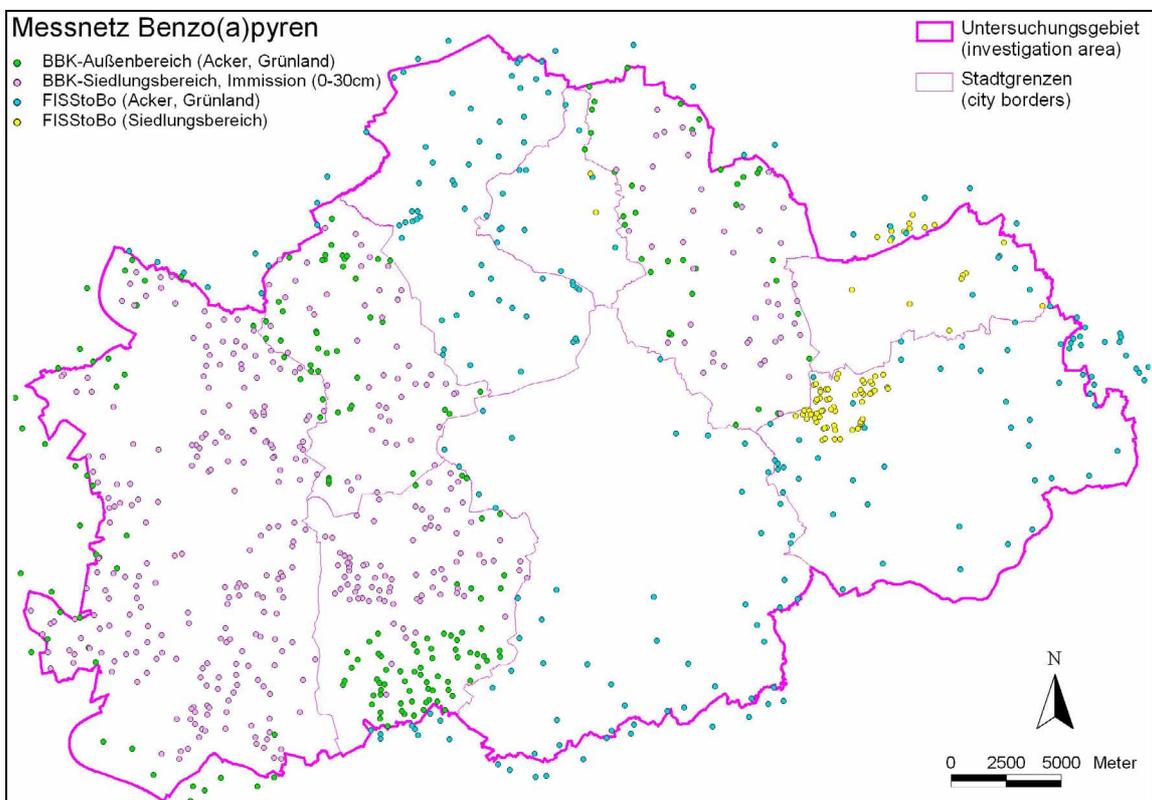


Abbildung 6: Valide Standorte der BBK Ruhrgebiet (Benzo(a)pyren)

3.4 Statistische Analyse der validen Bodendaten

Die Grundgesamtheiten der Bodendaten wurden vor allem im Hinblick auf die Verteilung und etwaige Ausreißer statistisch ausgewertet. Für die statistischen Auswertungen wurde die Software UNISTAT (<http://www.additive-net.de/software/unistat/index.shtml>) eingesetzt. Zur Identifikation der Ausreißer wird der Median-5-Interquartil-Test [Median \pm 5 * (75. - 25. Perzentil)] verwendet (vgl. LANUV NRW 2007), da er keine bestimmte Verteilung der Daten voraussetzt. Die von Ausreißern bereinigten Kennwerte des Datenkollektivs sind in Tabelle 1 angegeben.

Tabelle 1: Kennwerte valider Bodendaten (ohne Ausreißer) zur BBK Ruhrgebiet (Angaben in mg/kg)

Kennwerte	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	B(a)P
Gültige Fälle	1139	1685	1540	1872	1447	1939	2008	1954	962
Mittelwert	13,10	1,00	29,39	28,25	0,17	21,34	91,01	230,57	0,255
Median	11,67	0,89	28,00	22,40	0,13	17,71	72,00	176,57	0,112
Standardabweichung	6,44	0,55	10,77	18,98	0,12	12,57	59,96	161,35	0,317
Minimum	1,00	0,01	8,20	0,90	0,01	2,00	4,00	8,00	0,004
Maximum	45,00	3,64	85,28	120,00	0,72	87,00	383,36	986,00	1,633

3.5 Variogrammanalyse

Zur geostatistischen Beschreibung des räumlichen Zusammenhangs von Punktdaten wurden mit den vorliegenden Messwerten experimentelle Variogramme erzeugt. Dazu wurde der mittlere Verlauf der Varianz dieser Messwerte im Untersuchungsgebiet in Abhängigkeit von der Entfernung berechnet und einer theoretischen mathematischen Variogrammfunktion angepasst. Die prinzipielle Darstellung eines Variogramms enthält folgende Abbildung 7.

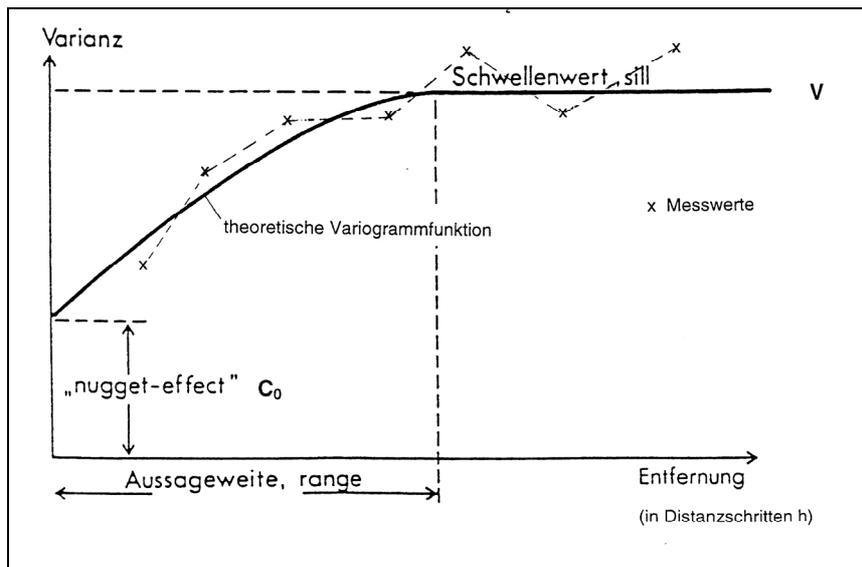


Abbildung 7: Prinzipvariogramm (aus HEINRICH 1992, ergänzt)

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

- Gesamtvarianz (V), berechnet mit dem arithmetischen Mittelwert aller Messwerte.
- Nuggetvarianz (C_0); bestehend aus Proben-, Mess- und Analysenfehlern sowie nicht auflösbarer kleinräumiger Varianz bzw. Mikrovariabilität; auch als Nuggeteffekt bezeichnet.
- Aussageweite (R) (engl. range): diejenige Distanz, bei welcher das Maximum der Variogrammfunktion annähernd erreicht wird (entspricht Schwellenwert, s.u.); jenseits dieser Reichweite besteht kein räumlicher Zusammenhang zwischen den Messwerten mehr, sie sind nicht mehr korreliert.
- Schwellenwert (S) (engl. sill): die Varianz beim Erreichen von R ; Feldvarianz bzw. erklärte Varianz (engl. partial sill): $S_p = S - C_0$
- Distanzschritt (h), für den ein Variogrammwert berechnet wird.

Im Rahmen des Krigings dient das Variogramm zur Bestimmung der Gewichte, mit denen Nachbarpunkte bei der Interpolation in die Schätzung eines Punktes eingehen.

Zur Erfüllung der statistischen Voraussetzungen für die Anwendung einer Variogrammanalyse ist häufig eine Logarithmierung der Daten erforderlich. Die Variogrammanalyse erfolgte dabei mit der Geostatistik-Software GSTAT (<http://www.gstat.org/index.html>).

Für alle Parameter wurde die logarithmierte der nicht logarithmierten Variante vorgezogen. Die dazu gehörenden Variogramme zeigten für alle Parameter einen deutlichen räumlichen Zusammenhang, der in der Regel mit einer sphärischen oder exponentiellen Variogrammfunktion beschrieben werden kann (vgl. IFUA 2007).

3.6 Interpolation

Im Zuge der Interpolation erfolgt die Übertragung der Punktinformation in die Fläche, für die als Verfahren das Kriging gewählt wird. Das Kriging stellt ein in der Geostatistik weithin verbreitetes Interpolationsverfahren mit gewichteter räumlicher Mittelwertbildung dar. Dabei werden die Gewichte unter Berücksichtigung der modellierten theoretischen Variogramm-funktion derart optimiert, dass die Varianz der geschätzten Werte minimal ist und die Schätzwerte erwartungstreu sind, d. h. im Mittel beträgt die Abweichung zwischen den wahren und den geschätzten Werten Null (HEINRICH 1992).

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

- Auf Grundlage des Variogramms werden die Gewichte entsprechend der räumlichen Abhängigkeit vergeben, wobei nahe liegende Punkte eine höhere Gewichtung erhalten als weiter entfernte.
- Liegt zwischen einem Messpunkt (MP1) und dem zu schätzenden Punkt (P) ein weiterer Messpunkt (MP2), dann werden MP1 und P voneinander abgeschirmt; MP1 erhält ein niedrigeres Gewicht für die Schätzung von P als ihm von seinem Abstand her zukäme.
- Es erfolgt eine exakte Interpolation für jeden Punkt aus der Stichprobe mit einer dazugehörigen Krigevarianz von Null im Fall eines fehlenden Nuggeteffekts. Sind die dazugehörigen Variogramme allerdings durch eine hohe Nugget-Varianz gekennzeichnet, weisen die geschätzten Werte auch im unmittelbaren Umfeld der Stützwerte Abweichungen auf (STOYAN et al. 1997); ursprünglicher und interpolierter Wert stimmen nicht mehr exakt überein.
- Mit zunehmendem Nuggeteffekt verlieren nahe liegende Messwerte an Bedeutung, weiter entfernte erhalten hierdurch höheres Gewicht; bei einem reinen Nuggeteffekt (d. h. es besteht kein räumlicher Zusammenhang zwischen den Messwerten) erhalten alle Punkte das gleiche Gewicht, was dem arithmetischen Mittelwert entspricht.
- Hohe Werte werden unterschätzt und niedrige Werte überschätzt, d. h. die geschätzte Oberfläche ist glatter als die reale (HEINRICH 1992).
- Eine flächendeckende Angabe eines Schätzfehlers ist möglich, wobei die am weitesten von einem Messpunkt entfernt liegenden Bereiche bzw. diejenigen geringster Beprobungsdichte die höchsten Fehler aufweisen.
- Je mehr Punkte für eine Schätzung herangezogen werden, desto geringer ist die Krigevarianz; beim ordinary Kriging mit einem sphärischen Variogrammmodell sind bei einem regelmäßigen Probennahmeraster 25 Messpunkte innerhalb der Reichweite zur Schätzung ausreichend, da bei zusätzlichen Punkten nur noch eine unwesentliche Verringerung der Krigevarianz erreicht werden kann (HEINRICH 1992); ebenso sollte eine Mindestanzahl an Punkten für eine Schätzung eingehalten werden.

Um methodenbedingt Schätzungen für Rasterzellen zu erhalten, wurde das so genannte Block-Kriging angewendet. Dabei wurde der geschätzte Blockmittelwert für eine 50 x 50 m Rasterzelle angegeben. Der Maßstab liegt größenordnungsmäßig bei 1 : 100.000.

Um flächendeckende Aussagen zu erhalten, wurde die Mindestanzahl einheitlich auf 5 Stützstellen gesetzt, die Reichweite auf 6.000 Meter, bei B(a)P auf 8.000 Meter. Die Interpolation erfolgte mit der Geostatistik-Software GSTAT.

4 Ergebnisse der BBK Ruhrgebiet

Für die BBK Ruhrgebiet wurden Nutzungen mit einer Flächengröße von insgesamt 501 km² berücksichtigt, das entspricht ca. 48 % des gesamten Untersuchungsgebietes (Abbildung 8). Als Ausschlussflächen wurden gem. Kap. 3.1 folgende Einheiten definiert:

- Nutzungsklassen „nicht berücksichtigte Nutzungen“ sowie „überbaute und versiegelte Flächen“,
- Überschwemmungsgebiete und
- Altstandorte und Altablagerungen.

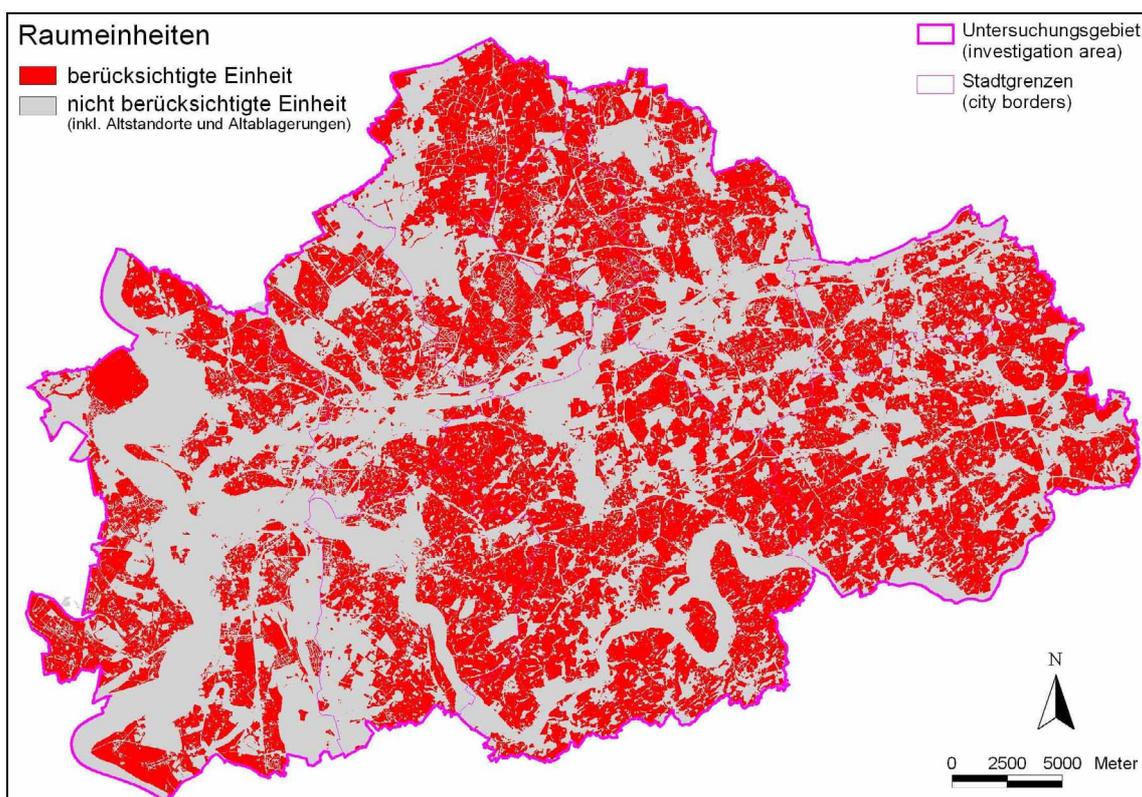


Abbildung 8: Raumeinheiten der BBK Ruhrgebiet

Die Stoffgehalte in Oberböden des Untersuchungsgebietes wurden zunächst für alle Parameter nach den in Kap. 3 beschriebenen Methoden interpoliert und flächenhaft dargestellt.

Die geschätzten Stoffgehalte im Oberboden wurden in einem nächsten Auswertungsschritt mit den in Tabelle 2 genannten Beurteilungswerten der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) verglichen und räumlich dargestellt. Da im Untersuchungsgebiet die Bodenartengruppe „Lehm/ Schluff“ dominiert, wurden die zugehörigen Vorsorgewerte für den Vergleich herangezogen. Für den Vergleich mit den Prüf- und Maßnahmenwerten wurde jeweils der Beurteilungswert für die sensibelste Nutzung berücksichtigt (siehe Erläuterungen in Tabelle 2).

Bei den Abbildungen 9 bis 12 wurde zum Zweck besserer Lesbarkeit eine flächenhafte Darstellung des Untersuchungsgebietes gewählt. Zu beachten ist, dass analog zur Berechnung prozentualer Flächenanteile mit Überschreitungen von Beurteilungswerten auch bei deren räumlicher Wiedergabe nur die berücksichtigten Raumeinheiten bewertet werden können.

Tabelle 2: Beurteilungswerte der BBodSchV

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	B(a)P
Vorsorgewert der Bodenarten- gruppe „Lehm / Schluff“**	---	1,0	60	40	0,5	50	70	150	0,3**
Prüf- bzw. Maßnahmenwert (sensibelste Nutzung)	25 ¹⁾	2 ²⁾	200 ¹⁾	200 ³⁾	2 ⁴⁾	70 ¹⁾	200 ¹⁾	---	1 ⁵⁾

* Neben der Bodenart "Lehm/Schluff" treten im Untersuchungsgebiet auch die Bodenarten "Sand" und "Ton" in geringeren Flächenanteilen auf, so dass im Einzelfall für diese Flächen andere Vorsorgewerte herangezogen werden müssen.

** Keine Differenzierung nach der Bodenart sondern nach dem Humusgehalt (der hier angegebene Wert ist gültig für Böden mit Humusgehalten ≤ 8%).

¹⁾ Prüfwert Kinderspielflächen; Wirkungspfad Boden-Mensch (direkter Kontakt)

²⁾ integrierter Prüfwert für Haus- und Kleingärten mit Kinderspielflächen und Anbau von Nahrungspflanzen

³⁾ **Maßnahmenwert** Grünlandnutzung durch Schafe; Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze (Pflanzenqualität)

⁴⁾ **Maßnahmenwert** Grünland; Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze (Pflanzenqualität)

⁵⁾ Prüfwert Ackerbau und Nutzgärten; Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze (Pflanzenqualität)

4.1 Vergleich mit Vorsorgewerten

Für diese Auswertung erfolgte eine parameterspezifische Abfrage der geschätzten Gehalte im Oberboden in Hinblick auf die in Tabelle 2 genannten Vorsorgewerte für die Bodenart "Lehm / Schluff". In Tabelle 3 sind die Flächengrößen und prozentualen Anteile mit Über- bzw. Unterschreitung der Vorsorgewerte für jeden Parameter angegeben. Die höchsten Flächenanteile mit Vorsorgewertüberschreitungen weisen Zink (72%), Blei (59%) und Cadmium (40%) auf.

Tabelle 3: Vergleich der geschätzten Stoffgehalte mit Vorsorgewerten

	Einheit	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	B(a)P
berücksichtigte Fläche	[km ²]	501,0	501,0	501,0	501,0	501,0	501,0	501,0	501,0	501,0
Fläche mit Überschreitung	[km ²]	---	198,6	3,4	87,7	2,1	9,8	293,8	362,7	96,5
Anteil mit Überschreitung	[%]	---	39,6	0,7	17,5	0,4	2,0	58,7	72,4	19,3

Für große Bereiche des Untersuchungsgebietes werden die Vorsorgewerte für mehrere Parameter gleichzeitig überschritten (Abbildung 9). Auf einzelnen Flächen in Duisburg, Oberhausen und Essen weisen bis zu 6 Parameter Überschreitungen der Vorsorgewerte auf.

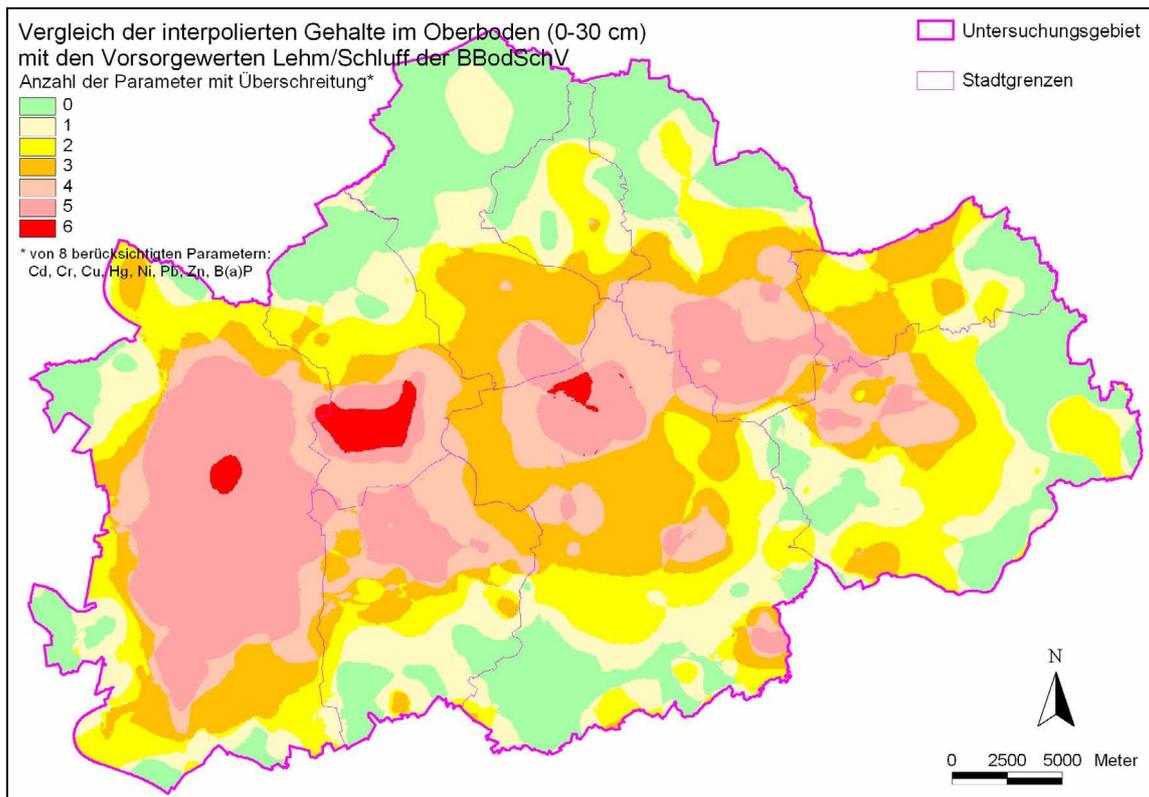


Abbildung 9: Zusammenfassender Vergleich der geschätzten Stoffgehalte mit den Vorsorgewerten

4.2 Vergleich mit Prüf- bzw. Maßnahmenwerten

Für diese Auswertung erfolgte eine parameterspezifische Abfrage der geschätzten Gehalte im Oberboden in Hinblick auf die in Tabelle 2 genannten Prüf- bzw. Maßnahmenwerte. In Tabelle 4 sind die Flächengrößen und prozentualen Anteile mit Über- bzw. Unterschreitung der Prüf- bzw. Maßnahmenwerte für jeden Parameter angegeben.

Tabelle 4: Vergleich der geschätzten Stoffgehalte mit Prüf- bzw. Maßnahmenwerten

	Einheit	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	B(a)P
berücksichtigte Fläche	[km ²]	501,0	501,0	501,0	501,0	501,0	501,0	501,0	501,0	501,0
Fläche mit Überschreitung	[km ²]	4,1	17,7	0,0	0,0	0,0	0,0	20,3	---	6,7
Anteil mit Überschreitung	[%]	0,8	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	4,1	---	1,3

Flächen mit prognostizierter Prüfwertüberschreitung wurden für Blei (4,1%), Cadmium (3,5%), Benzo(a)pyren (1,3%) und Arsen (0,8%) ermittelt. Prognostizierte Überschreitungen von Maßnahmenwerten wurden nicht festgestellt.

Auf Flächen in Duisburg werden die Prüfwerte gemäß Schätzung für max. 4 Parameter zugleich überschritten (vgl. Abbildung 10). Im Süden der Städte Oberhausen und Gelsenkirchen sowie im Norden der Stadt Essen werden auf einigen Flächen die Prüfwerte für max. 2 Parameter überschritten.

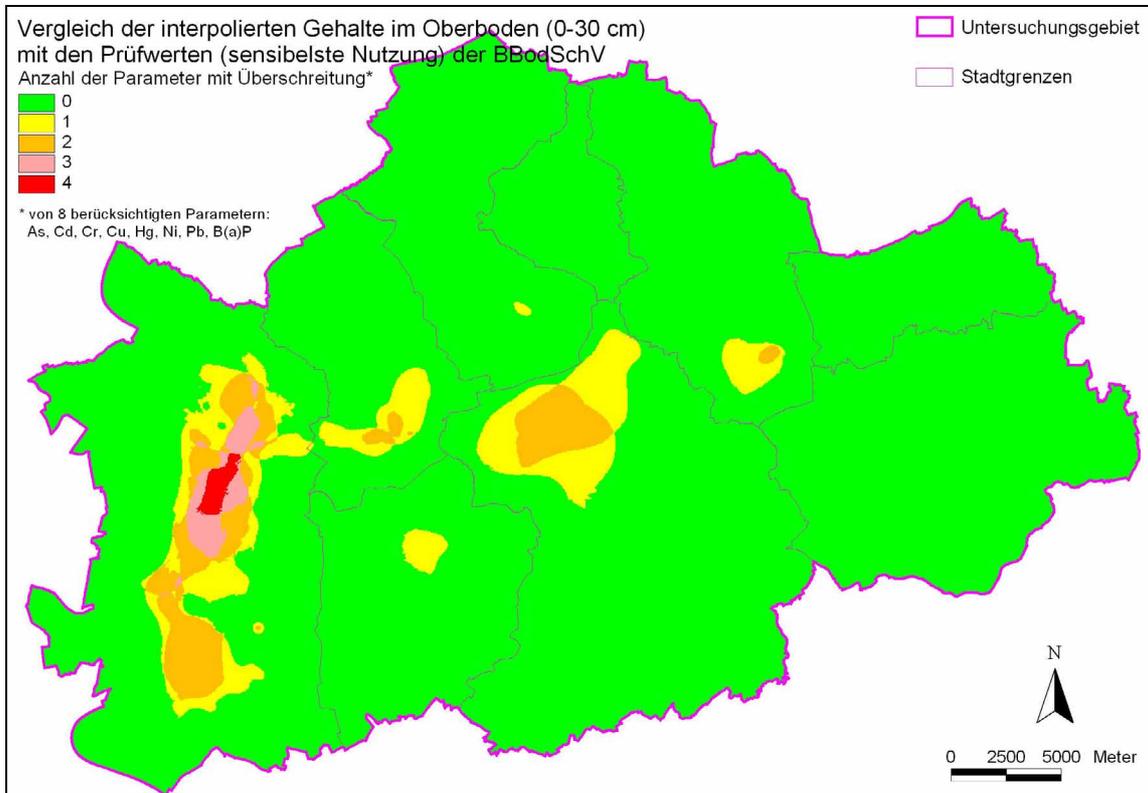


Abbildung 10: Zusammenfassender Vergleich der geschätzten Stoffgehalte mit den Prüfwerten

5 LANUV-Bericht für das ENVASSO-Projekt

Der Indikator „Schwermetallgehalte in Böden“ ist ein ENVASSO-Indikator für die stoffliche Bodenbelastung (NEITE et al. 2007). Dabei handelt es sich um einen Langzeitindikator, da die Schwermetallbelastung der Böden in der Regel keinen kurzfristigen Änderungen unterworfen ist. Mit Hilfe des Indikators „Schwermetallgehalte in Böden“ wurde im Rahmen des ENVASSO-Projektes der Flächenanteil im Untersuchungsgebiet angegeben, für den eine Überschreitung von Beurteilungswerten der Schwermetalle Blei, Cadmium und Quecksilber vorlag. Als Beurteilungswerte wurden die in Tabelle 2 genannten Vorsorgewerte (für die Bodenart Lehm/Schluff) bzw. Prüf- und Maßnahmenwerte (unter Berücksichtigung der sensibelsten Nutzung) der BBodSchV für diese drei Stoffe herangezogen.

Überschreitungen der Vorsorgewerte wurden für Blei (58,7%), Cadmium (39,6%) und Quecksilber (0,4%) der berücksichtigten Fläche von 501 km² (vgl. Abbildung 8) festgestellt (Tabelle 3). Für die Parameter Blei (4,1%) und Cadmium (3,5%) wurden auch Überschreitungen der Prüfwerte ermittelt (Tabelle 4).

Für den Parameter Blei sind in den Abbildungen 11 und 12 die Flächen mit Überschreitung der Vorsorge- bzw. Prüfwerte der BBodSchV flächenhaft dargestellt. Zum Zweck besserer Lesbarkeit wurde bei diesen Abbildungen eine flächenhafte Darstellung für das gesamte Untersuchungsgebiet gewählt.

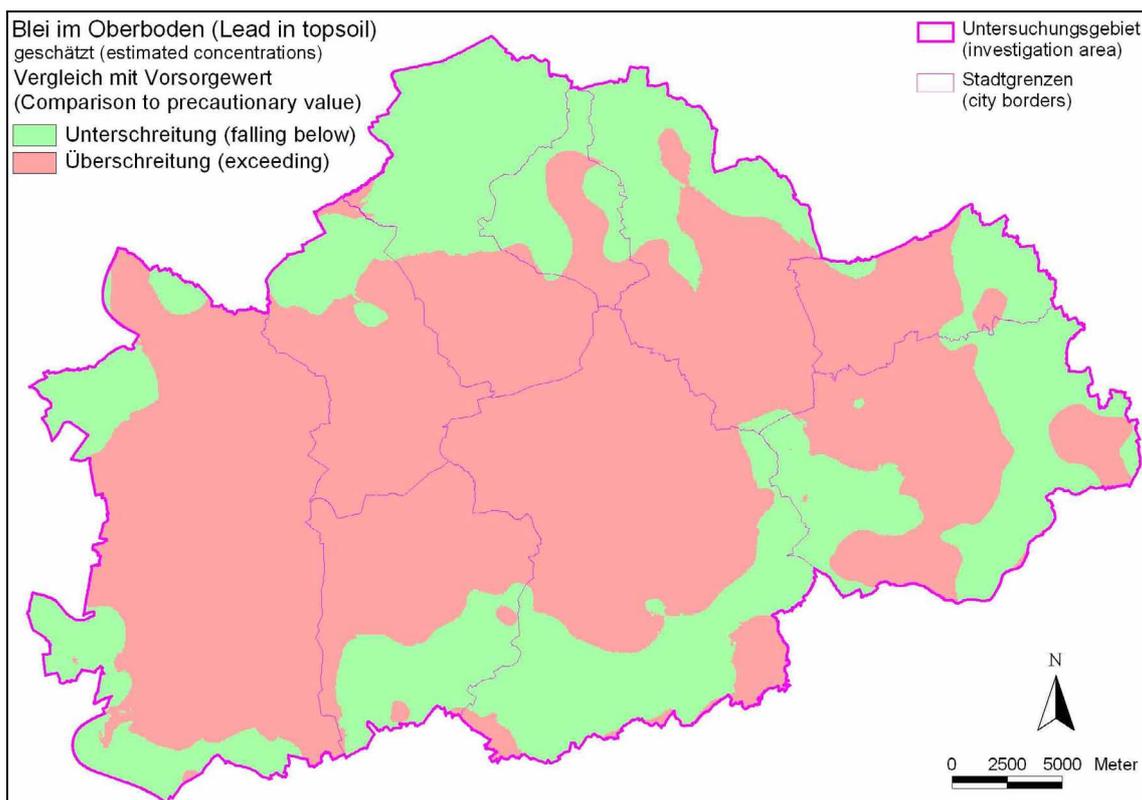


Abbildung 11: Vergleich der geschätzten Bleigehalte in Oberböden des Untersuchungsgebietes mit dem Vorsorgewert

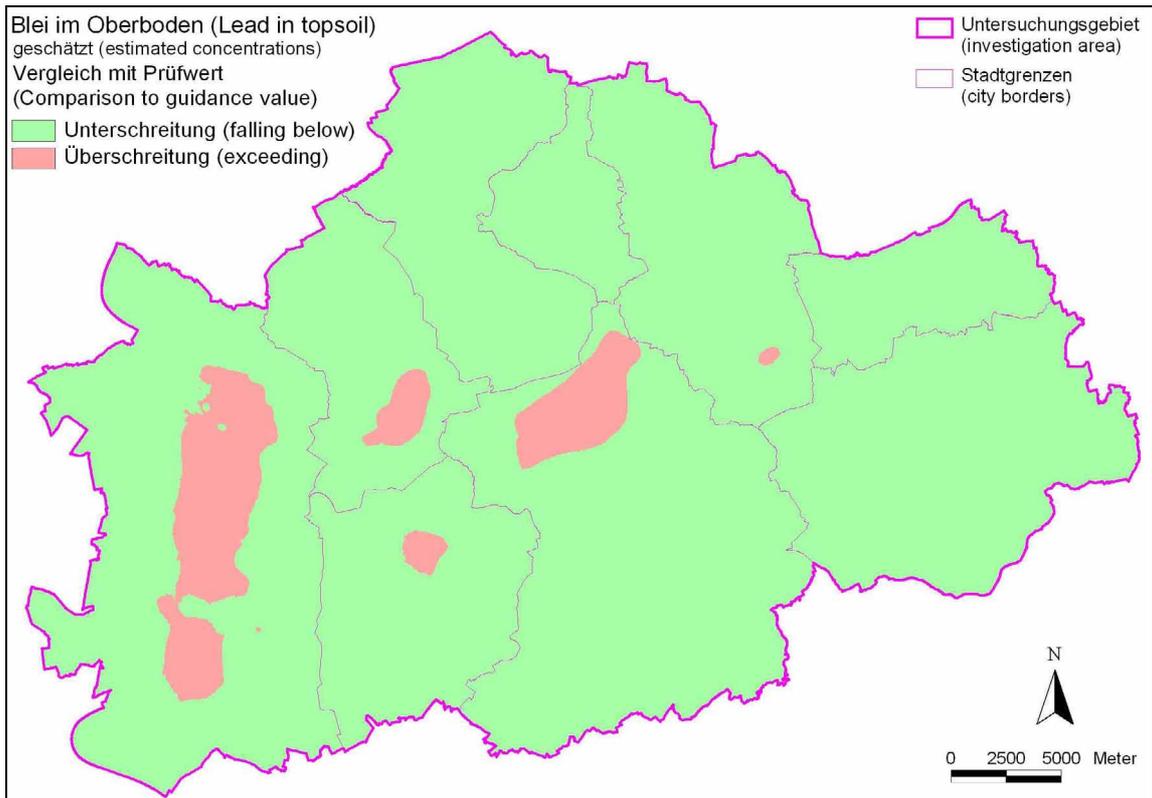


Abbildung 12: Vergleich der geschätzten Bleigehalte in Oberböden des Untersuchungsgebietes mit dem Prüfwert

6 Fachbeitrag des LANUV zum RFNP der Städteregion Ruhr

Das Planungsgebiet des RFNP umfasst die Städte Bochum, Essen, Gelsenkirchen, Herne, Mülheim und Oberhausen und weist eine Flächengröße von 680 km² auf. Für das Planungsgebiet des RFNP wurden Raumeinheiten mit einer Fläche von 391,6 km² berücksichtigt, das entspricht ca. 58 % der Gesamtfläche (Abbildung 13). Als Ausschlussflächen wurden folgende Flächen definiert:

- Nutzungsklassen „nicht berücksichtigte Nutzungen“ sowie „überbaute und versiegelte Flächen“ und
- Überschwemmungsgebiete.

Altstandorte und Altablagerungen wurden auf Wunsch der beteiligten Städte - im Gegensatz zur BBK Ruhrgebiet - für das Planungsgebiet des RFNP nicht für die weitere Bearbeitung ausgeschlossen. In Abbildung 13 sind die berücksichtigten Raumeinheiten und die Ausschlussflächen für das Planungsgebiet des RFNP abgebildet.

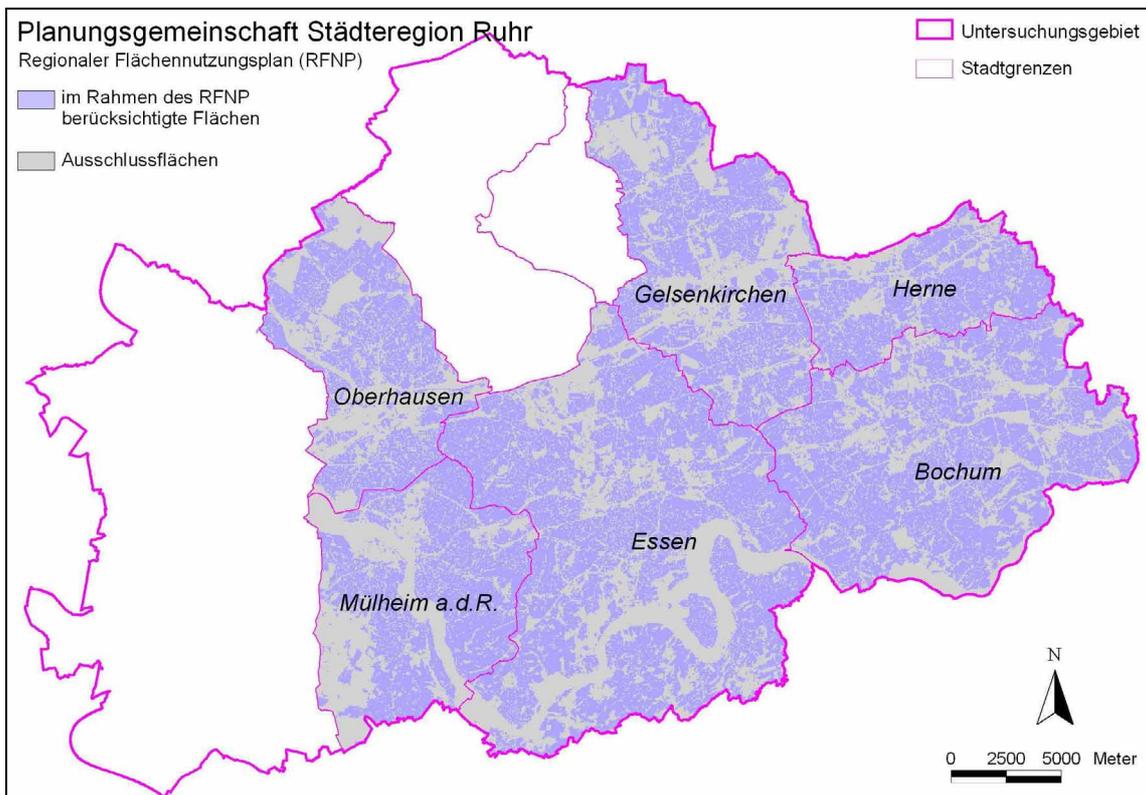


Abbildung 13: Raumeinheiten im Planungsgebiet des RFNP

6.1 Vergleich mit Vorsorgewerten

Die Ergebnisse des Vorsorgewerte-Vergleichs sind in Tabelle 5 angegeben. Dabei ist zu beachten, dass die Angaben nur für die berücksichtigten Flächen nach Abbildung 13 gelten, nicht jedoch für die Ausschlussflächen.

Tabelle 5: Vorsorgewerte-Vergleich der geschätzten Stoffgehalte im Planungsgebiet des RFNP

	Einheit	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	B(a)P
berücksichtigte Fläche	[km ²]	391,6	391,6	391,6	391,6	391,6	391,6	391,6	391,6	391,6
Fläche mit Überschreitung	[km ²]	---	144,7	2,7	73,0	3,0	12,7	243,8	294,7	76,6
Anteil mit Überschreitung	[%]	---	37,0	0,7	18,6	0,8	3,2	62,3	75,3	19,6

Höhere Flächenanteile mit einer prognostizierten Vorsorgewertüberschreitung liegen insbesondere für Zink (75%) und Blei (62%) aber auch für Cadmium (37%) vor.

In weiten Teilen des RFNP-Planungsgebietes werden die Vorsorgewerte für mehrere Parameter zugleich überschritten (Abbildung 14).

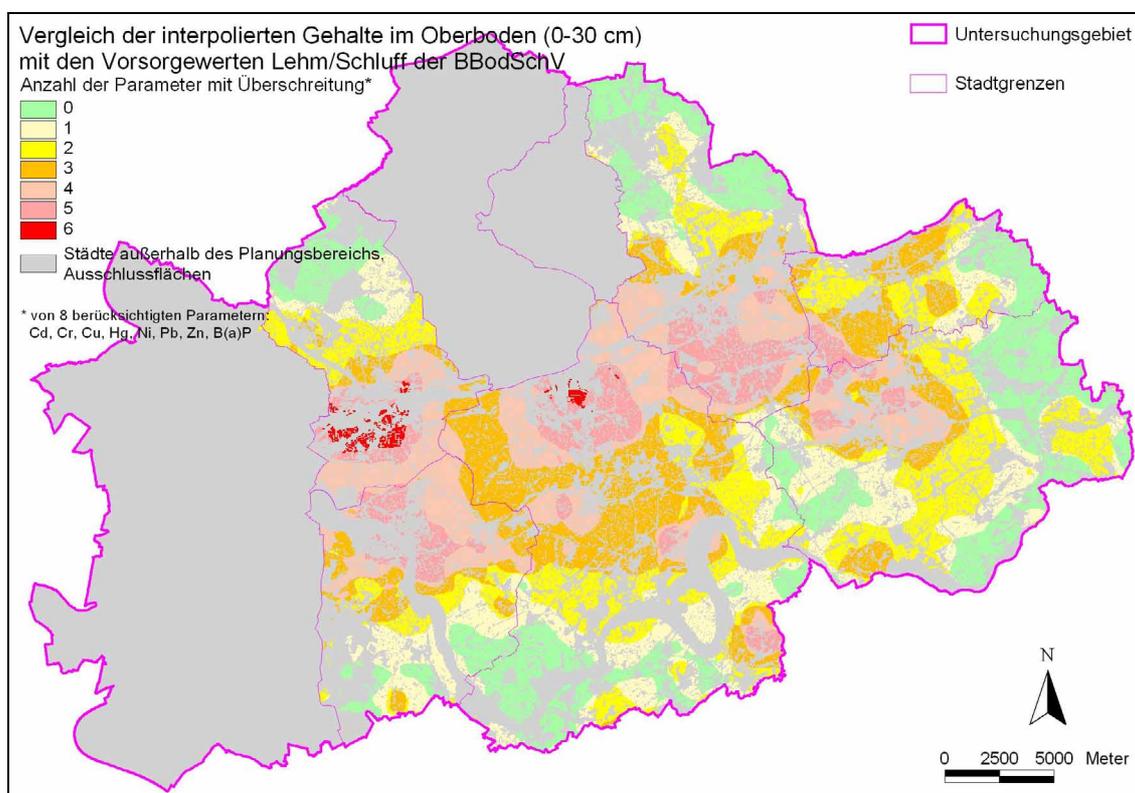


Abbildung 14: Zusammenfassender Vergleich der geschätzten Stoffgehalte mit den Vorsorgewerten (Planungsgebiet RFNP)

6.2 Vergleich mit Prüf- bzw. Maßnahmenwerten

In der folgenden Tabelle 6 ist der Vergleich der geschätzten Gehalte mit den in Tabelle 2 genannten Prüf- bzw. Maßnahmenwerten angegeben. Wiederum ist zu beachten, dass die Angaben nur für die berücksichtigten Flächen der Abbildung 13 gelten.

Tabelle 6: Prüf- bzw. Maßnahmenwerte-Vergleich der geschätzten Stoffgehalte im Planungsgebiet des RFNP

	Einheit	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	B(a)P
berücksichtigte Fläche	[km ²]	391,6	391,6	391,6	391,6	391,6	391,6	391,6	391,6	391,6
Fläche mit Überschreitung	[km ²]	0,0	12,7	0,0	0,0	0,0	0,0	13,3	---	4,7
Anteil mit Überschreitung	[%]	0,0	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	3,4	---	1,2

Flächen mit prognostizierter Prüfwertüberschreitung (bezogen auf die sensibelste Nutzung, siehe Tabelle 2) wurden für Blei (3,4%), Cadmium (3,2%) und Benzo(a)pyren (1,2%) ermittelt. Prognostizierte Überschreitungen von Maßnahmenwerten wurden nicht festgestellt.

Für kleinere Flächen des RFNP-Planungsgebietes werden die Prüfwerte für max. 2 Parameter zugleich überschritten (vgl. Abbildung 15).

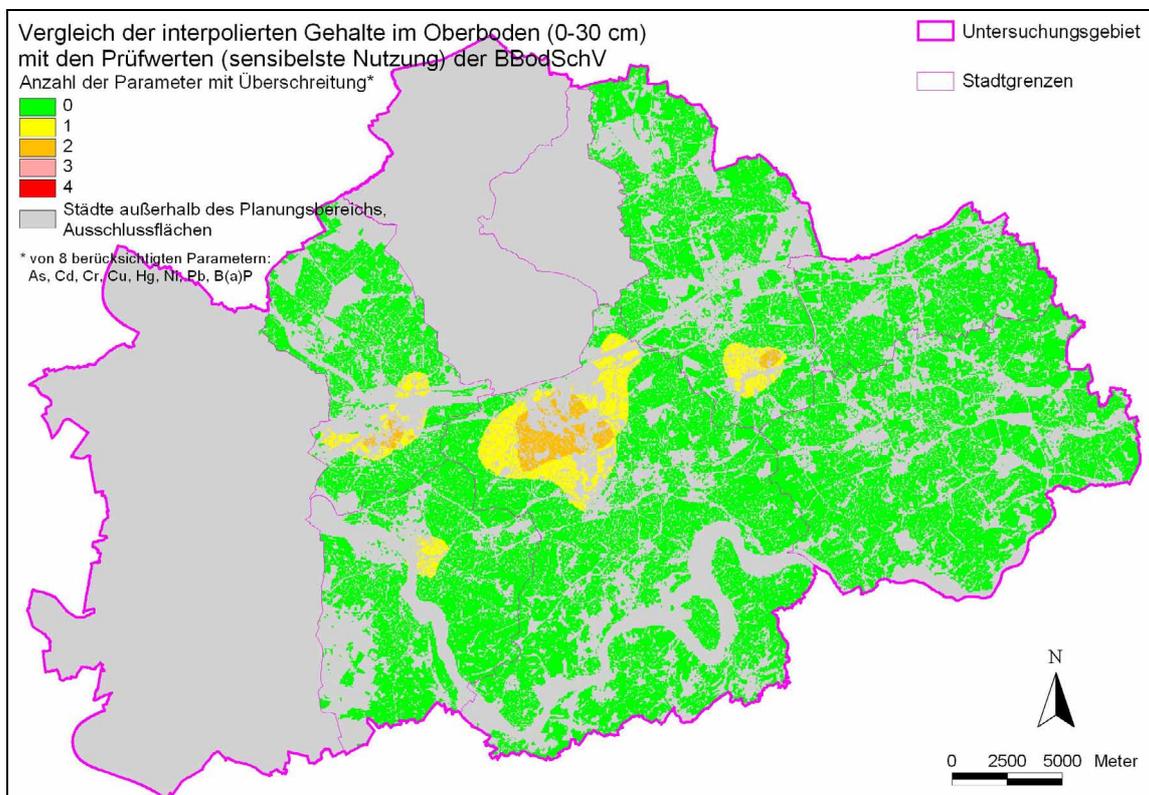


Abbildung 15: Zusammenfassender Vergleich der geschätzten Stoffgehalte mit den Prüfwerten (Planungsgebiet RFNP)

6.3 Zonen der Bodenbelastung

Zur integrativen Bewertung der Bodenbelastung wurde das Planungsgebiet des RFNP in drei Zonen der geschätzten Bodenbelastung anhand der Beurteilungswerte der Tabelle 2 unterteilt:

Zone I: Unterschreitung aller Vorsorgewerte

Zone II: Überschreitung von mindestens einem der Vorsorgewerte, jedoch keine Überschreitung der Prüf- bzw. Maßnahmenwerte

Zone III: Überschreitung von wenigstens einem der Prüf- bzw. Maßnahmenwerte

Die folgende Abbildung 16 zeigt die grafische Darstellung der Zonen der Bodenbelastung im Planungsgebiet des RFNP.

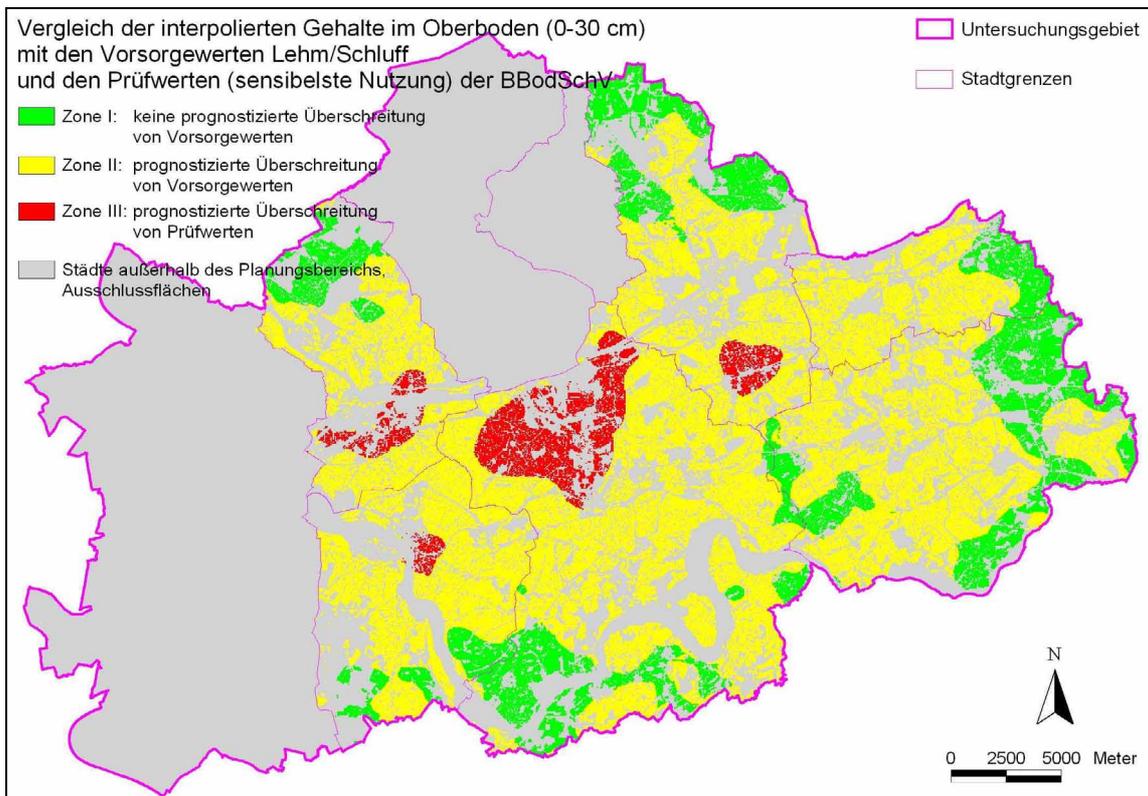


Abbildung 16: Zonen der Bodenbelastung im Planungsgebiet des RFNP

Insgesamt dominiert die Zone II mit 72 % Flächenanteil deutlich. Der Anteil der Zone I beträgt 22 %, derjenige der Zone III 6 % (vgl. Tabelle 7).

Tabelle 7: Zonen der Bodenbelastung (Flächenstatistik) im Planungsgebiet des RFNP

Kennwert	Einheit	Zone I	Zone II	Zone III	Zone I-III
berücksichtigte Fläche	[km ²]				391,6
Fläche*	[km ²]	84,3	282,8	24,5	391,6
Flächenanteil*	[%]	21,5	72,2	6,3	100,0

* bezogen auf die berücksichtigte Fläche

6.4 Ableitung von Hintergrundwerten

Für das Planungsgebiet des RFNP wurden Hintergrundwerte

- für den Außenbereich (Acker und Grünland) und
- den Siedlungsbereich (Zonen I+II und Zone III) ermittelt.

In Tabelle 8 sind für die einzelnen Bereiche bzw. Nutzungen die 50. und 90. Perzentile als Hintergrundwerte angegeben.

Tabelle 8: Hintergrundwerte im Planungsgebiet des RFNP im Vergleich zu den Beurteilungswerten der BBodSchV (vgl. auch Tabelle 2)

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	B(a)P
Vorsorgewerte	-	1,0	60	40	0,5	50	70	150	0,3
Prüf-/ Maßnahmenwerte¹⁾	25	2	200	200	2	70	200	-	1
Acker									
50. Perzentil	9	0,7	27	17	0,11	15	50	128	0,06
90. Perzentil	16	1,1	39	30	0,23	33	88	250	0,28
Grünland									
50. Perzentil	10	1,0	26	20	0,14	14	76	170	0,08
90. Perzentil	18	1,6	40	39	0,33	36	140	330	0,23
Siedlungsbereich Zonen I + II									
50. Perzentil	13	1,0	28	32	0,18	20	99	252	0,32
90. Perzentil	19	1,6	41	56	0,41	48	185	503	0,96
Siedlungsbereich Zone III									
50. Perzentil	18	2,1	29	57	0,50	26	256	657	1,02
90. Perzentil	27	3,2	45	107	0,95	59	555	1686	2,48

Rot/fett = Wert oberhalb des Prüfwertes für die sensibelste Nutzung gemäß BBodSchV

1) Erläuterungen siehe Tabelle 2

Die Tabelle 8 zeigt, dass im Siedlungsbereich die 50. Perzentilwerte für die Parameter Blei, Zink, Cadmium und Benzo(a)pyren über den Vorsorgewerten der BBodSchV für die Bodenart „Lehm/ Schluff“ liegen.

Die 50. Perzentilwerte für die Zone III des Siedlungsbereiches liegen für Blei, aber auch für Cadmium und Benzo(a)pyren, sogar über den Prüfwerten der BBodSchV für die sensibelste Nutzung.

7 Zusammenfassung

Im Ruhrgebiet wurde nach dem Immissionsansatz zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten eine flächenhafte Abschätzung der Stoffgehalte von Oberböden durchgeführt. Abgebildet wird dabei die diffuse, großflächige stoffliche Bodenbelastung, die insbesondere durch den jahrzehntelangen Eintrag von Depositionen bedingt ist. Berücksichtigt wurden die Stoffgehalte in Böden des Außenbereiches (Acker, Grünland) und den Siedlungsböden, die im Wesentlichen durch die jahrzehntelange Immissionsbelastung im Untersuchungsgebiet belastet wurden und für die andere Belastungsursachen weitgehend ausgeschlossen werden konnten. Für die Auswertungen wurden überbaute und versiegelte Flächen sowie Flächen mit lokaler Belastungssituation ausgenommen. Bei der verwendeten Interpolationsmethode ist zu berücksichtigen, dass die flächenhaften Schätzungen Unsicherheiten aufweisen können, die z.B. auf eine zu geringe Probennahmedichte zurückzuführen sind.

Im Untersuchungsgebiet wurden für 8 Schwermetalle und Benzo(a)pyren die flächenhaft vorliegenden Daten der Stoffgehalte in Oberböden mit den Vorsorge-, sowie Prüf- und Maßnahmenwerten der BBodSchV für die sensibelste Nutzung verglichen. Für große Bereiche des Untersuchungsgebietes werden die Vorsorgewerte für mehrere Parameter gleichzeitig überschritten. Auf einzelnen Flächen in Duisburg, Oberhausen und Essen weisen bis zu 6 Parameter Überschreitungen der Vorsorgewerte auf. Auf Flächen in Duisburg werden darüber hinaus die Prüfwerte gemäß Schätzung für max. 4 Parameter zugleich überschritten. Im Süden der Städte Oberhausen und Gelsenkirchen sowie im Norden der Stadt Essen werden auf einigen Flächen die Prüfwerte für max. 2 Parameter überschritten.

Auf Grundlage der Daten und Ergebnisse der BBK Ruhrgebiet wurden 2 gesonderte Auswertungen durchgeführt:

Für das ENVASSO-Projekt wurde der Indikator „Schwermetallgehalte in Böden“ getestet. Hierfür wurden die Gehalte der Schwermetalle Blei, Cadmium und Quecksilber in Oberböden flächenhaft dargestellt und mit Beurteilungswerten der BBodSchV verglichen. Für Blei und Cadmium wurden die Vorsorgewerte (für die Bodenart Lehm/Schluff) auf 58,7% bzw. 39,6% und die Prüfwerte (unter Berücksichtigung der sensibelsten Nutzung) auf 4,1% bzw. 3,5% der berücksichtigten Fläche überschritten. Anhand des verwendeten Indikators besteht die Möglichkeit, die Belastungssituation der Böden im Untersuchungsgebiet nach einer längeren Zeit (z.B. in 20 Jahren) zu überprüfen.

Für den Regionalen Flächennutzungsplan (RFNP) der Städteregion Ruhr wurde eine Themenkarte vorgelegt, in der die geschätzten Stoffgehalte der Böden 3 Zonen der Bodenbelastung zugeordnet wurden. Die Vorsorgewerte der BBodSchV wurden für mindestens einen Parameter auf 78,5% der berücksichtigten Fläche überschritten. Prüfwertüberschreitungen für mindestens einen Parameter (unter Berücksichtigung der sensibelsten Nutzung) lagen auf 6,3% der berücksichtigten Fläche vor, das entspricht ca. 25 km². Für die einzelnen Zonen der Bodenbelastung wurden darüber hinaus Hintergrundwerte der Stoffgehalte in Oberböden ermittelt. Für die Stoffe Blei, Zink, Cadmium und Benzo(a)pyren liegen die Hintergrundwerte (50. Perzentil) im Siedlungsbereich über den Vorsorgewerten der BBodSchV, so dass für diese Stoffe Gebiete mit erhöhten Stoffgehalten abgegrenzt und gebietsbezogene Beurteilungswerte festgelegt werden können (vgl. LUA NRW 2006).

8 Literatur

- AKIN, H, SIEMES, H. (1988): Praktische Geostatistik – Eine Einführung für den Bergbau und die Geowissenschaften; Springer Verlag Berlin
- BBodSchV (1999): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung vom 12. Juli 1999. Bundesgesetzblatt, Teil I, Nr. 36, 1554-1582.
<http://igsvtu.lua.nrw.de/vtu/oberfl/de/dokus/5/dokus/50102.pdf>
- ENVASSO (2007): Environmental Assessment of Soil for Monitoring; Work Package 1; Indicators and Criteria Report; Stand 04/2007
<http://www.envasso.com>
- HEINRICH, U. (1992): Zur Methodik der räumlichen Interpolation mit geostatistischen Verfahren: Untersuchungen zur Validität flächenhafter Schätzungen diskreter Messungen kontinuierlicher raumzeitlicher Prozesse; Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden
- IFUA (2007): Bodenbelastungskarte Ruhrgebiet – Themenkarte zum Regionalen Flächennutzungsplan der Städteregion Ruhr. Gutachten der IFUA Projekt GmbH im Auftrag des LANUV NRW.
- LANUV NRW (2007): Leitfaden zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten, Teil II: Siedlungsbereiche; Arbeitsblatt Nr. 1. Hrsg.: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW; Recklinghausen.
<http://www.lanuv.nrw.de/veroeffentlichungen/arbeitsblatt/arbla1/arbla1start.htm>
- LUA NRW (2000): Leitfaden zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten; Teil I: Außenbereiche; Merkblatt Nr. 24. Hrsg.: Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Essen.
<http://www.lanuv.nrw.de/boden/boschu-lua/dig-bbk.htm>
- LUA NRW (2003): Digitale Karte der hochwassergefährdeten Bereiche in NRW. Bearbeitung Hydrotec GmbH, Aachen. Hrsg.: Landesumweltamt des Landes Nordrhein-Westfalen, Essen.
- LUA NRW (2006): Anleitung zur Ermittlung und Abgrenzung von Gebieten mit erhöhten Schadstoffgehalten in Böden (GE-Anleitung). Merkblätter 57. Hrsg.: Landesumweltamt des Landes Nordrhein-Westfalen, Essen.
<http://www.lanuv.nrw.de/veroeffentlichungen/merkbl/merk57/merk57start.htm>
- NEITE, H., LEISNER-SAABER, J., KRÜGER, G., BARITZ, R. (2007): Soil contamination by heavy metals in the Ruhr area; ENVASSO-Report.
- RIES, L. (1996): Geostatistik zur Gefahrenabschätzung von Altlasten – Möglichkeiten und Grenzen der Methodik; S. 113-138; in Altlasten-Bewertung: Datenanalyse und Gefahrenbewertung; AbfallPraxis; Aktualisierte Beiträge des Symposiums Conlimes '94 vom 14. bis 16. Dezember 1994; Landsberg
- SCHNEIDER, J., KUNZMANN, S., RAECKE, F. (2000): Bereitstellung von Bodendaten für die Bauleitplanung; Arbeitshefte Boden, Heft 2000/2, Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung (NLFb, Hannover [Hrsg.])
- STOYAN, D., STOYAN, H., JANSEN, U. (1997): Umweltstatistik – Statistische Verarbeitung und Analyse von Umweltdaten; Teubner Verlagsgesellschaft, Stuttgart