

# Literaturstudie zu Vorkommen und gesundheitlicher Bedeutung von Blei in Hausstaub

Schlagworte: Blei, Bleiquellen, Innenraum, Bleibelastung, Exposition, Gesundheitliche Gefahren, BleiBlutwert, Neurotoxizität, Entwicklungstoxizität, Reproduktionstoxizität, Pfadabschätzung, Orientierungswerte

Verfasser: Herbert Obenland, ARGUK-Umweltlabor GmbH, Oberursel.  
Markus Binder, Institut für Angewandte Umweltforschung e.V., Oberursel  
Kontakt: Herbert Obenland - obenland@arguk.de

Im Juli 2004

## Inhalt

1. Überblick
2. Stoffeigenschaften und technische Verwendung
3. Bleiquellen im Innenraum
4. Gesundheitliche Gefahren durch Blei.
5. Vorkommen von Blei in Umweltmedien und Nahrung
6. Abschätzung der gesamten äußeren Exposition gegenüber Blei für Erwachsene und Kleinkinder
7. Über den Zusammenhang von äußerer und innerer Exposition
8. Die Exposition von Kleinkindern gegenüber Blei ist zu hoch
9. Der ARGUK-Orientierungswert für Blei im Hausstaub
10. Literatur

## 1. Überblick

Blei ist ein industriell vielfältig genutztes Schwermetall, das über verschiedene Quellen in den Innenraum eingetragen wird und dort in erheblichen Konzentrationen im Hausstaub nachgewiesen werden kann.

Untersuchungen zur Belastung des Hausstaubs mit Blei und anderen Schwermetallen wurden vom Umweltbundesamt (UBA) im Rahmen der Umwelt-Surveys 1985/86 (Krause et al. 1991), 1990/92 (Friedrich et al. 2001) und 1998 (Becker et al. 2002) durchgeführt. Des weiteren wurde am Institut für Angewandte Umweltforschung e.V., Oberursel, (IfAU) in Zusammenarbeit mit dem ARGUK-Umweltlabor eine Expertise zum Vorkommen von Schwermetallen im Innenraum erstellt (Riehm 1994).

Blei ist wegen seines hohen neurotoxischen Potenzials insbesondere für Kinder ein äußerst gefährlicher Stoff. In der folgenden Literaturstudie erörtern wir deshalb zunächst die aktuellen epidemiologischen und toxikologischen Basisdaten. Dann geben wir einen Überblick über alle wesentlichen Blei-Expositionspfade. Schließlich arbeiten wir heraus, welcher Rang dem Expositionspfad "Hausstaub" für Kleinkinder zukommt und leiten ARGUK-Orientierungswerte für die Bleibelastung von Hausstaub ab.

## 2. Stoffeigenschaften und technische Verwendung

Blei ist ein bläulich-graues, weiches und dehnbares Schwermetall mit dem chemischen Symbol Pb. Es hat eine Dichte von  $11,34 \text{ g/cm}^3$ , sein Schmelzpunkt liegt bei  $327,5^\circ\text{C}$  und sein Siedepunkt bei  $1740^\circ\text{C}$ . Gegenüber Säuren wie Schwefel-, Salz- und Flusssäure ist Blei beständig, gegenüber Salpeter- und Essigsäure hingegen nicht.

Blei ist bereits seit dem Altertum als giftiges Schwermetall bekannt. Im Römischen Reich fand es weitverbreitete Anwendung in Gläsern und Glasuren für Ess- und Trinkgeschirre. Aus diesen Gegenständen vermochte es sich durch saure Speisen und Getränke zu lösen und in die Körper der Benutzer zu gelangen. Blei ist hochgradig entwicklungs- und neurotoxisch. Manche Geschichtsschreiber sehen deshalb einen Zusammenhang zwischen der Bleiverwendung im Römischen Reich und dessen allmählichem Niedergang.

Blei findet bis heute Anwendung in der Glas- und Keramikproduktion. Die Bleiabgabe solcher Produkte ist jedoch streng reglementiert und überwacht. Blei findet überdies Verwendung in Batterien und Akkumulatoren sowie in Blechen, Kabelummantelungen und Rohren. Bis Anfang der 70er Jahre des vergangenen Jahrtausends fanden Bleirohre im Trinkwassernetz Verwendung. In vielen Altbauten besteht bis heute die Hauseinführungsleitung aus Blei. Daraus können hohe Belastungen des Trinkwassers resultieren. Die für Innenraum-Belastungen bedeutendste Anwendung fand Blei bis vor ca. 10 Jahren in Farben und Anstrichen. Bleihaltige Anstriche in Altbauten können bis zu 50% Blei enthalten. Der weitaus bedeutendste Eintrag von Blei in die Umwelt und damit in die Nahrungskette des Menschen fand über Jahrzehnte durch die Verwendung verbleiten Benzins als Kfz-Treibstoff statt. Mit der Einführung von Katalysator und bleifreiem Benzin wurde diese Emissionsquelle drastisch reduziert.

## 3. Bleiquellen im Innenraum

In einer am Institut für Angewandte Umweltforschung e.V. (IfAU) angefertigten Studie zum Vorkommen von Schwermetallen im Innenraum wurden neben Hausstaub als Expositionspfad auch vereinzelt Materialien als mögliche Bleiquellen untersucht (Riehm 1994). Hohe Bleigehalte wurden dabei vereinzelt in Dielenbrettern, Türen und Fensterhölzern festgestellt. (Tabelle 1) Als Ursache werden Farbpigmente vermutet. Auch Teppichböden und ein älterer PVC-Boden zeigten deutliche Belastungen. Zusammenfassend wird in dieser Studie jedoch festgestellt: "Insgesamt gesehen ist es nur in wenigen Fällen gelungen, anhand von Materialproben den Gehalt an Schwermetallen im Hausstaub zu belegen". In Anbetracht der - wie noch gezeigt werden wird - anhaltend hohen Belastung des Hausstaubs aus bundesrepublikanischen Wohnungen mit Blei besteht hier eindeutig Forschungsbedarf. Das Hauptaugenmerk wird dabei auf beschichtetes und gestrichenes Holz in älteren Bauten zu richten sein. Darauf verweisen neben der zitierten IfAU-Studie auch die Ergebnisse einer im Rahmen des Hamburger Umweltberichts 62/02 durchgeführten Untersuchung von Gebrauchtholz sowie ähnliche Untersuchungen des Landesamtes für Umweltschutz in Bayern (LfU Bayern) und des Landesumweltamtes von Nordrhein-Westfalen (LUA NRW), die ebenfalls in Tabelle 1 dargestellt sind.

Tabelle 1: Bleigehalte in behandeltem, beschichtetem und gestrichenem Holz [ $\mu\text{g/g}$ ]

	Anzahl (n)	Min	Max	MW	Literatur
IfAU	28	< 2	36412	1725	Riehm (1994)
Umweltbericht HH	15	< 3	821	133	Freie und Hansestadt Hamburg (2002)
LfU Bayern	k.A.	k.A.	k.A.	194	LfU Bayern (1998)
LUA NRW	k.A.	k.A.	k.A.	248	LUA NRW (1997)

k.A. keine Angaben

## 4. Gesundheitliche Gefahren durch Blei

Im Folgenden werden toxische Wirkungen von Blei vorgestellt, die bei langfristigen Belastungen im Niedrigdosisbereich auftreten können. Zu diesem Typus der Belastung gehört die Bleizufuhr durch Aufnahme bleihaltigen Hausstaubs.

Nach Kalberlah (1999) sind die bedeutsamen Endpunkte in diesem Kontext "[...] Neurotoxizität (insbesondere bei pränataler Exposition und im frühen Kindesalter), Reproduktionstoxizität sowie Effekte auf das hämatopoetische System und den Blutdruck". Außerdem gilt nach demselben Autor die Kanzerogenität von Blei im Tierversuch als hinreichend belegt, während epidemiologische Studien beim Menschen zu widersprüchlichen Ergebnissen führen.

Bei inhalativer Aufnahme werden vom Menschen ca. 40% des zugeführten Bleis resorbiert (Wilhelm und Evers 1993). Bei oraler Aufnahme und Resorption über den Magen-Darm-Trakt beträgt die Resorptionsquote beim Erwachsenen nur ca. 10 - 15% (Knaut 1989, Leggett 1993), während vom Kind mit ca. 50% Resorptionsquote deutlich mehr über diesen Pfad aufgenommen wird (Alexander und Delves 1973). Besondere Beachtung verdient hier der Umstand, dass die genannten Resorptionsquoten bei Menschen mit Eisen-, Calcium- und/oder Zinkmangel noch deutlich ansteigen (Landrigan et al. 1987).

Als Risikogruppen gegenüber Blei-Exposition gelten deshalb

- Schwangere
- Kleinkinder
- Personen mit Mangelernährung
- Personen mit Bluthochdruck

### 4.1. Der BleiBlutwert (PbB)

Blei lässt sich gut im Blut nachweisen. Bei Untersuchungen über die Wirkungen von Blei auf den menschlichen Organismus werden deshalb die zu beobachtenden Effekte in aller Regel in Beziehung zum BleiBlutwert (PbB) gesetzt, der in  $\mu\text{g Blei/dL Vollblut}$  oder in  $\mu\text{g Blei/L Vollblut}$  angegeben wird. Der BleiBlutwert spiegelt die aktuelle Dauerbelastung wider, sagt aber nur begrenzt über länger zurückliegende Belastungen etwas aus. Um solche zu erkennen, muss auf den Bleigehalt der Zähne (BleiZahnwert) zurückgegriffen werden. Gar nichts auszusagen vermag der BleiBlutwert über das in den Knochen gespeicherte Blei, das z.B. bei Erkrankungen und Fieber remobilisiert werden kann. Bei Erwachsenen befinden sich ca. 95%, bei Kindern etwa 66% der aktuellen Ganzkörperbelastung in den Knochendepots. Diese Depots werden nur sehr langsam abgebaut. Die bio-

logische Halbwertszeit beträgt 7 - 20 Jahre. Die Bestimmung des Bleigehalts in Zähnen und Knochen bereitet erheblich mehr Aufwand als die Bestimmung des Bleigehalts im Blut.

Der Umwelt-Survey 1998 des Umweltbundesamtes (Becker et al. 2002) nennt für die bundesdeutsche Bevölkerung im Alter zwischen 18 und 69 Jahren folgende statistische Kenngrößen für die Belastung mit Blei im Blut (Tabelle 2):

Tabelle 2. Belastung des Bluts mit Blei (Becker et al. 2002)

	<b>50. Perzentil</b>	<b>90. Perzentil</b>	<b>Maximum</b>
<b>PbB (µg/L)</b>	31,3	58,4	380

Im Belastungs- und Wirkungsmonitoring des Landesgesundheitsamtes Baden - Württemberg (LGA-BW) wurden für 10 - 11-Jährige folgende mediale Blutbelastungen mit Blei festgestellt (Tabelle 3):

Tabelle 3. Mediale Blutbelastung (50. Perzentil) von 10 - 11-Jährigen mit Blei (LGA-BW 2002)

	<b>1996/97</b>	<b>1998/99</b>	<b>2000/01</b>
<b>PbB (µg/L)</b>	22,5 - 24,9	20,6 - 22	22,5 - 25,7

Das 90. Perzentil lag bei diesem Monitoring im Untersuchungszeitraum 2000/01 bei 35 µg/L. Vor dem Hintergrund dieser "Normalbelastung" müssen die folgenden epidemiologischen und toxiologischen Daten betrachtet werden.

#### **4.2. Neurotoxizität und Entwicklungstoxizität**

"Wirkungen von Blei auf das zentrale Nervensystem betreffen insbesondere Kinder im Vorschulalter, wobei jedoch frühkindliche neurotoxische Effekte auch im Erwachsenen - Alter persistieren können" (Kalberlah 1999).

In einer Vielzahl von epidemiologischen Untersuchungen wird bei Kindern von Veränderungen der Reaktionszeit und schlechterem Abschneiden in psychologischen Tests bereits bei Bleigehalten von bzw. unter 100 µg/L Blut berichtet. Ein Schwellenwert für frühkindliche neurotoxische Effekte ist nach Aussage der meisten dieser Studien nicht anzugeben. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse der bedeutendsten Studien zeigt Tabelle 4.

Tabelle 4: Studien zur Neuro- und Entwicklungstoxizität von Blei.

<b>Ergebnis</b>	<b>Autor(en)</b>
Zusammenhang zwischen PbB und Beeinträchtigung der Gestalt- und Detailerfassung sowie des Reaktionsvermögens	Winneke et al. 1988, Winneke et al. 1989 a,b
Zusammenhang zwischen PbB und Beeinträchtigung des Gesamt- und Verbal - IQ sowie des figürlichen Unterscheidungsvermögens	Bergomi et al. 1989
Zusammenhang zwischen PbB und der kognitiven Entwicklung	Bellinger et al. 1987a,b; Bellinger 1989a
Reduzierte Werte im Intelligenztest bei Kindern mit PbB < 100 µg/L	Bellinger et al. 1989b
Beeinträchtigung der kognitiven Entwicklung von Säuglingen und Kleinkindern bei BleiBlutwerten von 100 - 150 µg/L	Bellinger et al. 1984, 1985, 1986a,b Dietrich et al. 1986, 1987
Schlechtere Ergebnisse in psychometrischen Tests bei 10 -jährigen, die als 2 - Jährige einen PbB von < 100 µg/L hatten, im Vergleich mit geringer frühexponierten Kindern (PbB < 50 µg/L)	Stiles und Bellinger 1993
Zusammenhang zwischen frühkindlicher Bleibelastung und Häufigkeit späteren Schulversagens	Needleman et al. 1990, Baghurst et al. 1992

Nach einer repräsentativen Erhebung in den USA korreliert das Alter, ab dem Kinder das erste Mal sich aufsetzen, gehen und sprechen, signifikant mit dem BleiBlutwert. Auch die Gehörschwelle soll nach dieser Erhebung in Zusammenhang mit dem BleiBlutwert stehen (EPA 1989).

Toxikologische Daten aus Tierversuchen bestätigen bezüglich der Wirkungen von Blei auf das zentrale Nervensystem die Befunde beim Menschen. Bei Untersuchungen an Affen wurden bereits bei einem PbB von 110 µg/L irreversible Verhaltensänderungen festgestellt, ohne dass ein Schwellenwert erkennbar gewesen wäre (Rice 1992).

### 4.3. Reproduktionstoxizität

Über einen Zusammenhang zwischen dem BleiBlutwert und Frühgeburten berichten McMichael et al. (1986). Demnach ist dieser Zusammenhang bereits bei BleiBlutwerten der Mütter um 106 µg/L zu erkennen. Ein Anstieg des Bleigehaltes im Blut von 80 auf 140 µg/L führt nach dieser Untersuchung zu einer Vervierfachung des relativen Risikos einer Fehlgeburt.

### 4.4. Effekte auf den Blutdruck

Mehrere Untersuchungen zeigen einen Zusammenhang zwischen Erhöhung des Blutdrucks und steigendem BleiBlutwert. Dieser Effekt kann schon bei BleiBlutwerten von 50 - 70 µg/L auftreten. Bei der Untersuchung eines Kollektivs (n = 4945 Männer; n = 4988 Frauen) mit einer medialen Bleibelastung des Blutes von 130 µg/L zeigte sich eine signifikante positive Korrelation zwischen dem BleiBlutwert und erhöhtem Blutdruck (Bruce und Bernard 1988).

## 5. Vorkommen von Blei in Umweltmedien und Nahrung

### 5.1. Trinkwasser

Kalberlah (1999) nennt für die Trinkwasserbelastung ab Wasserwerk einen Median von 1,5 µg Blei/L bei einem Maximum von 9 µg Blei/L. Im Umwelt-Survey des Umweltbundesamtes von 1998 (Becker et al. 2002) werden für die Belastung von Haushaltswasser mit Blei (Stagnationswasser) folgende statistische Kenngrößen genannt:

Tabelle 5. Bleibelastung des Trinkwassers - Umwelt-Survey 1998 (Becker et al. 2002)

	<b>50. Perzentil</b>	<b>90. Perzentil</b>	<b>Maximum</b>
<b>Bleibelastung (µg/L)</b>	1,7	7,6	329

Das Institut für Angewandte Umweltforschung (IfAU) in Oberursel ermittelte in einer "Studie zur Belastung des Trinkwassers in Frankfurt/M. mit Blei, Kupfer, Nitrat und Nitrit" 1996 folgende Bleibelastungen in Stagnationswasser:

Tabelle 6. Bleibelastung des Trinkwassers - IfAU-Studie (Pfeil et al. 1997)

	<b>50. Perzentil</b>	<b>90. Perzentil</b>	<b>Maximum</b>
<b>Bleibelastung (µg/L)</b>	< 5	29	336

### 5.2. Boden

Nach Kalberlah (1999) liegt der geogene Bleigehalt in deutschen Böden im Mittel unter 50 µg/g. In ländlich geprägten Regionen nennt die LänderArbeitsgemeinschaft Boden (LABo) Bleibelastungen von Oberböden im 90. Perzentil zwischen 32 und 114 µg/g (LABO 1995). Gartenböden in Ballungsgebieten weisen Bleibelastungen bis 150 µg/g, solche in Belastungsgebieten von 500 - 2000 µg/g auf (Wilhelm und Ewers 1993).

### 5.3. Luft und Schwebstaub

Nach Wilhelm und Ewers (1993) ist die Luft vermittelt des Schwebstaubs in ländlichen Regionen mit bis zu 200 ng Blei/m<sup>3</sup> und in Ballungsgebieten mit bis zu 350 ng Blei/m<sup>3</sup> belastet. In einem neueren Bericht nennt die Weltgesundheitsorganisation (WHO) urbane Bleibelastungen der Luft von 150 - 500 ng/m<sup>3</sup> (WHO 1996). Dank der Einführung des Katalysators und des Verbots bleihaltigen Kfz - Kraftstoffs sind diese Belastungen seit Jahren rückläufig.

### 5.4. Hausstaub

Die Umweltsurveys der Umweltbundesamtes (UBA) nennen für die Hausstaubbelastungen mit Blei in bundesdeutschen Haushalten folgende statistische Kenngrößen:

Tabelle 7: Blei im Hausstaub (Krause et al. 1991, Friedrich et al. 2001)

	<b>50. Perzentil</b>	<b>90. Perzentil</b>	<b>Maximum</b>
<b>Umweltsurvey 1985/86</b>	24,2	142	13 920
<b>Umweltsurvey 1990/92</b>	4	80	36 990

Das Institut für Angewandte Umweltforschung (IfAU) in Oberursel ermittelte in seiner Studie zum Vorkommen von Schwermetallen im Innenraum folgende Bleibelastungen im Hausstaub:

Tabelle 8. Blei in Hausstaub (Riehm 1994)

	<b>50. Perzentil</b>	<b>90. Perzentil</b>	<b>Maximum</b>
<b>Bleibelastung (µg/g)</b>	72,1	170	264

## 6. Abschätzung der gesamten äußeren Exposition gegenüber Blei für Erwachsene und Kleinkinder

Folgende Standardannahmen gehen in die hier vorgestellte Expositionsabschätzung ein:

Tabelle 9. Standard-Annahmen für die Abschätzung der gesamten äußeren Exposition gegenüber Blei für Erwachsene und Kleinkinder

	<b>Erwachsener</b>	<b>Kleinkind</b>
<b>Körpergewicht (KG)</b>	75 kg	10 kg
<b>Resorptionsquote inhalativ</b>	40%	40%
<b>Resorptionsquote oral</b>	15%	50%
<b>Atemrate</b>	20 m³/d	6 m³/d
<b>Staubaufnahme</b>	20 mg/d	100 mg/d

### 6.1. Expositionspfad Trinkwasser

Tabelle 10. Tägliche Blei-Aufnahme über das Trinkwasser

	<b>Tagesverzehr (L)</b>	<b>Bleigehalt (µg/L)</b>	<b>Blei-Zufuhr (µg/kg KG/d)</b>	<b>Blei-Aufnahme (µg/kg KG/d)</b>	<b>Blei-Aufnahme (µg/d)</b>
<b>Erwachsener</b>	2	7,6*	0,203	0,030	2,28
<b>Kleinkind</b>	1	7,6*	0,760	0,380	3,80

\*90. Perzentil im Umwelt-Survey 1998 (Becker et al. 2002)

### 6.2. Expositionspfad Boden

Tabelle 11. Tägliche Blei-Aufnahme über den Boden

	<b>Aufnahmerate (mg Boden/d)</b>	<b>Expo-Häufigkeit (d/a)</b>	<b>Bleigehalt (µg/g)</b>	<b>Blei-Zufuhr (µg/kg KG/d)</b>	<b>Blei-Aufnahme (µg/kg KG/d)</b>	<b>Blei-Aufnahme (µg/d)</b>
<b>Erwachsener</b>	20	50	150*	0,005	0,0008	0,062
<b>Kleinkind</b>	100	100	50**	0,137	0,068	0,68

\*) Maximum für Gartenböden in Ballungsgebieten

\*\*\*) Maximum-Annahme für Spielplätze

### 6.3. Expositionspfad Luft

Tabelle 12. Tägliche Blei-Aufnahme über die Luft.

	Aufnahmerate (m <sup>3</sup> Luft/d)	Expo-Häufigkeit (d/a)	Bleigehalt (µg/m <sup>3</sup> )	Blei-Zufuhr (µg/kg KG/d)	Blei-Aufnahme (µg/kg KG/d)	Blei-Aufnahme (µg/d)
<b>Erwachsener</b>	20	365	0,35*	0,093	0,037	2,80
<b>Kleinkind</b>	6	365	0,35*	0,210	0,084	0,84

\* Maximum für Ballungsgebiete

### 6.4. Expositionspfad Hausstaub

Tabelle 13. Tägliche Blei-Aufnahme über den Hausstaub.

	Aufnahmerate (mg Staub/d)	Expo-Häufigkeit (d/a)	Bleigehalt (µg/g)	Blei-Zufuhr (µg/kg KG/d)	Blei-Aufnahme (µg/kg KG/d)	Blei-Aufnahme (µg/d)
<b>Erwachsener</b>	20	100	142*	0,010	0,0016	0,12
<b>Kleinkind</b>	100	300	142	1,17	0,58	5,8

\*) 90. Perzentil im Umwelt-Survey 1985/86 (Krause et al. 1991)

### 6.5. Expositionspfad Nahrung

Tabelle 14. Tägliche Blei-Aufnahme über die Nahrung.

	Blei-Zufuhr (µg/kg KG/d)	Blei-Aufnahme (µg/kg KG/d)	Blei-Aufnahme (µg/d)
<b>Erwachsener</b>	1,33*	0,20	15,0
<b>Kleinkind</b>	2,50*	1,25	12,5

\* Nach Wilhelm und Ewers (1993)

### 6.6. Gesamtexposition

Tabelle 15. Summe der täglichen Blei-Aufnahme über die wichtigsten Expositionspfade (Trinkwasser, Boden, Luft, Hausstaub, Nahrung)

	Blei-Zufuhr (µg/kg KG/d)	Blei-Aufnahme (µg/kg KG/d)	Blei-Aufnahme (µg/d)
<b>Erwachsener</b>	1,84	0,27	20,2
<b>Kleinkind</b>	4,78	2,36	23,6

Fazit: Bezogen auf das Körpergewicht nehmen Kinder täglich eine ca. 10-fach höhere Bleidosis auf als Erwachsene. Warum diese Dosis nicht tolerierbar ist, zeigen wir in den nächsten beiden Kapiteln.

## 7. Über den Zusammenhang von äußerer und innerer Exposition

In Tabelle 4 sind einige Arbeiten aufgeführt, die bei Kindern schädliche Effekte mit BleiBlutwerten von 100 µg/L und weniger in Verbindung bringen. Kalberlah (1999) wertet deshalb eine Belastung des Blutes mit Blei in Höhe von 100 µg/L als LOAEL ("Lowest Observed Adverse Effect Level") bei empfindlichen Personengruppen. Er bewegt sich damit im selben Bereich wie die "Human - Biomonitoring - Kommission" (HBM-Kommission) des UBA, die in ihrer "Stoffmonografie Blei" bezüglich Störungen des Nervensystems niedrigste mit Effekten verbundene Bleibelastungen des Blutes zwischen 50 und 470 µg/L referiert (HBM-Kommission 1996). Die HBM-Kommission hat daraus folgende Humanbiomonitoring-Werte (HBM-Werte) abgeleitet:

Tabelle 16. Humanbiomonitoring-Werte (HBM-Werte) für Blei im Vollblut (µg/L).

	Risikogruppe	übrige Personen
HBM I (Vorsorgewert)	100	150
HBM II (Eingriffswert)	150	250

Die WHO (1996) betrachtet ebenfalls 100 µg/L als kritischen Schwellenwert.

Nach Carlisle und Wade (1992) gibt es im Niedrigdosisbereich einen praktisch linearen Zusammenhang zwischen innerer und äußerer Exposition, der sich in folgender Funktionsgleichung ausdrücken lässt:

**Gleichung 1:**  $(y/1,6) \mu\text{g Pb/L} = x \mu\text{g Pb} - \text{Zufuhr/Person} \times d$

Einem LOAEL von  $y = 100 \mu\text{g Pb/L}$  entspricht demnach eine rechnerische Bleizufuhr von ca. 60 µg/d. Bei Kindern mit einem Körpergewicht von 15 kg und einem BleiBlutwert von 100 µg/L ist deshalb mit einer dem LOAEL entsprechenden Zufuhr - Dosis von 4 µg/kg KG/d zu rechnen. Kalberlah (1999) versieht diese Zufuhrdosis mit einem Sicherheitsfaktor 2. Unter Berücksichtigung einer Resorptionsquote von 50% bei Kindern kommt er schließlich zu einer resorbierten Dosis von 1 µg/kg KG/d, die man als geschätzten NOAEL ("No Observed Adverse Effect Level") für die äußere Exposition betrachten kann.

Die Dosis von 1 µg/kg KG/d bezeichnet Kalberlah als "vorläufigen TRD-Wert" (TRD = "Tolerierbare Resorbierte Dosis"). Er ist nicht, wie eigentlich für einen TRD-Wert erforderlich, NOAEL - gestützt, denn es fehlt an eindeutigen Hinweisen auf die Existenz eines Schwellenwertes. Überdies bestehen Verdachtsmomente auf adverse Effekte deutlich unterhalb des eingangs zugrunde gelegten LOAEL.

**Der vorläufige TRD-Wert für Blei von 1 µg/kg KG/d ist also weniger ein tolerierbares Maß denn eine durch die hohe Exposition erzwungene vorläufige Duldung!**

## 8. Die Exposition von Kleinkindern gegenüber Blei ist zu hoch

Die weiter oben durchgeführte Expositionsabschätzung zeigt, dass für Kleinkinder eine tägliche Blei - Aufnahme von 2,4 µg/kg KG nichts Ungewöhnliches darstellt. Eine solche Dosis bedeutet eine 2 bis 3-fache Überschreitung des vorläufigen TRD-Wertes von 1 µg/kg KG/d.

Ein Blick auf die Verteilung der Dosis von 2,4 µg/kg KG/d auf die einzelnen Expositionspfade zeigt, wo Minderungsnotwendigkeiten und -möglichkeiten bestehen (vergleiche Tabellen 9 bis 14).

Tabelle 17. Zusammensetzung der gesamten täglichen Blei-Aufnahme aus den einzelnen Expositionspfaden.

	Trinkwasser	Boden	Luft	Hausstaub	Nahrung	Gesamt
<b>Tagesdosis (µg/kg KG/d)</b>	0,38	0,068	0,084	0,58	1,25	2,36
<b>%</b>	16,1	2,9	3,5	24,6	52,9	100

Die Expositionspfade nach ihrer Bedeutung gewichtet ergibt

**Nahrung > Hausstaub > Wasser > Luft > Boden**

Der Nahrungspfad allein führt bereits zu einer Überschreitung des TRD-Wertes. Hier gibt es jedoch begründeten Anlass zum Optimismus, denn die Belastung der Nahrung mit Blei wird amtlich kontrolliert und sinkt seit Einführung des bleifreien Kfz-Kraftstoffs beständig. Neueste Untersuchungen sehen den Anteil des Nahrungspfads an der Gesamtexposition und am TRD-Wert deutlich niedriger (Wilhelm et al. 2003).

Die Möglichkeiten der persönlichen Einflussnahme auf die Blei-Aufnahme durch die Nahrung sind gering. Sie liegen im Wesentlichen im Verzicht auf den Verzehr von Innereien sowie im sorgfältigen Waschen und gegebenenfalls Schälen von Obst und Gemüse.

Der Hausstaubpfad beansprucht mit ca. 60% einen viel zu hohen Anteil am TRD-Wert. Hier liegt kurz- und mittelfristig das größte Minderungspotenzial für die Bleiaufnahme von Kleinkindern. Für Kleinkinder mit stark ausgeprägtem Hand-zu-Mund - Verhalten ist der Hausstaubpfad von geradezu dramatischer Bedeutung. Sie können 1 g Hausstaub und mehr am Tag verschlucken (Calabrese et al. 1989) und so die gesamte Tagesdosis leicht vervielfachen.

Die Möglichkeit der persönlichen Einflussnahme auf die Verminderung der Blei-Aufnahme von Kleinkindern durch Verschlucken von Hausstaub ist vergleichsweise groß. Sie besteht im Wesentlichen in Maßnahmen zur Absenkung des Bleigehalts im Hausstaub, d.h. in der Quellenidentifizierung und -beseitigung sowie in der regelmäßigen und effektiven Beseitigung von Altstäuben.

Der Trinkwasserpfad ist zwar am klarsten reguliert, füllt mit 35% jedoch einen immer noch zu großen Anteil am TRD-Wert aus. Das ist insofern beachtlich, als die in der obigen Expositionsabschätzung veranschlagte Blei-Konzentration im Trinkwasser von 7,6 µg/L bereits den erst 2013 in Kraft tretenden Grenzwert von 10 µg/L unterschreitet. Seit dem 1.12.2003 gilt ein Grenzwert von 25 µg Blei/L Trinkwasser. Er wird in Häusern mit Bleileitungen leicht erreicht. Die Ausschöpfung dieses Grenzwerts kann für Säuglinge und Kleinkinder sehr gefährlich werden. Der vorläufige TRD-Wert würde in diesem Falle allein schon durch den täglichen Wasserverzehr erreicht und überschritten.

Der sichere Weg ist bezüglich des Trinkwassers nicht die Orientierung am geltenden Grenzwert, sondern der Verzicht auf die Versorgung von Säuglingen und Kleinkindern mit Wasser, das durch Bleileitungen geflossen ist.

Der Luftpfad ist praktisch unbedeutend, während der Bodenpfad zumindest auf Spielplätzen und dort insbesondere in Sandkästen kontrolliert werden muss. Bodenschutzverordnung und örtliche Satzungen regeln hier die Belastungsgrenzen.

Von allen relevanten Expositionspfaden ist mithin einzig der Hausstaub ohne jede Regulierung, die die Bleibelastung begrenzt. Und das, obwohl er sich tendenziell für Kleinkinder zum wichtigsten Belastungspfad entwickelt. Im folgenden bieten wir hilfsweise einen ARGUK-Orientierungswert an.

## **9. Der ARGUK-Orientierungswert für Blei im Hausstaub**

Um unseren Kunden bei der Einordnung eines Analysenbefundes behilflich zu sein, bedienen wir uns generell zweier Typen von Orientierungswerten (OW).

Typ eins (OW I und OW II umfassend) ist statistisch begründet und beschreibt die Normal- oder Hintergrundbelastung eines Mediums mit einem Schadstoff. OW I benennt die häufigste, als durchschnittlich zu betrachtende Belastung und ist aus dem 50. Perzentil der Verteilung der Hintergrundbelastung abgeleitet. OW II bezieht sich auf die Obergrenze der Verteilung der Normalbelastung und ist aus dem 90. Perzentil derselben abgeleitet.

Typ zwei (OW III umfassend) ist toxikologisch oder epidemiologisch begründet. Mit seiner Überschreitung ist eine Warnschwelle überschritten, jenseits derer bei gegenwärtigem Wissensstand für empfindliche Personen und Risikogruppen gesundheitlich nachhaltige Auswirkungen nicht mehr mit hinreichender Sicherheit ausgeschlossen werden können.

In der Regel sind OW I und OW II kleiner als OW III. In diesen Fällen empfehlen wir aus Gründen der gesundheitlichen Sicherheit die Unterschreitung von OW III und aus Gründen der gesundheitlichen Vorsorge die Unterschreitung von OW II sowie die Einhaltung von OW I. Sind OW II und vielleicht sogar OW I größer als OW III, so haben wir es mit einem erstrangigen Umweltschadstoff zu tun. In diesem Fall sind für empfindliche Personen und Risikogruppen gesundheitlich nachhaltige Auswirkungen bereits bei Exposition gegenüber der Hintergrundbelastung nicht auszuschließen. Die Aufstellung eines OW I und OW II verbietet sich hier, da mit diesen kein Vorsorge-Bezug mehr gewährleistet wäre.

Blei ist zu den erstrangigen Umweltschadstoffen zu zählen. Für die Risikogruppe Kleinkinder erreicht nach Tabelle 17 die gesamte Tagesdosis das bis zu 2,5-fache des TRD-Wertes, wobei ca. 60% des TRD-Wertes allein von der Exposition gegenüber dem Blei im Hausstaub abgedeckt werden. Eine Absenkung dieses Anteils auf einen konventionellen 10%-Anteil am TRD-Wert von 1 µg/kg KG/d erfordert unter Beibehaltung der in Tabelle 13 (Expositionspfad Hausstaub) genannte Aufnahmerate und Expositionshäufigkeit die Einhaltung eines Bleigehaltes im Hausstaub von höchstens 20-30 µg/g.

Der ARGUK-Orientierungswert III (OW III) für die Bleibelastung von Hausstaub beträgt deshalb 25 µg/g.

## 10. Literatur

- Alexander FW, Delves HT (1973) The uptake of lead and other contaminants. Commission of the European Communities - Environmental Health Aspects of Lead 319-330
- Baghurst PA, McMichael AJ, Wigg NR, Vimpani GV, Robertson EF, Roberts RJ, Tong SL (1992) Environmental exposure to lead and childrens intelligence at the age of seven years. The Port Pirie Cohort Study. *New England Journal of Medicine* 327:1279-1284
- Becker K, Kaus S, Krause C, Lapan P, Schulz C, Seiwert M, Seifert B (2002) Umweltsurvey 1998, Band III. Humanbiomonitoring - Stoffgehalte im Blut und Urin der Bevölkerung in Deutschland. WaBoLu-Hefte 01/02. Hrsg: Umweltbundesamt, Postfach 330022, 14191 Berlin
- Bellinger DC, Needleman HL, Leviton A, Waternaux C, Rabinowitz MB, Nichols ML (1984) Early sensory-motor development and prenatal exposure to lead. *Neurobehavioural Toxicology and Teratology*. 6:387-402
- Bellinger DC, Leviton A, Waternaux C, Needleman HL, Rabinowitz MB (1985) A longitudinal study of the developmental toxicity of low-level lead exposure in the prenatal and early postnatal periods. *Lekkers*, 1985, S. 32-34
- Bellinger DC, Leviton A, Needleman HL, Waternaux C, Rabinowitz MB (1986a) Low-level lead exposure and infant development in the first year. *Neurobehavioural Toxicology and Teratology* 8:151-161
- Bellinger DC, Leviton A, Rabinowitz MB, Needleman HL, Waternaux C (1986b) Correlates of low-level lead exposure in urban children at two years of age. *Pediatrics* 77:826-833.
- Bellinger DC, Sloman J, Leviton A, Waternaux C, Needleman HL, Rabinowitz MB (1987a) Low level lead exposure and child development: Assessment at age 5 of a cohort followed from birth. In: Lindberg SE, Hutchinson TC. *International Conference on Heavy Metals in the Environment*. CEP Consultants Ltd., New Orleans, Edinburgh, S. 49-53
- Bellinger DC, Leviton A, Waternaux C, Needleman HL, Rabinowitz MB (1987b) Longitudinal analysis of prenatal and postnatal lead exposure and early cognitive development. *New England Journal of Medicine* 316:1037-1043
- Bellinger DC, Leviton A, Sloman J (1989a) Antecedents and correlates of improved cognitive performance in children exposed in utero to low levels of lead. Presented at: Conference on Advances in Lead Research: Implications for Environmental Research. Research Triangle Park, NC: National Institute of Environmental Health Sciences, January 1989.
- Bellinger DC et al (1989b) Letter to the editor. *New England Journal of Medicine* 320:595-596
- Bergomi M, Borella P, Fartuzzi G, Vivoli G, Sturloni N, Carazutti G (1989) Relationship between lead exposure indicators and neuropsychological performance in children. *Developmental Medicine and Child Neurology* 31:181-190
- Bruce P, Bernard MB (1988) Environmental lead exposure and the kidney. *Clinical Toxicology* 26:1-34
- Calabrese EJ, Pastides H, Barnes R, Edwards C, Kosteci PT, Stanek III EJ, Veneman P, Gilbert CE (1989) How much soil do young children ingest: an epidemiological study. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 10:129-137
- Carlisle JG, Wade MJ (1992) Predicting blood lead concentrations from environmental concentrations. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 16:280-289

- Dietrich KN, Krafft KM, Bier M, Succop PA, Berger O, Bornschein RL (1986) Early effects of fetal lead exposure: neurobehavioural findings at 6 months. *International Journal of Biosocial Research* 8:151-168
- Dietrich KN, Krafft KM, Shukla R, Bornschein RL, Succop PA (1987) the neurobehavioural effects of early lead exposure. In: Schröder SR - Toxic substances and mental retardation. *Neurobehavioural Toxicology and Teratology*. AAMI Monograph Series, Washington DC, S. 71-95
- EPA (1989) Supplement to the 1986 EPA Air Quality Criteria for Lead, Vol 1, Addendum. US-Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC
- Freie und Hansestadt Hamburg (2002) Hamburger Umweltbericht 62/02 . Schadstoffe in Altholz. Freie und Hansestadt Hamburg (Hrsg.), Behörde für Umwelt und Gesundheit, Billstr. 84, 20539 Hamburg
- Friedrich C, Helm D, Becker K, Hoffmann K, Krause C, Nöllke P, Schulz C, Seiwert M, Seifert B (2001) Umwelt-Survey 1990/92, Bd. VI: Hausstaub. Deskription der Element- und Biozidgehalte im Hausstaub in der Bundesrepublik Deutschland. WaBoLu-Hefte Nr. 01/2001, Umweltbundesamt
- Kalberlah F (1999) Blei und Verbindungen. In: Eikmann T, Heinrich U, Heinzow B, Konietzka R (Hrsg.) *Gefährdungsabschätzung von Umweltschadstoffen*, 1. Erg.-Lfg. 12/99, Erich Schmidt Verlag, Berlin, Kennzahl D 134
- KHB (1996) Stoffmonographie Blei-Referenz- und Humanbiomonitoring-Werte (HBM). Kommission Humanbiomonitoring des Umweltbundesamtes. Bekanntmachung des Instituts für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Umweltbundesamtes. *Bundesgesundheitsblatt* 39(6):236-241
- Knaut S (1989) Die Bewertung des Blutbleispiegels. Dissertation aus der Abteilung Toxikologie, Klinikum der Universität Kiel
- Krause C, Chutsch M, Henke M, Kliem C, Leiske M, Schulz C, Schwarz E (1991) Umwelt-Survey Band IIIa Wohninnenraum: Spurenelementgehalte im Hausstaub. WaBoLu-Hefte 2/91. Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes, Berlin
- LABO (1995) Hintergrund- und Referenzwerte für Böden. Bund -Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz
- Landrigan PJ et al.: Committee on Environmental Hazards (1997) Statement on childhood lead poisoning. *Pediatrics* 79:457-465 1987
- Leggett RW (1993) An age-specific kinetic model of lead metabolism in humans. *Environmental Health Perspectives* 101:598-616
- LfU Bayern (1998) Untersuchung von Altholz aus Altholzaufbereitungsanlagen in Bayern. Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, München
- LGA-BW (2002) Belastungs- und Wirkungsmonitoring - Untersuchung 2000/01, Ergebnisse und Bewertung. Hrsg: Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg, Heft 2002/1
- LUA NRW (1997) Schadstoffströme bei der Gebrauchtholzverwertung für ausgewählte Abfallarten. Materialien Nr. 37, Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Essen
- Mc Michael AJ, Vimpani GV, Robertson EF, Bahurst PA, Clark PD (1986) The Post Piric Cohort Study: maternal blood lead and pregnancy outcome. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 40:18-25

- Needleman HL, Schell A, Bellinger D, Lweviton A, Allred EN (1990) The long term effects of exposure to low dosis of lead in childhood. *New England Journal of Medicine* 322:83-88
- Pfeil S, Kerber T, Maraun W (1997) Studie zur Belastung des Trinkwassers in Frankfurt/Main mit Blei, Kupfer, Nitrat und Nitrit. Institut für Angewandte Umweltforschung/ IfAU e.V., Oberursel
- Rice DC (1992) Human lead exposure. Health Protection Branch, Health Welfare Canada
- Riehm G (1994) Schwermetalle im Innenraum - Nachweis und Vorkommen in Hausstaub und Materialien. Wissenschaftlicher Verlag Maraun, Frankfurt am Main
- Stiles KM, Bellinger DL (1993) Neuropsychological correlates of low-level lead exposure in school-age children: a prospective study. *Neurotoxicology and Teratology* 15:27-35
- WHO (1996) Updating and revision of the Air Quality Guidelines for Europe: Report on the Working Group on Inorganic Air Pollutants, Düsseldorf, Deutschland, 24: 27.10.1994. World Health Organisation (WHO) Regional Publications european Series, Copenhagen
- Wilhelm M, Ewers U (1993) Metalle/Blei, VI - 3. In: Wichmann HE, Schlipkötter H-W, Fülgraff G. *Handbuch Umweltmedizin*, 1. Erg.-Lfg. 6/93 1-24
- Wilhelm M, Schrey P, Wittsiepe J, Feldman C, Idel H (2003) Dietary intake of lead by children and adults from Germany measured by the duplicate method. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 206(6)
- Winneke G et al. (1988) the effects of lead in laboratory animals and environmentally exposed children. *Toxicology* 49(2):292-298
- Winneke G, Collet W, Kraemer U, Brukhaus A, Ewert T, Krause C (1989a) Follow up studies in lead exposed children. Smith MA et al. *Lead exposure and child development*. International workshop September 1986, Edinburgh, United Kingdom. Kluwer Academic Publishers 260-270
- Winneke G, Brockhaus A, Collet W, Kraemer U (1989b) Modulation of lead-induced performance-deficit in children by varying signal rate in a serial choice reaction task. *Neurotoxicology and Teratology* 11:587-592