




Übergreifende Auswertung von Boden-, Immissions- und Humandaten zur Schwermetallbelastung im Duisburger Süden. Materialien zur Altlastensanierung und zum Bodenschutz **MALBO 23**



Übergreifende Auswertung von Boden-, Immissions- und Humandaten zur
Schwermetallbelastung im Duisburger Süden

Materialien zur Altlastensanierung und zum Bodenschutz MALBO 23

Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Essen 2006

Grundlage für den vorliegenden Bericht ist der Abschlussbericht des im Auftrag des Landesumweltamtes Nordrhein-Westfalen durchgeführten Vorhabens „Übergreifende Auswertung von Boden-, Immissions- und Humandaten zur Schwermetallbelastung im Duisburger Süden“ (Dezember 2005), das von folgenden Personen bearbeitet wurde:

Dipl.-Biol. Jan-Daniel Gerbracht, Dr. med. Jürgen Hölzer, Prof. Dr. med. Michael Wilhelm (Federführung)
Abteilung für Hygiene-, Sozial- und Umweltmedizin der Ruhr-Universität Bochum

Dipl.-Oec. troph. Monika Machtolf, Dipl.-Geoökol. Gerald Krüger, Dr. rer. nat. Dietmar Barkowski
IFUA-Projekt GmbH Bielefeld

Dipl.-Biol. Dorothee Sugiri, Prof. Dr. Ing. Ulrich Ranft
Institut für Umweltmedizinische Forschung der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

Das Vorhaben wurde begleitet von einer Arbeitsgruppe unter Beteiligung der Stadt Duisburg (Herr Heinz, Herr Kuylaars, Herr Dr. Vogt), der außerdem für die Bereitstellung von Daten gedankt wird.

In der Druckversion dieses Berichtes sind die Anlagen und Anhänge nicht enthalten. Sie können über die Internet-Startseite zu diesem MALBO-Band gelesen und geladen werden (www.lua.nrw.de > Publikationen).

IMPRESSUM

Herausgeber: Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (LUA NRW)
Wallneyer Straße 6 • D-45133 Essen
Telefon (02 01) 79 95-0
Telefax (02 01) 79 95-14 46
E-Mail: poststelle@lua.nrw.de

Redaktion: Dr. Thomas Delschen, Wolf-Dietrich Bertges, Georg Eberwein

Fotos: IFUA-Projekt GmbH (Bielefeld)

ISSN: 1432-3575 Materialien zur Altlastensanierung und zum Bodenschutz

Informationsdienste: Aktuelle Umweltdaten aus NRW sowie Informationen zu Umweltthemen (Wasser, Boden, Luft, Abfall, Altlasten, Anlagen/Umwelttechnik, Lärm/Erschütterungen, Radioaktivität, Licht/Elektrosmog, Gentechnik, Stoffdaten) unter

- www.landesumweltamt.nrw.de

Aktuelle Luftqualitätswerte zusätzlich im

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

Bereitschaftsdienst: Nachrichtenbereitschaftszentrale des LUA 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 UND FRAGESTELLUNG	5
2. VORGEHENSWEISE	7
2.1 Datengrundlagen	7
2.1.1 Humandaten von Kindern	7
2.1.2 Bodendaten.....	8
2.1.3 Depositionsdaten	8
2.1.4 Schwebstaubdaten	10
2.2 Datenauswahl und personenbezogene Zuordnung.....	10
2.3 Datenauswertung	12
2.3.1 Auswerteverfahren	12
2.4 Hintergrund zur Beurteilung der Ergebnisse.....	14
3. ERGEBNISSE	15
3.1 Beschreibung der Daten	15
3.1.1 Humandaten	15
3.1.2 Bleigehalte im Boden.....	18
3.1.3 Staubniederschlagsdaten	20
3.1.4 Schwebstaubdaten	22
3.2 Zusammenhänge der Einflussgrößen	24
3.3 Zusammenhangsanalysen.....	26
3.4 Quantitative Wirkungsabschätzungen.....	27
3.4.1 Wirkungsabschätzung Bleigehalt im Boden - Blutblei.....	29
3.4.2 Wirkungsabschätzung Bleigehalt im Staubniederschlag - Blutblei.....	32
3.4.3 Wirkungsabschätzung Bleigehalt im Schwebstaub - Blutblei	33
3.5 Ergebnisse der Literaturrecherche.....	34
3.5.1 Zusammenhang zwischen Bleigehalt im Boden und im Blut (Literatúrauswertung)	34
3.5.2 Übertragbarkeit von Blutbleidaten auf verschiedene Altersstufen	35
3.5.3 Expositionsmodelle für Blei.....	36
3.5.4 Alimentäre Bleiaufnahme	37
3.5.5 Gesundheitliche Wirkungen von Blei	37
3.5.6 Beurteilung der humantoxikologischen Wirkungen	38
3.6 Zusammenfassung der Ergebnisse	39

4. ABLEITUNG VON EINZELFALLBEZOGENEN MAßNAHMENWERTEN FÜR DUISBURG SÜD	41
4.1 Vergleichsmaßstäbe.....	41
4.1.1 Humanbiomonitoringwerte (HBM).....	41
4.1.2 Hintergrund- oder Referenzwerte.....	42
4.1.3 Empfohlener Vergleichsmaßstab	42
4.2 Grundlast Blutblei in Duisburg ohne Einfluss des Bodens	43
4.3 Zusammenhang Blutblei – Bleibelastung im Boden im Duisburger Süden.....	43
5. DISKUSSION	45
5.1 Gefahrenermittlung und-abwehr in Duisburg	45
5.2 Übertragbarkeit der Ergebnisse	46
5.2.1 Bestimmung der Grundlast.....	47
5.2.2 Expositionsbedingungen	48
5.2.3 Verfügbarkeit von Blei.....	51
5.2.4 Zusammenfassung zur Übertragbarkeit der Ergebnisse.....	53
6. LITERATUR.....	54

Verzeichnis der Anlagen

- Anlage 1: Geschätzte Änderung der Bleigehalte im Oberboden zwischen 1991 und 2000
Blatt 1: Zunahme der Bleigehalte im Boden (0 – 10 cm Tiefe)
Blatt 2: Zunahme der Bleigehalte im Boden (0 – 30 cm Tiefe)
- Anlage 2: Datensätze, zugeordnet über die Rechts-Hochwerte der Wohnorte der Probanden (nach Jahrgängen)
Blatt 1: Datensätze für Jahrgang 2000
Blatt 2: Datensätze für Jahrgang 1997
Blatt 3: Datensätze für Jahrgang 1994
Blatt 4: Datensätze für Jahrgang 1991
Blatt 5: Datensätze für Jahrgang 1983
- Anlage 3: Mittlere Bleigehalte im Schwebstaub – exemplarische Darstellung

Verzeichnis der Anhänge

- Anhang 1: Statistische Auswertungen der Daten (Institut für Umweltmedizinische Forschung (IUF) an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf gGmbH)
- Anhang 2: Literaturrecherche (Ruhr-Universität Bochum (RUB), Abteilung für Hygiene, Sozial- und Umweltmedizin)

Die Anlagen und Anhänge sind nur auf der Internetseite dieses Berichtes vorhanden, die unter www.lua.nrw.de verfügbar ist.

1. Einleitung und Fragestellung

Im Rahmen der Erarbeitung der digitalen Bodenbelastungskarte der Stadt Duisburg wurden großflächig Prüfwertüberschreitungen für Blei und Cadmium festgestellt, die weitergehende Sachverhaltsermittlungen hinsichtlich einer abschließenden Gefahrenbeurteilung des Wirkungspfades Boden-Mensch erforderlich machen. Diese wirft jedoch für großflächige Bodenbelastungen insbesondere für das Schwermetall Blei Fragen auf, da die Ableitung des Prüfwertes der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) von Blei in Böden abweichend vom Regelfall erfolgte und wesentlich auf Erkenntnissen einer umweltepidemiologischen Studie (DOLGNER et al. 1988) beruht.

Des Weiteren sind den Grundsätzen des Bodenschutzes entsprechend bei der weitergehenden Sachverhaltsermittlung auch Erkenntnisse aus dem Untersuchungsgebiet zu berücksichtigen, die die Annahmen der seinerzeitigen Prüfwertableitung konkretisieren könnten. Diesbezüglich liegen aus dem Duisburger Süden Daten der Hot Spot-Studie (LUA 2004) vor. Diese im Auftrag des Landesumweltamtes NRW im Jahre 2000 durchgeführte Querschnittsstudie ergab erstens eine erhöhte Bleibelastung von Kindern in Duisburg Süd (im großräumigen Ortsvergleich zu Kindern aus Borken) und zweitens einen klaren Zusammenhang von Bleikonzentrationen im Schwebstaub bzw. Staubbiederschlag mit dem Blutbleigehalt bei der kleinräumigen Analyse innerhalb des Hot Spots in Duisburg Süd. Ferner stehen aus dieser Untersuchung auch Cadmiumgehalte in Blut und Urin der Kinder zur Verfügung.

Diese Informationen und Hinweise aufgreifend, wurde die Ruhr-Universität Bochum (RUB), Abteilung für Hygiene, Sozial- und Umweltmedizin unter Mitarbeit der IFUA-Projekt-GmbH, Bielefeld, sowie des Institutes für Umweltmedizinische Forschung (IUF) an der Heinrich-Heine-Universität, Düsseldorf, vom Landesumweltamt NRW am 23.08.2004 beauftragt, vertiefende Auswertungen der vorliegenden Daten vorzunehmen.

Dazu sollten zunächst die Human- und Staubdaten der Hot Spot-Studie mit Bodenbelastungsdaten zusammengeführt und um weitere Staubbiederschlagsdaten ergänzt werden, die ebenfalls aus dem Untersuchungsgebiet (als Jahresmittelwerte und Monatsmittelwerte) vorliegen. Ebenfalls zu berücksichtigen waren die Schwebstaubdaten aus der betreffenden Region.

Die Auswertung sollte durch multivariate Regressionsanalysen erfolgen und schwerpunktmäßig der Fragestellung nachgehen, zu welchem Anteil sich möglicherweise die Blutbleigehalte durch die korrespondierenden Bodenkonzentrationen erklären lassen.

Hierauf aufbauend und unter Berücksichtigung zeitlich erkennbarer Trends¹ sollte ein Abgleich mit den seinerzeitigen Auswertungen von DOLGNER et al. (1988) erfolgen. Ziel hierbei war insbesondere die Frage der Prüfung und Konkretisierung damaliger Zusammenhänge anhand der aktuellen Untersuchungsergebnisse.

Zusätzlich sollten durch Recherche und Auswertung der Literatur der letzten 5 – 10 Jahre sowie Einbeziehung von Berechnungsmodellen (z.B. nach U.S. EPA) die Beurteilungsmöglichkeiten weiter vertieft und abgesichert werden.

¹ Hierzu sollten, soweit möglich, Blutbleidaten aus älteren Untersuchungen, wie z.B. der Wirkungskataster, herangezogen werden.

Ziel war es letztlich, einzelfallbezogene Maßnahmenwerte für die Beurteilung der Bleigehalte in Böden des Duisburger Südens abzuleiten und zu begründen. Hierzu sollte ein Beurteilungskonzept für den Parameter Blei aus den genannten Grundlagen aufgestellt und umgesetzt werden.

Im vorliegenden Bericht wird dazu im folgenden Kapitel die Vorgehensweise beschrieben. Die Ergebnisse der verschiedenen Arbeitsschritte und Datenauswertungen werden dann in Kapitel 3 ausgeführt, um darauf aufbauend in Kapitel 4 Schlussfolgerungen für die Beurteilung von Blei im Rahmen weiterer Sachverhaltsermittlungen zu ziehen. Schließlich werden in Kapitel 5 die erzielten Ergebnisse im Hinblick auf die weitere Gefahrenermittlung und -abwehr in Duisburg sowie eine verallgemeinernde Übertragbarkeit diskutiert.

Die Datenrecherche, -auswahl und -zusammenführung sowie die Datenauswertung im Hinblick auf die genannte Fragestellung erfolgte federführend durch die IFUA-Projekt-GmbH, Bielefeld.

Die statistischen Auswertungen der vorliegenden Daten wurden vom Institut für Umweltmedizinische Forschung (IUF) an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf gGmbH durchgeführt. Die Ergebnisse dazu finden sich als Dokumentation im Anhang 1.

Die Durchführung der Literaturrecherche sowie deren Auswertung erfolgte durch die Abteilung für Hygiene, Sozial- und Umweltmedizin der Ruhr-Universität Bochum (RUB). Die Ergebnisse dazu finden sich als Dokumentation im Anhang 2.

2. Vorgehensweise

2.1 Datengrundlagen

2.1.1 Humandaten von Kindern

In den Jahren 1983, 1991, 1994, 1997 und 2000 wurden im Rahmen der Wirkungskatasteruntersuchungen des Landes NRW (umweltepidemiologische Untersuchungen) u.a. Bleikonzentrationen im Vollblut von ca. 1.000 Kindern aus Duisburg Süd durch das damalige Medizinische Institut für Umwelthygiene (MIU) bestimmt. Bis auf die Untersuchungen aus dem Jahre 1983 waren die Kinder im Einschulungsalter, also ca. 6 Jahre alt.

Während genaue Raumkoordinaten zur Wohnadresse der untersuchten Kinder (Rechts-Hochwerte), die Bleigehalte im Blut sowie die Cadmiumgehalte in Blut und Urin aus dem Jahr 2000 in der Datenbank zur Hot Spot-Studie für Auswertungen zur Verfügung standen (vgl. Hot Spot-Studie Duisburg Süd (LUA 2004)), lagen die Daten aus den früheren Jahren lediglich in groben räumlichen Kategorien (anonymisiert) vor. Die zugeordneten Koordinaten entsprachen der linken unteren Ecke derjenigen 1 x 1 km Rasterfläche, in welcher der Wohnort des untersuchten Kindes zum Zeitpunkt der Erhebung lag. Die Lagegenauigkeit von lediglich 1 km² machte eine Recherche der genaueren Koordinaten der Wohnorte der Probanden erforderlich, um eine präzise Zuordnung zu den Blei- und Cadmiumgehalten von Boden, Deposition und Schwebstaub - die im Duisburger Süden von hohen Gradienten gekennzeichnet sind - vornehmen zu können.

Die Recherche der Wohnadressen und die Zuordnung der dazugehörigen Raumkoordinaten erfolgte für die Studien aus den Jahren 1997, 1994 und 1991 über das Gesundheitsamt der Stadt Duisburg unter Zuhilfenahme der dort archivierten Erhebungsprotokolle.

Von der Auswertung ausgeschlossen wurden diejenigen Probanden, deren Wohnortskordinaten nicht eindeutig (auf 10 m genau) zu lokalisieren waren oder bei denen es nicht auflösbare Widersprüche zwischen den groben räumlichen Kategorien und den genaueren rekonstruierten Koordinaten gab. Gleiches galt generell für Probanden, deren Wohnadresse außerhalb des Testgebietes² im Duisburger Süden oder seinem direkten Umfeld lag, weiterhin für Probanden ohne Angaben zu den ausgewählten Biomonitoringwerten für Blei bzw. Cadmium.

Im Falle der untersuchten Kinder der ältesten hier betrachteten Studie von 1983 war eine Recherche der Wohnorte und eine Rekonstruktion der Koordinaten nicht möglich, da trotz intensiver Suche beim Gesundheitsamt der Stadt Duisburg die Erhebungsprotokolle und andere einschlägige Aufzeichnungen nicht aufgefunden werden konnten. Letztendlich wurde den Probanden für die weiteren Auswertungen hilfsweise der Schwerpunkt derjenigen 1 x 1 km Rasterfläche zugewiesen, deren linker unterer Ecke die Probanden zugeordnet gewesen waren.

² Das Testgebiet (vgl. Karte in Anlage 1.1) umfasst den Teil des Duisburger Südens, für den die weiteren Daten für die verschiedenen Umweltmedien Boden und Staubbiederschlag aus der Bodenbelastungskarte der Stadt Duisburg vorliegen.

2.1.2 Bodendaten

Die in die Auswertung eingehenden Bodendaten entstammen dem Pilotprojekt zur digitalen Bodenbelastungskarte Siedlungsbereich, welches das Ziel verfolgte, die immissionsbedingte Bodenbelastung im Testgebiet Duisburg Süd punktuell zu erfassen und mittels Interpolation flächenhaft abzuschätzen (IFUA 2002). Dabei ist zu berücksichtigen, dass es sich bei derart geschätzten Bodenbelastungen um diejenige Belastung handelt, die bei einem für lange Zeit unberührt der Deposition ausgesetzten Boden zu erwarten wäre.

Probennahme und Analytik erfolgten entsprechend der Methodik zur Bodenbelastungskarte Siedlungsbereich (vgl. IFUA 2002):

Probennahme

- Flächengröße 200 - 1.000 m²
- Rasen/Wiese als Vegetationsbedeckung
- 3 Übersichtssondierungen bis 1 m Tiefe
- Mischprobe aus jeweils 15 - 20 Einstichen mit dem Pürckhauer oder der Rammkernsonde für die Schicht 0 - 10 cm Tiefe sowie 10 - 30 cm Tiefe
- separate Beprobung der Trockenrohddichte mit dem Stechzylinder

Analytik

- Bestimmung der Schwermetalle aus der bei 105°C getrockneten, < 2 mm gesiebten und gemahlene (< 100 µm) Feinfraktion
- Aufschluss mit Königswasser
- Messung mit ICP (DIN 38406-E22)

Im Rahmen der vorliegenden Auswertungen wurde die geschätzte Belastung des Bodens mit Blei und Cadmium herangezogen. Dabei wurde zum einen die Schicht 0-10 cm Tiefe betrachtet, zum anderen die integrierte Schicht 0-30 cm Tiefe³.

2.1.3 Depositionsdaten

Für das Stadtgebiet Duisburg und Umgebung liegen seit 1982 Messungen für Blei und Cadmium im Staubbiederschlag vor, die im Rahmen der Luftreinhalteplanung in einem 1 x 1 km Raster⁴ erfasst werden. Die an den einzelnen Messstationen mittels offener Bergerhoffgefäße gesammelten monatlichen Staubbiederschlagsproben wurden zu einer Jahressammelprobe vereinigt, aus der schließlich die Bestimmung der Inhaltstoffe Blei und Cadmium erfolgte.

Die Daten der Jahrgänge 1982-1998 wurden vom Chemischen Untersuchungsamt der Stadt Duisburg zur Verfügung gestellt, die Daten der Jahrgänge 1999 und 2000 vom Landesumweltamt NRW.

³ Die Gehalte für die integrierte Schicht 0-30 cm Tiefe wurden als gewichtete Mittelwerte der Schichten 0-10 und 10-30 cm Tiefe berechnet.

⁴ z.T. auch 2 x 2 km; in den letzten Jahren zunehmende Ausdünnung des Messnetzes

In Abstimmung mit der Ruhr-Universität Bochum wurden für jede Messstelle für einen Zeitraum von zwei Jahren Mittelwerte berechnet, wobei das Jahr der jeweiligen Studie sowie das vorangegangene Berücksichtigung fanden.

Die statistischen Kenngrößen zur Deposition an Blei und Cadmium im Staubbiederschlag enthält folgende Tabelle.

Tabelle 1: Blei und Cadmium im Staubbiederschlag
(2-jährige Mittelwerte in $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{d}$; *kursiv* = Ausreißer)

	Blei					Cadmium				
	2000/ 1999	1997/ 1996	1994/ 1993	1991/ 1990	1983/ 1982	2000/ 1999	1997/ 1996	1994/ 1993	1991/ 1990	1983/ 1982
Gültige Fälle	299	299	256	283	263	299	299	256	283	263
Mittelwert	75,75	127,45	138,05	182,51	335,47	1,48	2,14	2,00	1,99	4,11
Median	50,61	77,25	92,29	123,50	207,00	0,99	1,35	1,37	1,45	3,24
Standardabweichung	200,11	518,86	262,61	260,53	833,02	3,81	6,26	3,48	2,85	4,10
Minimum	17,10	27,92	36,53	40,00	76,50	0,21	0,57	0,47	0,30	1,37
Maximum	<i>3412,50</i>	<i>8969,78</i>	<i>3902,53</i>	<i>3499,50</i>	<i>12824,00</i>	<i>63,74</i>	<i>106,90</i>	<i>50,58</i>	<i>41,95</i>	<i>54,17</i>

Nach Grubbs:

untere Schranke $\alpha = 0,01$	-743,32	-1996,24	-925,27	-879,68	-3044,10	-14,12	-23,48	-12,08	-9,62	-12,52
obere Schranke $\alpha = 0,01$	894,81	2251,14	1201,38	1244,69	3715,03	17,07	27,75	16,08	13,60	20,75

nach Logarithmierung (ln)										
Gültige Fälle	299	299	256	283	263	299	299	256	283	263
Mittelwert	4,00	4,41	4,62	4,90	5,42	0,02	0,40	0,40	0,42	1,24
Median	3,92	4,35	4,52	4,82	5,33	-0,01	0,30	0,31	0,37	1,17
Standardabweichung	0,60	0,62	0,61	0,67	0,68	0,68	0,62	0,62	0,63	0,51
Minimum	2,84	3,33	3,60	3,69	4,34	-1,55	-0,57	-0,77	-1,20	0,31
Maximum	<i>8,14</i>	<i>9,10</i>	<i>8,27</i>	<i>8,16</i>	<i>9,46</i>	<i>4,15</i>	<i>4,67</i>	<i>3,92</i>	<i>3,74</i>	<i>3,99</i>

Nach Grubbs:

untere Schranke $\alpha = 0,01$	1,56	1,86	2,15	2,18	2,66	-2,79	-2,12	-2,10	-2,17	-0,83
obere Schranke $\alpha = 0,01$	6,45	6,96	7,10	7,63	8,18	2,82	2,93	2,90	3,00	3,32

Als Ausreißer tritt in allen Fällen die Messstelle 2551 / 5694 in Erscheinung (Test nach Grubbs; vgl. DIN 53 804 Teil 1).

Die Verteilung der jeweiligen Grundgesamtheiten gleicht eher einer log-Normalverteilung als einer Normalverteilung. Die Interpolation der Punktdaten wurde demzufolge mit den logarithmierten Datenkollektiven durchgeführt. Die Variogrammanalyse erfolgte unter Ausklammerung des Ausreißers. Beim Kriging selbst wurde dieser Wert wieder einbezogen. Bei der Zuordnung zu den Koordinaten der Probanden wurde die interpolierte Deposition zunächst delogarithmiert und entzerrt.

2.1.4 Schwebstaubdaten

Die Schwebstaubbelastung innerhalb des Belastungsgebietes des Duisburger Südens wurde vom Landesumweltamt NRW für ein 250 x 250 m Raster für die Jahre 1985 bis 2000 modelliert. Dabei wurden die Berechnungen für die jeweilige Stützstelle (d.h. Rasterkoordinate) und für die einzelnen Zeitabschnitte mit einem Faktor multipliziert. Der verwendete Faktor wurde aus der generellen Entwicklung der Schwebstaubbelastung an den umgebenden Messstationen abgeleitet. Dabei wurde zum Teil auch über längere Zeitspannen gemittelt, die sich zudem bei Blei und Cadmium unterscheiden (vgl. Tabelle 2). Eine beispielhafte Darstellung der modellierten Bleigehalte im Schwebstaub findet sich zur Veranschaulichung der Vorgehensweise in Anlage 3.

Tabelle 2: Statistische Angaben der mittleren Schwebstaubgehalte nach Modellierung im 250 x 250 m Raster (Quelle: LUA NRW)

Blei [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	2000	1997-99	1996	1990-94	1985-86
Anzahl Stützstellen	609	609	609	609	609
Mittelwert	0,043	0,054	0,069	0,112	0,257
Median	0,025	0,040	0,055	0,100	0,250
Standardabweichung	0,067	0,063	0,067	0,067	0,059
Minimum	0,025	0,040	0,055	0,100	0,250
Maximum	0,729	0,729	0,799	0,899	1,098
Cadmium [ng/m^3]	2000	1991-99		1990	1985-86
Anzahl Stützstellen	609	609		609	609
Mittelwert	1,869	1,837		2,314	4,456
Median	1,000	1,500		2,000	4,000
Standardabweichung	3,087	1,651		1,637	2,595
Minimum	1,000	1,500		1,000	1,000
Maximum	33,534	20,150		21,021	35,036

Für die Untersuchungen aus dem Jahr 1983 standen lediglich Daten aus IXFELD et al. (1986) zur Verfügung, wobei lediglich die beiden Messstellen *DU-Rheinhausen* und *DU-Bissingheim* im Untersuchungsgebiet lagen und ausgewertet werden konnten (vgl. Anlage 3).

2.2 Datenauswahl und personenbezogene Zuordnung

Unter Verwendung der Rechts-Hochwerte der Wohnadressen der Kinder wurden individuelle Expositionswerte für Blei im Schwebstaub, im Staubniederschlag (Deposition) und in Bodenproben mit zwei unterschiedlichen Tiefen (0-10 cm und 0-30 cm) den Probanden zugeordnet. Das allgemeine Zuordnungsschema hinsichtlich der Messzeiträume zu den einzelnen Studienjahren ist den nachfolgenden Tabellen zu entnehmen.

Tabelle 3: Zuordnungsschema der Bleidaten

Human-Studien	1983	1991	1994	1997	2000
Datensätze	385	203	137	81	238
Boden (0-0,1m)	2000	2000	2000	2000	2000
Boden (0-0,3m)	2000	2000	2000	2000	2000
Deposition	1982/83	1990/91	1993/94	1996/97	1999/2000
Schwebstaub	1982	1990-94	1990-94	1996	2000

Tabelle 4: Zuordnungsschema der Cadmiumdaten

Human-Studien	1983	1991	1994	1997	2000
Datensätze	385	203	137	81	238
Boden (0-0,1m)	2000	2000	2000	2000	2000
Boden (0-0,3m)	2000	2000	2000	2000	2000
Deposition	1982/83	1990/91	1993/94	1996/97	1999/2000
Schwebstaub	1982 1985/86	1990	1991-99	1991-99	2000

Für die Zuordnung der Depositionsdaten wurde nach fachlicher Abstimmung mit der Ruhr-Universität Bochum jeweils der Mittelwert der Jahresmittelwerte des jeweiligen Untersuchungsjahres sowie des Vorjahres (z.B. 1999/2000) herangezogen; zum einen deshalb, weil die auszuwertenden Humandaten aus Schuleingangsuntersuchungen stammen, die jeweils innerhalb der ersten Monate eines Kalenderjahres stattfinden und damit der Bezug zum Vorjahr herzustellen ist. Zum anderen kann der Mittelwert über zwei Folgejahre als belastbarer hinsichtlich der Datenqualität angesehen werden.

Im Falle des Schwebstaubs wurde den Probanden der Studien 2000, 1997, 1994 und 1991 der Wert des jeweils am nächsten liegenden Punktes, für den eine Blei- bzw. Cadmiumkonzentration modelliert wurde, zugewiesen (vgl. Anlage 3). Im Fall der Studie 1983 allerdings wurde entweder der Jahresmittelwert für die Messstation *DU-Rheinhausen* oder *DU-Bissingheim* zugewiesen, je nachdem, welche der beiden Stationen in geringerer Entfernung zur Wohnadresse des untersuchten Kindes lag.

Die tabellarische Zusammenstellung der Probanden und der zugeordneten Attribute finden sich in den Anlagen 2 (Studie 2000: Blatt 1, Studie 1997: Blatt 2, Studie 1994: Blatt 3, Studie 1991: Blatt 4, Studie 1983: Blatt 5). Da eine Rekonstruktion der genauen Koordinaten für die Probanden der Studie von 1983 nicht möglich war, sind in Anlage 2, Blatt 5 zusätzlich zum Mittelwert das Minimum, das Maximum und die Standardabweichung der geschätzten Gehalte (aus jeweils 1.600 Punktdaten) innerhalb der jeweiligen 1 x 1 km Bezugsfläche angegeben.

2.3 Datenauswertung

Neben der deskriptiven Statistik erfolgte die vertiefte Auswertung der Daten unter Verwendung des Software-Paketes SAS for Windows, Version 9.13, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA, und wurde vom Institut für Umweltmedizinische Forschung (IUF) an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf (Prof. Ranft) durchgeführt (vgl. Anhang 1). Als Analysenprozedur wurde die Routine "proc genmod" verwendet, um mittels multivariater Auswertungen und unter Berücksichtigung von Confoundern zu prüfen, zu welchem Anteil sich möglicherweise die Blutbleigehalte (ggf. Gehalte an Cadmium in Blut und Urin) durch die korrespondierende Boden- bzw. Staubniederschlags- oder Schwebstaubkonzentration erklären lassen.

2.3.1 Auswerteverfahren

Deskriptive Statistik der ausgewerteten Human- und Umweltdaten

Basis der Datenauswertung stellt zunächst die Betrachtung der Eingangsdaten ohne die Einschaltung komplexer Auswertungsmodelle dar. Die Verteilung der ausgewählten Merkmale wird durch statistische Kenngrößen tabellarisch dargestellt und charakterisiert. Zur Charakterisierung der Verteilung bei logarithmisch normalverteilten Variablen wird das geometrische Mittel sowie das zugehörige Konfidenzintervall gewählt, während für normalverteilte Variablen der arithmetische Mittelwert ein geeignetes Lagemaß darstellt.

Regressionsmodelle

Ziel der statistischen Analyse ist es, die beobachtete Variabilität der Zielgrößen auf die Variabilität vermuteter Einflussgrößen zurückzuführen. Zielgröße der anvisierten Modelle stellt der Blutbleigehalt dar, als Einflussgrößen werden die Bleigehalte in Boden, Staubniederschlag und Schwebstaub angesehen. Da der Blutbleigehalt jedoch möglicherweise auch noch von weiteren Umständen abhängt, war zu prüfen, inwieweit Störgrößen (Confounder) Relevanz besitzen.

Die Auswahl potenzieller Confounder war begrenzt durch die Vorgaben der in den Einzelstudien verwendeten Fragebögen und deren Übereinstimmung. In einer Voranalyse mittels multipler Regression wurden ohne die interessierenden Einflussgrößen der Exposition die folgenden weiteren Einflussgrößen als potenzielle Confounder ermittelt: Nationalität, Alter, Geschlecht, Sozialstatus (Schulbildung der Eltern), ungünstige Heizung in der Wohnung (fossile Brennstoffe), Passivrauchen (Rauchen in der Wohnung des Kindes) und Bedroomsharing (kein eigener Schlafraum des Kindes). Der Einfluss der Nationalität und des Alters im Gesamtkollektiv war im Wesentlichen durch den Untersuchungsjahrgang 1983 bedingt und verschwand, wenn das Kollektiv ohne den Jahrgang 1983 untersucht wurde. Der Einfluss des Bedroomsharing war gering und auch nicht in allen Untersuchungsjahrgängen vorhanden. Die Zusammenhangsanalysen wurden deshalb mit den potenziellen Confoundern Geschlecht, Sozialstatus, ungünstige Heizung und Passivrauchen sowohl für das Gesamtkollektiv als auch für das Kollektiv ohne den Jahrgang 1983 vollständig durchgeführt. Zusätzlich wurde für eine Kollektivauswahl nur deutscher 6-jähriger Kinder die Zusammenhangsanalyse durchgeführt.

Die regressionsanalytischen Auswertungen wurden mit dem folgenden allgemeinen Modellansatz durchgeführt:

$$\log(Pb_{Blut}) = \alpha + \sum_i \beta_i \cdot x_i + \gamma \cdot Pb_{Medium1} \left(+ \delta \cdot Pb_{Medium2} + \chi \cdot Pb_{Medium3} + \varepsilon \cdot Zeit + \kappa \cdot Zeit * Pb_{Medium1} \right)$$

Pb _{Blut} :	Blei(Pb)-Konzentration im Blut
x _i :	Störgrößen bzw. weitere Einflussgrößen (Geschlecht, Bildungsstatus der Eltern, Wohnraumbedingungen, Passivrauchen)
Pb _{Medium1/2/3} :	Pb-Konzentrationen in maximal drei verschiedenen Umweltmedien (Schwebstaub, Boden oder Staubbiederschlag)
Zeit:	Kalenderjahre
Zeit*Pb _{Medium} :	Wechselwirkungsterm

Die Parameterschätzungen ($\hat{\beta}, \hat{\gamma}, \dots$) werden als geometrische Mittelwertsquotienten mit dem Signifikanzniveau (**:p<=0.001, *:p<=0.01, (:):p<=0.1) für den Test auf Nullwert sowie zusätzlich für die Bleiexpositionsdaten mit dem 95% Konfidenzintervall angegeben. Damit wird der Regressionskoeffizient als Verhältnis der geometrischen Mittelwerte der Zielgröße (Mittelwertsquotient) bei einem Unterschied der Einflussgröße um einen Standardwert interpretiert.

Als Einheit für das jeweilige Expositionsmaß (im Sinne einer Einflussgröße) wurde die Spannweite zwischen dem 95. und 5. Perzentil der jeweiligen Verteilung des Expositionsmaßes im Gesamtkollektiv 1983 bis 1991 gewählt.

Zusätzlich wird auch der prozentuale Anteil erklärter Devianz angegeben, der als Ansatzpunkt für den Erklärungswert des gewählten Modells dienen soll.

Für den Fall normalverteilter und log-normalverteilter Zielgrößen, also bei Anwendung der linearen multiplen Regression, ist die Devianz gleich der Summe der residualen Abweichungsquadrate. Die residualen Abweichungsquadrate sind die quadrierten Differenzen zwischen beobachteten und modellgeschätzten Werten der Zielgröße.

Um zu einem Maß zwischen Null und Eins zu gelangen, das dann auch als Prozentwert angegeben werden kann, wird der **Anteil erklärter Devianz** D_{expl} wie folgt definiert:

$$D_{expl} = \frac{D_{Null} - D}{D_{Null}},$$

wobei D_{Null} die Devianz des Modells nur mit dem Parameter α ist.

D_{expl} gleich Null bedeutet, dass durch das Regressionsmodell nichts erklärt werden kann. Entsprechend gelingt bei einer D_{expl} gleich Eins die vollständige Erklärung der beobachteten Zielgrößenwerte durch die Regressoren im Modell. Für den Fall normalverteilter und log-normalverteilter Zielgrößen, also bei Anwendung der linearen multiplen Regression, ist D_{expl} gleich dem Bestimmtheitsmaß R^2 , also gleich dem Anteil erklärter Varianz.

2.4 Hintergrund zur Beurteilung der Ergebnisse

Zur Beurteilung der Ergebnisse aus den Datenauswertungen wurde von der Abteilung für Hygiene, Sozial- und Umweltmedizin der Ruhr-Universität Bochum eine Literaturrecherche und -auswertung durchgeführt (vgl. Anhang 2). Dazu wurde unter Verwendung verschiedener relevanter Keywords in den Literaturdatenbanken von Pubmed und Web of Science (z.T. auch in der Suchmaschine "Google") nach Studien recherchiert.

Ein Schwerpunkt bildete die Recherche und Auswertung von Studien, die Aussagen über den Zusammenhang zwischen Bleigehalten im Boden und im Blut von Kindern erlauben.

Des Weiteren wurde der Frage nachgegangen, wie sich der Blutbleigehalt bei Kindern im Laufe der Entwicklung verändert und inwieweit die Übertragbarkeit von Aussagen für verschiedene Altersgruppen hinsichtlich einer möglichen Bleibelastung zulässig erscheint.

Die Literaturstudie sollte ebenfalls Modelle zur Prognose möglicher Bleibelastungen recherchieren, deren Anwendbarkeit überprüft und diskutiert werden sollte.

Neben dem aktuellen Stand des Wissens und der fachlichen Diskussion über die Expositionsannahmen zur Quantifizierung möglicher Schadstoffaufnahmemengen sollten auch Aussagen über die allgemeine Hintergrundbelastung der Böden dokumentiert sowie die Wirkungen von Blei nach Aufnahme in den Organismus aufgezeigt werden. Hier sollte insbesondere der aktuelle Stand des Wissens über die quantitative Beurteilung der toxischen Wirkungen von Blei kritisch gewürdigt werden, um die fachliche Diskussion hierzu inhaltlich voranzutreiben und adäquat in die Ableitung von einzelfallbezogenen Maßnahmenwerten im praktischen Vollzug des BBodSchG einbeziehen zu können.

3. Ergebnisse

Nachfolgend werden die relevanten Ergebnisse der Auswertungen zusammenfassend dargestellt. Die komplette Dokumentation der statistischen Auswertungen des Institutes für Umweltmedizinische Forschung (IUF) an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf findet sich in Anhang 1 dieses Berichtes.

Die Auswertungen beschränken sich im Rahmen dieser Arbeit letztlich auf die vorliegenden Daten zum Parameter Blei. Die ebenfalls zur Verfügung stehenden Cadmiumgehalte im Urin der untersuchten Kinder wurden zwar mit den Daten der drei Umweltmedien Boden, Staubniederschlag und Schwebstaub verschnitten. Da jedoch insbesondere für die Überprüfung des Einflusses des Schwebstaubes nur unzureichende Daten, gemittelt über weite Zeiträume, vorliegen und zudem die Fragestellung der Cadmiumbewertung im Rahmen der BBodSchV andere Schwerpunkte hat (Relevanz des Wirkungspfades Boden-Pflanze), werden im Rahmen dieser Arbeit keine weiteren Auswertungen vorgenommen. Die Datensätze stehen jedoch im Prinzip für weitergehende Betrachtungen zur Verfügung (vgl. Anlage 2).

3.1 Beschreibung der Daten

3.1.1 Humandaten

Der Umfang der Studienkollektive und einige relevante Charakteristika der untersuchten Probanden, die möglicherweise als Störgröße für die hier zu untersuchenden Zusammenhänge fungieren können, sind in Tabelle 5 zusammengestellt. Das Kriterium „Wohndauer“ wurde standardgemäß mit überprüft, erwies sich jedoch nicht als bedeutsame Störgröße und wurde nicht als Ausschlusskriterium für weitere Auswertungen herangezogen.

Aus den Daten wird jedoch erkennbar, dass im Untersuchungskollektiv für 1983 das Durchschnittsalter der untersuchten Kinder im Gegensatz zu den weiteren Untersuchungskollektiven ca. 9 Jahre betrug. Eine Abweichung, der im Rahmen der statistischen Auswertungen Rechnung getragen werden muss (vgl. Anhang 1, Tabellen 7-9).

Die Kenngrößen der Verteilung der Bleikonzentrationen im Blut der Kinder sind in Tabelle 6 angegeben.

Aus den Daten wird deutlich (vgl. auch Abbildung 1), dass sich die Blutbleikonzentrationen im Untersuchungszeitraum von 1983 bis 2000 deutlich reduziert haben. So ist der Blutbleiwert im geometrischen Mittel von 86 auf 31 µg Blei/l Blut gesunken (5. Perzentil von 49 auf 16 µg Blei/l Blut; 95. Perzentil von 162 auf 67 µg Blei/l Blut). Abbildung 1 zeigt den Verlauf der Blutbleikonzentration im Untersuchungszeitraum.

Tabelle 5: Charakteristika der Studienkollektive (vgl. Anhang 1)

		Untersuchungsjahr				
		1983	1991	1994	1997	2000
Wohndauer unter 2 Jahre	N	384	220	139	78	231
	%	16.15	10.45	4.32	11.54	5.63
deutsche Nationalität	N	385	219	139	79	244
	%	100.0	84.47	89.21	87.34	72.13
männliches Geschlecht	N	385	220	139	81	246
	%	52.73	55.45	54.68	50.62	48.37
Passivrauchen	N	383	205	139	80	239
	%	56.92	45.37	39.57	36.25	40.59
ungünstige Heizung	N	384	206	137	75	236
	%	12.76	14.08	6.57	10.67	5.51
Bedroomsharing	N	381	219	138	80	241
	%	47.51	48.40	47.83	46.25	54.77
Eltern Ausbild. <= 10 Schulklassen	N	359	212	139	81	234
	%	71.59	60.85	42.45	54.32	74.36

Alter	N	385	220	139	81	242
	AM	9.12	6.40	6.32	6.33	6.44
	Std	1.39	0.45	0.36	0.37	0.41
	P5	6.55	5.83	5.85	5.89	5.89
	P25	7.91	6.07	6.04	6.03	6.13
	P50	9.19	6.33	6.28	6.30	6.41
	P75	10.30	6.66	6.57	6.56	6.66
	P95	11.13	7.18	6.78	6.78	7.03
	Min	6.46	5.37	5.59	5.81	5.50
	Max	11.46	8.84	7.81	8.00	9.10

N = Probandenzahl, AM = arithmetisches Mittel, Std = Standardabweichung, Min = Minimum, Maximum = Maximum, P5, P25, P50, P75, P95 = 5., 25., 50., 75., 95. Perzentil

Tabelle 6: Bleikonzentrationen im Blut 6-jähriger Kinder
(Schuleingangsuntersuchungen; vgl. Anhang 1)

Blei im Blut [µg/l]	Untersuchungskollektiv				
	1983*)	1991	1994	1997	2000
N	385	189	126	60	186
AM	90,63	55,75	40,53	37,07	33,73
STD	32,09	25,72	13,91	15,62	14,94
GM	85,71	51,43	38,37	34,40	30,78
SF	1,39	1,47	1,39	1,47	1,54
Min	34,00	23,50	17,00	13,00	8,00
P5	49,00	29,00	22,00	19,00	16,00
P25	70,00	40,00	30,00	29,00	24,00
P50	85,00	49,50	38,00	34,50	31,00
P75	101,00	62,50	48,00	42,00	40,00
p95	162,00	111,00	65,00	70,50	67,00
Max	208,00	189,50	93,00	91,00	86,00

*) Im Untersuchungskollektiv 1983 betrug das Durchschnittsalter 9,12 Jahre

N = Probandenzahl, AM = arithmetisches Mittel, Std = Standardabweichung,
GM = geometrisches Mittel, SF = Streufaktor, Min = Minimum, Max = Maximum,
P5, P25, P50, P75, P95 = 5., 25., 50., 75., 95. Perzentil

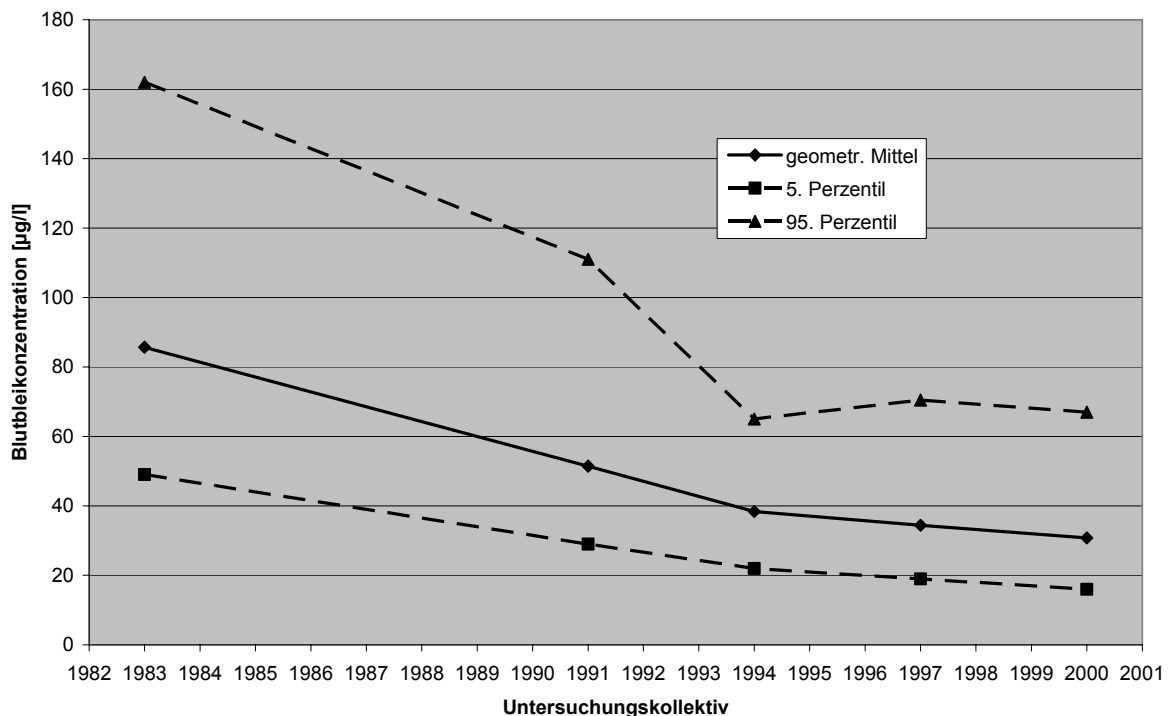


Abbildung 1: Blutbleikonzentrationen 6-jähriger Schulkinder im Untersuchungszeitraum von 1983 bis 2000 (im Untersuchungskollektiv 1983 betrug das Durchschnittsalter 9,12 Jahre)

3.1.2 Bleigehalte im Boden

Zur Beantwortung der Frage, ob im Hinblick auf die geschätzten Bodengehalte aus der Boden-Belastungskarte der Stadt Duisburg (vgl. Kapitel 2.1.2) eine zeitliche Differenzierung notwendig wäre, erfolgte zusätzlich zur flächenhaften Schätzung der Bodenbelastung eine Abschätzung, inwieweit mit einer Änderung der Bodenbelastung innerhalb des Zeitraums der letzten 10 Jahre zu rechnen ist. Dazu wurde die im Rahmen des Pilotprojektes geschätzte Bodenbelastung, deren Datengrundlagen im Wesentlichen dem Jahr 2000 entstammen, in Relation zur Depositionssumme der Jahre 1991 bis 2000 gesetzt. Dabei zeigte sich im Fall Blei, dass die Zunahme der Bodengehalte infolge Deposition innerhalb der genannten Zeitspanne für die Bodenschicht 0-10 cm Tiefe im Durchschnitt lediglich 2,3 % beträgt (Minimum = 1,0 %, Maximum = 6,2 %); wird der Blei-Gehalt der integrierten Schicht 0-30 cm als Bezugsgröße gewählt, macht die Zunahme im Durchschnitt nur noch 0,9 % (Minimum = 0,4 %, Maximum = 2,5 %) aus (vgl. Anlagen 1, Blatt 1 und 2).

Insgesamt kann also festgestellt werden, dass es sich bei der Bodenbelastung innerhalb des betrachteten Zeitraums um eine annähernd statische Größe handelt, so dass eine Nutzung der Bodendaten aus 2000 für eine Zusammenhangsanalyse mit den Humandaten aus den verschiedenen Untersuchungszeiträumen zulässig erscheint.

Tabelle 7 gibt die statistischen Kenngrößen für die Bleigehalte im Boden, differenziert für die beiden Beprobungstiefen 0-10 cm und 0-30 cm sowie für die jeweiligen Untersuchungskollektive aus den verschiedenen Untersuchungsjahren wieder.

Tabelle 7: Verteilung der Bleikonzentrationen in den Bodentiefen 0-10 und 0-30 cm (vgl. Anhang 1)

	Bleigehalt in der Bodentiefe 0-10 cm [mg/kg]					Bleigehalt in der Bodentiefe 0-30 cm [mg/kg]				
	1983	1991	1994	1997	2000	1983	1991	1994	1997	2000
N	385	202	137	81	238	385	202	137	81	238
AM	263,6	250,7	248,2	286,4	339,0	179,3	177,9	174,8	193,4	224,9
Std	232,8	182,9	167,9	240,6	278,0	122,5	104,3	90,25	130,8	141,5
Min	38,82	62,54	98,46	90,54	71,98	36,09	60,00	81,58	79,96	67,95
P5	58,40	92,79	105,1	99,51	99,51	46,88	80,26	84,13	82,57	84,39
P25	125,5	145,8	169,6	146,0	183,1	99,50	118,2	136,6	111,2	139,1
P50	209,5	192,5	210,1	205,0	222,4	153,4	143,8	155,7	150,0	163,4
P75	298,9	253,4	253,4	265,4	450,3	206,6	172,8	173,5	181,6	303,9
P95	959,9	708,2	698,4	860,5	908,8	538,6	426,6	424,1	526,3	526,3
Max	959,9	1061	1249	1249	1623	538,6	555,2	634,2	634,2	742,7

N = Probandenzahl, AM = arithmetisches Mittel, Std = Standardabweichung, Min = Minimum, Max= Maximum, P5, P25, P50, P75, P95 = 5., 25., 50., 75., 95. Perzentil

Erwartungsgemäß müssten sich die Bodendaten für die verschiedenen Untersuchungskollektive kaum unterscheiden. Wie jedoch aus den Daten ersichtlich wird (vgl. auch Abbildung 2), weichen die oberen Perzentile der Daten für die Untersuchungskollektive aus 1991 und 1994 etwas nach unten ab, während jedoch die Mediane vergleichsweise gut übereinstimmen und vergleichende Auswertungen der Untersuchungskollektive erlauben.

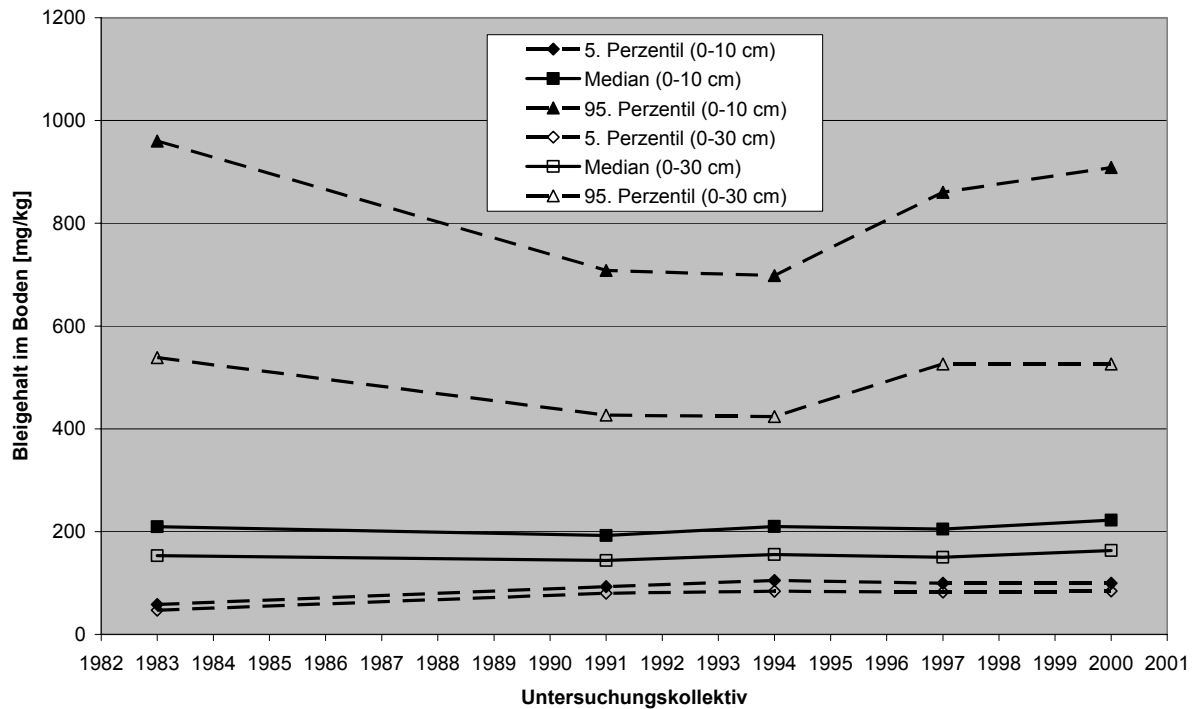


Abbildung 2: Vergleich der Bleigehalte im Boden für die verschiedenen Beprobungstiefen und Untersuchungskollektive (Median, 5. und 95. Perzentil)

Wie aus Abbildung 3 ersichtlich wird, besteht zwischen den Bleikonzentrationen aus den beiden verschiedenen Beprobungstiefen (0-10 cm und 0-30 cm) eine sehr enge Korrelation, und zwar in der Weise, dass die Konzentration in Proben aus 10 cm Tiefe etwa doppelt so hoch ist wie in Proben aus 30 cm Tiefe. Als Konsequenz für die Auswertung im Sinne der Fragestellung ergibt sich daraus, dass es genügt, nur eine Probentiefe (0-10 cm) zu verwenden.

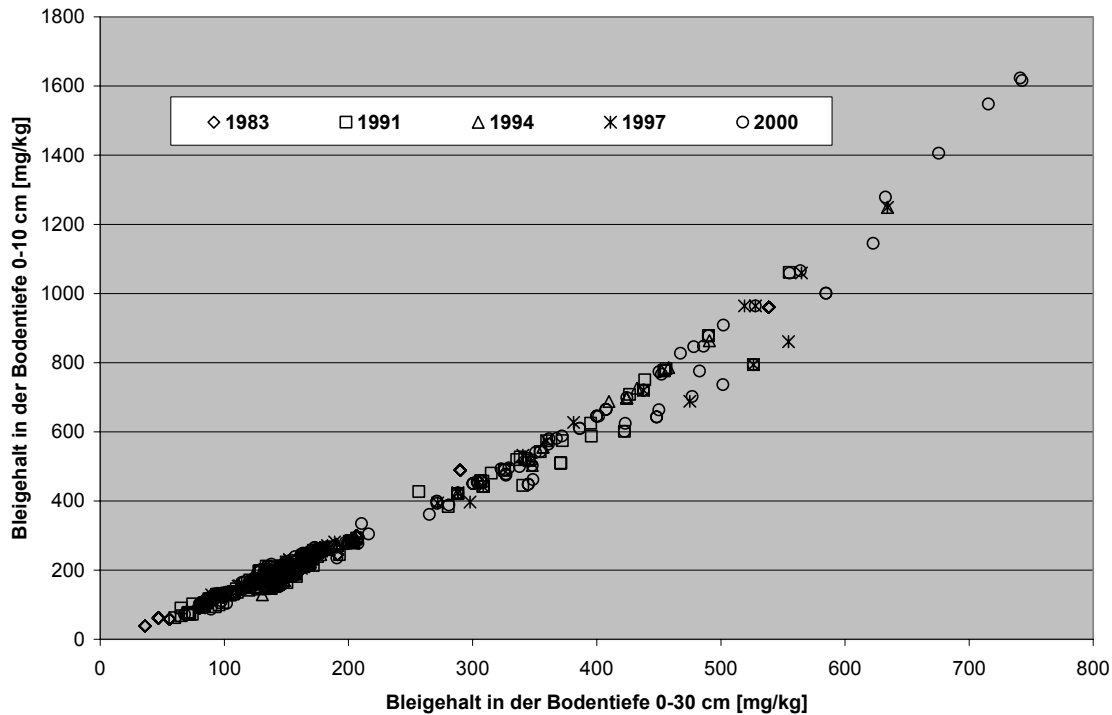


Abbildung 3: Zusammenhang zwischen den Bleikonzentrationen aus Bodenproben unterschiedlicher Tiefenstufen; Pearson'scher Korrelationskoeffizient: $r=0.989$, $p<0.0001$, $n=1043$ (vgl. Anhang 1)

3.1.3 Staubniederschlagsdaten

Die statistischen Kenngrößen für die Staubniederschlagsdaten der verschiedenen Untersuchungskollektive sind Tabelle 8 zu entnehmen. Die Daten lassen eine deutliche Abnahme der Blei-Deposition im Untersuchungszeitraum erkennen (vgl. auch Abbildung 4). So hat sich der Bleigehalt im Staubniederschlag (Median) von $584 \mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{d}$ im Jahre 1983 auf $139 \mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{d}$ im Jahre 2000 gesenkt (Abnahme auf etwa $\frac{1}{4}$).

Tabelle 8: Verteilung der Bleikonzentration im Staubniederschlag (Deposition; vgl. Anhang 1)

Blei im Staubniederschlag [$\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$]	Untersuchungskollektiv				
	1983	1991	1994	1997	2000
N	385	220	139	81	246
AM	881,8	388,4	317,4	329,7	183,7
Std	657,7	311,3	237,9	247,1	122,4
Min	248,1	72,8	96,9	118,0	38,7
P5	278,7	105,3	102,8	124,6	65,6
P25	441,8	176,8	162,2	161,9	94,7
P50	583,8	298,6	261,3	213,6	138,5
P75	1194,2	427,0	383,7	401,6	269,7
P95	2633,1	1107,3	975,3	806,2	408,1
Max	2633,1	1882,3	1507,5	1126,2	705,1

N = Probandenzahl, AM = arithmetisches Mittel, Std = Standardabweichung,
Min = Minimum, Max= Maximum, P5, P25, P50, P75, P95 = 5., 25., 50., 75., 95. Perzentil

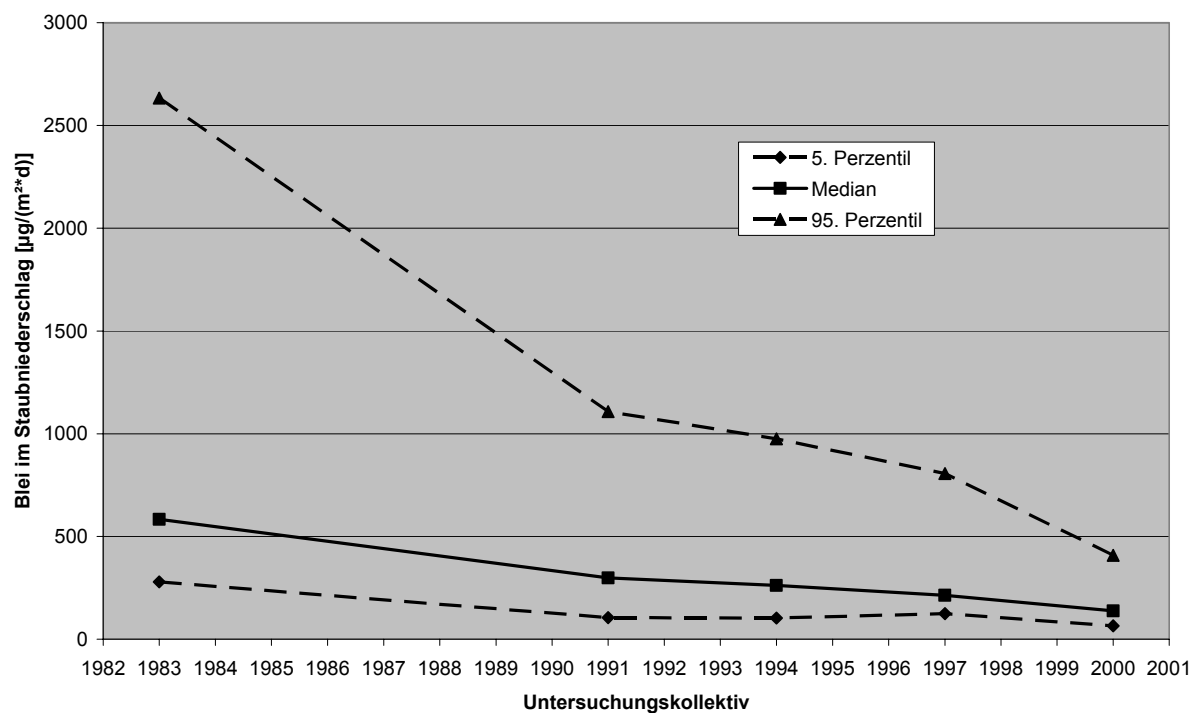


Abbildung 4: Blei im Staubniederschlag für die verschiedenen Untersuchungskollektive (Median, 5. und 95. Perzentil)

3.1.4 Schwebstaubdaten

Die Daten zum Schwebstaub sind Tabelle 9 zu entnehmen. Hier sei nochmals darauf verwiesen, dass für Auswertungen des Untersuchungskollektives aus 1983 lediglich Daten von zwei Messstellen zur Verfügung standen und die übrigen Schwebstaubdaten über verschiedene Untersuchungszeiträume gemittelt wurden (vgl. Kapitel 2.1.4).

Die Daten zeigen (vorbehaltlich deren eingeschränkter Belastbarkeit) eine deutliche Abnahme der Bleikonzentrationen auch im Schwebstaub. So fiel die Bleikonzentration im Schwebstaub (Median) von 0,47 µg/m³ im Jahr 1983 auf 0,03 µg/m³ im Jahr 2000 (vgl. auch Abbildung 5).

Um der schlechten Datenlage für das Untersuchungsjahr 1983 Rechnung zu tragen, können für Vergleichszwecke zusätzlich auch vorhandene Daten aus 1985-1986 betrachtet werden (vgl. Tabelle 2 in Kapitel 2.1.4). Die Daten bestätigen insgesamt den erkennbaren Trend. 1985-86 lag die Bleikonzentration im Schwebstaub (Median) bei 0,250 µg/m³.

Tabelle 9: Verteilung der Bleikonzentration im Schwebstaub
(vgl. Anhang 1)

Blei im Schwebstaub [µg/m ³]	Untersuchungskollektiv				
	1983	1991	1994	1997	2000
N	385	220	139	81	246
AM	0,45	0,11	0,11	0,07	0,06
Std	0,02	0,03	0,04	0,05	0,10
Min	0,42	0,10	0,10	0,06	0,03
P5	0,42	0,10	0,10	0,06	0,03
P25	0,42	0,10	0,10	0,06	0,03
P50	0,47	0,10	0,10	0,06	0,03
P75	0,47	0,10	0,10	0,06	0,08
P95	0,47	0,10	0,10	0,17	0,19
Max	0,47	0,51	0,47	0,42	0,73

N = Probandenzahl, AM = arithmetisches Mittel, Std = Standardabweichung,
Min = Minimum, Max = Maximum, P5, P25, P50, P75, P95 = 5., 25., 50., 75., 95. Perzentil

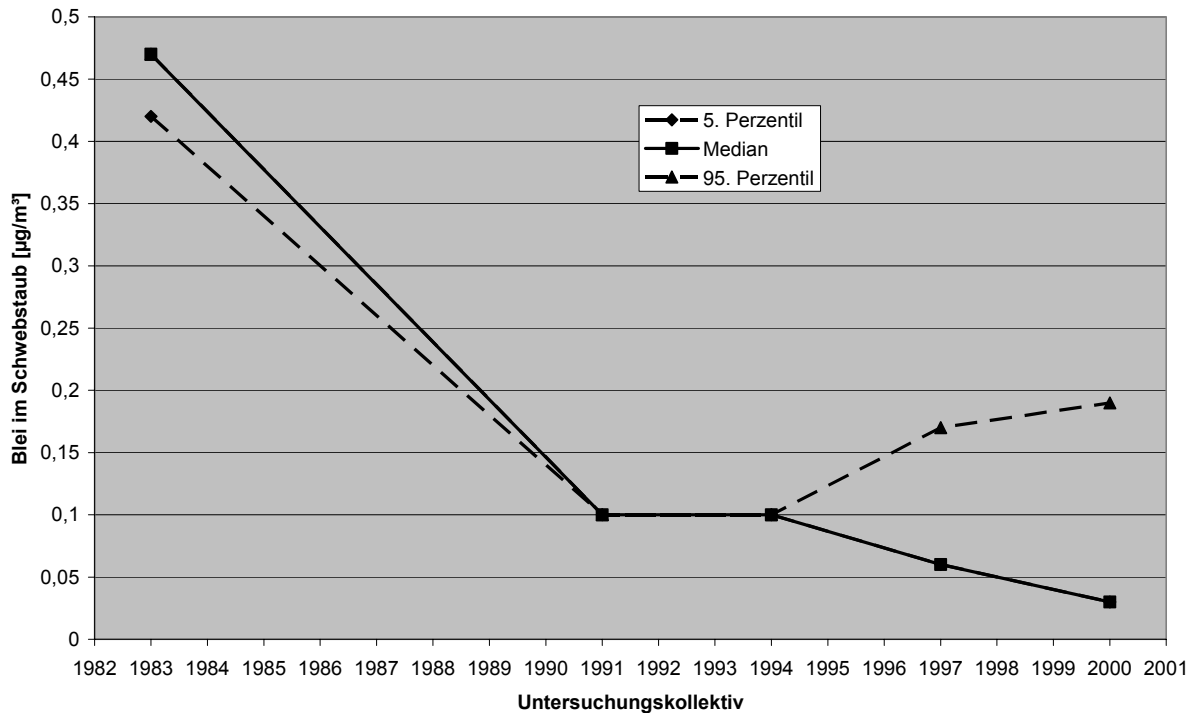


Abbildung 5: Blei im Schwebstaub für die verschiedenen Untersuchungskollektive (Median, 5. und 95. Perzentil)

Die in Abbildung 5 dargestellten Mediane der Schwebstaubdaten für die Untersuchungskollektive 1991 und 1994 sind identisch, da diese auf identische Untersuchungsergebnisse zurückgehen, die über den Zeitraum von 1990 bis 1994 gemittelt wurden (vgl. Tabelle 3).

Der insgesamt uneinheitliche Trend der 95. Perzentile verdeutlicht nochmals die geringe Aussagekraft der Daten, die nur wenig Differenzierung in Ihrer Spannweite zulassen.

Wie aus Anlage 3 erkennbar wird, ist der räumliche Bereich, für den unterschiedlich hohe Schwebstaubbelastungen modelliert wurden, vergleichsweise eng begrenzt, so dass nur wenigen Kindern der Untersuchungskollektive unterschiedlich hohe Schwebstaubkonzentrationen zuzuweisen waren.

3.2 Zusammenhänge der Einflussgrößen

Zur Ermittlung von Zusammenhängen zwischen den einzelnen Einflussgrößen (Bleikonzentrationen in den verschiedenen Umweltmedien) wurden verschiedene Auswertungen durchgeführt.

In Abbildung 6 ist der Zusammenhang zwischen den Bleikonzentrationen in den Bodenproben der Schicht 0-10 cm mit den Bleikonzentrationen im Staubniederschlag dargestellt.

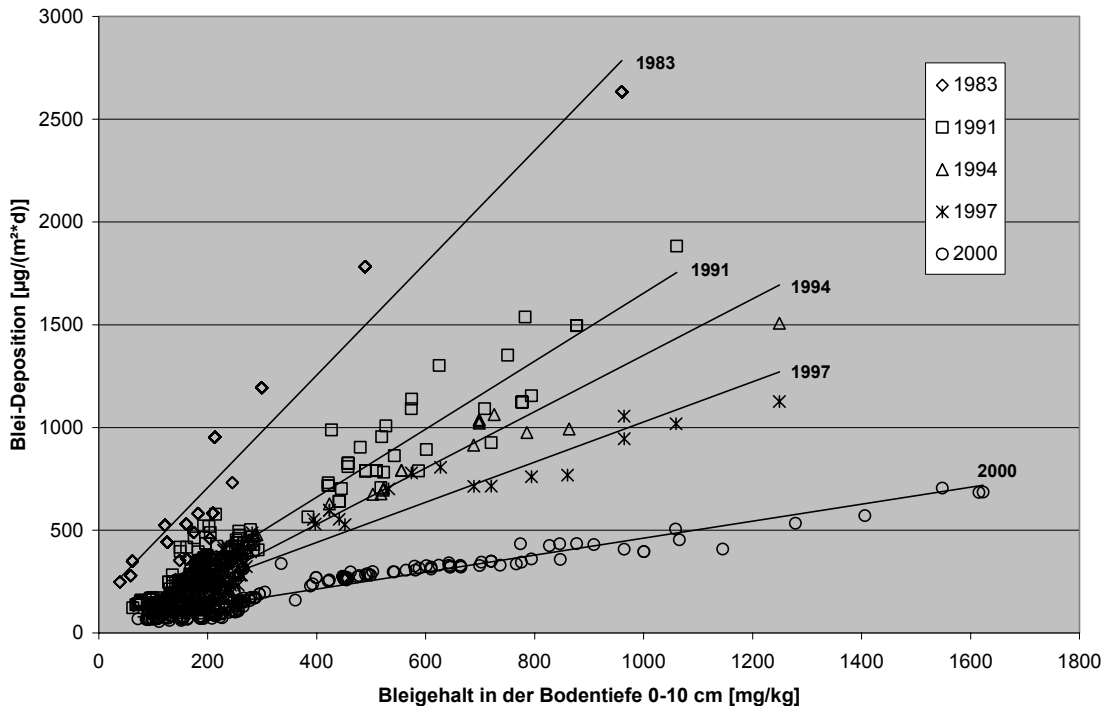


Abbildung 6: Blei-Deposition und Blei im Boden mit jahrgangweise ermittelten Hauptachsen (vgl. Anhang 1)

Wie die Abbildung zeigt, erweist sich der Zusammenhang der Bleikonzentration im Staubniederschlag mit dem der Bleikonzentration im Boden jahrgangweise betrachtet als linear, wobei die Steilheit des Zusammenhangs über den Untersuchungszeitraum deutlich abnimmt. Hierin bestätigt sich, dass die Bleikonzentrationen im Boden über die Jahre betrachtet gleich geblieben sind, während die Bleikonzentrationen im Staubniederschlag deutlich abgenommen haben.

Die Zusammenhänge der Bleikonzentrationen im Schwebstaub mit den Konzentrationen im Boden und im Staubniederschlag sind in den Abbildung 7 und Abbildung 8 dargestellt. Aus den Abbildungen wird deutlich, dass die Daten zu den Bleigehalten im Schwebstaub eine sehr schlechte räumliche Auflösung aufweisen.

Des Weiteren deutet sich für den Zusammenhang zwischen Boden- und Schwebstaubkonzentrationen noch eine schwache zeitliche Strukturierung an (1983 versus spätere Daten, vgl. Abbildung 7), die für den entsprechenden Zusammenhang Deposition-Schwebstaub für einen späteren Zeitraum (2000 versus 1997, vgl. Abbildung 8) erkennbar wird.

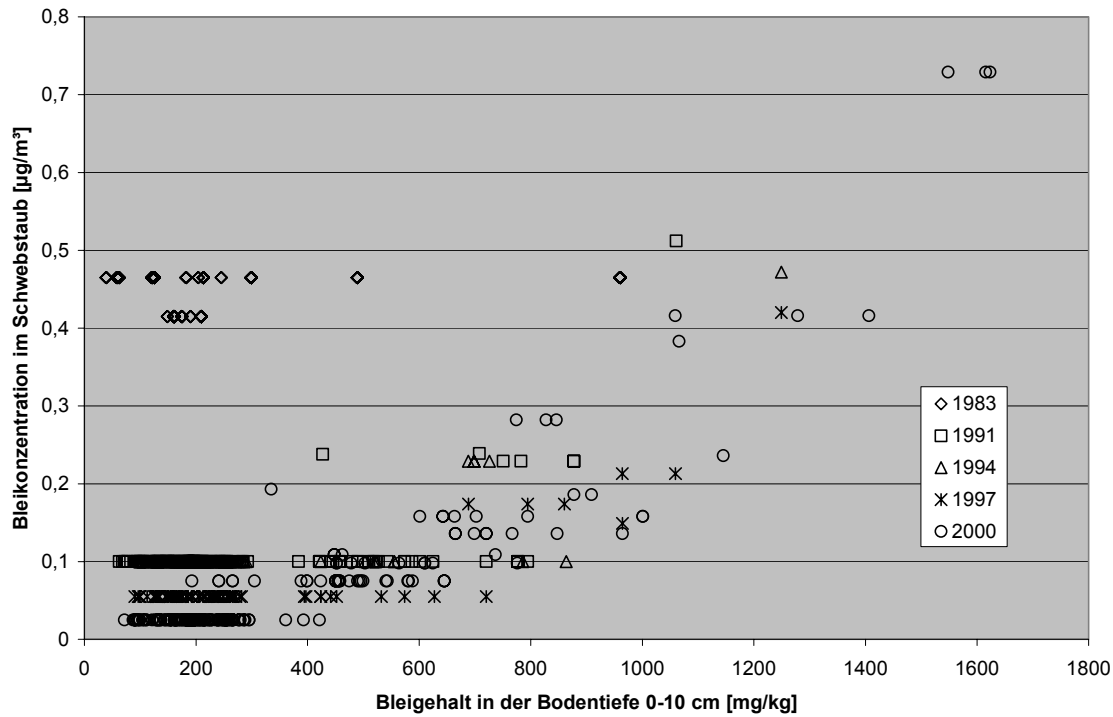


Abbildung 7: Streudiagramm für Blei im Schwebstaub und im Boden; Pearson'sche Korrelation ohne Untersuchungsjahr 1983: $r^2=0.494$, $r=0.702$, $p < 0.0001$, $n=658$ (vgl. Anhang 1)

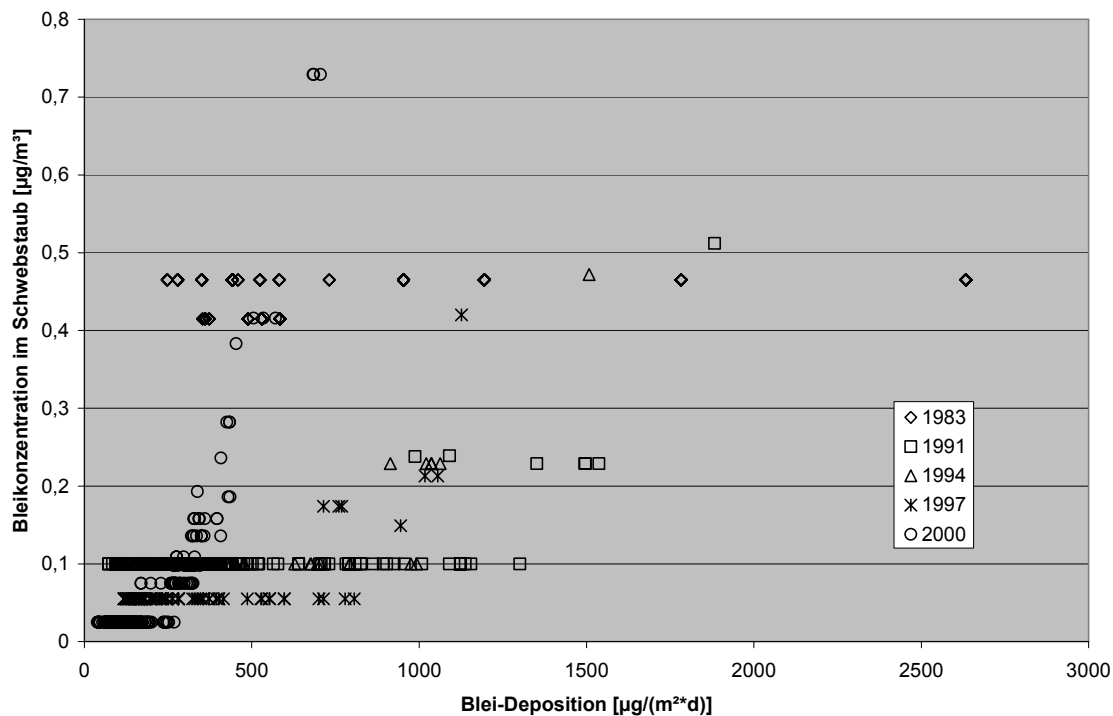


Abbildung 8: Streudiagramm für Blei im Schwebstaub und in der Deposition; Korrelationskoeffizienten: Spearman $r=0.771$, $p < 0.0001$, $n=1043$ und Pearson $r=0.595$, $p < 0.0001$, $n=1043$ (vgl. Anhang 1)

3.3 Zusammenhangsanalysen

Die Zusammenhangsanalysen von Bleikonzentrationen im Blut von Kindern aus dem Untersuchungszeitraum von 1983 bis 2000 und entsprechende Daten zur Bleibelastung in Boden, Deposition und Schwebstaub erfolgten mittels unterschiedlicher Modelle der multiplen linearen Regression (vgl. Kapitel 2.3.1).

Weil die Schwebstaubwerte für die Bleiexposition für Kinder des Untersuchungsjahrganges 1983 eine sehr schlechte räumliche Auflösung aufweisen und lediglich dichotomisierte Expositionsdaten zugeordnet werden konnten, wurden die Regressionsanalysen sowohl für das Gesamtkollektiv als auch für das Kollektiv ohne den Jahrgang 1983 durchgeführt. Zusätzlich wurde die Zusammenhangsanalyse für eine Kollektivauswahl nur deutscher 6-jähriger Kinder durchgeführt.

In den Tabellen 7 bis 12 in Anhang 1 sind die Ergebnisse der Regressionsanalysen unter Verwendung verschiedener Zusammenstellungen der Expositionsindikatoren (Bleikonzentrationen im Boden, in der Deposition und im Schwebstaub sowie Untersuchungsjahr der Kinder) für die jeweiligen Kollektive aufgeführt. Diese Tabellen enthalten die adjustierten geometrischen Mittelwertsquotienten als Maß für den Zusammenhang zwischen Expositionsindikator und Blutbleikonzentration. Konfidenzintervalle und Signifikanzniveaus wurden zur Bewertung des statistischen Zusammenhangs angegeben. Die Werte der adjustierten Mittelwertsquotienten hängen ab von der Wahl der Änderungseinheiten der Expositionsindikatoren, die in den Tabellen ebenfalls angegeben wurden.

Zunächst ist festzustellen, dass die untersuchten potenziellen Störgrößen (Geschlecht, Sozialstatus und Innenraumbedingungen (ungünstige Heizung, Passivrauchen)) zumeist vergleichsweise geringen Einfluss auf die Bleikonzentrationen im Blut der untersuchten Kinder nehmen.

Die Bleikonzentration in allen drei Expositionsmedien - Boden, Staubbiederschlag und Schwebstaub - zeigen einzeln einen hoch signifikanten Zusammenhang mit den Konzentrationen im Blut der Kinder. Zieht man das Kriterium der erklärten Devianz (Bestimmtheitsmaß bzw. R^2) hinzu, so weist zumindest im Gesamtkollektiv und im Kollektiv der 6-jährigen deutschen Kinder die Konzentration im Schwebstaub den besten Erklärungswert auf, gefolgt von der Deposition. Dieser gute Erklärungswert wird illustriert durch die nahezu perfekte Übereinstimmung im Zeitverlauf zwischen mittlerer Bleikonzentration im Blut und im Schwebstaub für das Gesamtkollektiv (vgl. Abbildung 9).

Die Kombination aller drei Expositionsindikatoren lieferte zwar die höchsten Werte erklärter Devianz (über 60%), aber auch gleichzeitig das Resultat eines "protektiven" Einflusses der Bodenkonzentration. Dieses reziproke (umgekehrte) Einflussverhalten wird durch das Zusammenwirken von Bleikonzentrationen im Staubbiederschlag und im Boden im linearen Regressionsmodell erzeugt und ist offensichtlich durch die spezielle Assoziation zwischen den Konzentrationen in den beiden Medien verursacht. Die beiden Kombinationen von Schwebstaub- und Bodenkonzentration bzw. Schwebstaub- und Staubbiederschlagskonzentration waren nur geringfügig schwächer im Erklärungswert als alle drei Indikatoren zusammen (Erklärungswert über 50%), allerdings mit deutlich geringerem Beitrag der Bodenkonzentration einerseits und einem uneinheitlichen Verhalten von Schwebstaub und Staubbiederschlag andererseits.

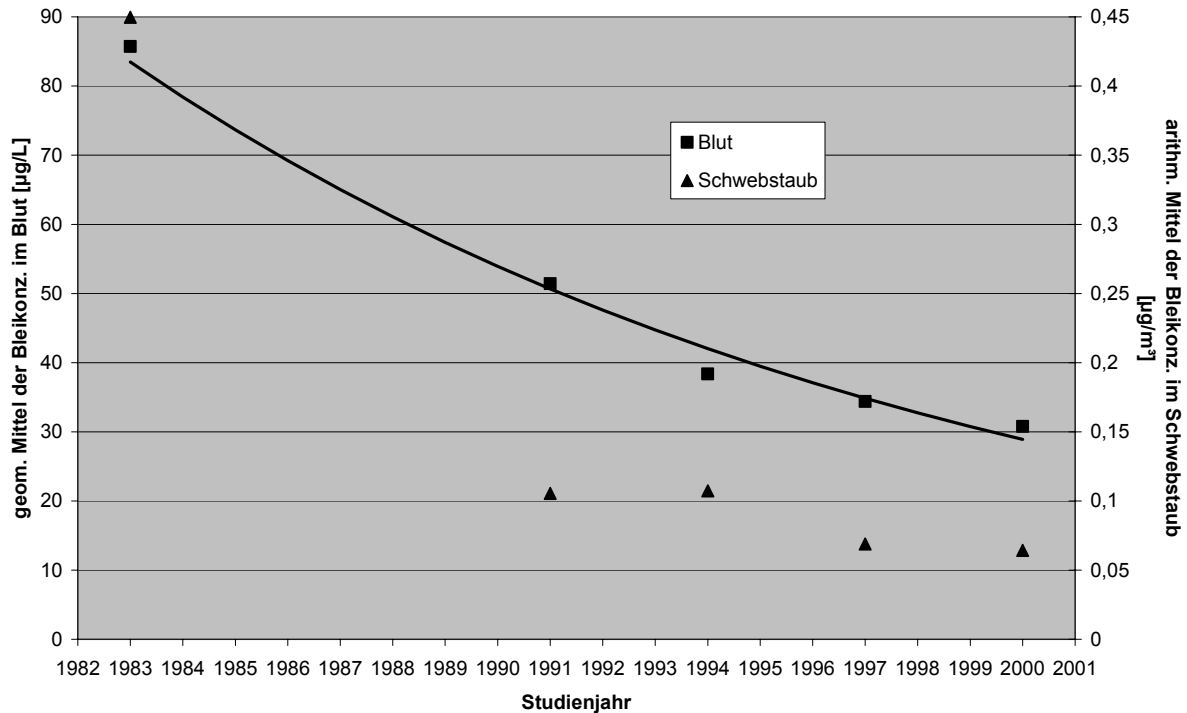


Abbildung 9: Mittlere Bleikonzentration in Blut und Schwebstaub pro Untersuchungsjahrgang im Gesamtkollektiv; nichtlineare Regression für die Pb-Konzentration im Blut (vgl. Anhang 1)

3.4 Quantitative Wirkungsabschätzungen

Wie die Auswertungen gezeigt haben, stehen die Bleikonzentrationen im Boden mit den Konzentrationen im Staubbiederschlag in einem funktionalen Zusammenhang, so dass ihre simultane Verwendung in einem weiterführenden Modell nicht möglich war. Stattdessen wurden untransformierte Parameterschätzungen für bivariate Regressionen angezielt, um jahrgangswise Regressionsfunktionen ableiten zu können. Zur Absicherung des Einflusses möglicher Störgrößen wurden Analysen zu deren konfundierender Bedeutung durchgeführt.

Darüber hinaus wurde geprüft, inwieweit eine logarithmierte Repräsentation der Einflussgrößen Vorteile bieten könnte. Dazu wurde das bisher verwendete log-lineare Regressionsmodell angesetzt, wobei die Anzahl der unabhängigen Variablen sich auf nur eine Einflussgröße und gegebenenfalls die Störgrößen beschränkt:

$$\log(Pb_{Blut}) = \alpha + \left\langle \sum_i \beta_i \cdot x_i \right\rangle + \gamma \cdot Pb_{Medium} \text{ bzw.}$$

$$\log(Pb_{Blut}) = \alpha + \left\langle \sum_i \beta_i \cdot x_i \right\rangle + \gamma \cdot \log(Pb_{Medium})$$

Mit:	Pb_{Blut} :	Blei(Pb)-Konzentration im Blut
	x_i :	Störgrößen bzw. weitere Einflussgrößen (Geschlecht, Bildungsstatus der Eltern, Wohnraumbedingungen, Passivrauchen)
	$Pb_{Medium1/2/3}$:	Pb-Konzentrationen in maximal drei verschiedenen Umweltmedien (Schwebstaub, Boden oder Staubbiederschlag)
	β, γ :	Parameterschätzungen (geometrische Mittelwertsquotienten)
	α :	Konstante

In den Tabellen 10 bis 12 in Anhang 1 sind die Ergebnisse der Regressionsrechnungen jeweils einzeln für die drei Expositionsmedien zusammengestellt. Die Bleikonzentration im jeweiligen Medium wurde einmal linear (untransformiert) und einmal logarithmisch zur Basis 10 transformiert in den angegebenen Einheiten in die Regressionsgleichungen einbezogen. Die geschätzten Regressionsparameter sind untransformiert mit Standardfehler und p-Wert für die Nullhypothese angegeben. Die Regressionsrechnungen wurden jeweils einmal mit und einmal ohne potenzielle Confounder (Störgrößen) durchgeführt, wobei für die Störgrößen nur die Schätzwerte der Regressionskoeffizienten mit Signifikanzniveau für Test auf Null angegeben wurden. Des Weiteren enthalten die Tabellen 10-12 in Anhang 1 die Schätzungen der Konstanten α , die Fallzahlen sowie die erklärte Varianz R^2 . Letztere ist im Falle der bivariaten Regression identisch mit dem Bestimmtheitsmaß, also dem Quadrat des Korrelationskoeffizienten. Alle Angaben wurden einzeln für jeden Untersuchungsjahrgang und für das gemeinsame Kollektiv aller Untersuchungsjahrgänge gemacht.

In den Abbildungen 8 bis 24 im Anhang 1 sind die jeweils ohne Verwendung von Störgrößen geschätzten Regressionsfunktionen des linearen und des log-transformierten Expositionsansatzes in die entsprechenden Streudiagramme im halb-logarithmischen Koordinatensystem eingetragen.

Die gewonnenen Ergebnisse lassen folgende Schlussfolgerungen zu:

Es bestätigte sich, dass die betrachteten Störgrößen zwar häufig als signifikante Einflussgrößen, aber nicht als bedeutsame Confounder wirken. Überwiegend war es der Bildungsstatus, der einen größeren Einfluss auf die Blutbleikonzentration hatte. Allerdings dürfte hierbei vor allem die ungünstigere Wohnlage bezüglich der Exposition bei niedrigerem Sozialstatus eingeflossen sein. Diese mögliche Assoziation enthält aber ein kausales Moment, welches einem Einbezug dieser Störgröße in die Regressionsgleichung entgegensteht. Im Kontext der für diese Untersuchung verfügbaren Information bzgl. Störeinflüssen kann gefolgert werden, dass eine bivariate Regressionsanalyse ausreichend und die unadjustierten Regressionskoeffizienten geeignete Zusammenhangsmaße darstellen.

Unter Berücksichtigung der erklärten Varianzen und der grafischen Darstellungen besitzt in den Regressionsansätzen eine log-transformierte Expositionsvariable keinen Vorteil gegenüber einer untransformierten.

Insbesondere für den linearen Ansatz der Expositionsvariablen blieb die Stärke des Zusammenhanges der Blutbleikonzentration mit der Bleikonzentration im Boden über alle Untersuchungsjahrgänge etwa gleich. Eine Ausnahme bildete allerdings hierbei der 1991er Untersuchungsjahrgang. Eine zu erwartende Abnahme des Niveaus der Regressionsgerade über die Zeit war deutlich zu erkennen.

Unter Berücksichtigung des linearen Ansatzes der Expositionsvariablen nahm die Zusammenhangsstärke mit der Bleikonzentration in der Deposition von 1983 bis 2000 deutlich zu. Dies galt nicht, wenn die log-transformierte Expositionsvariable verwendet wurde. Die erhebliche Schrumpfung des beobachteten Konzentrationsbereiches über die Zeit dürfte hierfür hauptsächlich verantwortlich sein, so dass eher von einer zeitlichen Konstanz des Depositionszusammenhanges auszugehen ist. Betrachtet man allerdings das Gesamtkollektiv aller Untersuchungsjahrgänge, so war der Zusammenhang zwischen Blutbleikonzentration und Bleikonzentration im Staubbiederschlag deutlich.

Für die zeitliche Änderung des Zusammenhanges mit der Bleikonzentration im Schwebstaub zeigte sich im Rahmen der Schätzfehler eher ein gleich bleibender Zusammenhang über die Zeit, mit Ausnahme wiederum des 1991er Untersuchungsjahrganges. Betrachtet man allerdings das Gesamtkollektiv aller Untersuchungsjahrgänge, so war der Zusammenhang zwischen Blutbleikonzentration und Bleikonzentration im Schwebstaub ebenfalls wie bei der Deposition eindeutig und deutlich.

3.4.1 Wirkungsabschätzung Bleigehalt im Boden - Blutblei

Vor dem Hintergrund, dass im vorliegenden Bericht insbesondere der Frage nachzugehen ist, welchen Einfluss die Bleikonzentration im Boden auf den Blutbleispiegel der untersuchten Kinder hat, sollen im Folgenden die diesbezüglichen bivariaten Auswertungen (ohne Adjustierung der Störgrößen) mit untransformierten Parameterschätzungen näher erörtert werden.

Das geeignete Modell folgt damit folgender allgemeinen Formel:

$$\log(Pb_{Blut}) = \alpha + \gamma \cdot Pb_{Medium}$$

Mit:	Pb_{Blut} :	Blei(Pb)-Konzentration im Blut
	Pb_{Medium} :	Pb-Konzentrationen im Umweltmedium (hier im Boden)
	γ :	Parameterschätzungen (geometrische Mittelwertsquotienten)
	α :	Konstante

Differenziert nach den Untersuchungsjahren ergeben sich aus den Regressionsanalysen folgende konkrete Regressionsfunktionen für den Zusammenhang zwischen den Bleikonzentrationen im Boden (0-10 cm) und im Blutblei der Kinder (vgl. hierzu Tabelle 4 in Anhang 1):

Regressionsfunktion für das Untersuchungskollektiv aus 1983 :

$$\log(Pb_{Blut}) = 1,86 + 0,00027 \cdot Pb_{Medium} \quad (R^2 = 19,5)$$

Regressionsfunktion für das Untersuchungskollektiv aus 1991:

$$\log(Pb_{Blut}) = 1,57 + 0,00057 \cdot Pb_{Medium} \quad (R^2 = 40,2)$$

Regressionsfunktion für das Untersuchungskollektiv aus 1994:

$$\log(Pb_{Blut}) = 1,53 + 0,00020 \cdot Pb_{Medium} \quad (R^2 = 6,1)$$

Regressionsfunktion für das Untersuchungskollektiv aus 1997:

$$\log(Pb_{Blut}) = 1,46 + 0,00024 \cdot Pb_{Medium} \quad (R^2 = 14,3)$$

Regressionsfunktion für das Untersuchungskollektiv aus 2000:

$$\log(Pb_{Blut}) = 1,40 + 0,00026 \cdot Pb_{Medium} \quad (R^2 = 13,9)$$

Regressionsfunktion für die zusammengefassten Untersuchungskollektive (1983-2000):

$$\log(Pb_{Blut}) = 1,67 + 0,00022 \cdot Pb_{Medium} \quad (R^2 = 4,3)$$

Diese ermittelten Zusammenhänge werden in Abbildung 10 veranschaulicht.

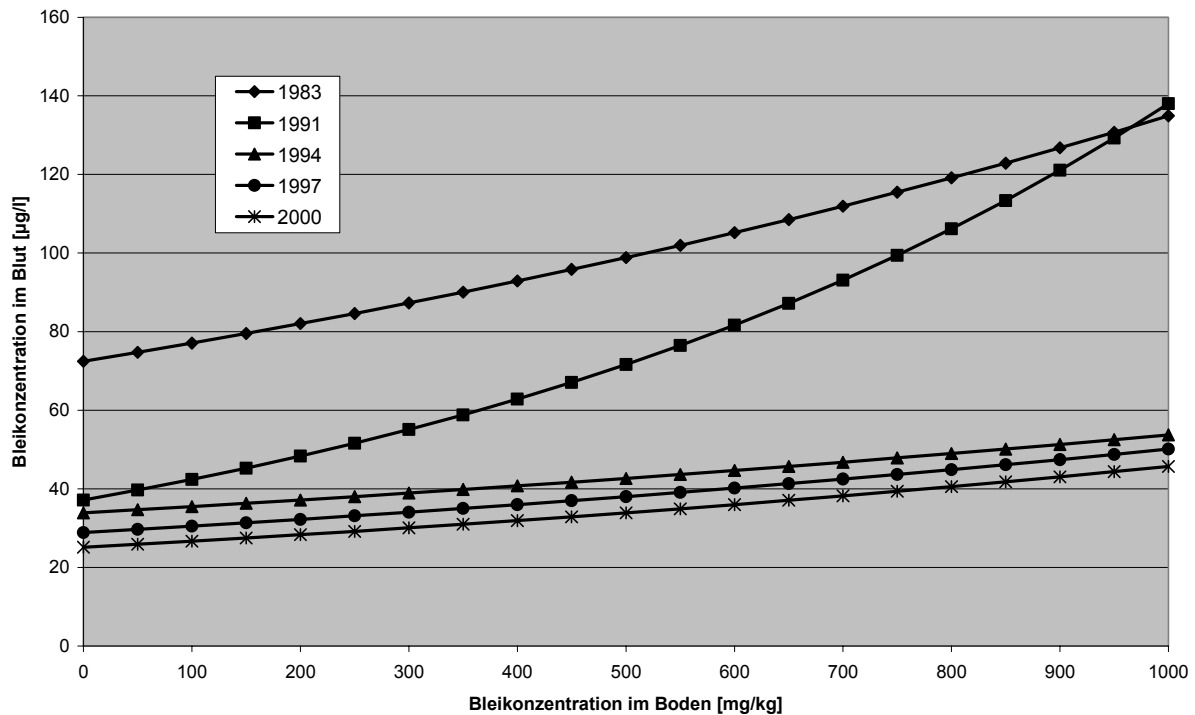


Abbildung 10: Bivariate log-lineare Schätzungen für die Blutbleikonzentrationen der verschiedenen Untersuchungskollektive aus der Bleikonzentration im Boden (0-10 cm)

Die Abbildung verdeutlicht zum einen, wie bereits oben ausgeführt, dass der Kurvenverlauf für das Untersuchungskollektiv aus dem Jahre 1991 ungewöhnlich steil ausfällt und auf nicht erkannte Störeinflüsse hinweist⁵, zum anderen lässt sich dennoch bei gleich bleibenden Bleikonzentrationen im Boden die deutliche Abnahme der absoluten Blutbleikonzentration im Untersuchungszeitraum erkennen.

Ebenfalls wird aus der Abbildung ersichtlich, dass sich die Bleibelastung der Kinder, unabhängig von der Bleibelastung im Boden (vgl. Schnittpunkte mit der y-Achse: Annahme: Bleigehalt im Boden = 0) von rund 73 µg Blei/l Blut im Jahre 1983 auf rund 25 µg Blei/l Blut im Jahre 2000 reduziert hat.

Zur Ermittlung der Zunahme des Blutbleis (ΔPb_{Blut}) durch die Erhöhung der Bleigehaltes im Boden um 100 mg/kg ($\Delta 100 \text{ mg Blei/kg Boden}$) kann folgender allgemeiner Zusammenhang herangezogen werden:

$$\Delta Pb_{\text{Blut}(\Delta 100 \text{ mg Pb / kg Boden})} = 10^{\alpha + \frac{\gamma}{1000} \cdot Pb_{\text{Boden}}(x+100)} - 10^{\alpha + \frac{\gamma}{1000} \cdot Pb_{\text{Boden}}(x)}$$

⁵ Die Vermutung liegt nahe, dass es sich dabei zum Teil um konkurrierenden Schwebstaubeinfluss handelt, der aus methodischen Gründen im Modell nicht berücksichtigt werden konnte (siehe auch Abbildung 12).

Für die verschiedenen Untersuchungskollektive ergeben sich damit in Abhängigkeit von der jeweiligen Höhe der Bleibelastung im Boden für eine angenommene Spanne von 0 – 1.000 mg Blei/kg Boden die in Tabelle 10 dargestellten Blutblei-Zunahmen.

Tabelle 10: Statistische Kenngrößen für die Blutbleizunahme in den verschiedenen Untersuchungskollektiven je Zunahme von 100 mg Blei/kg Boden, in Abhängigkeit von der absoluten Bleikonzentration im Boden (0-1.000 mg/kg; 0-10 cm)

Δ 100 mg Blei/ kg Boden	Δ Pb Blut (µg/l)				
	1983	1991	1994	1997	2000
100-200 mg/kg	4,7	5,2	1,6	1,6	1,6
200-300 mg/kg	5,0	5,9	1,7	1,7	1,7
300-400 mg/kg	5,3	6,8	1,8	1,8	1,8
400-500 mg/kg	5,7	7,7	1,9	1,9	1,9
500-600 mg/kg	6,0	8,8	1,9	2,0	2,0
600-700 mg/kg	6,4	10,0	2,0	2,1	2,1
700-800 mg/kg	6,8	11,4	2,1	2,3	2,2
800-900 mg/kg	7,3	13,0	2,2	2,4	2,4
900-1.000 mg/kg	7,7	14,8	2,3	2,5	2,5
Minimum	4,7	5,2	1,6	1,6	1,6
Maximum	8,2	16,8	2,5	2,7	2,7
Mittelwert	6,3	10,0	2,0	2,1	2,1
Median	6,2	9,4	2,0	2,1	2,0

Die Auswertung zeigt auf, dass bei Zugrundelegen der angenommenen Zusammenhänge die Blutbleierhöhung in Abhängigkeit vom Bleigehalt im Boden über die Jahre von 1994 bis 2000 wie erwartet nahezu parallel verläuft und bei ca. 2 µg Blei/l Blut liegt. Die Daten aus 1991 weichen dagegen deutlich davon ab, was jedoch vermutlich auf deren Datenqualität zurückzuführen ist⁶.

Zur Vervollständigung der Betrachtungen werden nachfolgend auch die bivariaten Auswertungen für die Deposition und den Schwebstaub dargestellt.

⁶ Auf die Problematik der Auswertung der Daten aus 1983 und 1991 wurde bereits oben hingewiesen.

3.4.2 Wirkungsabschätzung Bleigehalt im Staubbiederschlag - Blutblei

Nach dem angenommenen Modell wurden für den Einfluss des Bleigehalts im Staubbiederschlag auf den Blutbleiwert von Kindern Parameterschätzungen vorgenommen (vgl. Tabelle 11 in Anhang 1), die die in Abbildung 11 dargestellten Regressionsfunktionen ergeben.

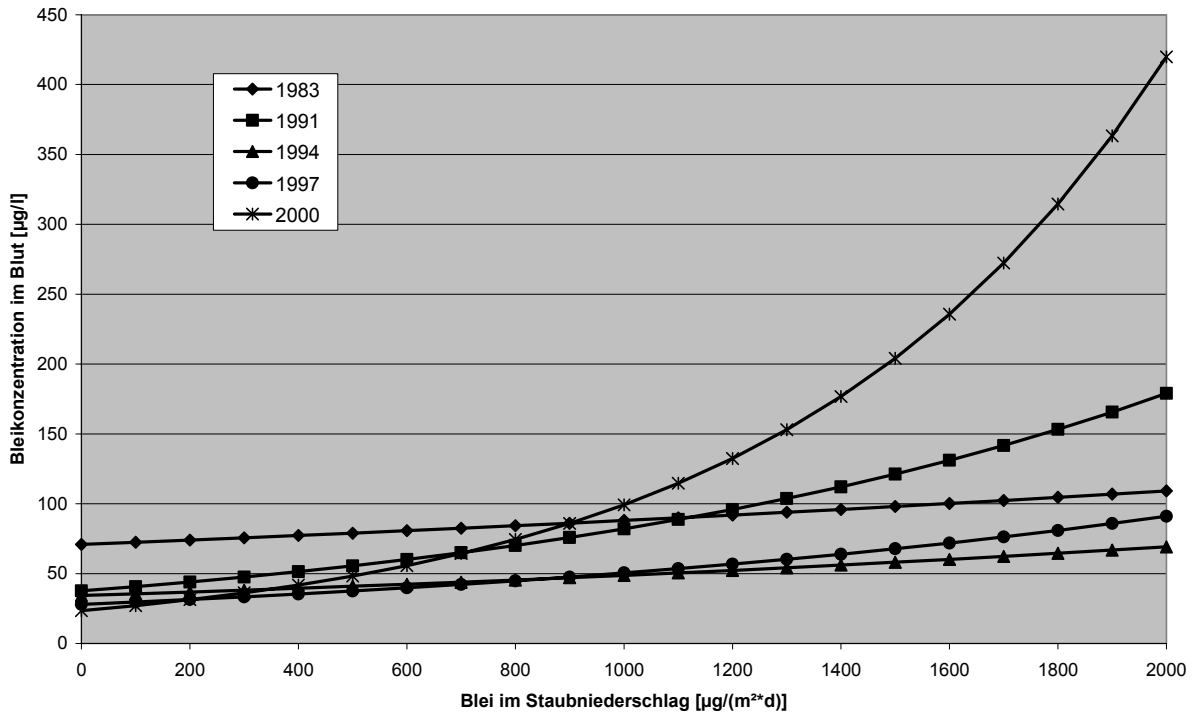


Abbildung 11: Bivariate log-lineare Schätzungen für die Blutbleikonzentrationen der verschiedenen Untersuchungskollektive aus der Bleikonzentration im Staubbiederschlag

Die Abbildung veranschaulicht einerseits, dass sich die nicht durch die Deposition zu erklärenden Blutbleigehalte (vgl. Schnittpunkte mit der y-Achse: Annahme: Bleigehalt im Staubbiederschlag = 0) von rund 71 µg Blei/l Blut im Jahre 1983 auf rund 23 µg Blei/l Blut im Jahre 2000 reduziert haben. Andererseits lässt sich für das Untersuchungs-jahr 2000 ein steiler Zusammenhang erkennen; insgesamt ist über die Untersuchungs-jahre jedoch kein einheitlicher Trend sichtbar.

3.4.3 Wirkungsabschätzung Bleigehalt im Schwebstaub - Blutblei

Der Einfluss der Bleikonzentration im Schwebstaub auf die Blutbleikonzentration wurde auch hier, wie bereits in anderen Untersuchungen (vgl. Hot-Spot Studie; LUA 2004) als bedeutend erkannt.

Die nach dem angenommenen Modell ermittelten Regressionsfunktionen für den Zusammenhang vom Bleigehalt im Schwebstaub und im Blut sind in Abbildung 12 dargestellt (vgl. hierzu Tabelle 12 in Anhang 1).

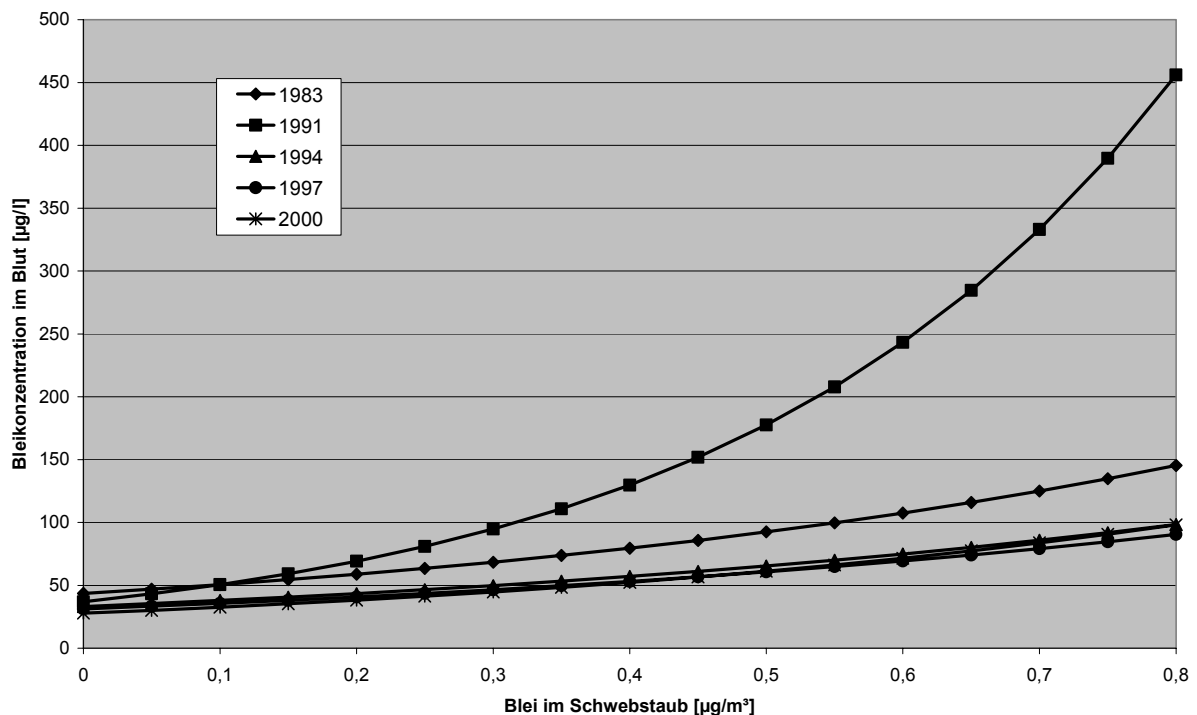


Abbildung 12: Bivariate log-lineare Schätzungen für die Blutbleikonzentrationen der verschiedenen Untersuchungskollektive aus der Bleikonzentration im Schwebstaub

Aus der Abbildung geht ebenfalls hervor, dass sich die Bleibelastung der Kinder, unabhängig von der Bleibelastung im Schwebstaub (vgl. Schnittpunkte mit der y-Achse: Annahme: Bleigehalt im Schwebstaub = 0) von rund 44 μg Blei/l Blut im Jahre 1983 auf rund 28 μg Blei/l Blut im Jahre 2000 reduziert hat.

Während die Zusammenhänge über den zeitlichen Verlauf tendenziell eher abnehmen, zeigt sich für das Untersuchungskollektiv aus dem Jahr 1991 ein vergleichsweise steiler Zusammenhang. Genaue Ursachen hierfür konnten im Rahmen der Bearbeitung nicht ermittelt werden.

3.5 Ergebnisse der Literaturrecherche

Die umfassende Dokumentation der Literaturschau Blei im Boden, die von der Abteilung für Hygiene, Sozial- und Umweltmedizin der Ruhr-Universität Bochum durchgeführt wurde, findet sich in Anhang 2. Nachfolgend werden die für die hier aufgeworfene Fragestellung vordringlich relevanten Ergebnisse zusammengefasst und erörtert.

3.5.1 Zusammenhang zwischen Bleigehalt im Boden und im Blut (Literaturschau)

Die Ableitung der Prüfwerte für Blei zur Beurteilung des Direktpfades nach BBodSchV basiert auf der Auswertung epidemiologischer Studien und Plausibilitätsprüfungen sowie der Auswertung relevanter Literatur.

Basis bildet die Studie von DOLGNER et al. (1988), nach der eine Blutbleierhöhung von 1-2 µg/l mit der Erhöhung des Bleiwertes im Boden von 100 mg/kg verknüpft ist. Unterstrichen wird diese Annahme durch Arbeiten von STERN (1994), die mit Hilfe von Modellierungen eine Blutbleierhöhung von 10 µg/l assoziiert, in weiteren Arbeiten (MIELKE et al. 1997) wurden empirisch ca. 8 µg/l Blutbleierhöhung mit einer Bleizunahme im Boden von 100 mg/kg verknüpft.

Daraus ableitend wird schließlich für die Prüfwertableitung eine Blutbleierhöhung von 5 µg/l je 100 mg/kg Boden angenommen (UBA 1999).

Um den aktuellen Stand des Wissens dazu zu überprüfen wurde eine Literaturrecherche und Auswertung durchgeführt (vgl. Anhang 2), die bestätigt, dass sich sowohl bei den neueren, als auch bei den älteren Studien signifikante Zusammenhänge zwischen Blutbleiwerten und Bleikonzentrationen im Boden finden lassen. Häufig ist auch der mit Blei belastete Hausstaub mit erhöhten Blutbleiwerten korreliert.

Vor allem in Studien aus den 1970-er Jahren sind sehr hohe Blutbleibelastungen vorhanden, was sicherlich größtenteils auf die damals übliche Nutzung von verbleitem Benzin zurückzuführen ist.

Ein universeller Wert für die Korrelation von Blutblei und Bleikonzentration im Boden lässt sich allerdings aufgrund der stark differierenden Einzelergebnisse der verschiedenen Studien nicht bestimmen.

Diese können zum einen durch verschiedene Umweltparameter, wie z.B. der geochemischen Zusammensetzung der lokalen Böden bedingt sein, zum anderen kann die Ursache auch in der jeweils angewandten Methodik liegen, die nicht immer ausreichend dokumentiert ist. So wird häufig nicht erwähnt, aus welcher Tiefe die Bodenproben entnommen wurden. Zudem können auch Faktoren, die das individuelle Spielverhalten und damit auch die Bodenaufnahmerate bestimmen, differieren.

Als Ergebnis lässt sich zusammenfassen, dass sich aus der Auswertung der recherchierten Literatur kein Alternativvorschlag zu den bislang getroffenen Annahmen zur Abschätzung des Zusammenhangs zwischen Bleigehalten im Boden und dem Blutbleiwert ableiten lässt.

3.5.2 Übertragbarkeit von Blutbleidaten auf verschiedene Altersstufen

Um Erkenntnisse über einen Zusammenhang des Alters mit dem Blutbleispiegel speziell bei Kindern zu erlangen, wurde auch hierzu eine Literaturrecherche durchgeführt (vgl. Anhang 2). Diese Fragestellung hat insofern Relevanz, als dass für die Bewertung von oralen Bleiexpositionen Kleinkinder (1-2 Jahre) die sensibelste Gruppe bilden, für die Ableitung der Prüfwerte für Blei jedoch Studien herangezogen wurden, in denen die Blutbleiwerte von Kindern im Alter von 6-10 Jahren untersucht wurden.

Nach erster kritischer Betrachtung wurden diejenigen Studien ausgewählt, bei denen Blutbleispiegel bei Personen unterschiedlichen Alters gemessen wurden.

Dabei war festzustellen, dass die Blutbleikonzentration insbesondere im Kleinkindalter einen Höhepunkt erreicht, dann absinkt und erst wieder im Verlaufe des Lebens ansteigt (vgl. z.B. DUGGAN 1983; in Anhang 2).

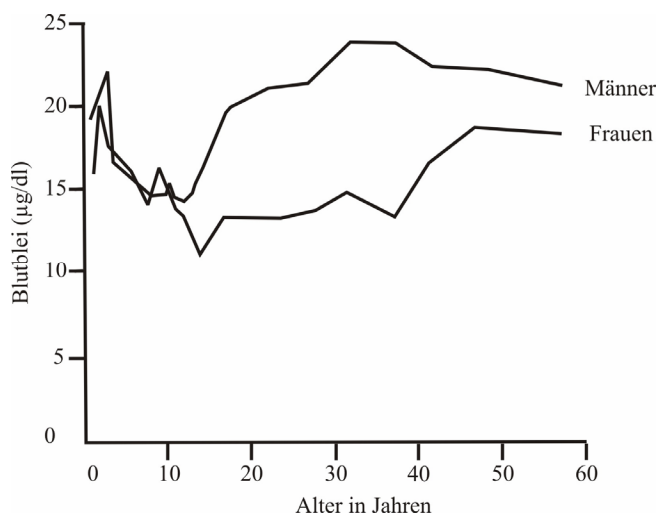


Abbildung 13: Verlauf des Blutbleispiegels nach Alter und Geschlecht (nach DUGGAN 1983)

Besondere Beachtung für die Quantifizierung des Zusammenhangs zwischen dem Blutbleispiegel und dem Lebensalter fand bei den recherchierten Studien der große U.S. -Survey NHANES (National Health And Nutrition Examination Survey). Bei diesen Studien handelt es sich um nationale, die nicht institutionalisierte, zivile Bevölkerung der USA repräsentierende Querschnittstudien (NHANES I bis III). Der NHANES III-Studie sind die NHANES I und die NHANES II-Studie vorangegangen, wobei im Laufe von NHANES I kein Blei im Blut gemessen wurde. Detaillierte Angaben werden hierzu nur im aktuellsten Survey, dem NHANES III, Phase 2 gegeben.

Das NHANES-Studiendesign wurde so gewählt, dass ein Querschnitt der Blutbleiwerte der allgemeinen Bevölkerung wiedergespiegelt werden kann. Durch die große Anzahl an Probanden wird die Zuverlässigkeit der Daten weiter erhöht. Zudem liegen die Bleikonzentrationen in einem Bereich, der mit den europäischen bzw. deutschen Blutbleiwerten relativ gut übereinstimmt.

Insgesamt ist den NHANES III Daten zu entnehmen, dass die Altersgruppe der 1-2 Jährigen ca. 1/3 höhere Blutbleiwerte (31 µg/l; geometrisches Mittel), die 3-5 Jährigen ca 1/4 höhere Blutbleiwerte (25 µg/l; geometrisches Mittel) im Vergleich zu den 6-11 Jährigen (19 µg/l; geometrisches Mittel) aufweist. Ein solcher Alterstrend konnte auch beim NHANES II bereits beobachtet werden.

Die Daten des Umweltsurvey (1990/92) aus Deutschland weisen im Vergleich für die Altersgruppe der 6-14 jährigen Blutbleikonzentrationen von 32,3 µg/l (geometrisches Mittel) aus.

Aktuell liegen darüber hinaus Auswertungen eines nicht bundesweit repräsentativen Pretests zum Umwelt-Survey für Kinder und Jugendliche vor (vgl. Anhang 2), woraus als vorläufiges Ergebnis hervorgeht, dass der Blutbleiwert der 3-5 Jährigen im geometrischen Mittel bei 24,2 µg/l liegt, als 95. Perzentil werden 49 µg/l angegeben. Abschließende Ergebnisse des Umwelt-Survey für Kinder und Jugendliche bleiben noch abzuwarten.

3.5.3 Expositionsmodelle für Blei

Verschiedene pharmakokinetische Modelle wurden entwickelt, um Blut- und Gewebekonzentrationen von Blei bei einer multimedialen Exposition vorherzusagen. Da die besten Daten zur Validierung der Modelle aus Studien stammen, die eine Bleiexposition mit einem Blutbleiwert verbinden, herrscht größere Übereinstimmung in der Gültigkeit solcher Modelle als in Modellen, die Bleikonzentrationen in anderen physiologischen Kompartimenten abschätzen. Obwohl diese Modelle den Transport von Blei zwischen denselben physiologischen Kompartimenten simulieren, unterscheiden sie sich in der Methodik, mit der sie die Exposition quantifizieren, als auch in der Bleikinetik bei diesem Transport.

In der Literaturstudie (vgl. Anhang 2) werden 3 Modelle vorgestellt,

- das IEUBK (Integrated Exposure Uptake and Biokinetic) Model für die Bleiexposition von Kindern (U.S. EPA 1994a, 1994b);
- das O'Flaherty-Modell (O'Flaherty, 1993; 1995); und
- das Leggett-Modell (Leggett, 1993),

wobei nachfolgend das Modell der U.S. EPA kurz skizziert werden soll, da dieses Modell regelmäßig aktualisiert wird und dessen einfache Handhabbarkeit Vorteile bietet, den Blutbleispiegel bei unterschiedlichen Expositionen zu prognostizieren.

Das IEUBK (Integrated Exposure Uptake and Biokinetic)-Modell ist ein typisches pharmakokinetisches Multikompartiment Modell, das nur auf Kinder im Alter von 0-7 Jahren angewandt werden kann. Es wurde entwickelt, um die Wahrscheinlichkeit von erhöhten Blutbleiwerten bei Kindern vorherzusagen. Drei Komponenten der Risikoabschätzung für die humane Gesundheit sind integriert, nämlich

- die multimediale Exposition von Blei,
- die Pharmakokinetik und
- die signifikanten Variabilitäten in Exposition und Risiko.

Daher kann dieses Modell dazu verwandt werden, die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Bleiblutkonzentrationen über dem „level of concern“ bei 0,5 -7 jährigen Kindern festzustellen und die Konsequenzen alternativer Expositionsszenarien, z.B. nach der Durchführung von Bodenabtragungen, abzuschätzen. Auch zur Erstellung dieses Modells wurden tierexperimentelle Daten und Humandaten genutzt.

Mit Hilfe exemplarischer Anwendungen dieses Modells (vgl. Anhang 2) konnte gezeigt werden, dass bei zunehmender Bleibelastung des Bodens der Blutbleiwert ansteigt und bei den jüngeren Kindern (2-3 Jährige) in etwa um 1/3 höher liegt als bei den älteren Kindern (6-7 Jährige). Damit bestätigt das Modell die Schlussfolgerungen, die bereits oben aus der NHA-NES-Studie gezogen wurden.

3.5.4 Alimentäre Bleiaufnahme

Die bedeutendste Quelle der Bleibelastung für Kinder wie auch für Erwachsene sind Lebensmittel. Detaillierte Angaben zur alimentären Bleiaufnahme von Kindern im Alter von 1-7 Jahren stehen in Deutschland aus Duplikatstudien (zum größten Teil in Nordrhein-Westfalen durchgeführt) zur Verfügung (Wilhelm et al. 1995a/b, 2003, 2004, vgl. Anhang 2). Sie liegt demnach im Bereich von etwa 2 bis 6 $\mu\text{g}/(\text{kg Körpergewicht}\cdot\text{Woche})$ und zeigt über einen Zeitraum von 10 Jahren (Probenahmen 1988-1998) keinen abnehmenden Trend.

Zur Altersabhängigkeit der alimentären Bleiaufnahme im Säuglings- und Kleinkindesalter sowie zum Vergleich mit der Bleiaufnahme von Erwachsenen sind nur wenige Angaben bekannt. Aus den Daten der U.S. FDA Total Diet Study (1991-1996) geht hervor, dass die alimentäre Bleiaufnahme bei Säuglingen und Kleinkindern am höchsten ist. Bis zum jugendlichen Alter hin nimmt sie ab und pendelt sich bei Erwachsenen auf niedrigem Niveau ein (vgl. Tabelle 4.3 in Anhang 2).

Zur Umrechnung von einer zugeführten Dosis auf den Blutbleigehalt wird ein Umrechnungsfaktor von 1,6 $\mu\text{g Pb/l Blut}$ pro μg täglich aufgenommen Bleis pro Person gewählt. Dieser Wert wurde von der U.S. EPA 1986 (aus: ATSDR 1999b) und anderen (Carlisle und Wade 1992; Carrington et al. 1993) zur Umrechnung der täglichen Bleiaufnahme in Bleikonzentrationen im Blut angewandt. Bei einem Blutbleiwert von 100 $\mu\text{g/l}$ ergibt sich danach für Kinder eine kalkulierte Bleiaufnahme von 60 $\mu\text{g}/\text{Person}$. Dieser Faktor von 1,6 wurde auch auf die Werte in Tab. 4.4, Anhang 2 angewandt.

So ergibt sich für die Annahme einer alimentären Bleiaufnahme bei 1-5 Jährigen von 2,7-11,7 $\mu\text{g}/\text{d}$ (nach der Duplikatstudie von WILHELM et al. 2003) ein Anstieg der Bleikonzentration im Blut von 4,2-18,7 $\mu\text{g/l}$.

3.5.5 Gesundheitliche Wirkungen von Blei

Die Wirkungen von Blei sind eingehend untersucht worden, eine umfassende Dokumentation der aktuellen Literatur findet sich in Anhang 2.

Die kritische Bleiwirkung, insbesondere auf den sich entwickelnden Organismus, betrifft das Nervensystem, insbesondere von Kindern im Vorschulalter.

Eine Abgrenzung von prä- und postnataler Exposition ist in den meisten Studien nicht möglich, es können jedoch deutlich dosisabhängige Wirkungen beobachtet werden. Hohe Dosen verursachen stark ausgeprägte Effekte, während im Niedrig-Dosisbereich die Effekte eher diffus sind und viele Confounder wie der sozioökonomische Status, intellektuelle Förderung und die Nahrung Einfluss haben.

Die kritischen Wirkungen, also die Wirkungen, die bei den niedrigsten Belastungen noch beobachtet werden können, betreffen die Störungen neurophysiologischer und –psychologischer Abläufe und Funktionen, insbesondere Intelligenzleistungen, Aufmerksamkeits- und Reaktionsleistungen sowie Hörschwellenverschiebungen. Und obwohl zwischen Bleigehalten im Blut und den kritischen Wirkungen Konzentrations-Wirkungsbeziehungen bestehen, konnte bisher keine Wirkschwelle ermittelt werden.

3.5.6 Beurteilung der humantoxikologischen Wirkungen

Wie die kritische Literaturlauswertung zeigt, sind auch bei Bleigehalten im Blut von < 100 µg/l noch neuropsychologische Entwicklungsstörungen sowie Einflüsse auf die Hörschwelle nachzuweisen. Darüber hinaus deuten tier- und humantoxikologische Untersuchungen zur Wirkung von Blei auf das endokrine System darauf hin, dass unterhalb von 100 µg Blei/l Blut auch Auswirkungen auf die pubertäre Entwicklung zu beobachten sind.

Auch wenn die beobachteten Effekte im Niedrig-Dosisbereich eher als marginal einzustufen sind, erscheint es gerechtfertigt, daraus ableitend eine Bleikonzentration im Blut von 100 µg/l als LOAEL⁷ einzustufen. Zur Extrapolation von diesem LOAEL auf einen geschätzten NO-AEL könnten im Prinzip verschiedene Unsicherheitsfaktoren gewählt werden, wobei einerseits die Marginalität der kritischen Wirkungen, andererseits aber auch die mögliche Irreversibilität der neurotoxischen Wirkungen zu bedenken wären.

Die wissenschaftliche Fachwelt (vgl. hierzu auch Anhang 2) hat sich bislang zunächst verständig, den aktuellen "Level of Concern" von 100 µg Blei/l Blut nicht abzusenken, da

1. keine klinischen Interventionen bekannt sind, welche die Blutblei-Konzentration von Kindern mit weniger als 100 µg/l weiter senken können oder die gesundheitlichen Risiken verringern könnten;
2. Kinder aufgrund der Ungenauigkeit der Blutbleianalytik nicht akkurat einer Blutblei-Konzentration zugeordnet werden können, wenn die Blutbleikonzentration unter 100 µg/l liegt;
3. im Endeffekt keine Beweise für einen Grenzwert vorliegen, unter dem keine negativen gesundheitlichen Effekte zu erwarten sind. Die Festlegung eines neuen „Level of Concern“ würde somit willkürlich sein.

Von der HBM-Kommission (Human-Biomonitoring) des Umweltbundesamtes wurde 2002 der HBM-I-Wert für Blei von 100 µg/l Blut für Kinder und Frauen im gebärfähigen Alter bestätigt (UBA, 2002). Der HBM-II-Wert beträgt für diese Risikogruppen 150 µg/l. Die HBM-Werte werden aufgrund epidemiologischer und toxikologischer Untersuchungen im Sinne eines „expert judgement“ abgeleitet. Man unterscheidet einen HBM-I- und einen HBM-II-Wert. Der HBM-I-Wert entspricht der Konzentration eines Stoffes in einem Körpermedium, bei deren Unterschreitung nicht mit einem körperlichen Schaden gerechnet werden muss. Somit besteht auch kein Handlungsbedarf. Bei einer Überschreitung des HBM-I-Wertes und einer gleichzeitigen Unterschreitung des HBM-II-Wertes sollten weitere Messungen erfolgen. Bei Bestätigung des Befundes sollte nach spezifischen Belastungsquellen gesucht werden, die dann eventuell unter vertretbarem Aufwand minimiert werden müssen. Der HBM-I-Wert ist

⁷ LOAEL: Lowest Observed Adverse Effect Level

somit als Prüf- oder Kontrollwert anzusehen. Der HBM-II-Wert entspricht der Konzentration eines Stoffes in einem Körpermedium, bei deren Überschreitung nach dem derzeitigen Kenntnisstand der Kommission eine als relevant anzusehende gesundheitliche Beeinträchtigung möglich ist, so dass akuter Behandlungsbedarf zur Reduktion der Belastung besteht. Der HBM-II-Wert ist somit als Interventions- und Maßnahmenwert anzusehen (UBA, 1996; UBA, 2002).

Obgleich auch Anhaltspunkte für Bleiwirkungen unterhalb dieser Konzentration nicht ausgeschlossen sind, wurden diese von der HBM-Kommission als marginal eingestuft, insbesondere im Vergleich zu anderen Einflussgrößen, die entwicklungspsychologisch von erheblich größerer Bedeutung sind (UBA 2002).

Diese Einschätzung sollte jedoch vor dem Hintergrund aktueller Erkenntnisse weiterhin auf dem Prüfstand bleiben, zumal auch die mögliche Persistenz der bleibedingten Effekte bis in das Erwachsenenalter hinein durch die neuen Daten erhärtet wird.

3.6 Zusammenfassung der Ergebnisse

Wie die statistischen Auswertungen gezeigt haben, sind die Blutbleiwerte der im Duisburger Süden untersuchten Kinder im Untersuchungszeitraum von 1983 bis 2000 auf rund 1/3 gesunken. Das geometrische Mittel der erhobenen Blutbleiwerte lag im Jahr 2000 bei 31 µg Blei/l Blut, das 95. Perzentil bei 67 µg/l.

Wie aus der vorliegenden Bodenbelastungskarte und aus Schätzungen der Bleideposition der letzten 15 Jahre hervorgeht, haben sich dagegen die Bleigehalte im Boden kaum verändert.

Als Bezugsgröße für die Auswertung der Bleigehalte im Boden können insbesondere Daten aus Bodenproben aus der Entnahmetiefe 0-10 cm herangezogen werden.

Die Bleigehalte im Staubbiederschlag haben im Untersuchungszeitraum deutlich abgenommen, genauso wie die Gehalte im Schwebstaub. Ursache hierfür ist in Duisburg vor allem das Absinken der industriellen Emissionen.

Die Bleigehalte im Boden zeigen erwartungsgemäß enge Korrelationen mit den Gehalten im Staubbiederschlag und verdeutlichen die Ursachen der Bodenbelastung und die raumzeitlichen Abhängigkeiten. Aussagen zur Quantifizierung des Einflusses des Bodens auf den Blutbleiwert werden dadurch allerdings erschwert. Die deutlichsten Zusammenhänge sind zwischen Blutblei und den Bleigehalten im Schwebstaub zu erkennen.

Detaillierte Auswertungen zeigen, dass die Bleikonzentration im Blut von Kindern aus Duisburg Süd in den Jahren 1983 bis 2000 zu einem hohen Grad (fast 70% erklärte Varianz) durch die nahezu lineare allgemeine Abnahme der Bleikonzentration in der Umwelt mit der Zeit sowie durch die individuelle Wohnnähe zu lokalen Emittenten erklärt werden kann.

Mit Hilfe bivariater Regressionen lassen sich für die unterschiedlichen Einflussfaktoren Regressionsfunktionen für die verschiedenen Untersuchungskollektive aufstellen, wobei im Bestimmtheitsmaß wiederum zu erkennen ist, dass der Schwebstaub den höchsten Erklärungswert bietet, gefolgt vom Staubbiederschlag, während der Boden zwar deutliche, aber weit geringere Zusammenhänge liefert.

Die aus den Regressionsfunktionen zu ermittelnden Blutbleierhöhungen in Abhängigkeit vom Bleigehalt im Boden zeigen einen erwartungsgemäß parallelen Verlauf für die Untersuchungskollektive aus 1994, 1997 und 2000 und liegen bei ca. 2 µg Blei/l Blut pro 100 mg Blei/kg Boden.

Die Daten aus 1991 zeigen dagegen deutliche Abweichungen, die auf nicht zu erkennende Störeinflüsse zurückzuführen sein könnten. Es liegt die Vermutung nahe, dass es sich dabei um konkurrierenden Schwebstaubeinfluss handelt, der aus methodischen Gründen zum Teil vermutlich unterschätzt wurde. Aber auch andere Faktoren, wie das Spielverhalten der untersuchten Kinder, könnten sich unterscheiden und real abweichende Expositionsbedingungen erklären.

Ebenfalls Abweichungen zeigen die Ergebnisse der Daten aus 1983, für die eine Blutbleierhöhung von ca. 6 µg/l pro 100 mg Blei/kg Boden ermittelt wurde.

Aus den Studien von DOLGNER et al. (1988), die auf dasselbe Untersuchungskollektiv aus dem Jahr 1983 zurückgehen, wurde seinerzeit eine Blutbleiwert-Erhöhung von ca. 1-2 µg/l abgeleitet. Die zunächst scheinbar auftretende Diskrepanz der Auswertungen derselben Daten lässt sich jedoch möglicherweise dadurch erklären, dass in der hier vorliegenden Untersuchung das Untersuchungskollektiv auf das Testgebiet zur Erstellung der Bodenbelastungskarte Duisburg eingegrenzt wurde und eigene Bodendaten aus der Bodenbelastungskarte Duisburg zur Auswertung herangezogen wurden. Ein weiterer Aspekt kann die Zuordnung der Daten sein. Wie oben problematisiert, waren die genauen Koordinaten der Wohnorte der Kinder nicht mehr verfügbar, so dass eine ungenaue Zuordnung nur zu dem jeweiligen Quadranten erfolgen konnte.

Wie aus der Literaturlauswertung hervorgeht, lässt sich sowohl aus der Literatur wie auch aus recherchierten Expositionsmodellen schließen, dass der Blutbleiwert von Kleinkindern (1-3 Jahre) um ca. 1/3 höher liegt als bei 6 Jährigen.

Die alimentäre Bleizufuhr führt bei Kindern im Alter von 1-5 Jahren zum Anstieg der Blutbleikonzentrationen von umgerechnet ca. 4-18 µg/l (Median).

Als allgemeine Blutbleibelastung 3-5 Jähriger (95. Perzentil) sind rund 50 µg/l (95. Perzentil aus dem Pretest des Umweltsurvey für Kinder und Jugendliche) anzunehmen (vgl. Anhang 2); für 1-3 Jährige liegen keine Daten vor, es muss aber tendenziell von vergleichsweise höheren Blutbleigehalten ausgegangen werden.

Die Beurteilung gesundheitlicher Wirkungen von Blei erscheint nach wie vor fachlich auf dem Prüfstand, da bislang zwar klare Dosis-Wirkungsbeziehungen nachzuweisen sind, eine Wirkschwelle jedoch nicht erkennbar wird.

4. Ableitung von einzelfallbezogenen Maßnahmenwerten für Duisburg Süd

Im Duisburger Süden liegen großflächig Bleibelastungen im Boden vor, für die es gilt, gemäß BBodSchV weitere Sachverhaltsermittlungen durchzuführen. Diese betreffen im Allgemeinen die Untersuchung der Verfügbarkeit des Schadstoffes für die relevanten Wirkungspfade und/oder der konkreten Expositionsbedingungen im Einzelfall. Im vorliegenden Fall können jedoch bereits vorhandene gebietsspezifische Daten herangezogen und zusätzlich genutzt werden, um entsprechende einzelfallbezogene Maßnahmenwerte abzuleiten.

Aufgabe der statistischen Auswertungen sowie der Literaturrecherche war es, zu prüfen, inwieweit Rückschlüsse aus den vorhandenen Daten über die standortspezifischen Bodenbelastungen sowie ihre Auswirkungen für die sensibelste Nutzergruppe, die Kleinkinder, gezogen werden können. Dazu waren weitere Einflussfaktoren und Störgrößen zu berücksichtigen sowie die Relevanz der auswertbaren Daten für die Risikogruppe zu prüfen.

4.1 Vergleichsmaßstäbe

4.1.1 Humanbiomonitoringwerte (HBM)

Zunächst ist das zu wählende Schutzniveau zu beschreiben. Während die Ableitung der Prüfwerte darauf beruht, dass bei deren Überschreiten ein hinreichender Verdacht für eine gesundheitliche Gefahr zumindest für Risikogruppen und den betrachteten Wirkungspfad besteht, der weitere Untersuchungen im Sinne § 4 der BBodSchV erforderlich macht, gilt der Gefahrenverdacht bei Überschreiten von Maßnahmenwerten als bestätigt, so dass Maßnahmen zur Gefahrenabwehr im Sinne § 5 BBodSchV erforderlich werden.

Folglich wurde zur Ableitung des Prüfwertes für Blei im Rahmen der BBodSchV der HBM-I-Wert⁸ von 100 µg Blei/l Blut herangezogen bzw. mit dem "level of concern" von 100-150 µg/l argumentiert (UBA 1999), bei dessen Überschreitung erste negative Auswirkungen auf die körperliche Entwicklung, die Verhaltensentwicklung sowie die Entwicklung intellektuellen Leistungsvermögens zu beobachten sind und damit die Gefahrenverknüpfung als gegeben angesehen wird.

Die Ergebnisse der im Rahmen der hier vorgelegten Studie ausgewerteten Literaturquellen legen den Schluss nahe, bereits bei deutlichem Überschreiten allgemein üblicher Blutbleiwerte Maßnahmen zur Reduzierung möglicher Bleiexpositionen zu ergreifen, insbesondere vor dem Hintergrund, dass für Blei nach wie vor keine Wirkschwelle zu ermitteln ist und dass für Blutbleikonzentrationen unter 100 µg/l Zusammenhänge mit verschiedenen Effekten (neuro-psychologische Entwicklungsstörungen, Einflüsse auf die Hörschwelle, endokrine Effekte) zu beobachten sind.

⁸ Der HBM-I-Wert entspricht der Konzentration eines Stoffes in einem Körpermedium, bei dessen Unterschreitung nicht mit einem körperlichen Schaden gerechnet werden muss.

4.1.2 Hintergrund- oder Referenzwerte

Allgemein übliche Blutbleiwerte lassen sich beispielsweise mit Hilfe des Referenzwertes⁹ beschreiben (vgl. UBA 2005), den die HBM-Kommission für Kinder (im Alter von 6 bis 12 Jahren) mit 60 µg/l angibt. Für Kleinkinder werden keine expliziten Angaben gemacht (UBA 1996).

Die hier durchgeführte Literaturstudie kommt aufgrund aktueller Untersuchungen zu dem Schluss, dass die derzeitige Belastung 3-5 Jähriger schätzungsweise mit 50 µg Blei/l Blut (95.Perz.) angenommen werden kann. Eine entsprechende Abschätzung der Blutbleiwerte für 1-3 Jährige, die den bisherigen Kenntnissen aus der Literatur zufolge möglicherweise geringfügig höher liegt (vgl. Kapitel 3.5.2), kann jedoch nicht sicher vorgenommen werden.

Generell ist aus heutiger Sicht festzustellen, dass die allgemeine Bleibelastung der Bevölkerung in den letzten Jahren deutlich zurückgegangen ist, was durch die hier ausgewerteten Daten der Schuleingangsuntersuchungen in Duisburg bestätigt wird, die ebenfalls die starke Abnahme der Blutbleikonzentrationen in den letzten 20 Jahren veranschaulichen. Im geometrischen Mittel sanken die Blutbleiwerte der 6-11 Jährigen von 86 µg/l (1983) auf 31 µg/l (2000), die 95. Perzentile von 162 µg/l (1983) auf 67,0 µg/l (2000). Unter Berücksichtigung der Erkenntnis aus der Literaturstudie, dass Kleinkinder im Alter von 1-3 Jahren einen um ca. 1/3 höheren Blutbleiwert aufweisen als ca. 6 Jährige, lässt sich daraus ein mittlerer Blutbleiwert für Kleinkinder im Duisburger Süden von 41 µg/l (95. Perzentil: 89 µg/l) für das Jahr 2000 abschätzen.

4.1.3 Empfohlener Vergleichsmaßstab

Unter Zusammenschau aller vorgenannten Fakten und Überlegungen wird hier pragmatisch vorgeschlagen, eine Blutblei-Konzentration von 50 µg/l als Ableitungsgrundlage für einzel-fallbezogene Maßnahmenwerte zurunde zu legen. Damit wird einerseits den Erkenntnissen Rechnung getragen, dass auch unterhalb der den Prüfwerten der BBodSchV zugrunde liegenden Blutblei-Konzentrationen (100 – 150 µg/l) Wirkungen auftreten können, für die zudem keine Wirkschwelle angegeben werden kann. Andererseits berücksichtigt dieser Wert aber auch die neueren Untersuchungsdaten zur allgemeinen Hintergrundbelastung bei Kindern (vgl. Kapitel 3.5.2).

⁹ Der Referenzwert für einen chemischen Stoff in einem Körpermedium ist ein Wert, der aus einer Reihe von entsprechenden Messwerten einer Stichprobe aus einer definierten Bevölkerungsgruppe nach einem vorgegebenen statistischen Verfahren abgeleitet wird. Ihm kommt per se keine gesundheitliche Bedeutung zu.

4.2 Grundlast Blutblei in Duisburg ohne Einfluss des Bodens

Die Bleiexposition kann prinzipiell vielerlei Natur sein, wobei sicherlich der alimentären Bleiaufnahme aus heutiger Sicht eine wesentliche Rolle zukommt, während dagegen in früheren Jahren das Medium Luft aufgrund des bleihaltigen Benzins sicherlich maßgeblichen Einfluss hatte.

Wie die Ergebnisse der Literaturlauswertung zeigen, ergibt sich nach entsprechender Umrechnung allein aufgrund der täglichen alimentären Bleizufuhr von 2,7-11,7 µg/d bei 1-5 Jährigen (Median) ein Anstieg der Blutblei-Konzentration um 4-19 µg/l.

Ähnliche Ergebnisse sind aus den hier durchgeführten Regressionsanalysen zu erkennen. Betrachtet man die Schnittpunkte der Regressionsfunktionen mit der Ordinate (Blutbleiwerte, wenn keine Bodenbelastung angenommen würde, vgl. Kapitel 3.4.1) z.B. der Daten für das Untersuchungskollektiv aus 2000, so ergeben sich für die untersuchten 6-jährigen Kinder ca. 25 µg/l und für Kleinkinder, die ca. 1/3 höhere Blutbleigehalte aufweisen (vgl. Kapitel 3.5.2), ca. 30 µg/l als Grundlast¹⁰.

Zur Ableitung der Prüfwerte wurde als allgemeine Hintergrundexposition ein Blutbleiwert von 80 µg/l angenommen, da ca. 95% aller Kinder und Erwachsenen in der Allgemeinbevölkerung geringere Bleikonzentrationen ausweisen.

Wie die Auswertungen hier zeigen (s.o.), erscheint dagegen für eine aktuelle Betrachtung der Situation in Duisburg-Süd die Annahme einer Grundlast für Kleinkinder ohne Einfluss der Bodenbelastung von 30 µg Blei /l Blut als angemessen.

4.3 Zusammenhang Blutblei – Bleibelastung im Boden im Duisburger Süden

Der Zusammenhang der Bleibelastungen im Boden des Duisburger Südens und die damit in Zusammenhang stehenden Blutblei-Belastungen der relevanten Risikogruppe, der Kleinkinder, wurde durch verschiedene statistische Betrachtungen und Auswertungen untersucht (s.o.). Im Ergebnis konnte festgestellt werden, dass der Boden zum einen im Vergleich zu den anderen betrachteten Parametern (Blei im Schwebstaub und Blei im Staubbiederschlag) einen vergleichsweise geringeren Einfluss auf den Blutbleiwert zu haben scheint, dass allerdings dennoch Abhängigkeiten zu erkennen sind, die mit Hilfe von bivariaten Regressionen quantifiziert wurden.

Zur Ermittlung der Zunahme des Blutbleis (ΔPb_{Blut}) durch die Erhöhung der Bleigehaltes im Boden um 100 mg/kg ($\Delta 100 \text{ mg Blei/kg Boden}$) wurde folgender allgemeiner Zusammenhang aufgestellt:

$$\Delta Pb_{\text{Blut}(\Delta 100 \text{ mg Pb / kg Boden})} = 10^{\frac{\alpha + \gamma}{1000} \cdot Pb_{\text{Boden}}(x+100)} - 10^{\frac{\alpha + \gamma}{1000} \cdot Pb_{\text{Boden}}(x)}$$

Diese Funktion ist jedoch noch um weitere Informationen zu spezifizieren.

¹⁰ Die Grundlast setzt sich zusammen aus alimentärer Bleiaufnahme sowie weiteren Bleizuführen aus diffusen Quellen (einschließlich durchschnittlicher Immissionsbelastung), jedoch ohne Einfluss einer Bodenbelastung.

Zum einen liegen der Auswertung Daten aus Schuleingangsuntersuchungen an Kindern im Alter von ca. 6 Jahren zugrunde. Da aber als Risikogruppe Kleinkinder anzusehen sind, müssen die Ergebnisse aus den Überlegungen zum Transfer dieser Daten hinsichtlich der Altersgruppe integriert werden. Wie die Recherchen ergaben, muss für die Risikogruppe eine ca. 1/3 höhere Blutblei-Belastung angenommen werden.

Zum anderen wurden verschiedene Untersuchungskollektive aus unterschiedlichen Studienjahren betrachtet, von denen die Untersuchungen aus den Jahren 1994, 1997 und 2000 einen gleich bleibenden Einfluss des Bodens auf die Erhöhung des Blutbeiwertes zeigen. Diese Ergebnisse legen den Schluss nahe, als Datengrundlage für die Ableitung von einzelfallbezogenen Maßnahmenwerten die aktuellsten Daten (Untersuchungskollektiv 2000) heranzuziehen.

Somit ergibt sich als aktueller Zusammenhang zwischen Bleikonzentrationen im Boden des Duisburger Südens und dem Blutbleiwert von Kindern (angepasst für Kleinkinder durch Transferierung des Schnittpunktes mit der Y-Achse um ca. 1/3):

$$\log(Pb_{Blut}) = 1,5228 + 0,0002582 \cdot Pb_{Boden} \quad (R^2 = 13,9)$$

Somit kann die Abschätzung der Blutblei-Zunahme in Abhängigkeit von der Bleibelastung im Boden wie folgt konkretisiert werden:

$$\Delta Pb_{Blut(\Delta 100 \text{ mg Pb / kg Boden})} = 10^{1,5228 + \frac{0,2582}{1000} \cdot Pb_{Boden}(x+100)} - 10^{1,5228 + \frac{0,2582}{1000} \cdot Pb_{Boden}(x)}$$

Wird gemäß der oben ausgeführten Betrachtungen als maßnahmenauslösender Blutbleigehalt für Kinder der Wert von 50 µg/l herangezogen und werden davon 30 µg/l der allgemeinen Hintergrundexposition zugeordnet, verbleiben als Spanne für die zu beurteilende schädliche Bodenveränderung 20 µg Blei/l Blut.

Gemäß den hier abgeleiteten Zusammenhängen lässt sich wie folgt der einzelfallbezogene Maßnahmenwert für Bleigehalte im Boden ableiten:

$$20 = 10^{1,5228 + \frac{0,2582}{1000} \cdot Pb_{Boden}(x)} - 10^{1,5228 + \frac{0,2582}{1000} \cdot Pb_{Boden}(x=0)}$$

$$20 = 10^{1,5228 + \frac{0,2582}{1000} \cdot Pb_{Boden}(x)} - 33,35$$

$$53,35 = 10^{1,5228 + \frac{0,2582}{1000} \cdot Pb_{Boden}(x)}$$

$$1,7271 = 1,5228 + \frac{0,2582}{1000} \cdot Pb_{Boden}(x)$$

$$791,38 = Pb_{Boden}(x)$$

Als standortspezifischer Maßnahmenwert für Wohngebiete (Nutzung, die analog der Dolgner-Studie zu unterstellen ist) errechnet sich damit ein Bleigehalt im Boden von rund 800 mg/kg. Daraus umgerechnet ergibt sich für die sensibler genutzten Kinderspielflächen ein auf die Hälfte reduzierter Wert von ca. 400 mg Blei /kg Boden.

Würde anstatt des Blutbleiwertes von 50 µg/l der HBM-I-Wert von 100 µg/l zur Beurteilung herangezogen, ergäbe sich analog betrachtet ein Beurteilungswert für Wohngebiete von ca. 1.900 mg/kg Boden. Unter Umständen könnte diese Differenz zur Ableitung eines angepassten Maßnahmenkonzeptes genutzt werden.

5. Diskussion

5.1 Gefahrenermittlung und -abwehr in Duisburg

Insbesondere für die weitere Vorgehensweise der Gefahrenermittlung und -abwehr im Duisburger Süden sind folgende Gesichtspunkte von Bedeutung:

- Datengrundlage Bodenbelastungskarte

Zur Charakterisierung der Bodenbelastungen liegen umfangreiche Auswertungen aus der Bodenbelastungskarte Duisburg-Süd (BBK) vor, die allerdings das Ziel verfolgen, großflächige Aussagen zu treffen und auf Bodenproben von lange Zeit ungestörten Böden beruhen. Im Ergebnis konnte dort der deutliche Einfluss der Bleideposition erkannt werden, der sich auch in den hier durchgeführten Zusammenhangsanalysen erwartungsgemäß wieder findet. Im Einzelfall kann allerdings die Bodenbelastung eines Wohngebietsgrundstückes lokal von den interpolierten Daten der BBK abweichen.

- Datengrundlagen aus 1991 und 1983

Wie die Auswertungen gezeigt haben, muss vermutet werden, dass zum einen in den Daten des Untersuchungskollektives von 1991 eine Störgröße (möglicherweise unterschätzte Schwebstaubkonzentrationen) Einfluss nimmt, die im Rahmen der Auswertungen nicht identifiziert werden konnte. Zum anderen bestätigt sich, dass die Daten aus 1983 aufgrund der ungenauen räumlichen Zuordnung sowie der abweichenden Daten zu den Bodenbelastungen die ursprünglichen Auswertungen von DOLGNER et al. (1988) nicht nachbilden lassen. Grundsätzlich lassen sich jedoch die damals gefundenen Ergebnisse bestätigen, sowohl was den Einfluss des Schwebstaubes anbetrifft als auch den Beitrag des Bodens zur Erhöhung des Blutbleispiegels.

- Expositionsbedingungen

Sowohl damals wie heute ist vergleichsweise wenig über die realen Expositionsbedingungen der Kinder bekannt. Daher kann an dieser Stelle nur analog der Vorgehensweise von DOLGNER et al. (1988) verfahren und für die Untersuchungskollektive ein ähnliches Nutzungsverhalten unterstellt werden, so dass sich ausschließlich ein Wert für das Szenario "Wohngebiet" ableiten lässt.

- Verfügbarkeit von Blei

Nach den Vorgaben der BBodSchV sind bei Überschreiten von Prüfwerten weitere Sachverhaltsermittlungen erforderlich, die neben den Expositionsbedingungen auch eine Prüfung der Verfügbarkeit der Stoffe im Boden einfordert.

Die hier beschriebenen Zusammenhänge basieren alleine auf der Betrachtung gemessener Gesamtgehalte von Blei im Boden im Duisburger Süden, so dass eine Übertragung der Ergebnisse auf andere Standorte, für die Bleigesamtgehalte im Boden vorliegen, nicht ohne weiteres möglich ist (vgl. Kapitel 5.2.3). Inwieweit ein Zusammenhang zwischen dem Gehalt resorptionsverfügbaren Bleis im Boden und dem Blutbleigehalt besteht, wurde in den hier durchgeführten Auswertungen nicht überprüft. Sollten hierfür hohe Korrelationen bestehen, wäre zu klären, ob der Parameter "Resorptionsverfügbarkeit" eine zuverlässige Übertragung der Ergebnisse auf andere Standorte ermöglicht.

- Art der erforderlichen Maßnahmen

Im vorliegenden Bericht wurden Vorschläge für einzelfallbezogene Maßnahmenwerte bzgl. Blei im Boden abgeleitet, die auf verschiedenen Beurteilungsniveaus fußen (vgl. Kapitel 4.3). Zum einen wurde auf „HBM-Referenzwertniveau“ ein einzelfallbezogener Maßnahmenwert abgeleitet, so dass hier ein Schutzniveau gewählt wurde, das auch den zum Teil als marginal eingestuften adversen Effekten Rechnung trägt.

Zum anderen wurde unter Bezug auf den derzeitigen HBM I-Wert ein einzelfallbezogener Maßnahmenwert auf dem Schutzniveau abgeleitet, das dem bei der Ableitung der Prüfwerte der BBodSchV grundsätzlich zugrunde gelegten entspricht und für das der gewählte LOAEL den Gefahrenbezug herstellt. Als Konsequenz für erforderliche Maßnahmen könnte daraus ableitend ein angepasstes Handlungskonzept für den Duisburger Süden erarbeitet werden, das darüber hinaus auch der Frage nachgehen sollte, wie der Bereich zwischen den Prüfwerten der BBodSchV und den hier abgeleiteten einzelfallbezogenen Maßnahmenwerten definiert und behandelt werden soll.

5.2 Übertragbarkeit der Ergebnisse

Zur Klärung einer möglichen Übertragbarkeit der im Rahmen dieser Studie abgeleiteten Maßnahmenwerte für Duisburg-Süd auf andere Gebiete und Standorte mit ähnlicher Fragestellung sind die standortspezifischen Bedingungen darzustellen und ihre Heranziehung für die Bewertung anderer Einzelfälle zu diskutieren.

Die maßgeblichen Vergleichskriterien sind

- die Grundlast der Blutbleibelastung,
- die Expositionsbedingungen und
- die Verfügbarkeit des im Boden befindlichen Bleis.

Wie die vorliegenden Auswertungen für den Duisburger Süden zeigen, kommt neben dem Bleigehalt im Boden insbesondere der standortspezifischen Immissionssituation (Schwebstaub und Staubniederschlag) eine bedeutende Rolle in der Erklärung der Blutbleiwerte von Kleinkindern zu. Grundsätzlich gilt es daher, neben dem Einfluss des Bodens auch die so genannte **Grundlast** der Blutbleibelastung zu kennen, die nicht durch Bodenkontaminationen zu begründen ist und die beispielsweise durch alimentäre Aufnahme oder aber durch luftgetragene Bleibelastungen verursacht wird.

Nur vergleichbare **Expositionsbedingungen** hinsichtlich der Abschätzung möglicher Bleiaufnahmemengen aus kontaminiertem Boden erlauben eine Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Flächen. Deshalb ist es auch erforderlich, die Art und Intensität der Flächennutzung im Duisburger Süden zu kennen und zu berücksichtigen.

Die **Verfügbarkeit des im Boden befindlichen Bleis** hängt von der Ursache der Bleibelastung im Boden ab sowie von der Bindungsform, in der das Blei im Boden vorliegt. Diese Faktoren bestimmen, ob das mit dem Boden oral aufgenommene Blei für den menschlichen Organismus resorptionsverfügbar ist und nachteilige gesundheitliche Wirkungen auslösen kann.

Nachfolgend werden die genannten grundsätzlichen Kriterien für eine Übertragbarkeit der Ergebnisse dargestellt.

5.2.1 Bestimmung der Grundlast

Die Beurteilung der Bleigehalte im Boden basiert auf der Definition zulässiger Blei-Körperdosen, die durch die Zufuhr von Blei über verschiedene Umweltmedien erfolgt (vgl. Kapitel 3.5.6 und 4.1). Als empfohlener Vergleichsmaßstab wird in der vorliegenden Studie insgesamt ein Blutbleigehalt von 50 µg/l vorgeschlagen. Daraus folgt, dass den verschiedenen möglichen Bleiquellen, die zu definieren und zu quantifizieren sind, jeweils ein Anteil "zuge-dacht" werden muss.

Bleizufuhr über die Nahrung

Im vorliegenden Fall wurden dafür zum einen grundsätzliche Überlegungen und Basisdaten zur alimentären Bleiaufnahme (vgl. Kapitel 3.5.4) für 1-5 Jährige herangezogen, die umgerechnet eine Blutblei-Erhöhung von 4-19 µg/l ermitteln lassen.

Liegen hierfür konkrete Erkenntnisse oder belastbare Daten für einen zu betrachtenden Standort vor, sollten stattdessen diese verwendet und in die Bestimmung der Grundlast integriert werden. Ansonsten ist zu empfehlen, die in der Studie vorliegenden Daten als Standard in die Betrachtungen mit einzubeziehen.

Bleizufuhr über die Luft

Wie die statistischen Auswertungen des vorliegenden Berichtes verdeutlichen, nehmen die luftgetragenen Bleikonzentrationen deutlich Einfluss auf die Bleigehalte im Blut. Wie aus den Kapiteln 3.1.3 und 3.1.4 hervorgeht, liegen für das Untersuchungsgebiet die aktuellen Bleigehalte im Staubbiederschlag (Daten aus 2000) im Mittel bei 183,7 µg/m² x d, im Median bei 138,5 µg/m² x d. Blei im Schwebstaub lag im Jahr 2000 für das Untersuchungsgebiet im Mittel bei 0,06 µg/m³, im Median bei 0,03 µg/m³.

Diese Daten sollten als Vergleichsmaßstab herangezogen werden, um überprüfen zu können, ob die immissionsseitige Situation verschiedener Standorte vergleichbar ist oder eine entsprechende Anpassung der Grundlast, die im vorliegenden Fall (Duisburger Süden) insgesamt mit 30 µg Blei/l Blut angenommen wird (vgl. Kapitel 4.2), erforderlich ist.

Weitere Einflussfaktoren

Standortspezifisch können möglicherweise darüber hinaus weitere Faktoren Bedeutung erlangen, die den Blutbleispiegel maßgeblich beeinflussen, wie beispielsweise eine Versorgung von Haushalten mit Trinkwasser über bleihaltige Rohrmaterialien. Solche standortspezifischen Besonderheiten sind ebenfalls zu berücksichtigen und in die Abschätzung der Grundlast zu integrieren.

Verfügbarkeit von Humandaten

Neben den hier skizzierten Möglichkeiten zur indirekten Abschätzung der Grundlast über Nahrung und Luft besteht alternativ dazu auch die Möglichkeit, Humandaten auszuwerten.

Idealerweise liegen in diesem Zusammenhang Untersuchungen von Kleinkindern (1-3 Jahre) als sensibelste Bevölkerungsgruppe vor, was allerdings nicht als wahrscheinlich anzusehen ist.

Eine weitere Möglichkeit besteht beispielsweise darin, auf im Rahmen von Schuleingangsun- tersuchungen ermittelte Blutbleigehalte zurückzugreifen, die im Hinblick auf die Frage übli- cher Blutbleibelastungen im Umfeld des Untersuchungsgebietes Aufschluss geben können. Dabei muss allerdings grundsätzlich darauf geachtet werden, dass eine entsprechende Würdi- gung der altersbezogenen Übertragbarkeit auf die sensibelste Bevölkerungsgruppe (s.o.) durchgeführt wird (vgl. Kapitel 3.5.2 und Kapitel 4).


Vorliegende Humandaten können als Referenzdaten zur Ermittlung der Grundlast herangezo- gen werden, wenn gleichzeitig alle Kriterien berücksichtigt sind, die ein Untersuchungskol- lektiv als Referenzgruppe definieren. Dies sind beispielsweise vergleichbare Wohnsituationen der untersuchten Kinder (vgl. Kapitel 5.2.2) sowie die verschiedenen Einflussfaktoren für die Blutblei-Belastung, wie etwaige Boden- und/oder Luftbelastungen (s.o.).

5.2.2 Expositionsbedingungen

Zur Bewertung gesundheitlicher Wirkungen von Blei im Boden sind die Expositionsbedin- gungen und -annahmen von entscheidender Bedeutung. Diese hängen im Wesentlichen von der Nutzung im betrachteten Gebiet ab. Für die Übertragbarkeit der Ergebnisse müssen des- halb die Nutzungen in dem Untersuchungsgebiet im Duisburger Süden spezifiziert werden.

Hierzu wurden für den Duisburger Süden im Rahmen der Digitalen Bodenbelastungskarte (Siedlungsbereich; vgl. IFUA 2006) Angaben zu den unterschiedlichen Strukturtypen der Wohnbebauung erhoben, die auf einer 2004 vom Regionalverband Ruhr (RVR) durchgeführ- ten Befliegung beruhen. Als Strukturtypen werden in diesem Zusammenhang Flächen weit- gehend einheitlicher Bebauungsform und Freiflächenausprägung bezeichnet. Tabelle 11 ver- anschaulicht zunächst die kartierten Strukturtypen und ihre Eigenschaften.

Tabelle 11: Strukturtypen und ihre Eigenschaften

Strukturtyp und Charakteristika	Beispielfläche
<p>Blockrand-/Blockbebauung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Blockrandbebauung: straßenseitig bebaut mit großen, unversiegelten und überwiegend ge- meinschaftlich genutzten Freiflächen (Ab- standsgrün) im Innenhof; hauptsächlich in den 1950er und 1960er Jahren entstanden. • Blockbebauung: straßenseitig bebaut mit teils stark versiegelten und/oder bebauten Innenhöfen (Schuppen, Garagen etc.) und Hausgärten; z. T. Kleingewerbe; überwiegend bis in die 1930er Jahre entstanden. 	 <p>Blockrandbebauung</p>

Fortsetzung Tabelle 11: Strukturtypen und ihre Eigenschaften

Strukturtyp und Charakteristika	Beispielfläche
<p>Einzel-/Reihenhausbebauung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Überwiegend intensive Hausgartennutzung; heute meist Ziergärten. 	
<p>Hochhausbebauung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Überwiegend mehr als fünfgeschossige Bauweise. • Zu allen Seiten weite Abstandsgrünflächen. • Keine Hausgärten. • Entstehungszeitraum hauptsächlich 1960er und 1970er Jahre. 	
<p>Zeilenbebauung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Überwiegend zwei- bis dreigeschossige Bauweise, meist in parallelen Reihen, längs und quer zur Straße, mit großen Abstandsgrünflächen. • Keine Hausgärten, z. T. kleine Vorgärten. • Entstehungszeitraum vorwiegend 1950er bis 1960er Jahre. 	
<p>Gemischte Bebauung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Überwiegend mehrgeschossige Bebauung mit Anbauten, Garagenhöfen etc. und uneinheitlicher Bebauungsstruktur. • Überwiegend Hausgärten. 	

(Fotos: IFUA-Projekt-GmbH)

Tabelle 12 zeigt die Flächenanteile der einzelnen Strukturtypen im Untersuchungsgebiet. Ihnen zugeordnet werden die beiden Freiflächentypen Hausgärten und Abstandsgrün.

Tabelle 12: Flächenanteile von Struktur- und Freiflächentypen im Untersuchungsgebiet

Strukturtypen Wohnen	Anteil (%) an Wohnnutzung	Freiflächentyp	Anteil (%) an Wohnnutzung
Einzel-/Reihenhausbebauung	50	Hausgärten	61
Gemischte Bebauung	9		
Blockbebauung	2		
Zeilenbebauung	29	Abstandsgrün	39
Hochhäuser	2		
Blockrandbebauung	8	überwiegend Abstandsgrün (63 %)	

Die gebildeten Strukturtypen sind hinsichtlich ihrer Freiflächenausprägung allerdings nicht vollkommen homogen. Im Fall der Blockrandbebauung ist dies in der Tabelle durch die Zuordnung "überwiegend Abstandsgrün (63 %)" gekennzeichnet. In der Tabelle nicht kenntlich gemacht ist, dass etwa 15 % der Freiflächen von Zeilenbebauung Hausgärten und ebenfalls etwa 15 % der Freiflächen von gemischt bebauten Wohnflächen Abstandsgrünflächen sind.

Es lässt sich jedoch grob zusammenfassen, dass innerhalb der Wohnnutzung Einzel- und Reihenhausgebiete den größten Flächenanteil einnehmen, gefolgt von Zeilenbebauung. Etwa 60 % der zur Wohnbebauung zählenden Freiflächen bestehen aus Hausgärten, etwa 40 % stellen Abstandsgrünflächen dar.

Zur Betrachtung der Gesamtstruktur kann das Untersuchungsgebiet im Duisburger Süden auch hinsichtlich seiner verschiedenen Nutzungstypen beschrieben werden (vgl. Tabelle 13).

Insgesamt lässt sich festhalten, dass Wohnen die Nutzung mit dem größten Flächenanteil im Untersuchungsgebiet darstellt. Gewerbe-/Industrieflächen prägen das Gebiet flächenmäßig allerdings fast ebenso stark. Auch landwirtschaftlich genutzte Flächen, Wälder und Gehölze nehmen einen erheblichen Anteil ein.

Liegen für den erforderlichen Abgleich der Nutzungsstruktur des betreffenden Wohngebietes keine detaillierten Kenntnisse hinsichtlich der hier skizzierten Strukturtypen vor, besteht eine weitere Möglichkeit in der Nutzung der vom RVR erstellten standardmäßigen Kartierungen. Wie die Auswertung für den Duisburger Süden zeigt, ergeben sich Zusammenhänge zwischen den entwickelten Strukturtypen und den standardmäßigen RVR-Kartiereinheiten, so dass sich das Untersuchungsgebiet danach wie in Tabelle 14 dargestellt beschreiben lässt:

Tabelle 13: Anteile verschiedener Flächennutzungen im Untersuchungsgebiet

Nutzungstypen	Anteil (%)
Wohnen	22
Gewerbe und Industrie	19
Landw. genutzte Flächen, Wald, Gehölze	17
Grünflächen, Friedhöfe	12
Verkehr	10
Wasserflächen	9
Spiel- und Sportanlagen	4
Gemeinbedarf	2
Kleingärten	2
Sonstiges	3

Tabelle 14: Flächenanteile von RVR-Kartiereinheiten und Freiflächentypen im Untersuchungsgebiet

RVR-Code	Beschreibung	Freiflächentyp	Anteil (%) an Wohnnutzung
10	Bebaute Flächen, dem Wohnen dienend, bis 3 Geschosse	Hausgärten	50
20	Bebaute Flächen, dem Wohnen dienend, bis 5 Geschosse	überwiegend Abstansgrün	37
30	Bebaute Flächen, dem Wohnen dienend, über 5 Geschosse	Abstansgrün	2
40	Mischbauflächen	Hausgärten	11

Sind die hier getroffenen Aussagen für die Nutzung eines zu betrachtenden Wohngebietes übertragbar, so können die Ergebnisse dieser Studie zumindest hinsichtlich der Expositionsbedingungen als übertragbar angesehen werden. Im Falle von deutlichen Abweichungen sind dagegen Überlegungen zur adäquaten Anwendung der Ergebnisse erforderlich.

5.2.3 Verfügbarkeit von Blei

Wie im Kapitel 5.1 der vorliegenden Studie diskutiert, basieren die Ergebnisse alleine auf der Betrachtung der Blei-Gesamtgehalte im Boden, so dass eine Übertragung auf andere Standorte lediglich orientierend an den Gesamtgehalten möglich ist. Gleichzeitig sieht die BBodSchV im Falle von Prüfwertüberschreitungen vor, die Verfügbarkeit der Stoffe zu untersuchen, um den Gefahrenverdacht im Hinblick auf den Wirkungspfad Boden-Mensch verifizieren zu können.

Damit wird die Übertragbarkeit der Ergebnisse, allein basierend auf der Kenntnis gemessener Gesamtgehalte zunächst fraglich. Sollten sich nämlich die Verfügbarkeiten des zu betrachtenden Standortes von denen im Duisburger Süden deutlich unterscheiden, würde eine entsprechende Anpassung der Schlussfolgerungen erforderlich.

Da keine diesbezüglichen Daten im Rahmen der hier vorliegenden Studie erhoben werden konnten, wird hierzu hilfsweise auf verfügbare anonymisierte Daten aus Kinderspielplatzuntersuchungen in dem betreffenden Untersuchungsgebiet zurückgegriffen¹¹ (vgl. IFUA 2003, IFUA 2006). Damit lässt sich die Situation in Duisburg Süd wie folgt darstellen (Tabelle 15):

Tabelle 15: Auswertung der untersuchten Kinderspielflächen im Duisburger Süden im Hinblick auf den resorptionsverfügbaren Bleigehalt (n=138)

	Blei-Gesamtgehalt (mg/kg)	Blei-resorptionsverfügbarer Gehalt (mg/kg)	Anteil Resorptionsverfügbarkeit (%)
Minimum	31	19	6,0
Maximum	2200	1205	90,0
Mittelwert	376	125	34,3
Median	285	97	31,8
95.-Perzentil	735	253	59,2

Im Mittel wurden damit Resorptionsverfügbarkeiten für Blei nach DIN 19738 von rund 35% festgestellt, das 95. Perzentil lag bei 60%.

Statistisch gesehen ergibt sich damit ein vergleichsweise enger Zusammenhang zwischen den Gesamtgehalten und den resorptionsverfügbaren Gehalten von Blei im Boden, der in nachfolgender Abbildung verdeutlicht wird.

Im Rahmen einer vertiefenden Untersuchung zur Frage der Bindungsformen des Bleis im Boden (vgl. IFUA 2005) wurden ähnliche Ergebnisse ermittelt. Hier wurde in 30 Oberbodenproben (0,0-0,3 m) aus möglichst ungestörten städtischen Böden im Duisburger Süden unter anderem auch die Resorptionsverfügbarkeit von Blei nach DIN 19738 analysiert. Im Ergebnis schwankte die Resorptionsverfügbarkeit für diese Proben zwischen 8% und 85%, im Mittel waren 44% resorptionsverfügbar, der Median lag bei 42%.

Daraus lässt sich schließen, dass die Resorptionsverfügbarkeit für Blei im Duisburger Süden im Mittel mit 35-45% anzunehmen ist.

Liegen standortspezifische Erkenntnisse oder Messwerte bzgl. der Resorptionsverfügbarkeit von Blei vor, die auf deutlich hiervon abweichende Verhältnisse hindeuten, wird die Übertragbarkeit der Ergebnisse fraglich bzw. erfordert entsprechende Anpassungen, die dieser Tatsache Rechnung tragen.

¹¹ Mit freundlicher Genehmigung der Stadt Duisburg

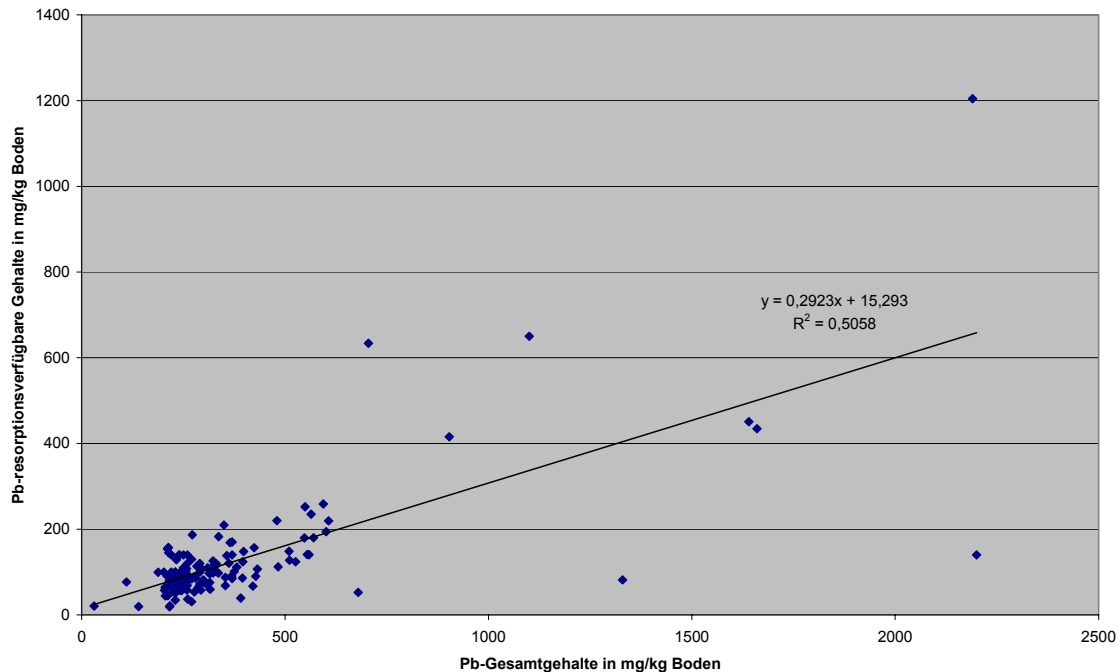


Abbildung 14: Zusammenhang zwischen Gesamtgehalten und den resorptionsverfügbaren Gehalten von Blei im Boden (n=138)

Generell kann angemerkt werden, dass die Verfügbarkeit von Blei üblicherweise in ursächlich anthropogen begründeten Zusammenhängen – wie im Duisburger Süden der Fall - eine höhere Verfügbarkeit aufweist als in geogen bedingten Zusammenhängen. Bisherige Erfahrungen hinsichtlich der Verfügbarkeit von Blei in Böden legen daher den Schluss nahe, dass eine Übertragung der Ergebnisse nur mit geringer Wahrscheinlichkeit eine Unterschätzung des damit verbundenen gesundheitlichen Risikos mit sich bringt.

5.2.4 Zusammenfassung zur Übertragbarkeit der Ergebnisse

Bei der Klärung der Frage, ob die Ergebnisse der Studie auf andere Fälle übertragen werden können, sind die Kriterien

- Grundlast der Blutbleibelastung,
- Expositionsbedingungen und
- Verfügbarkeit des im Boden befindlichen Bleis

unter Berücksichtigung der Bedingungen des betrachteten Einzelfalles sachkundig abzuprüfen und zu bewerten.

Die vorstehenden Ausführungen und Begründungen hinsichtlich der Grundlast, der Expositionsbedingungen und der Verfügbarkeit von Blei in Böden legen jedoch den Schluss nahe, dass eine unmittelbare Übertragung der Ergebnisse nur mit geringer Wahrscheinlichkeit eine Unterschätzung des damit verbundenen gesundheitlichen Risikos zur Folge hätte.

Damit sind aus den durchgeführten Datenauswertungen und Literaturrecherchen einige grundsätzliche Erkenntnisse gewonnen worden, die beispielsweise die Hintergrundexposition und –bewertung von Blutbleiwerten betreffen, die auch im Falle einer Novellierung der BBodSchV Berücksichtigung finden sollten.

6. Literatur

- BBodSchV (1999): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung vom 16.07.1999. BGBl, I Teil Nr. 36 vom 16.07.99, S.1554 ff
- DIN 19 738 (2004): Bodenbeschaffenheit; Resorptionsverfügbarkeit von organischen und anorganischen Schadstoffen
- DOLGNER, R.; BROCKHAUS, A.; EWERS, U. ET AL. (1988): Untersuchungen zur Schwermetallbelastung von Kindern im Ruhrgebiet. Öff. Gesundheits-Wesen, Band 50, S. 189-196
- LANDESUMWELTAMT NRW (LUA) [Hrsg.] (2004): Humanmedizinische Wirkungsuntersuchungen innerhalb kleinräumiger Belastungsareale mit umschriebenen Belastungsschwerpunkten ("Hot Spot"-Untersuchungen), Fachberichte LUA NRW, Band 5, Essen. Projektbearbeitung: ABTEILUNG FÜR HYGIENE SOZIAL- UND UMWELTMEDIZIN DER RUHR UNIVERSITÄT BOCHUM (RUB); INSTITUT FÜR UMWELTMEDIZINISCHE FORSCHUNG (IUF)
- EIKMANN, HEINRICH, HEINZOW, KONIETZKA (1999): Gefährdungsabschätzung von Umweltschadstoffen, Toxikologische Basisdaten und ihre Bedeutung, Erich Schmidt Verlag, Berlin
- IFUA (IFUA-Projekt-GmbH) (2002): Digitale Bodenbelastungskarte Duisburg; Abschlussbericht Testgebiet. Gutachten im Auftrag der Stadt Duisburg (unveröffentlicht)
- IFUA (IFUA-Projekt-GmbH) (2003): Bodenbelastungen im Duisburger Süden - Untersuchung und Bewertung weiterer Kinderspielflächen. Berichte im Auftrag der Stadt Duisburg (unveröffentlicht)
- IFUA (IFUA-Projekt-GmbH) (2005): Flächenhaft schädliche Bodenveränderungen im Duisburger Süden – Gebietsbezogene Detailuntersuchung von Verfügbarkeiten und Bindungsformen. Bericht im Auftrag der Stadt Duisburg (unveröffentlicht)
- IFUA (IFUA-Projekt-GmbH) (2006): Digitale Bodenbelastungskarte Duisburg, Siedlungsbereich, Substratansatz, – Sachstandsbericht Pilotgebiete – . Bericht im Auftrag der Stadt Duisburg (in Vorbereitung; unveröffentlicht)
- IXFELD ET AL. (1985): Bericht über die Ergebnisse der diskontinuierlichen Schwefeldioxid- und Mehrkomponentenmessungen im Rhein-Ruhrgebiet für die Zeit vom 1.1. bis 31.12.1983. Schriftenreihe der LIS NRW, 61, S. 71-120.
- MIELKE, H. W., D. DUGAS, ET AL. (1997): "Associations between soil lead and childhood blood lead in urban New Orleans and rural Lafourche Parish of Louisiana." Environ Health Perspect 105(9): 950-4.
- STERN, A. H. (1994): "Derivation of a target level of lead in soil at residential sites corresponding to a de minimis contribution to blood lead concentration." Risk Analysis 14(6): 1049-56.
- UBA (UMWELTBUNDESAMT) (1996): Kommission "Human-Biomonitoring". Stoffmonographie Blei - Referenz- und Human-Biomonitoring-Werte (HBM). In: Bundesgesundheitsblatt Band 39, Heft 6, S. 236-241.

- UBA (UMWELTBUNDESAMT) (1999): Berechnung von Prüfwerten zur Bewertung von Altlasten, Erich Schmidt Verlag, Berlin
- UBA (UMWELTBUNDESAMT) (2002): Kommission "Human-Biomonitoring". Addendum zur "Stoffmonographie Blei - Referenz- und Human-Biomonitoring-Werte. Bundesgesundheitsblatt Band 45, Heft 9, S. 752-753.
- UBA (UMWELTBUNDESAMT) (2005): Kommission Human-Biomonitoring - Definitionen zu HBM- und Referenzwerten. Veröffentlicht im Internet, online, unter: <http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-daten/daten/monitor/definitionen.htm>