

UMWELT & GESUNDHEIT

02/2020

Eintragungspfade von Blei in den menschlichen Organismus

Abschlussbericht

UMWELT & GESUNDHEIT 02/2020

Umweltforschungsplan des
Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz und nukleare Sicherheit

Forschungskennzahl 3717 62 212 0
FB000181

Eintragungspfade von Blei in den menschlichen Organismus

Abschlussbericht

von

Gerhard Heinemeyer, Ulrich Bösing

für das


Bundesinstitut für Risikobewertung, Berlin

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber:

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt

Durchführung der Studie:

Bundesinstitut für Risikobewertung
Max-Dohrn-Straße 8–10
10589 Berlin

Abschlussdatum:

September 2019

Redaktion:

Fachgebiet II 1.6 Expositionsschätzung, gesundheitsbezogene Indikatoren
Myriam Tobollik

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4340

Dessau-Roßlau, Mai 2020

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Kurzbeschreibung

Dieser Bericht identifiziert anhand einer umfangreichen Literaturanalyse die Quellen der menschlichen Exposition mit Blei und versucht sie, sofern möglich, zu quantifizieren. Zu diesem Zweck werden umfangreiche Recherchen anhand der öffentlich zugänglichen Literatur der letzten 20 Jahre durchgeführt, inklusive der Bewertung der Qualität der Arbeiten nach einem internationalen Kriterienkatalog und der Unsicherheiten der Untersuchungen. Die Arbeiten und die dazugehörigen Auswertungen werden in einer EndNote-Literaturdatenbank nach einem festgelegten Schema dokumentiert. Hierzu dient ein Thesaurus, der alle wichtigen Aspekte der Verbraucherexposition berücksichtigt. Als Quellen der Exposition gelten Produkte, mit denen Verbraucherinnen und Verbraucher Kontakt haben. Hierzu zählen Haushalts-, Hobby- und Freizeitprodukte sowie Kinderspielzeug und Kosmetika. Sie werden auch als Verbraucherprodukte oder Produkte des täglichen Bedarfs bezeichnet. Ebenso werden die Quellen Hausstaub, Trinkwasser und Boden als umweltbezogene Quellen einbezogen, wie auch Lebensmittel und Nahrungsergänzungsmittel. Die aus der Summe der über alle Expositionspfade aufgenommenen Bleimengen resultierende externe Dosis kann dann über die Messungen im menschlichen Körper, im Blut, Urin, in den Haaren oder Zähnen als interne Dosis geschätzt werden.

Die Auswertung der Literatur ergibt, dass trotz der inzwischen erfolgten starken Abnahme der Bleikonzentrationen im Blut die Bleigehalte in Produkten stark variieren und klare Tendenzen nicht erkennbar sind. Einige Quellen mit deutlich über das allgemeine Maß hinausgehenden Konzentrationen können identifiziert werden. Diese können in individuellen Fällen die Belastung mit Blei steigern. Die Summe der Bleiaufnahme durch Lebensmittelverzehr stellt eine wichtige Dauerquelle dar. Hinzu kommt neben einer allgemein stärkeren Belastung in Ballungs- und Industriegebieten der Verzehr von Muscheln und Meerestieren, einiger Fischarten und durch Nahrungsergänzungsmittel, die Nutzung von bleihaltiger Keramik und Geschirr aus Ländern, in denen keine oder weniger strenge Regeln z. B. zur Herstellung dieser Gegenstände existieren bzw. Regeln nicht beachtet oder unzureichend überprüft werden. Die Bleikonzentrationen oder deren Freisetzung sind teilweise unbekannt und auch unzureichend untersucht. Die Daten aus den Mitgliedsstaaten der Europäischen Union sind sehr heterogen und dadurch uneinheitlich und schwer vergleichbar.

Allerdings kann anhand von übereinstimmenden Biomonitoringdaten aus europäischen Ländern eine seit etwa 2010 konstant niedrige Konzentration von Blei im Blut von Kindern und Jugendlichen aufgezeigt werden, während bei Erwachsenen oberhalb von 30 Jahren die Blutspiegel deutlich erhöht und mit großer Variabilität vorliegen.

Abstract

The aim of this report is to identify and, where possible, quantify the sources of exposure to lead. For this purpose, the publicly accessible literature of the last 20 years has been extensively screened and evaluated. The quality of the publications is assessed according to an international catalogue of criteria and uncertainties are described. The work and the evaluations are documented in an EndNote literature database. The work is stored according to a defined scheme. A thesaurus is used to take into account all important aspects of exposure, in particular that of consumers. The sources of exposure are mostly products with which consumers have contact. Product use is an important descriptor of external exposure. This includes products in the household (e.g. ceramics, glassware, cans), hobby and leisure (e.g. paints, soldering), electric devices, textiles, children's toys, baby articles, and cosmetics. They are also called consumer products or everyday products. On the other hand, exposure to air, soil and water from the environment must be considered. This includes the environment as such, the house dust and the outdoor soil. This external dose can then be found on the measurements in the human body, blood, urine, hair or teeth as an internal dose.

The evaluation of the literature shows that despite the strong decrease in the body burden, some sources can be identified which could lead to an increase of the latter in individual cases. This includes, in addition to a generally stronger load in urban and industrial areas, the consumption of shellfish and some fish species as well as food supplements, the use of lead-containing ceramics as well as the use of tableware from countries where there are no or less stringent rules e.g. for production, or rules or regulations are not controlled or are not sufficiently checked. The lead concentrations or their release

are partly unknown and also inadequately controlled. The data from the EU member states are partly very heterogeneous and thus inconsistent and hardly comparable.

Interestingly, due to data from various European countries, after 2010 and during the age below 30 years, blood lead levels are consistently on a low constant level, while above 30 years blood levels measurements reveal higher and more variable values.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	6
Abbildungsverzeichnis	10
Tabellenverzeichnis	12
Abkürzungsverzeichnis	13
Kurzzusammenfassung	16
1. Fragestellung und Ziel.....	16
2. Methoden	16
a. Recherchekonzept	16
b. Bewertungskonzept.....	16
3. Ergebnisse.....	17
a. Monitoringdaten.....	17
b. Human-Biomonitoring (HBM).....	18
c. Expositionsschätzungen.....	19
4. Defizitanalyse und Folgerungen	20
Short Summary	22
1. Aims and objectives	22
2. Methods.....	22
a. Concept of literature search	22
b. Concept of assessment	23
3. Results.....	23
a. Monitoring data	23
b. Human biomonitoring data (HBM)	24
c. Data from exposure estimations	25
4. Analysis of deficits and conclusions.....	25
1 Einleitung	27
2 Material und Methoden	29
2.1 Literatur-Vorauswahl	29
2.1.1 Veröffentlichungen bundesdeutscher und internationaler Einrichtungen	29
2.1.2 Referenzen aus lokalen BfR-Literaturdatenbanken	29
2.1.3 Referenzen aus „Citation Search“ in Online-Literaturdatenbank „Scopus“	30
2.2 Datenbank-Recherchen	31
2.2.1 Literaturdatenbanken	31
2.2.1.1 Online-Literaturdatenbank „Scopus“ von Elsevier	31

2.2.1.2	Online-Literaturdatenbank „PubMed“ der U.S. National Library of Medicine (NLM)	33
2.2.1.3	Online-Literaturdatenbank „Web of Science“ von Clarivate Analytics	34
2.2.1.4	Lokale EndNote-Arbeitsdatenbanken zur Zwischenspeicherung	35
2.2.1.5	Lokale EndNote-Datenbanken zur Dokumentation	35
2.2.1.6	Recherchebeispiel der relevanten Literatur in EndNote nach Themen	36
2.2.2	Datenbank RAPEX.....	36
2.2.3	Datenbank RASFF	38
2.3	Literatúrauswahl und Bearbeitung	39
2.3.1	Auswertekonzept	39
2.3.1.1	Auswahl der Publikationen	39
2.3.1.2	Schlagwortlisten und Schlagwortvergabe	39
2.3.1.3	Entwicklung von Formularen zur Dokumentation	40
2.3.1.4	Klassifizierung	41
2.3.2	Ein- und Ausschluss von Studien zur Bewertung	45
2.3.2.1	Allgemeine Kriterien	45
2.3.2.2	Belastung und Belastungsquellen der allgemeinen Bevölkerung	45
2.3.2.3	Die besondere Belastung bestimmter Populationen und Regionen	45
2.3.2.4	Die individuelle akzidentelle Vergiftung	46
2.3.3	Bewertungen.....	46
2.3.3.1	Bewertung der Qualität	46
2.3.3.2	Bewertung der Unsicherheit (BfR-Konzept)	47
2.3.3.3	Bewertung des Einsatzes der Kataloge zur Qualität und Unsicherheit	47
2.4	Ziele der Dokumentation	48
3	Ergebnisse.....	49
3.1	Statistische Angaben zur Recherche.....	49
3.1.1	Literaturrecherchen	49
3.1.2	RAPEX-Datenbank	50
3.1.3	RASFF-Datenbank.....	51
3.2	Bewertung der Qualität der Publikationen.....	52
3.3	Quellen der Exposition mit vermuteter gesundheitlicher Bedeutung	52
3.3.1	Monitoring-Studien.....	53
3.3.1.1	Lebensmittel	53
3.3.1.2	Muttermilch	65
3.3.1.3	Babynahrung	66
3.3.1.4	Nahrungsergänzungsmittel (NEM)	67

3.3.1.5	Lebensmittelzusatzstoffe	69
3.3.1.6	Trinkwasser	69
3.3.1.7	Mineralwasser	71
3.3.1.8	Haushaltsprodukte	71
3.3.1.9	Kosmetika	77
3.3.1.10	Spielzeug	80
3.3.1.11	Hobbyartikel und Do It Yourself	80
3.3.1.12	Bleigießen	80
3.3.1.13	Farben und Lacke	80
3.3.1.14	Textilien	81
3.3.1.15	Modeschmuck	81
3.3.1.16	Hausstaub	81
3.3.1.17	Umwelt	83
3.3.1.18	Abfall	92
3.3.2	Biomonitoring-Studien	92
3.3.2.1	Ergebnisse aus Einzelstudien	96
3.3.2.2	Altersabhängigkeit	97
3.3.2.3	Kontrollierte Studien	99
3.3.2.4	Geschlechtsspezifische Unterschiede	100
3.3.3	Expositionsstudien	102
3.4	Fazit und Schlussfolgerungen	105
3.4.1	Datenqualität und Unsicherheit.....	107
3.4.2	Hinweise auf relevante Eintragungspfade und Populationen	108
3.4.2.1	Bleiquellen	108
3.4.3	Einschätzung der Anteile der jeweiligen Quellen und Pfade an der Gesamtexposition.....	113
4	Diskussion	114
4.1	Defizite und Verbesserungsbedarf	114
4.1.1	Monitoring von Konzentrationen in Lebensmitteln.....	114
4.1.2	Messungen von Blei in Produkten.....	115
4.1.3	Verkehr und Umwelt.....	115
4.1.4	Messungen von Konzentrationen im menschlichen Körper	116
4.1.5	Verbesserung der Datenlage bei Verbraucherprodukten.....	116
4.1.5.1	Verhaltensstudien	117
4.1.5.2	Gehalte und Freisetzung	117
4.1.5.3	Verkehr	117

4.1.6	Interne und externe Exposition.....	118
4.1.6.1	Ergänzungen von Surveys durch detaillierte Befragungen der Populationen	118
4.1.6.2	Anpassung von wiederholten Untersuchungen und Messprogrammen	118
4.1.7	Regionale Besonderheiten der Bleibelastung.....	118
4.1.7.1	Kataster von Haaranalysen	119
4.1.8	Verbesserung der Kooperation der Behörden.....	119
4.1.9	Weitere konkrete Schritte.....	119
5	Quellenverzeichnis.....	120
6	Anhang.....	133
6.1	Schlagwortliste.....	133
6.2	Beispiel für „_Synopsis_Etchevers.A_2015.DOCX“	148
6.3	Beispiel für die Tabelle „_Uebersicht_Etchevers.A.2015.XLSX“	148

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Übernahme aus EndNote-Datenbanken der BfR-Fachgruppe 34	30
Abbildung 2:	Statistik der EFSA-Studien-Zitatsuche in SCOPUS.....	31
Abbildung 3:	Suchbegriffe und Statistik der Suche in Scopus zum Import in eine EndNote-Arbeitsdatenbank.....	32
Abbildung 4:	Statistik der Suche in PubMed zum Import in die EndNote- Arbeitsdatenbank	34
Abbildung 5:	Beispiel der Recherche in der EndNote-Arbeitsdatenbank für „Trinkwasser“	36
Abbildung 6:	Suchmaske der RAPEX-Datenbank mit den Einträgen	37
Abbildung 7:	Suchmaske der Datenbank RASFF	38
Abbildung 8:	Ergebnisse der Messungen von Blei (Mittelwerte) im LMM von 1998 bis 2008.....	54
Abbildung 9:	Ergebnisse der Messungen von Blei (Mittelwerte) im LMM von 2010 bis 2017.....	55
Abbildung 10:	Ergebnisse der Messungen von Blei in Fischen und Meerestieren im deutschen LMM in den Jahren 2001 bis 2017.....	57
Abbildung 11:	Ergebnisse der vier katalonischen TDS der Jahre 2003, 2006, 2008 und 2012.....	58
Abbildung 12:	Vergleich von Bleikonzentrationen in selbst angebautem Gemüse in der Berliner Innenstadt und Messungen aus dem LMM-Programm	65
Abbildung 13:	Konzentrationen von Blei in Säuglings- und Kleinkindernahrung (französische TDS für Kinder)	67
Abbildung 14:	Meldungen von Höchstwert-Überschreitungen von Blei in NEM	68
Abbildung 15:	Messergebnisse der Bleilässigkeit in verschiedenen Verbraucherprodukten im deutschen Monitoring-Programm.....	73
Abbildung 16:	Bleilässigkeit von Blei aus Glasgefäßen in RASFF Meldungen (2000 bis 2018) (nur Fälle mit hohem Handlungsbedarf; „serious risk“).....	75
Abbildung 17:	Meldungen übermäßiger Bleiabgabe aus Keramik im RASFF- MeldeSystem im Berichtszeitraum.....	76
Abbildung 18:	Ergebnisse der Messungen von Blei in Kosmetika im deutschen Monitoring-Programm.....	78
Abbildung 19:	Konzentrationen von Blei in Lippenstift und Lippenloss (Lack)	79
Abbildung 20:	Konzentrationen von Blei im Hausstaub	82
Abbildung 21:	Zusammenstellung von Konzentrationen im Boden- und Straßenstaub in der Nähe von Industrieanlagen.	84
Abbildung 22:	Ergebnisse der Bleianalysen im Haar von Kindern in fünf Regionen Siziliens (Dongarrà <i>et al.</i> 2012)	85

Abbildung 23:	Schätzung der jährlichen mittleren Aufnahme von Blei durch Feinstaub in der Bundesrepublik Deutschland, 2017.....	90
Abbildung 24:	Ergebnisse der Messungen (mittlere Werte) von Blei im Straßenstaub in verschiedenen europäischen Ländern.....	91
Abbildung 25:	Konzentrationen (mittlere Werte) von Blei im Blut aus verschiedenen Publikationen (Erläuterung der Legendennummern siehe Tabelle 12).....	93
Abbildung 26:	Blei-Blutspiegel bei Kindern, Jugendlichen und jungen Erwachsenen. Vergleich der Ergebnisse der Münster-Kohorte aus der Umweltprobenbank mit Daten aus europäischen Studien (Erläuterung der Legende in Tabelle 12)	95
Abbildung 27:	Zeitverlauf der Blei Blutkonzentrationen im tschechischen HBM-Programm 1996 bis 2008.....	96
Abbildung 28:	Blei-Konzentrationen im Nabelschnur-Blut von Neugeborenen und im Blut von 13 bis 14 jährigen Heranwachsenden in der flämischen FLEHS Studie	97
Abbildung 29:	Altersabhängigkeit der Bleikonzentrationen im Blut (Daten von Tagne-Fotso <i>et al.</i> 2016).....	98
Abbildung 30:	Altersabhängigkeit der Konzentrationen von Blei im Blut (FLEHS)	99
Abbildung 31:	Altersverteilung der Konzentrationen von Blei im Haar bei Kindern und Jugendlichen (Llorente Ballesteros <i>et al.</i> 2017)	101
Abbildung 32:	Altersabhängigkeit der Konzentrationen im Haar, gezeigt an 10.306 Personen.....	101
Abbildung 33:	Ergebnisse der Schätzung der Aufnahme (zentrale und konservative Schätzer) von Blei bei Erwachsenen	103
Abbildung 34:	Ergebnisse der Schätzung der Aufnahme (mittlere Schätzer) von Blei bei Kindern.....	104

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Stichwortliste für die Publikation „Etchevers <i>et al.</i> (2015)“	40
Tabelle 2:	Kriterien der Klassifizierung der Publikationen (in Datei „_Übersicht“).....	44
Tabelle 3:	Score der Bewertung der Qualität nach IPCS	47
Tabelle 4:	Trefferquoten für eine Recherche mit dem Stichwort „Trinkwasser“, und der Eintragungen in der endgültigen EndNote-Datenbank, mit Verschlagwortung (Stand 8.2.2019)	50
Tabelle 5:	Trefferquoten der Recherchen zu verschiedenen Produktmeldungen in der RAPEX-Datenbank der EU-Kommission (englischsprachige Version).....	51
Tabelle 6:	Trefferquoten der Recherchen zu verschiedenen Produktmeldungen in der RASFF-Datenbank der EU-Kommission	51
Tabelle 7:	Statistische Übersicht über die Referenzen, die in die Endfassung der EndNote-Datenbank übernommen wurden (Stand: 7.2.2019) und die EndNote-Qualitätskategorie	52
Tabelle 8:	Lebensmittel, bei denen besonders hohe Konzentrationen im LMM gefunden wurden und die als bedenklich im RASFF gemeldet wurden	56
Tabelle 9:	Berichte von Bleimessungen in einzelnen Studien.....	61
Tabelle 10:	Meldungen über nicht-verkehrsfähige Textil- und Kinderprodukte aus den RAPEX-Meldungen mit Attribut des „Risk Level: serious“	81
Tabelle 11:	Publikationen zum Thema Bleiexposition in der Nähe von Industrieanlagen (alle Angaben der Konzentrationen in mg/kg)	87
Tabelle 12:	Referenzierung der Nummern in der Legende zu Abbildung 25 und Abbildung 26. Konzentrationen (mittlere Werte) von Blei im Blut aus verschiedenen Publikationen	93
Tabelle 13:	Publikationen in Frankreich zum Thema Exposition mit Blei	106

Abkürzungsverzeichnis

ANSES	Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
BAuA	Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
BAY	Bayern
BER	Berlin
BfR	Bundesinstitut für Risikobewertung
BMDL	Benchmark Dose Level
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BRA	Brandenburg
BRE	Bremen
BUEP	Bundesweiter Überwachungsplan
BVL	Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit
BW	Baden-Württemberg
CAS	Chemical Abstracts Service
ECHA	Europäische Chemikalien Agentur (European Chemicals Agency)
EFSA	Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (European Food Safety Agency)
EHMS	Environmental Health Monitoring System (Tschechische Republik)
EMBASE	Excerpta Medica Database
EMTREE	Embase subject headings
Danish EPA	Danish Environmental Protection Agency
EPHPP	Effective Public Health Practice Project
EQS	Environmental Quality Standard
FLEHS	Flemish Environment and Health Survey (Flandern)
FOREGS	Forum of European Geological Surveys
GerES	German Environmental Survey
HE	Hessen
HB	Bremen
HBM	Human-Biomonitoring
HH	Hamburg
ICP-MS	Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry
ICP OES	Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry
IPCS	International Programme on Chemical Safety
IQ	Intelligenzquotient
JECFA	Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives

kg	Kilogramm
KG	Körpergewicht
LB	Lower Bound (Ansatz zur Expositionsschätzung)
LM	Lebensmittel
LMM	Lebensmittel-Monitoring
MB	Middle Bound (Ansatz zur Expositionsschätzung)
MeSH	Medical Subject Headings
MOS	Margin of Safety
MVP	Mecklenburg-Vorpommern
MW	Mittelwert
NCBI	U.S. National Center for Biotechnology Information
NEM	Nahrungsergänzungsmittel
NLM	U.S. National Library of Medicine (Betreiber von PubMed)
NRW	Nordrhein-Westfalen
NS	Niedersachsen
NWG	Nachweisgrenze
P95	95. Perzentil
PCA	Principal Component Analysis (Hauptkomponentenanalyse)
PVC	Polyvinylchlorid
RASFF	Rapid Alert System Food and Feed
RAPEX	Rapid Exchange System for Information
REACH	Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of CHemicals
SAA	Saarland
SAC	Sachsen
SAH	Sachsen-Anhalt
SCOOP	Scientific Co-operation on Questions relating to Food
SH	Schleswig-Holstein
SM	Schwermetall(e)
TDI	Tolerable Daily Intake
TDS	Total Diet Study
TH	Thüringen
u.a.	unter anderem
UB	Upper Bound (Ansatz zur Expositionsschätzung)
UBA	Umweltbundesamt
UFOPLAN	Umweltforschungsplan

WHO	World Health Organization (Weltgesundheitsorganisation)
XProb	Projekt „Evaluation von Standards und Modellen zur probalistischen Expositionsabschätzung“

Kurzzusammenfassung

1. Fragestellung und Ziel

Nachdem in den 80er Jahren Blei aufgrund gesetzlicher Bestimmungen aus dem Benzin entfernt worden war, kam es zu einem starken Abfall der Konzentrationen von Blei im menschlichen Blut. In den darauffolgenden Jahren verlangsamte sich diese Abnahme: die Konzentrationen verringerten sich bis zum Jahre 2010 um weitere 50%. Danach wurde im Blut von Probandinnen und Probanden im Rahmen der Messungen der Umweltprobenbank eine Stagnation der Konzentrationen festgestellt. Nachdem die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) für Blei keinen Wert für die tolerierbare tägliche Aufnahme (tolerable daily intake, TDI) mehr festgelegt und damit den erwünschten Aufnahmewert auf null gesetzt hat, ist das Ziel die Vermeidung der Bleiaufnahme, wo immer möglich. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit einer weiteren Reduktion der Exposition. Ziel dieser Literaturanalyse ist, entsprechende Quellen zu recherchieren. Dies geschieht vor dem Hintergrund der Notwendigkeit der allgemeinen Expositionsvermeidung und bei einer im Bevölkerungsdurchschnitt vergleichsweise niedrigen Bleiexposition. Dies ist insbesondere für Kinder von Bedeutung. Die schädigende Wirkung von Blei richtet sich auf das zentrale Nervensystem, was zu einer Verminderung des Intelligenzquotienten (IQ) führen und sich bereits im frühesten Alter auswirken kann.

Ziel der Arbeit ist es daher, die vorhandene Literatur der letzten 20 Jahre darauf zu untersuchen, die relevanten Quellen der Bleiexposition und die entsprechenden Pfade zu identifizieren. Vor dem Hintergrund der Abschaffung des Grenzwertes ergibt sich daraus die Frage, ob es Hinweise auf Möglichkeiten zur weiteren Reduktion der Bleiexposition gibt.

2. Methoden

Es wurde die Literatur der vergangenen 20 Jahre nach Publikationen zur Bleiexposition durchsucht. Diese bezieht sich auf die gesamte Bevölkerung, mit Fokus auf Deutschland, und auf alle Quellen der Exposition. Literatur aus außereuropäischen Ländern wurde nicht berücksichtigt.

a. Recherchekonzept

Mit einem systematischen Ansatz wurden internationale Literaturdatenbanken durchsucht. Diese Suche wurde allerdings dadurch erschwert, dass das Stichwort „Blei“ bzw. „Lead“ wegen unterschiedlicher Bedeutungen uneindeutig ist und daher eine große Zahl an Fehltreffern erzielt wurde. Außerdem sind die Suchkonzepte bzw. Stichwortkataloge in den verschiedenen Literaturdatenbanken unterschiedlich, was zu einem großen Aufwand an manueller Nacharbeit der gefundenen Referenzen führte. Daher wurde die systematische Recherche durch eine konventionelle Suche erweitert. Diese stützt sich auf Erfahrungen und Wissen des Verfassers dieses Berichtes und ist auf die im Bericht abgehandelten Themen ausgerichtet wie zum Beispiel auf Berichte über Messprogramme des Bundes und der Bundesländer, z. B. das Lebensmittel-Monitoring-Programm (LMM), Messungen von Blei im Trinkwasser oder Feinstaub. Diese Berichte werden im Allgemeinen nicht in der wissenschaftlichen Literatur in einem Gutachterverfahren publiziert. Darüber hinaus wurden auch allgemeine Empfehlungen und Berichte von Behörden und anderer Institutionen (z. B. BUND, Stiftung Warentest etc.) berücksichtigt. Eine wertvolle Quelle für Referenzen stellen auch die Literaturlisten der jeweils untersuchten Arbeiten dar.

b. Bewertungskonzept

Die in der wissenschaftlichen Literatur publizierten Arbeiten wurden hinsichtlich ihrer Qualität und der Eignung ihrer Ergebnisse für die Verwendung in der vorliegenden Analyse mit Hilfe des Kriterienkataloges des International Programme on Chemical Safety (IPCS) der Weltgesundheitsorganisation

(WHO) (2008) bewertet. Dieses Konzept wurde ergänzt durch eine Bewertung nach dem Leitfaden des Bundesinstitutes für Risikobewertung (BfR 2015) zur qualitativen Unsicherheitsanalyse.

Die recherchierte Literatur wurde in einer EndNote-Datenbank abgelegt, in der neben der Originalliteratur auch die im Projekt gesammelten Bewertungsergebnisse dokumentiert sind.

3. Ergebnisse

Die ausgewerteten Publikationen wurden danach eingeteilt, ob es sich um Messungen von Blei in externen Bleiquellen (z. B. Lebensmittel (LM), verschiedene Produkte), um Messungen von Blei im Menschen (Human-Biomonitoring, HBM) oder um Expositionsschätzungen handelt. Letztere erfordern immer Konzentrationsdaten und Daten zum Verbrauch.

a. Monitoringdaten

Als Monitoringdaten gelten in dieser Projektbeschreibung alle Messungen von Blei in Produkten, mit denen Personen in Kontakt kommen können und für die entsprechende Daten vorliegen. Dies betrifft Lebensmittel (einschl. Nahrungsergänzungsmittel (NEM)), Trinkwasser, Haushaltsprodukte, Kosmetika, Spielzeug, Hobbyartikel, Textilien und Modeschmuck. Darüber hinaus werden auch Messungen in Transfermedien berücksichtigt, in denen Blei nachgewiesen werden kann. Dies betrifft Hausstaub, Boden und Feinstaub in der Atemluft.

Die Daten aus dem Lebensmittel-Monitoring (LMM) stellen die weitaus umfangreichsten und detailliertesten Daten zu Konzentrationen von Blei in Lebensmitteln dar. Eine Analyse der Messergebnisse der Jahre 1998 bis 2018 ergibt, dass die mittleren Werte der Bleikonzentrationen in Lebensmitteln im Bereich zwischen 0,02 und 0,04 mg/kg schwanken. Allerdings ragt die Lebensmittelkategorie Muscheln und Meerestiere sowie Haifisch besonders hervor, mit durchschnittlichen Konzentrationen von 0,2 bis 0,3 mg/kg, also etwa 10-fach höher als die der anderen LM. Dieser Befund wird durch Ergebnisse der französischen Total Diet-Studie (TDS) bestätigt, wie auch durch verschiedene weitere Studien, bei denen ähnliche Ergebnisse beschrieben werden. Hervorzuheben ist eine prospektive dänische HBM-Studie, bei der zwei Expositionsgruppen verglichen wurden. Eine Gruppe aß eine wöchentliche Menge von 1.000 g Fisch und Meerestiere, davon 200 g Muscheln für fünf Tage pro Woche über 26 Wochen. Im Vergleich zu einer Kontrollgruppe erhöhte sich die Konzentration von Blei im Blut um ca. 2 µg/l. In einer detaillierten Auswertung der LMM-Daten zeigte sich, dass die hohen Werte mit einer Ausnahme auf eine Kontamination von Muscheln zurückgeführt werden kann. Allerdings zeigen die Ergebnisse anderer Studien, vor allem aus Südeuropa, auch ähnlich hohe Werte in Fisch.

Neben Muscheln und (in einigen Studien) auch Fisch werden hohe Konzentrationen von Blei in Algen und Nahrungsergänzungsmitteln (NEM) sowie Gewürzen festgestellt. Da NEM zu einem großen Teil aus Algen hergestellt werden, ist dieser Befund nachvollziehbar. Die hohen Konzentrationen in Gewürzen können wegen der geringen Aufnahmemengen vernachlässigt werden. Kritische Konzentrationen von Blei in NEM werden vorwiegend über das „Rapid Alert System Food and Feed“ Schnellwarnsystem für Lebens- und Futtermittel (RASFF) berichtet.

Messungen der Freisetzung von Blei aus Produkten des täglichen Bedarfs, einschließlich Spielzeug und Hobbyartikeln, liegen aus Messungen des Monitoring-Programms vor. Hier wurde bei Holzspielzeug eine teilweise hohe Lässigkeit (Freisetzung) von Blei festgestellt. Im „Rapid Exchange System for Information“, Schnellwarnsystem (RAPEX), in dem europäische Behörden Befunde von Messungen in Produkten des täglichen Bedarfs austauschen, werden ähnliche Werte gemeldet.

Wesentliche Bleiquellen können Gefäße aus Keramik und Bleiglas darstellen. Blei kann aus den Glasuren in die Flüssigkeit übergehen und so zu schweren Vergiftungen führen. Da es sich aber um Einzelsektionen handelt, können sie nicht in einem auf die gesamte Population ausgerichteten Konzept eingeschlossen werden.

Blei im Wildfleisch stellt eine wichtige Expositionsquelle für die kleine Population von jagdnahen Personen dar, die viel Wildfleisch verzehren. Häufiger Verzehr von Wildfleisch führt zu erhöhter Aufnahme von Blei.

Hausstaub kann als Transfermedium für freigesetztes Blei betrachtet werden und so zu dauerhafter Exposition führen. Blei kann aus allen möglichen Quellen durch Abrieb und physikalische Einflüsse in Hausstaub übergehen.

Staub im Außenbereich kann eine wichtige Quelle darstellen. Dies gilt nach verschiedenen Berichten für Areale, die starkem Kraftfahrzeugverkehr ausgesetzt sind bzw. auf ehemaligen oder in der Nähe von Industrieanlagen liegen. Dies gilt insbesondere für die Blei verarbeitende Industrie oder entsprechendes Gewerbe (z. B. Glasherstellung).

Messungen von Blei in Gemüse in Böden in der Nähe von starkem Verkehr oder Industrieanlagen haben hohe Werte ergeben. Zum Beispiel wurden beim „urban gardening“ in Berlin Konzentrationen in Gemüse gefunden, die deutlich höher lagen als die im Lebensmittel-Monitoring. Ähnliche Daten liegen aus mehreren Einzelstudien vor.

b. Human-Biomonitoring (HBM)

Blutspiegelmessungen bei Studierenden aus Münster, Stralsund, Halle und Ulm haben einen Trend aufgezeigt, bei dem die Konzentrationen von ca. 20 µg/l in den Jahren 2000 bis 2001 auf Werte um 10 µg/l im Jahre 2010 zurückgegangen sind. Seitdem hat kein weiterer Abfall stattgefunden. Diese abfallende Tendenz wird in der tschechischen EHMS-Studie (Environmental Health Monitoring System) und in der flämischen FLEHS-Studie (Flemish Environment and Health Survey) und, von wenigen Ausnahmen abgesehen, in einer Vielzahl von Einzelstudien bestätigt. Abnehmende Tendenzen können nur bei Personen bis zum 29. Lebensjahr festgestellt werden. Bei älteren Personen zeigt sich eine erhebliche Varianz der Blutbleispiegel, die wahrscheinlich mit einer sehr variablen und interindividuellen Variation der Exposition, verbunden u. a. mit der altersgemäßen Akkumulation des Bleis einhergeht.

Die Konzentrationen von Blei im Blut sind durchgängig bei Männern höher als bei Frauen. Der Unterschied beträgt bis zu 30 %. Vom 20. bis zum 50. Lebensjahr werden kontinuierlich mit dem Lebensalter höhere Konzentrationen im Blut gemessen.

Neben der Analyse von Blei im Blut widmen sich einige Studien der Analyse von Blei in Haaren und einige wenige der Analyse im Skelettsystem, gemessen in den Zähnen.

Die toxikokinetischen Eigenschaften von Blei erfordern grundsätzlich eine Betrachtung der verschiedenen Kompartimente, in denen sich Blei im Körper verteilt. Ein Gleichgewicht zwischen den Kompartimenten ist die Grundvoraussetzung für toxikokinetische Untersuchungen, da nur dann stabile Ergebnisse erzielt werden können. Da aber zeitlebens diese Gleichgewichte wahrscheinlich nicht erreicht werden, können die Ergebnisse von Messungen teilweise erheblich schwanken.

Blei reichert sich in den Knochen an, was auch als tiefes Kompartiment bezeichnet wird. Hier akkumuliert das Blei zeitlebens. Die Knochen geben das Blei aber auch langsam wieder ab und stellen damit eine immerwährende Quelle für die interne Belastung mit Blei dar. Bereits während der Fetalzeit beginnt die Auffüllung der Knochendepots durch den Übergang des Bleis von der Mutter auf das Kind. Dieser Prozess geht nach der Geburt durch andere Quellen der Exposition weiter und bleibt lebenslang bestehen. Überlegungen für Maßnahmen zum Absenken der Bleiexposition sollten diese Prozesse berücksichtigen, da sich dadurch Optionen zur Vorsorge ergeben können. Haaranalysen können eine Möglichkeit darstellen, um auf pragmatische Art möglichst viele Proben untersuchen zu können. Die Ergebnisse von Dunicz-Sokolowska *et al.* (2006/2007) zeigen bei über 10.000 Proben, dass die Konzentrationen im Haar im Kindesalter hoch sind und dann bis zum 20. Lebensjahr deutlich abfallen.

Auch diese Veränderungen der Konzentrationen können auf Umverteilungsphänomene zurückgeführt werden, aber es zeigt auch auf, dass das Haar nicht dem tiefen Kompartiment zugeordnet werden kann.

In mehreren Studien wurde versucht, einen Zusammenhang zwischen Konzentrationen im Blut und Expositionsbedingungen herzustellen, was allerdings wegen der multikausalen Exposition schwierig ist. Plausibel scheint der Zusammenhang zwischen externer Exposition und interner Exposition (hier Haaranalyse) bei Kindern auf Sizilien (Dongarrà *et al.* 2011) und auf Sardinien (Varrica *et al.* 2014) zu sein: Die Bleikonzentrationen von Kindern in industrialisiertem und vulkanischem Gebiet (Sizilien) lagen bis zum Faktor 2 höher als im Vergleichsgebiet. Hier gab es keinen Unterschied zwischen ländlichem und städtischem Gebiet. Diese Beobachtungen werden durch weitere Studien unterstützt.

c. Expositionsschätzungen

Für Expositionsschätzungen werden Daten zu Konzentrationen benötigt wie auch Daten zum Verhalten der exponierten Personen. Die Konzentrationsangaben sind im Kapitel „Monitoringdaten“ dargestellt. Die Daten zum Verhalten sind dagegen heterogen, bezogen auf ihre Detailtiefe und empirischen Grundlage. Sie sind nicht Gegenstand dieser Studie und werden daher nicht ausführlich behandelt. In aller Kürze kann gesagt werden, dass die methodische Entwicklung der Erhebung empirischer Daten am weitesten für den Verzehr von Lebensmitteln vorangeschritten ist. Die Verzehrstudien liefern Informationen mit einer für Standardfragen akzeptablen Detailtiefe und Aussagekraft. Alle weiteren Daten zum Verhalten von Personen im Umgang mit chemischen Produkten sind eher hypothetisch und beruhen auf Meinungen von Experten und Expertinnen. Daher beschränkt sich die Expositionsschätzung im regulativen Bereich auch darauf, einen Handlungsbedarf festzustellen als die tatsächliche Exposition zu schätzen.

Folglich sind Schätzungen der Exposition z. B. für den Lebensmittelpfad und andere Pfade schwer vergleichbar.

Als wichtige und grundlegende Publikationen zur Schätzung der Exposition mit Blei werden die drei Bewertungen der EFSA zu Blei angesehen. Hiervon ist die Erste aus dem Jahre 2004 noch vom Vorgängergremium, dem SCOOP-Komitee (Scientific Co-operation on Questions relating to Food) erstellt. In diesem ersten Bericht wird die Exposition mit Blei auf ca. 0,7 µg/kg KG (Körpergewicht) für die erwachsene Bevölkerung in Europa geschätzt. Die Schätzung basiert dabei hauptsächlich auf Daten zu Lebensmitteln. Im zweiten Bericht (EFSA 2010b) wird ein Bereich der Exposition von 0,3 (lower bound; LB) bis 1,2 (upper bound; UB) und im dritten Bericht (EFSA 2012) ein Bereich von 0,43 (LB) bis ca. 0,58 (UB) µg/kg geschätzt. Die Schätzungen anderer Organisationen und in den Publikationen schwanken um diesen Bereich. Im Allgemeinen werden die Schätzungen der EFSA als Referenzwerte für die Exposition mit Blei verwendet. Da die Schätzung von 2012 ausschließlich auf Daten zu Lebensmitteln beruht, muss die Gesamtaufnahme höher angesetzt werden.

Aufnahmeschätzungen für Kinder beruhen ebenfalls auf Schätzungen der Exposition über den Lebensmittelpfad. Sie ergeben im Allgemeinen deutlich höhere Werte als bei Erwachsenen. Dies hängt unter anderem damit zusammen, dass die Verzehrwerte bei älteren Kindern schon ähnlich derer von Erwachsenen sind, die Körpergewichte aber deutlich geringer. Diese Ergebnisse, die überwiegend für die LM-Aufnahme gelten, zeigen aber eindrucksvoll die Bedeutung der Exposition speziell bei Kindern auf.

In der vorliegenden Studie wurden zur Einordnung der Daten Expositionsschätzungen vorgenommen, in der Regel sind dies konservative Schätzer mit intendierter Überschätzung. Sofern diese Schätzungen die von der EFSA abgeleiteten Grenzwerte überschreiten, müssen sie als bedenklich eingestuft werden. Dies trifft u. a. für die Aufnahmeschätzungen für Fisch und Muscheln zu.

4. Defizitanalyse und Folgerungen

Drei Bereiche an Defiziten dieser Studie können festgehalten werden:

1. Defizite der Studie selbst
2. Defizite der Daten
3. Defizite der Methoden zur Datengenerierung

Defizite der Studie selbst liegen in der kurzen Dauer der Studie und der damit verbundenen geringen Durchdringungstiefe der Analysen. Die Qualität der recherchierten Arbeiten kann wahrscheinlich sehr viel tiefer bewertet werden als geschehen. Das Fehlen des Mehraugenprinzips schwächt darüber hinaus die Aussagekraft dieser Studie. Die Ergebnisse sind aber trotz dieser Vorbehalte für die Analyse verwertbar und für die Beantwortung der Frage nach Quellen und Pfaden adäquat. Es muss noch angemerkt werden, dass eine Einschätzung der Bedeutung der Quellen und eine quantitative Reihung nicht möglich ist, da dies nur auf der Basis einer detaillierten Expositionsschätzung möglich ist. Das würde einer erheblich längeren Laufzeit bedürfen und war nicht Ziel der vorliegenden Studie.

Eine gewisse Schwäche der Vorgehensweise des IPCS-Verfahrens zur Qualitätsbewertung besteht darin, dass sie zunächst auf die bewerteten Arbeiten selbst ausgerichtet ist, nicht aber auf die Erfordernisse des Projektes. Das hängt unter anderem damit zusammen, dass die Qualitätskriterien auf Basis von Expositionsschätzungen entwickelt und ausgerichtet sind, die Publikationen aber fast immer nur Teilaspekte beleuchten. So wird zum Beispiel die Frage nach der Repräsentativität der Daten nicht gestellt, da sie für die Studie selbst keine Rolle spielt, für die Frage der Bleikonzentrationen im Sinne des Projektes aber sehr wohl. Tatsächlich spielt es für die Qualität der Studie auch keine Rolle, ob die Daten repräsentativ sind, sondern ob die Repräsentativität angemessen behandelt wurde. Dieses Manko kann teilweise durch die Unsicherheitsanalyse aufgefangen werden.

Daten-Defizite liegen darin begründet, dass viele Studien nicht mit dem Ziel der Expositionsschätzung durchgeführt wurden. Die erhobenen Daten sind meistens nicht repräsentativ für eine Bevölkerung oder eine Produktgruppe. Die Zahlen sind meistens ausreichend, um zentrale oder periphere Tendenzen schätzen zu können. Auch im LMM reicht hier die Probenzahl nicht aus. Es wurden im Wesentlichen moderne und ausreichend sensible Messverfahren angewendet.

Defizite der Methoden zur Datengenerierung liegen u. a. darin begründet, dass Verfahren zur Anwendung kommen, die ursprünglich nicht für diesen Zweck vorgesehen waren. Ein wichtiger Ansatz, der für (fast) alle Produktarten (als Expositionsquellen) angewendet werden kann, stellt die Klassifizierung der Produkte in Kategorien dar. Bei der gestellten Aufgabe müssen zum Beispiel die infrage kommenden Lebensmittel so getrennt werden, dass Unterschiede erkannt werden können. Das Beispiel Fisch und Weichtiere zeigt dies deutlich auf. Daher sollten die Methoden der Datengewinnung an dieser Stelle auf den Prüfstand. Die Studie zeigt, dass für eine umfassende Expositionsschätzung die Produkte in der statistischen Auswertung nicht ausreichend scharf getrennt bzw. nicht vorhanden sind. Dies bezieht sich auf die fehlende Detailtiefe der Verzehrstudien und der Messprogramme. Viele Annahmen für die in den Modellen verwendeten Parameter sind Defaults, die einem konservativen Ansatz folgen.

Insofern ist es schwierig, wegen der fehlenden und unsicheren Datengrundlage mögliche Ursachen für die Stagnation seit den Jahren 2005 bis 2010 von Blei im Blut zu identifizieren. Die Bedeutung von Muscheln und Fischen als herausragende Lebensmittelkategorie, sowie die von NEM ist in den Augen des Verfassers aber mit hoher Wahrscheinlichkeit vorhanden.

Unsicherheiten bestehen bei der Beurteilung von Verkehr und Wohnen (inklusive Kindergarten und Schule) in oder in der Nähe von Industriearealen. An dieser Stelle ist die Datenlage unzureichend. Die

Notwendigkeit zu besseren und weniger unsicheren Daten zu kommen, scheint hier besonders geboten.

Die Schärfung der Untersuchungsinstrumentarien (Weiterentwicklung von Verzehrstudien und Verhaltensstudien, Messungen von Kontaminanten und die Verfolgung von zeitlichen Verläufen) ist darüber hinaus eine Voraussetzung dafür, zu verlässlicheren und weniger unsicheren Daten zu kommen.

Ein besonderer Fokus sollte auf Schwangere, stillende Mütter und Kinder in allen Altersstufen gerichtet werden.

Short Summary

1. Aims and objectives

Removing lead from gasoline in the 1980's was followed by a sharp drop in lead concentrations in human blood. In the following years, this decrease slowed down and concentrations fell after 2000 by another 50 % until the year 2010. Thereafter, in the blood of subjects included in the measurements of the Environmental Specimen Bank rather a stagnation of the concentrations was found. After the European Food Safety Agency (EFSA) has decided to abolish limit values and Tolerable Daily Intake (TDI) and to follow a zero-risk approach, the question arises of further reducing exposure measures. The aim of this literature analysis is to identify considerable lead sources. This is done under conditions where blood levels are significantly lower as compared to the starting situation. Especially for children, these questions are urgent to be answer because of new findings of the intelligence quotient (IQ) reducing action of already at an earliest age.

The aim of the work is therefore to examine the existing literature of the last 20 years, if there are relevant exposure pathways. Due to the abolishment of the limit value the question concerning possibilities for the further reduction of lead exposure.

2. Methods

a. Concept of literature search

A standardized and systematic research approach was used that was supported by a "conventional" literature search concept. The systematic approach was used to search within the existing large international literature databases. However, this search was hampered because of ambiguity of the main keyword "lead" or "Blei" that has may lead to many hits that have no association to the substance "lead". Therefore, a large number of miscarriages was achieved. In addition, the search concepts or keyword catalogues in the various literature databases are inconsistent, which causes a great deal of manual reworking of the references found. Therefore, the systematic search was extended by the above-mentioned additional search. This is based on expert knowledge and focuses on specific topics and combinations of key words. Moreover, a number of reports not cited in international databases and reports on measurement programs on the national and European level needs a special search strategy, e.g. the food monitoring program, measurements of lead in drinking water or particulate matter. These reports are generally not or only partly published in the scientific literature and after passing a review process. In addition, general recommendations and reports from authorities and other institutions (such as BUND, Stiftung Warentest, etc.) were also taken into account.

b. Concept of assessment

All references were evaluated for quality and uncertainty. For the work published in the scientific literature, the quality and appropriateness of their results for use in the present analysis were assessed using the list of criteria of the International Programme on Chemical Safety (IPCS) (WHO 2008). This concept was supplemented by an evaluation according to the Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) guidelines (BfR 2015) for the qualitative uncertainty analysis.

The literature references were managed in an EndNote database. Documentation included the original literature and the evaluation results collected in the project are documented as well.

3. Results

a. Monitoring data

In this project, monitoring data include all measurements of lead in products coming into contact with persons and for which corresponding data are available. This applies for food, drinking water, household products, cosmetics, toys, hobby items, textiles and fashion jewellery. In addition, measurements in transfer media in which lead can be detected are also taken into account. This concerns house dust, soil, drinking water and particulate matter.

The German food monitoring data (LMM) represent by far the largest and most detailed data on concentrations of lead in food. A raw analysis of the results of the years 1998 to 2018 reveals that the mean concentrations of the aggregates of the main groups are in the range between 0.02 and 0.04 mg/kg. However, the fish and seafood group exceeds the other foods with average concentrations of 0.2 to 0.3 mg/kg, which is about 10 times higher. This finding is confirmed by results of the French total diet study (TDS), as well as by various other studies. A particular attention should be given on a prospective Danish study that compared two exposure groups. One group ate a weekly amount of 1,000 g fish and seafood, containing 200 g mussels for 5 days a week over 26 weeks. Compared to a control group, the concentration in the blood increased by about 2 µg/l.

A detailed evaluation of the German LMM data showed that with one exception the high levels can be attributed to the contamination of mussels. However, the results of other studies, especially from southern Europe, also show high levels of lead in some fish.

In addition to some fish species and shellfish, high levels of lead are found in algae and dietary supplements as well as spices. Since food supplements are largely made from algae, this finding can be explained easily. The high concentrations in spices do not contribute to considerable exposure because of the low intake levels. Lead concentrations in dietary supplements are reported primarily through the Rapid Alert System Food and Feed (RASFF).

Measurements of the release of lead from everyday products, including toys and hobby items, are available from some measurements of the monitoring program. Here at wooden toys a partially high laxity (release) of lead was found. Similar values are reported in the Rapid Exchange System for Information (RAPEX), where European authorities exchange findings.

Important lead sources can be made of ceramic and leaded glass vessels. Lead can pass from the glazes into the liquid, leading to severe poisoning. However, because they are single exposures, they cannot be included in a population-based approach.

Lead in game meat is an important source of exposure for the small population of hunters and hunters' families. Frequent consumption of game meat leads to considerable and high intake of lead.

House dust can be considered as a transfer medium for released lead and thus lead to permanent exposure. Lead can be converted into house dust from all sources by abrasion and physical influences.

Outdoor dust may be an important source for lead exposure. This is according to various reports for areas that are exposed to heavy traffic or located on or in the vicinity of former or working industrial plants. This is especially the case for the lead processing or related industries (e.g. glassmaking).

Measurements of lead in vegetables farmed nearby heavy traffic or industrial plants have shown high values. For example, in an urban gardening area in Berlin concentrations in vegetables were found that were significantly higher than those in the food monitoring programme. Similar data are available from several individual studies.

b. Human biomonitoring data (HBM)

The working hypothesis of this study is based on results of the Environmental Specimen Bank. Blood level measurements in students from Münster, Stralsund, Halle and Ulm have shown a trend in which the concentrations decreased from approx. 20 µg/l in the years 2000 to 2001 to values around 10 µg/l in the year 2010. Since then, no further decline could be observed. This downward trend is confirmed in the Czech EHMS (Environmental Health Monitoring System) study and in the Flemish FLEHS (Flemish Environment and Health Survey) study and in a large number of individual studies as well. The trend can be followed up to the age of about 29 years. In older adults, there is a considerable variance in blood levels, which is likely to be associated with very variable exposure coupled with appropriate accumulation of lead.

The levels of lead in the blood are consistently higher in men than in women. The difference is up to 30%. With age, the concentrations in the blood continuously increase from the age of 20 to 50 years and higher in women and men to about twice the height.

In addition to the analysis of lead in the blood, some studies are focused to the analysis of lead in hair and a few of the analysis in the skeletal system, represented by the teeth.

The toxicokinetic properties of lead generally should consider the different compartments in which lead is distributed throughout the body. Blood is the central compartment from which distribution (and redistribution) takes place into a peripheral and a deep compartment. A balance between the compartments is the basic requirement for toxicokinetic considerations. However, since these equilibria must not be reached during whole life, the results of measurements can vary considerably.

In addition to blood as the central compartment, the bones represent the deep compartment where lead is deposited. Release of lead from that compartment slowly provides a constant source of lead exposure. Already during the foetal period, the bone deposits are filled up via the placental passage from the mother to the child. This process continues after birth and lasts for the whole life. Approaches to lower lead exposure during that phase of life should take these processes into account. Hair analyses be taken as a pragmatically concept due to simple availability of many samples. The results of Dunicz-Sokolowska *et al.* (2006/2007) show in over 10,000 samples that hair concentrations in childhood are high and then fall significantly until age of 20 years. This could be due to a redistribution in the bones, but also shows that the hair does not count to the deep compartment.

Several studies have attempted to establish a relationship between concentrations in the blood and exposure conditions, which is difficult because of the multicausal exposure. The connection between exposure and internal exposure (here hair analysis) seems to be plausible as shown in children in Sicily by Dongarrà *et al.* (2012) and on Sardinia by Varrica *et al.* (2013). The lead concentrations of children in industrialized and volcanic areas (Sicily) were up to a factor of 2 higher than in the control area. In these studies, there was no difference between rural and urban areas.

c. Data from exposure estimations

Exposure estimation requires data on concentrations as well as on the behaviour of the exposed persons. The concentration data are shown in the chapter "Monitoring data". The behavioural data, on the other hand, are heterogeneous, based on their level of detail and empirical basis. They are not the subject of this study and therefore are not dealt with in detail. In a nutshell, scientific development has advanced furthest for food intake data. The consumption studies provide information with an acceptable level of detail and informative value for standard questions. All other data on the behaviour of people in dealing with chemical products are rather hypothetical and based on expert opinions. Therefore, the regulatory exposure estimation is also more limited to identifying a need for action than estimating the actual exposure.

Consequently, estimates of exposure are difficult to compare for the food path and other paths.

Important and basic publications estimating exposure to lead are the three opinions on lead published by EFSA. The first opinion from 2004 is prepared by the previous panel, the Scientific Co-operation on Questions relating to Food (SCOOP) (2004). In this first report, exposure to lead is estimated at approximately 0.7 µg/kg. The estimate is based mainly on data on food. In the second report (EFSA 2010b) there is a range of lead exposure from 0.3 (lower bound; LB) to 1.2 (upper bound; UB) and in the third report (EFSA 2012) the estimated range of lead is 0.43 (LB) to approx. 0.58 (UB) µg/kg. The estimates of other organizations and authors are in the same range. These latter estimates are based primarily on food consumption. Therefore, total exposure should be higher by an unknown extent.

Child intake estimates are also based on estimates of food pathway exposure. They generally give significantly higher levels than adults. Among other things, this is due to the fact that the consumption levels in older children are already similar to those of adults, but due to the lower body weights the exposure estimates are higher than in adults. However, these results clearly show the importance of exposure especially in children.

Exposure estimates are often performed for decision making, by using conservative assumptions and defaults with an intended tendency for overestimation. If estimates of exposure reveal values in these areas, they must be considered of concern. This applies among others for the intake estimates for fish and shellfish. Also, the relevance of traffic and special conditions of living areas should be discussed.

4. Analysis of deficits and conclusions

Three areas of deficits in this study can be noted:

- a) Deficits of the study itself
- b) Deficits of the data
- c) Deficits of data generation methods

Deficits of the study itself lie in the short duration of the study and the associated low depth of the analyses. The quality of the works can probably be performed in more detail. The absence of the four-eye principle may weaken the ratings of this study. However, despite these reservations, the results can be used for the analysis. It should be noted that the requested ranking of exposure sources is only possible if a detailed and thorough exposure assessment is performed. This would require a much more extended duration of the project.

Data deficits are due to the fact that many studies were not carried out with the aim of exposure estimation. The data collected is usually not representative of a population or product group. However, the numbers are usually sufficient to estimate central or peripheral tendencies. Even in LMM, the number of some samples is insufficient. Analytical measurements were carried out mostly by using modern and sensitive methodologies.

Deficits of the methods for data generation are e.g. reasoning that methods are used which were not originally intended for this purpose. An important example that can be applied to (almost) all types of products (as sources of exposure) is the classification of products into categories. For example, in the task at hand, the food in questionnaires must be separated into category levels that can differentiate the considered foods. This is clearly shown by the example fish and molluscs. Therefore, the methods of data collection at this point need to be scrutinized. The study shows that the products may not be sufficiently and sharply separated. This refers to the lacking depth of detail of the consumption studies and the measuring programs of the concentrations. Many assumptions are defaults that follow a conservative approach may aggravate this problem.

In this respect, it seems difficult to generate a clear statement for the reasons of the decrease of the lead blood levels during the last twenty years in this present evaluation. The impact of shellfish and fish as particular food categories and the dietary supplements, underlines this conclusion.

Uncertainties exist with regard to traffic and living (incl. kindergartens and schools) on or nearby of industrial areas. Existing data are rare. The needs to get better and less uncertain data is particularly given.

Improving the sharpness of evaluation tools (further development of food-consumption studies and behavioural studies, contaminant measurements, and tracking of temporal processes) is also a prerequisite for obtaining more reliable and less uncertain data.

A special focus should be placed on pregnant women, breastfeeding mothers and children of all ages.

1 Einleitung

Mit der Publikation von Göen *et al.* (2018) wurden die aktuellen Ergebnisse des Monitoring Programmes der Umweltprobenbank vorgestellt. In einer Pressemitteilung „Benzinbleigesetz: hat sich die Belastung von Mensch und Umwelt mit Blei verringert?“ hatte das Umweltbundesamt (UBA) die Frage aufgeworfen, ob in den vergangenen Jahren die Belastung mit Blei zurückgegangen ist, gestützt durch die Abnahme der Konzentrationen im Blut bei den Testpersonen der Kohorte Münster und drei weiterer Kohorten (Greifswald, Halle, Ulm) der Umweltprobenbank (UBA 2018a; K. Becker *et al.* 2013). Außerdem wurde in einigen Umweltindikatoren (Fichtentriebe, Pappelblätter, Miesmuscheln) eine Abnahme der Bleikonzentrationen festgestellt. Ähnliche Befunde werden auch in zwei Berichten (2007; 2009) der Weltgesundheitsorganisation (WHO) präsentiert, in denen Bleiblutspiegel in verschiedenen europäischen Ländern aufgelistet sind. Allerdings gehen diese Informationen nur bis zum Jahre 2003 bzw. 2006 zurück. Da die Daten aus Berichten verschiedener Länder entnommen wurden, kann angenommen werden, dass noch weitere und weniger bekannte Faktoren für die Belastung mit Blei berücksichtigt werden müssen. Etchevers *et al.* (2015, S. 158) stellen fest:

“The prevention of lead exposure is still a major goal for public health considering the absence of a clear toxicological threshold and the risk of exposure from low levels of lead in environmental sources.”

Die Zusammenhänge zwischen Exposition und Belastung mit Blei zwischen 1980 und 1995 waren erheblich. Bierkens *et al.* (2011) beschreiben eine signifikante Korrelation zwischen der Konzentration von Blei im Blut mit Konzentrationen in Lebensmitteln und in der Luft. Der Abfall der Bleikonzentrationen in der Außenluft vor 1990 von $0,31 \mu\text{g}/\text{m}^3$ auf $0,045 \mu\text{g}/\text{m}^3$ korreliert mit einer Abnahme der Konzentrationen von Blei im Blut um 48 % bei Frauen und 57 % bei Männern. Inwiefern dieser Zusammenhang auch in den Jahren 1998 bis 2018 besteht, ist Gegenstand dieser Untersuchung.

Die Biomonitoringdaten zeigen, dass die Bleibelastung auf einem niedrigen Niveau „angekommen“ ist. Man kann bei der großen Anzahl an Bleiquellen davon ausgehen, dass sich die Belastung auf die vielen Quellen verteilt. Dabei ist der Eintrag der einzelnen aber gering.

Im Rahmen der neuen toxikologischen Bewertung von Blei durch die Europäische Agentur zur Sicherheit von Lebensmitteln (European Food Safety Agency; EFSA (2012) wurde kein Grenzwert für die tägliche Aufnahme von Blei mehr festgelegt. Das hat zur Konsequenz, dass auch bei der festgestellten Belastung eine weitere Verringerung der Exposition angestrebt werden sollte, nach der die Aufnahme von Blei so niedrig wie möglich sein soll. In den Bewertungen der EFSA zur Bleiexposition wurden Aufnahmewerte geschätzt, die für Erwachsene zwischen 0,5 und 0,7 und für Kinder bis zu $1,2 \mu\text{g}/\text{kg KG}$ Blei pro Tag liegen. Diese Werte sollen in diesem Bericht als Vergleichswerte für andere Schätzungen der Aufnahme von Blei dienen.

Im Zuge der REACH-Verordnung (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals) hat die EU-Kommission im Juni 2018 Blei in die Kandidatenliste der Stoffe mit sehr hohem Bedenken („substance of very high concern“) aufgenommen.

Das Projekt „Eintragungspfade von Blei in den menschlichen Organismus“ hat zum Ziel, Informationen über die Herkunft und die Aufnahmepfade von Blei in der Bevölkerung in Deutschland zu erfassen und zu beschreiben. Dabei soll die Arbeitshypothese geprüft werden, dass sich eine Tendenz zu einer Exposition abzeichnet, die sich nicht weiter verringert, sondern eher konstant bleibt, was sich in den o. g. Messungen in der Umweltprobenbank abzeichnet. Nach dem sehr starken Rückgang der Blutkonzentrationen in den 90er Jahren kann weiterhin eine deutliche, aber abgeschwächte Tendenz zu geringeren Werten seit ca. 2010 festgestellt werden. Gleichzeitig sollen anhand der Messungen von Blei in verschiedenen Medien und aufgrund von Risikobewertungen –noch– relevante Quellen der Bleiexposition identifiziert und beschrieben werden.

Dieses Dokument berichtet über die hierzu durchgeführten Recherchen, ihre Dokumentation, der Auswertungen und der daraus folgenden Ergebnisse der Bewertungen. Der Bericht erläutert die Ergebnisse vor dem Hintergrund der Frage, ob die Arbeitshypothese bestätigt werden kann oder ob sie zurückgewiesen werden muss. Die geplanten Arbeitspakete (Literatur- und Datenrecherche, Literatur- und Datenauswertung, und Defizitanalyse) greifen dabei ineinander.

Es soll untersucht werden, ob Rückschlüsse auf einen allgemeinen Trend gemacht werden können, indem auch ein Rückgang der externen Exposition insgesamt aufgezeigt werden kann. Von Interesse ist auch, ob einzelne relevante Quellen der Exposition identifiziert werden können. Die Notwendigkeit für eine weitere wissenschaftliche Bearbeitung der Entwicklung der Bleibelastung wurde bereits vor einiger Zeit von der WHO (2010b) sowie von Ward *et al.* (2010) betont.

Es soll an dieser Stelle auch angemerkt werden, dass die Studie nicht die gesamte Literatur und Information zu Bleiexpositionen aufgrund der kurzen Laufzeit liefern kann. Die Autoren haben sich aber bemüht, das Spektrum der Exposition und dessen Variabilität in ausreichender Weise zu beschreiben und dazu die relevante Literatur recherchiert. Die Kürze der Projektzeit und die Fülle der Information erfordern eine Selektion der Informationen, die auf die zeitliche Entwicklung von Messergebnissen und die Fragestellung einer abnehmenden Tendenz der Bleikonzentrationen ausgerichtet ist.

2 Material und Methoden

Da die Laufzeit des Vorhabens äußerst knapp angesetzt war, mussten Arbeitsschritte, die eigentlich aufeinander erfolgen, parallel vollzogen werden. Dazu gehörten unerwartete Probleme bei der Entwicklung eines Recherche-Konzeptes sowie die Erprobung und Anpassung bestehender Instrumentarien zur Bewertung von Qualität und Unsicherheit.

2.1 Literatur-Vorauswahl

Um frühzeitig eine Auswahl relevanter Publikationen zur Einarbeitung in die Bewertung der Publikationen zur Verfügung zu haben, wurde bereits vor Beginn der vorgesehenen systematischen Recherche eine Vorauswahl an thematisch geeigneten Publikationen als Arbeitsgrundlage ausgewählt. Hierzu wurden vor dem Hintergrund der Fragestellung und der Zielsetzung des Projektes Referenzen ausgewählt, von denen die Autoren aufgrund ihrer Erfahrungen von der Bedeutung dieser Publikationen wussten.

2.1.1 Veröffentlichungen bundesdeutscher und internationaler Einrichtungen

Ein Großteil der zur Auswertung erforderlichen Literatur stand bereits zu Beginn der Auswertung zur Verfügung. Es handelt sich hier um Publikationen des Bundesinstituts für Risikobewertung (BfR), des Bundesamtes für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL), der Länderbehörden, des UBA, der EFSA, der Europäischen Chemikalien Agentur (European Chemicals Agency, ECHA) und der WHO. Diese Publikationen standen auch als Ausgangspunkt für eine Recherche weiterer Publikationen zur Verfügung. Sie waren im Netz frei zugänglich und konnten ohne große Verzögerung auf Aktualität hin überprüft und direkt zur Begutachtung heruntergeladen werden. Es handelte sich um die 19 Monitoring-Berichte des BVL für die Jahre 2000 bis 2017 einschließlich, samt der zugehörigen Tabellenbände, die Veröffentlichungen zum Bundesweiten Überwachungsplan (BUPE) der Reihe BVL-Report und die Berichte zur Lebensmittelsicherheit (bis 2017). Außerdem wurden Berichte der EFSA zur Risikobewertung von Blei in diese erste Auswertung einbezogen.

2.1.2 Referenzen aus lokalen BfR-Literaturdatenbanken

In der BfR-Fachgruppe 34 werden folgende interne Literaturdatenbanken in EndNote geführt, die ebenfalls frühzeitig für das Projekt genutzt wurden:

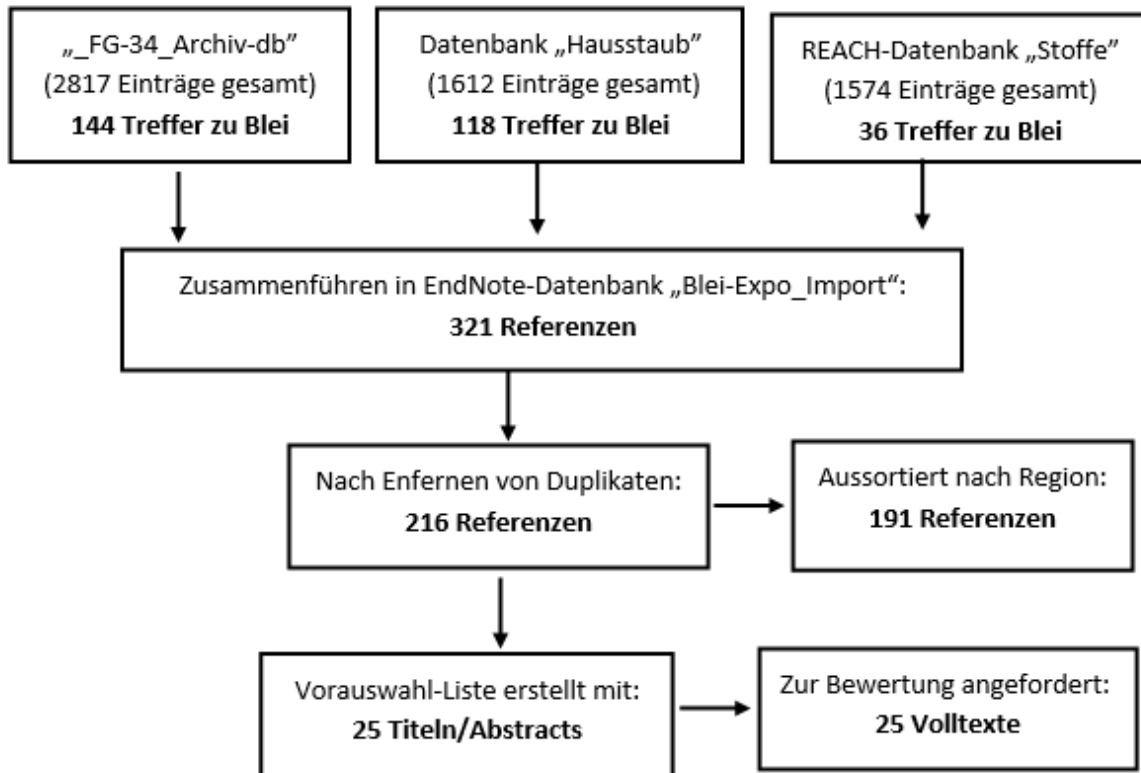
- ▶ die allgemeine Literaturarchiv-Datenbank der Fachgruppe „FG-34_Archiv-db“
- ▶ die „Stoffe“-Datenbank zur Erledigung regulatoriver Aufgaben im Rahmen der REACH-Regulation
- ▶ die „Hausstaub“-Datenbank

Diese Datenbanken wurden genutzt, um neben dem Bezug zu Lebensmitteln bereits im frühen Stadium auch Referenzen mit Daten zu Verbraucherprodukten und zu Hausstaub zu erhalten. Die Datenbank zum Thema Hausstaub war erst kürzlich in einem Projekt im Rahmen des Umweltforschungsplans (UFOPLAN) für das UBA am BfR erarbeitet worden (Klenow *et al.* 2016 unpubl.), und konnte daher bereits einen Beitrag an aktueller Literatur zu diesem wesentlichen Eintragungspfad leisten.

Aus diesen Datenbanken, deren Einträge bereits in der Fachgruppe als relevant für den Bereich Exposition ausgewählt worden waren, wurden zunächst nach Stichwortsuche zu Blei für den Zeitraum der Veröffentlichung 1998–2018 alle Referenzen in eine „Import“-Datenbank exportiert, Duplikate entfernt und die verbliebenen nach Region gescreent, um außereuropäische Arbeiten auszusortieren.

Die 25 verbliebenen Referenzen wurden mit Titel und Abstract in eine Liste aufgenommen zur Vorauswahl durch den Hauptautor, der alle 25 einer eingehenderen Untersuchung wert befand und somit alle 25 zugehörigen Volltexte zur Bewertung anforderte (siehe Abbildung 1).

Abbildung 1: Übernahme aus EndNote-Datenbanken der BfR-Fachgruppe 34



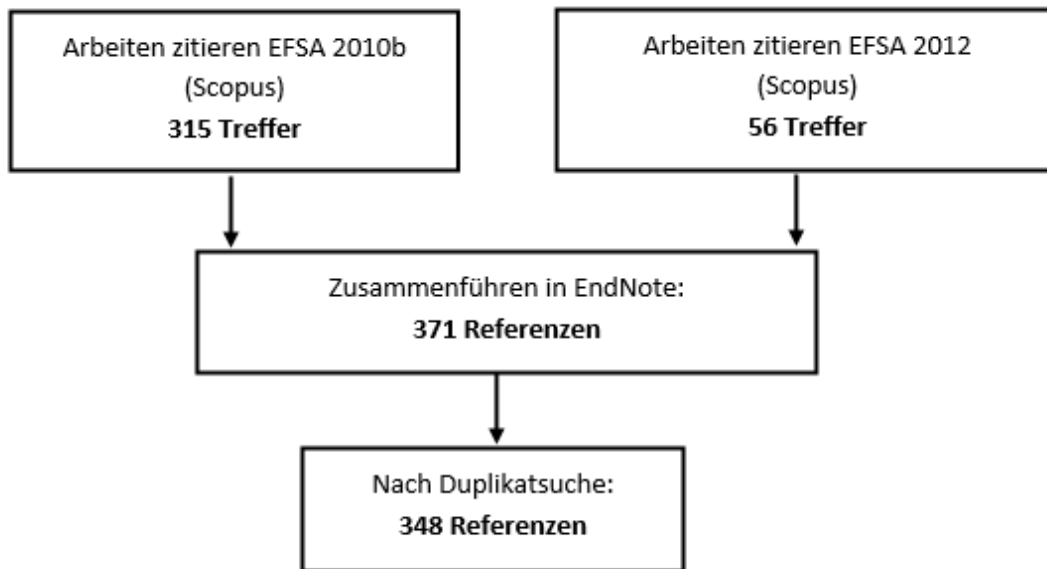
Literatursammlungen der BfR-Fachgruppe 24 „Expositionsschätzung und -standardisierung“
Quelle: eigene Darstellung, Bundesinstitut für Risikobewertung

2.1.3 Referenzen aus „Citation Search“ in Online-Literaturdatenbank „Scopus“

Die Studien der EFSA zur Blei-Exposition des Menschen durch Lebensmittel wurden bereits frühzeitig für dieses Projekt als wichtige Quellen zur Bearbeitung der anstehenden Fragestellung identifiziert. Da in diesen Bewertungen bereits relevante Arbeiten zitiert wurden, wurde in der Literaturdatenbank „Scopus“ ein „citation search“ durchgeführt. Dabei wurde nach Publikationen gesucht, in denen im Untersuchungszeitraum diese Studien zitiert worden waren.

Seit der Veröffentlichung von „Scientific Opinion on lead in food“ (EFSA 2010b) wurde diese Arbeit bis Ende Juni 2018 den Angaben der Datenbank nach 315-mal zitiert, und die neuere Publikation „Lead Dietary Exposure in The European Population“ (EFSA 2012) 56-mal, wobei in 23 Arbeiten beide Studien zitiert wurden. Somit wurden zunächst 348 Zitate in eine temporäre Arbeits-Datenbank in End-Note aufgenommen (siehe Abbildung 2).

Abbildung 2: Statistik der EFSA-Studien-Zitatsuche in SCOPUS



Publikationen 2010–2018 mit Zitierung der EFSA-Studien zu Blei in Nahrungsmitteln (2010b, 2012)
Quelle: eigene Darstellung, Bundesinstitut für Risikobewertung

2.2 Datenbank-Recherchen

Als Quellen für die Information über das Vorkommen von Blei und dessen Exposition für den Menschen wurden vornehmlich online zugängliche Literaturdatenbanken durchsucht. Auch Repositorien von Instituten oder staatlichen Einrichtungen wurden zu Rate gezogen. Hinweise zum Vorkommen von unerwünschten Stoffen in Produkten des täglichen Bedarfs liefert auch das Europäische Schnellwarnsystem für Verbraucherprodukte (Rapid Exchange System for Information; RAPEX)¹ und für Lebensmittel und Futtermittel das „Rapid Alert System Food and Feed“ (RASFF)². Die Zuständigkeit in Deutschland für RAPEX liegt bei der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA)³, für RASFF beim BVL⁴. Die Meldungen können im Einzelnen auf den jeweiligen Webseiten abgerufen werden.

2.2.1 Literaturdatenbanken

Der Auftrag zu diesem Projekt sah vor, dass für die Recherche der wissenschaftlichen Literatur eine systematische Literatursuche angewendet werden sollte. Die Suchstrategien in den Online-Datenbanken konzentrierten sich auf deren datenbankspezifisch kontrolliertes Vokabular.

2.2.1.1 Online-Literaturdatenbank „Scopus“ von Elsevier

Unter den am BfR zur Verfügung stehenden Online-Datenbanken wurde zunächst mit der Suche in der Datenbank „Scopus“ der niederländischen Firma Elsevier begonnen. Als von Menschen gepflegte und

¹ https://ec.europa.eu/consumers/consumers_safety/safety_products/rapex/alerts/

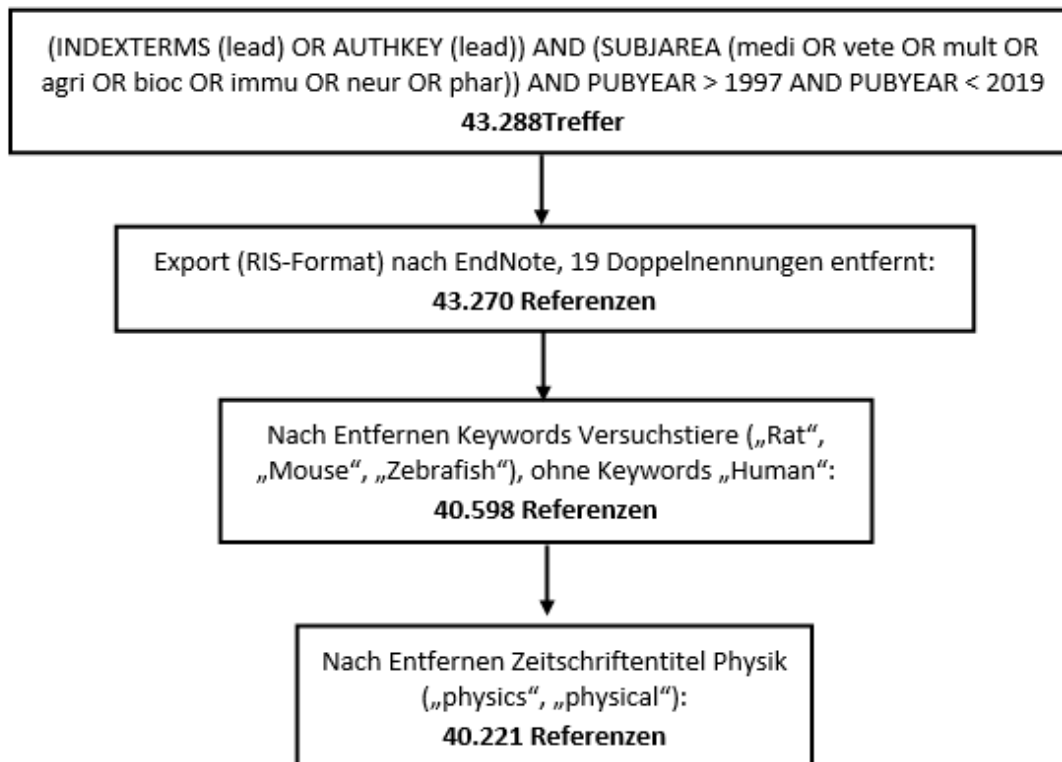
² https://ec.europa.eu/food/safety/rasff/portal_en

³ <https://www.baua.de/DE/Themen/Anwendungssichere-Chemikalienundprodukte/Produktsicherheit/Marktueberwachung/Rapex.html>

⁴ https://www.bvl.bund.de/DE/01_Lebensmittel/01_Aufgaben/04_Schnellwarnsystem/00_ueberblick/lm_schnellwarnsysteme_ueberblick_textbaustein.html

1–2mal wöchentlich aktualisierte Datenbank umfasst sie die Inhalte aus zwei medizinisch orientierten Literaturdatenbanken, „PubMed“ der U.S. National Library of Medicine (NLM) und „EMBASE“ (Excerpta Medica data BASE) aus dem Hause Elsevier, aber auch aus den Bio-, Geo- und Sozialwissenschaften und der Physik.

Abbildung 3: Suchbegriffe und Statistik der Suche in Scopus zum Import in eine EndNote-Arbeitsdatenbank



Quelle: eigene Darstellung, Bundesinstitut für Risikobewertung

Durch diese umfassende Abdeckung erschien die Datenbank Scopus angesichts der Komplexität des Themas am geeignetsten für den Einstieg in das Projekt, zumal sich hier die Schlagwortsuche neben den üblichen Suchen in Titel und Abstract feinjustieren ließ durch getrennte Kennwortgruppen: kontrollierte Kennwörter aus PubMed (MeSH, Medical Subject Headings) und EMBASE, freie Autorenkennwörter, und chemische Substanzen einschließlich deren international gebräuchlichen Identifikationsnummern nach dem System des CAS (Chemical Abstract Services). Zudem ließ diese Datenbank aufgrund der im Vergleich zu PubMed oder Web of Science höheren Anzahl erfasster Zeitschriften, Bücher und Konferenzbeiträge sowie die durch den Firmensitz in Europa umfassendere Berücksichtigung nicht-angelsächsischer Literatur eine für die vorliegende Fragestellung höhere Abdeckung erwarten.

Außerdem wurde hier die Übernahme der Referenzen in die EndNote-Datenbank dadurch erleichtert, dass die Autorennamen in der Regel sowohl ausgeschrieben als auch typographisch korrekt (einschließlich aller Sonderzeichen) importiert werden. Auch die Namen der Publikationsmedien wurden hier in richtiger Schreibweise angegeben, also nicht wie bei PubMed im „Sentence case“ (alles außer dem ersten Buchstaben kleingeschrieben), und auch gleich korrekt in das bei EndNote vorgesehene Feld importiert, also in vollständiger oder abgekürzter Schreibweise in die Felder „Journal Name“ bzw. „Alternate Journal“. Zur Suche wurde die Funktion „Advanced“ eingesetzt, wobei als Hauptkennwörter

aus dem kontrollierten Vokabular der INDEXTERM „Lead“, und aus den freien Autorenkennwörtern AUTHKEY „lead“ gewählt wurde. Dazu wurde die Suche eingeschränkt auf die Bereiche SUBJAREA Medizin, Veterinärmedizin, Agrar- und Biowissenschaften, Biochemie mit Genetik und Molekularbiologie, Immunologie und Molekularbiologie, Neurowissenschaften sowie Pharmakologie mit Toxikologie und Pharmazie. Zeitlich ließ sich die Suche nicht genauer einstellen als „nach 1997“ und „bis 2019“.

Daraus leitete sich der folgende Suchterm ab:

(INDEXTERMS (lead) OR AUTHKEY (lead)) AND (SUBJAREA (medi OR vete OR mult OR agri OR bioc OR immu OR neur OR phar)) AND PUBYEAR > 1997 AND PUBYEAR < 2019.

Dies ergab insgesamt 43.288 Treffer (letzter Zugriff: 28.10.2018). Der Suchterm wurde online auf der Scopus-Webseite abgespeichert zur eventuellen späteren Verwendung.

Da für PubMed die Ergebnisse einer entsprechenden Basisuche nach Blei innerhalb der vorgesehenen Zeitspanne von 20 Jahren zur weiteren Bearbeitung in eine EndNote-Datenbank überführt worden waren (aus den unter Abschnitt 2.1 angegebenen Gründen), wurden auch die Scopus-Rechercheergebnisse in eine EndNote-Datenbank überführt (siehe Abbildung 3).

2.2.1.2 Online-Literaturdatenbank „PubMed“ der U.S. National Library of Medicine (NLM)

Die Literaturdatenbank „PubMed“ der (NLM) wurde auch direkt verwendet (in Ergänzung zur MeSH-Verschlagwortung in Scopus), um hier durch die Nutzung anderer Eingrenzungen in der Nutzeroberfläche eine erfolversprechendere Suchstrategie entwickeln zu können. Die ersten Ergebnisse waren unbefriedigend und so erfolgte zunächst die Beschränkung auf das kontrollierte Vokabular der MeSH zu Blei im vorgegebenen Zeitrahmen 1998–2018.

Hierzu wurde auf der PubMed-Seite des NCBI (U.S. National Center for Biotechnology Information) die Option „Advanced“ angeklickt, und im Abschnitt „Builder“ die Dropdown-Liste „All Fields“ geändert zu „MeSH Terms“, und nach Eingeben des Suchbegriffs „Lead“ in das nebenstehende Eingabefeld die Suche gestartet. Die über 30.000 Treffer wurden dann noch eingegrenzt auf den zu untersuchenden Zeitrahmen, indem der Filter bei „Publication dates“ mit der „Custom range ...“ auf die vereinbarten „1998-07-01 to 2018-06-30“ eingestellt wurde. Auf die Anwendung der Filter „Humans“ oder den Ausschluss von „Other Animals“ wurde hingegen verzichtet, da dies auch Arbeiten etwa zu Jagdfolgen oder Fischereiprodukten ebenso ausschließen könnte wie auch Untersuchungen zu Wasser, Boden, Luft, Staub oder Hausstaub.

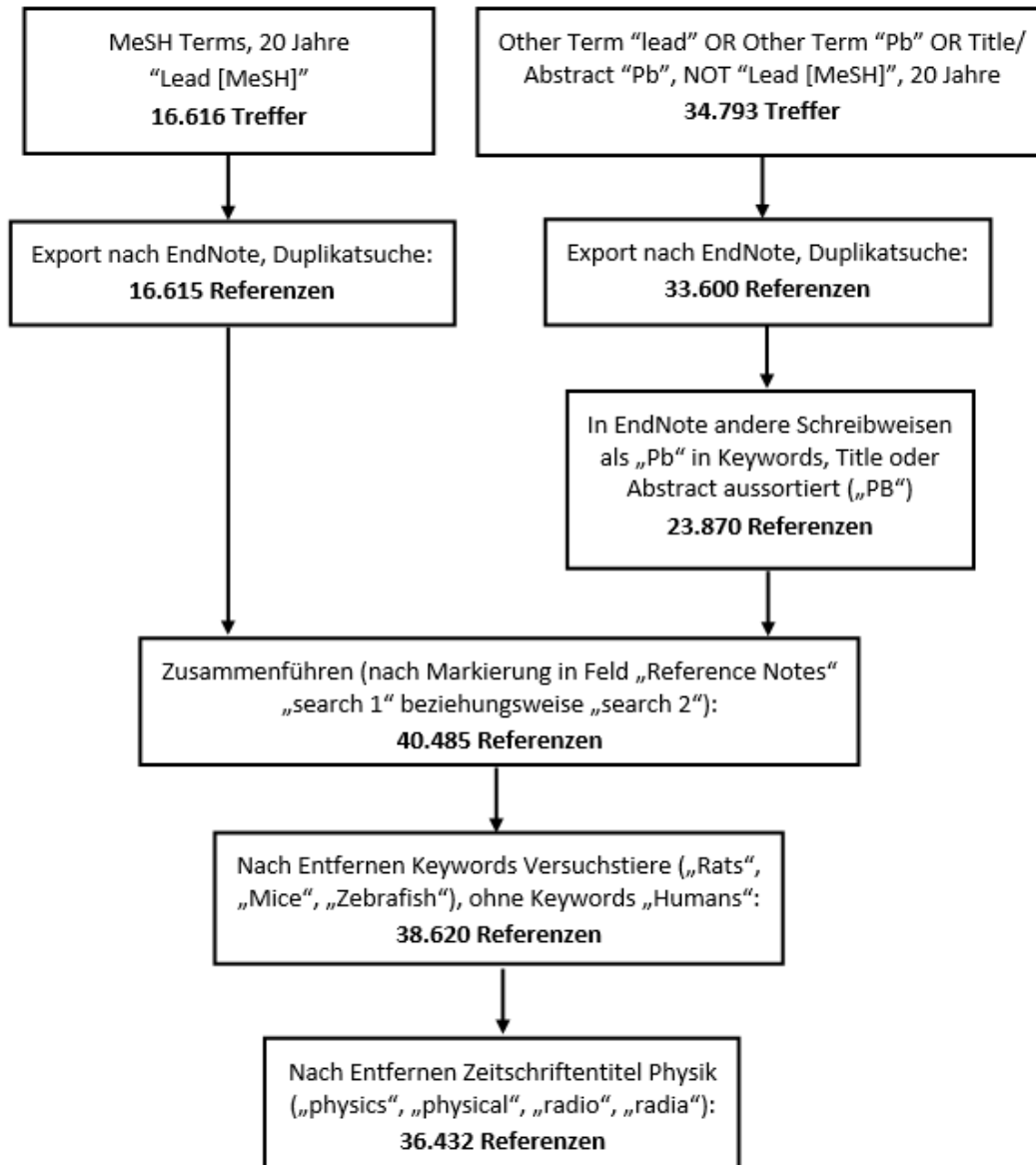
Um zu untersuchen, wie viele Arbeiten zu Blei in diesem Zeitraum durch diese Strategie nicht erfasst wurden, wurde eine zweite Suche angeschlossen. In dieser „Advanced“-Suche von PubMed wurde nach „Lead“ unter „Other Term“ sowie „Pb“ in „Title/Abstract“ gesucht (hier nicht „Lead“ wegen der erwähnten „führen“-Problematik). Ausschlusskriterium ist dabei „NOT Lead[MeSH Terms]“, und gefiltert wurde wieder auf den Zeitrahmen „1998-07-01 to 2018-06-30“.

Beide Suchstrategien ließen sich als Basis für weitere Suchoptionen online speichern, aber ebenso gut konnten deren Ergebnisse auch lokal in einer EndNote-Datenbank zusammengeführt werden, um hierin dann jeweils nach speziellen Fragestellungen zu suchen. Diese Vorgehensweise bot zudem weitere Vorteile:

- ▶ durch entsprechenden Importfilter („_PubMed-NLM_Bleiprojekt.enf“) konnten die Feldzuweisungen gleich global korrigiert werden
- ▶ ebenso global ließ sich eine Duplikatsuche über alle so gesammelten Blei-relevanten Referenzen durchführen
- ▶ typographische Anpassungen ließen sich per „Find and Replace ...“ durchführen
- ▶ bei der weiteren Suche konnte bei Suchbegriffen neben der genauen Wortkombination („Match Words“) auch nach Groß- oder Kleinschreibung („Match Case“) unterschieden werden

Letzteres kam zum Einsatz, um Arbeiten auszusortieren, bei denen „Pb“ nicht für Blei stand, sondern als „PB“ beispielsweise „peripheral blood“, „proton beam“, „prostate biopsy“, „Prussian Blue“, „porcine pancreatin and bile“ abkürzte. Zusätzlich noch grob bereinigt um Arbeiten ausschließlich mit Versuchstieren (Ratten, Mäusen, Zebrafischen) oder in Zeitschriften aus der Physik veröffentlicht (Physics, Physical, Radiation, Radioactive), diente diese EndNote-Datenbank „Import_PubMed“ mit 36.432 Einträgen (siehe Abbildung 4) dann neben der Datenbank „Import_Scopus“ (siehe Abbildung 3) als Basis für weitere gezielte Literaturrecherchen im Rahmen des Projekts.

Abbildung 4: Statistik der Suche in PubMed zum Import in die EndNote-Arbeitsdatenbank



Quelle: eigene Darstellung, Bundesinstitut für Risikobewertung

2.2.1.3 Online-Literaturdatenbank „Web of Science“ von Clarivate Analytics

„Web of Science“ von Clarivate Analytics (vormals Thomson Reuters) bietet weder einen Thesaurus noch eine nutzbare Kennwortliste – nicht einmal eine gezielte Suche in einem eigenen „Keywords“-Feld ist hier möglich. Einzig die „Topic“-Suche beinhaltet das „Keywords“-Feld, aber nur in Kombinati-

on mit „Title“ und „Abstract“ – was im Falle von „lead“ zum bekannten Problem mit dessen Mehrfachbedeutung führt. Die heruntergeladenen Referenzen enthalten sowohl Kennwörter, die die Autorinnen und Autoren selbst vergeben haben, als auch sogenannte „KeyWords Plus“. Diese lassen sich aber nicht gezielt durchsuchen, ohne Titel und Abstract einzuschließen. Kennwörter können einen Eindruck davon vermitteln, wie deren Erstellerinnen und Ersteller über ihre Arbeit denken, werden allerdings normalerweise als unkontrolliertes Vokabular angesehen – sie können noch als Suchbegriff in anderen Datenbanken verwendet werden, die Kennwort-Suchen bieten. „KeyWords Plus“ sind eine Art kontrolliertes Vokabular, das in „Web of Science“ vornehmlich aus den Titelangaben in der Literaturliste der betreffenden Publikationen generiert wird.

Da sich hier keine zielführende Kennwort-Suche durchführen ließ, wurde diese Literatur-Datenbank nicht verwendet.

2.2.1.4 Lokale EndNote-Arbeitsdatenbanken zur Zwischenspeicherung

Die Suche nach einzelnen Stichwörtern in den Literaturdatenbanken wurde dann nicht online durchgeführt, sondern in den beiden wie unter Abschnitt 2.2.1.1 und Abschnitt 2.2.1.2 beschriebenen EndNote-Datenbanken „Import_Scopus“ und „Import_PubMed“.

Auf eine Zusammenführung und darauffolgende Duplikatsuche wurde verzichtet, da diese erschwert würde durch die heterogenen Schreibweisen, in denen beide Datenbanken sich besonders in der Angabe von Autoren- und Quellennamen, teilweise auch Titelangaben unterscheiden. Vielmehr wurde für jeden Themenbereich, der spezifisch zu bearbeiten war, jeweils eine eigene temporäre EndNote-Datenbank erstellt, in welche dann diejenigen Suchergebnisse eingefügt wurden, die durch die jeweils anhand des Themas vorgegebenen Kennwörter generiert worden waren. Hier ließen sich Duplikate sehr viel leichter identifizieren.

In diesen temporären themenspezifischen Datenbanken wurden dann nach Durchsicht vornehmlich anhand der Titelangaben jeweils von Hand nicht-relevante Referenzen aussortiert und aus dem verbliebenen Rest jeweils eine Liste generiert mit den wesentlichen Angaben zu „Author“, „Title“ und „Abstract“ zur Vorlage beim Hauptautor dieser Studie. Dieser sichtete dann die Liste und entschied, zu welchen Zitaten Volltexte zu beschaffen waren für eine eingehendere Bewertung.

2.2.1.5 Lokale EndNote-Datenbanken zur Dokumentation

Zu jedem Volltext wurde anhand vorgegebener Schablonen ein Satz von Dateien zur Dokumentation im Word- und Excel-Format angelegt (siehe Abschnitt 2.3.1.3), jeweils einheitlich nach Erstautorin oder Erstautor und Publikationsjahr benannt. Sobald die Bewertungen vorlagen, wurden diese samt Volltext in die betreffende Referenz der temporären Datenbank in das Feld „File Attachments“ eingefügt. Abschließend wurden diese in die Projektdatenbank „Bleiprojekt_FKZ-2717-62-212-0“ überführt, wo wesentliche Auszüge aus den Bewertungsdateien „_Synopsis_<Volltextname>“ und „_Uebersicht_<Volltextname>“, Tabellenblatt „Bibliografie“, eingearbeitet wurden in ein lokal „Project Notes“ benanntes EndNote-Feld (generisch: „Custom 4“).

Die ebenfalls in „_Uebersicht_<Volltextname>“ im Tabellenblatt „Bibliografie“ anhand der Schlagwortliste in Abschnitt 6.1 vergebenen Kennwortkombinationen wurden in das „Project-Keywords“ benannte EndNote-Feld (generisch: „Custom 5“) übernommen und dort an die zweisprachige Schlagwortliste der zugewiesenen „Term List“ angepasst.

Dieses Excel-Tabellenblatt enthielt auch den jeweils vergebenen EndNote-Bewertungsscore (null bis fünf Sterne), der durch Anklicken der angegebenen Sternenzahl im EndNote-Feld „Rating“ übernommen wurde.

Durch diese Vorgehensweise soll den Nutzenden bereits bei Durchsicht der Datenbank ein erster Eindruck über wesentliche Aspekte der Bewertung einzelner Referenzen gegeben werden, ohne jede ein-

zelle Bewertungsdatei separat öffnen zu müssen – die aber für eingehendere Beschäftigung mit den einzelnen Arbeiten hier stets zur Verfügung steht.

2.2.1.6 Recherchebeispiel der relevanten Literatur in EndNote nach Themen

Ausgangspunkte der in EndNote durchgeführten Recherchen waren die aus den Literaturlistenbanken importierten Referenzen. Die für die Recherchen verwendeten Stichwörter wurden auf der Basis der in der Schlagwortwortliste (siehe Absatz 2.3.1.2 und Liste im Anhang 6.1) befindlichen Stichwörter vorgenommen.

Abbildung 5: Beispiel der Recherche in der EndNote-Arbeitsdatenbank für „Trinkwasser“

KW: Lead Pub-Year 1998 . 2018				KW: Lead Pub-Year 1998 . 2018			
n = 43246				n = 43246			
All: Concentration n=19.053	All: Content n=6.162	All: Poisoning n=6.493	All: Exposure n=31.095	All: Concentration n=19.053	All: Content n=6.162	All: Poisoning n=6.493	All: Exposure n=31.095
All: Drinking water				All: Drinking water			
n=850	n=236	n=455	n=764	n=850	n=236	n=455	n=764
All: Europe				All: Germany			
n=38	n=9	n=16	n=44	n=36	n=6	n=12	n=26
n=48 (3 bewertet/aussortiert, 7 DE)				n=43 (4 bewertet/aussortiert)			
Ausgabe der Listen mit Abstract				Ausgabe der Listen mit Abstract			
ausgewählt 0				ausgewählt 10			

Quelle: eigene Darstellung, Bundesinstitut für Risikobewertung

Auf der ersten Ebene wird nach den Stichwörtern „Concentration“, „Content“, „Poisoning“ und „Exposure“ gesucht. Die Stichwörter „Concentration“ und „Content“ sollen Publikationen identifizieren, in denen über Messungen berichtet wird. Der Begriff „Poisoning“ zielt auf Publikationen, in denen über schwere Vergiftungen berichtet wird. Diese liefern Informationen über Produkte, die Blei in großen Mengen abgeben. Der Begriff „Exposure“ liefert expositionsbezogene Publikationen. Die Trefferquoten sind in Abbildung 5 für das Beispiel Trinkwasser angegeben. Die nächste Recherche-Ebene erfolgt mit dem Haupt-Kennwort „Drinking water“ und weiter für „Europe“ und „Deutschland“. Von diesem Ergebnis werden Listen mit den Abstracts erstellt.

Das Schema der Recherche zeigt die Notwendigkeit der differenzierten Betrachtung der einzelnen Themenbereiche auf und letztlich auch die Notwendigkeit der händischen Nacharbeit. Eine Bewertung der Qualität und Unsicherheit ist auf dieser Stufe noch nicht erfolgt.

2.2.2 Datenbank RAPEX

Um im Rahmen der gesetzlichen Aufgaben Informationen über unerwünschte Stoffe in Produkten bei der Einfuhr in die Europäische Union von den Kontrollstellen an die zuständigen nationalen Behörden weiterleiten zu können, wurde in der Europäischen Union das RAPEX-System eingeführt. Mit dieser Datenbank können Grenz-, Zoll- und Überwachungsbehörden schnell Informationen über unerwünschte Stoffe oder Überschreitungen von Höchstwerten in Produkten übermitteln und austauschen. Diese Informationen sind allerdings im statistischen Sinne zufällig erhoben und daher nicht repräsentativ. Aus dieser Datenbank können Informationen über das Vorkommen und die Konzentrationen von Blei in Verbraucherprodukten recherchiert werden. Berichte werden wöchentlich veröffentlicht. Die

Datenbank enthielt bis zum Zeitpunkt 1.6.2018 insgesamt 23.309 Eintragungen. Die RAPEX-Datenbank kann aufgerufen werden unter folgendem Link:

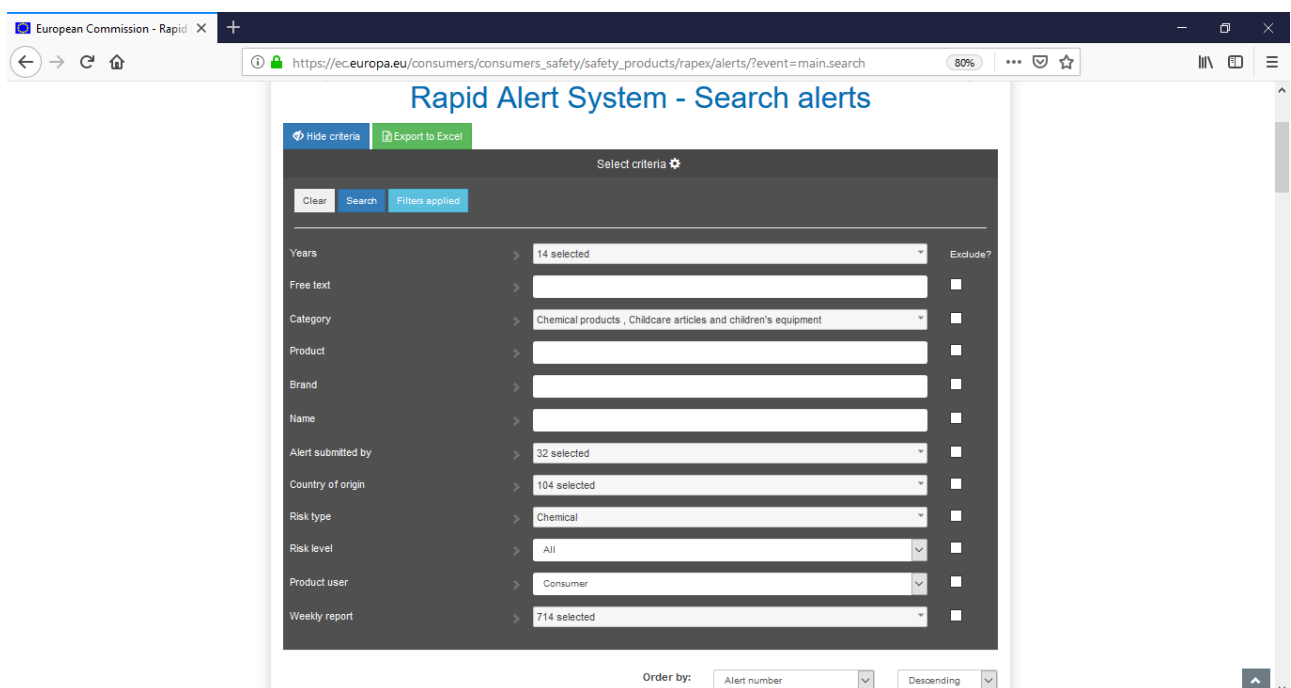
https://ec.europa.eu/consumers/consumers_safety/safety_products/rapex/alerts/

Die Suche in der RAPEX-Datenbank folgt der vorgegebenen Struktur (siehe Abbildung 6).

Sie richtet sich nach folgenden vorgegebenen Kriterien:

- ▶ Years: Es kann maximal bis zum Jahr 2005 zurück gesucht werden (14 Jahre)
- ▶ Free Text: ausgefüllt durch „Lead“
- ▶ Category: z. B. Chemical products;
Childcare articles and Children’s equipment
- ▶ Product: nicht ausgefüllt
- ▶ Brand: nicht ausgefüllt
- ▶ Name: nicht ausgefüllt
- ▶ Alert submitted by: alle Länder (32)
- ▶ Country of origin: alle Länder (104)
- ▶ Risk type: chemical
- ▶ Risk level: alle
- ▶ Product user: consumer

Abbildung 6: Suchmaske der RAPEX-Datenbank mit den Einträgen



Quelle: RAPEX-Datenbank

Nach Inhaltsstoffen kann nur über eine Volltextsuche gesucht werden. Dies hat eine intensive Nacharbeit der Suchergebnisse als Konsequenz, da der Begriff „lead“ im Englischen wie auch „Blei“ im Deutschen mehrere Bedeutungen haben kann. Die Recherchen wurden in der englischen Version durchgeführt.

In der RAPEX-Datenbank wurden die Produktkategorien Spielwaren (Toys), Kinderausstattung (Childcare articles and children’s equipment), Kosmetika (Cosmetics), Dekoration (Decorative artic-

les), Schmuck (Jewellery), Hobby und Sport (Hobby and Sports equipment), Spielzeug (Toys) sowie Bekleidung, Textilien und Modeartikel recherchiert. Anschließend wurde noch eine manuelle Nachbearbeitung angeschlossen, um verbliebene Meldungen auszuschließen, die nicht Blei zum Thema hatten. Die RAPEX-Trefferliste kann zur weiteren Bearbeitung als Excel-Datei heruntergeladen werden.

2.2.3 Datenbank RASFF

Ähnlich wie die RAPEX-Datenbank für unerwünschte Stoffe in Verbraucherprodukten ist die RASFF-Datenbank angelegt, um entsprechende Informationen zu Stoffen in Lebens- und Futtermitteln sowie in Behältern, mit denen Lebensmittel in Kontakt kommen können, mitzuteilen. Bei Letzterem handelt es sich vornehmlich um Keramik und Glasgefäße. Über eine Suchmaske (siehe Abbildung 7) ist eine schnelle und effektive Suche möglich. Insgesamt lagen am 2. 2.2019 in der Datenbank 50.496 Meldungen vor. Die Zahl erhöht sich laufend, Abweichungen von dieser Zahl sind daher möglich.

Abbildung 7: Suchmaske der Datenbank RASFF

Quelle: RASFF-Datenbank

Beide Datenbanken (RAPEX und RASFF) liefern Informationen, die von Behörden eingestellt werden. Sie werden nicht systematisch erhoben, sondern haben als Befunde aus Kontrollen (Stichproben) einen zufälligen und damit informativen Charakter für Expositionsfragen. Sie sind auch nicht repräsentativ, können aber wertvolle Hinweise für weitere Untersuchungen liefern.

2.3 Literatúrauswahl und Bearbeitung

2.3.1 Auswertekonzept

Für die Bewertung der Publikationen wurden zur formalen und transparenten Darstellung der Bewertungen in einer Entwicklungs- und Erprobungsphase folgende Arbeitsinstrumentarien und -verfahren konzipiert:

- a) Eine Auswahl der Publikationen zur Erprobung des Konzeptes
- b) Entwicklung von Schlagwortlisten zur späteren Einordnung der Publikationen
- c) Entwicklung von Formularen zur Dokumentation
- d) Klassifizierung der Publikationen

2.3.1.1 Auswahl der Publikationen

Die bibliographischen Daten der in Kapitel 2.2.1 erwähnten Publikationen wurden zunächst in eine vorläufige EndNote-Arbeitsdatenbank aufgenommen. Aus der Datenbank heraus wurde eine Liste der Publikationen mit Titel und Abstract erstellt. Die so vorsortierten Zitate wurden dann einschließlich des Abstracts aus EndNote heraus als Liste exportiert zur weiteren Vorab-Auswahl.

Diese Listen wurden dann vom Hauptberichterstatter näher auf ihre mögliche Verwendung für das Projekt untersucht. Dabei wurde aufgrund der bestehenden langjährigen Expertise geprüft, ob die Arbeiten relevante Informationen zur internen oder externen Exposition enthalten. Das Ergebnis wurde rückgemeldet zur Online-Beschaffung der Volltexte oder, sofern sie nicht frei verfügbar sind, durch Zugriff über Subskriptionen des BfR. Die Volltexte samt abgeschlossener Bewertungen wurden dann in die eigentliche Projektdatenbank eingearbeitet. Insgesamt wurden zur konzeptionellen Entwicklung bis zum 31.7.2018 43 Publikationen ausgewertet.

2.3.1.2 Schlagwortlisten und Schlagwortvergabe

Als Basis für die Recherche und die anschließende Dokumentation wurde eine Stichwortliste (siehe Abschnitt 6.1, Anhang A) erarbeitet. Die Liste enthält Stichwörter, die in der täglichen Arbeit im BfR für Literaturrecherchen verwendet werden. Sie wurde bereinigt und ergänzt um systematische Aspekte für die spezielle Recherche, die für die Eintragungspfade von Blei durchgeführt wird. Die Vergabe der Stichwörter für die dann gefundenen und dokumentierten Arbeiten erlaubt eine eindeutige Zuordnung über unterschiedliche Themenebenen. Die Liste wird als dynamische Tabelle geführt. Das bedeutet, dass sie sich aufgrund der weiter unten beschriebenen Aus- und Bewertungen der Qualität der Publikationen (siehe Kapitel 2.3.3) laufend erweitert. Es können pro Publikation mehrere Stichwörter vergeben werden. Nach Beendigung des Projektes enthält die Stichwortliste auf der Basis eines dreistufigen Thesaurus 23 Oberbegriffe (1. Stufe). Diesen sind jeweils bis zu 218 Begriffe auf der mittleren Stufe zugeordnet. Auf der dritten Stufe kann insgesamt nach 709 Eintragungen recherchiert werden. Für alle Arbeiten werden im Dokument „Übersicht“ (siehe Kapitel 2.3.1.4) vom Auftragnehmer Schlagwörter vergeben. Ein Beispiel für die Zuordnung in einer in EndNote aufgenommenen und bewerteten Referenz gibt die folgende Tabelle 1.

Die Liste verfolgt zwei Ziele, erstens eine Hilfestellung für das Recherchekonzept zu liefern und zweitens die identifizierten Publikationen anhand eines mehrstufigen Thesaurus zu klassifizieren.

Tabelle 1: Stichwortliste für die Publikation „Etchevers *et al.* (2015)“

Erste Ebene	Zweite Ebene	Dritte Ebene
Monitoring	Biomonitoring	HBM
Population	Alter	Kinder
Boden/Staub	Hausstaub	
Wasser	Trinkwasser	
Verbraucherprodukt	Farben/Lacke	
Verbraucherprodukt	Kosmetik	
Verbraucherprodukt	Haushalt	Keramik
Verbraucherprodukt	Tabak	Tabak

Die Schlagworte zeigen, dass es sich um eine Monitoringstudie mit Human Biomonitoring (HBM) bei Kindern handelt, die neben den Messungen von Blei im Blut die Schwerpunkte auf die Quellen Boden/Hausstaub, Trinkwasser und verschiedene Verbraucherprodukte (Farben/Lacke, Kosmetika, Keramik und das Rauchen) legt.

2.3.1.3 Entwicklung von Formularen zur Dokumentation

Nach Einordnung der Publikationen nach inhaltlichen Schwerpunkten werden diese klassifiziert. Zunächst wird eine kurze Inhaltsangabe der Publikation angefertigt, aus der das Ziel und die Fragestellung der Arbeit und Wissenswertes zur Durchführung der Untersuchung hervorgehen.

Für jede der zu bewertenden Publikationen werden die folgenden Dateien angelegt und in der EndNote-Datenbank mit der jeweiligen Referenz verknüpft. Diese Dateien erhalten eine charakteristische und einmalige Kurzbezeichnung, die das Dokument eindeutig identifiziert. Sie können dadurch über die EndNote-Datenbank leicht abgerufen werden.

Synopse

In einem Text-Dokument mit der Bezeichnung „_Synopse_<Label>.docx“ wird jeweils ein Text präsentiert, der die Informationen und Einschätzungen zu der Publikation kurz zusammenfasst (vergl. Beispiel in Kapitel 6.2 im Anhang A). Es werden auch, sofern möglich und angemessen, die wichtigsten Ergebnisse dargestellt.

Übersicht

Der in der Synopse niedergelegten textlichen Beschreibung der Arbeit folgt eine systematische Zuordnung nach festgelegten Klassifizierungen, die durch eine Zuordnung nach Schlagwörtern aus der Schlagwortliste ergänzt wird.

Das Dokument „_Uebersicht_<Label>.xlsx“ stellt eine Tabelle dar, die die wichtigsten bibliographischen Daten, die Klassifizierung und die Bewertungsergebnisse zusammenfasst (vergl. Beispiel Kapitel 6.3 im Anhang A). Die Einträge sind mit weiteren erläuternden Tabellen per Hyperlink und mit EndNote verknüpft. Sofern die Studie oder der Survey einen Namen oder ein Akronym hat, wird dies hier ebenfalls vermerkt.

⁵ Der „Label“ setzt sich zusammen aus den Initialen und einer Kurzbezeichnung des Namens, bei Institutionen aus der Abkürzung oder dem vollen Namen, und dem Publikationsjahr.

Die Datei enthält außerdem die Zusammenfassung der Ergebnisse der nachfolgenden Qualitäts- und Unsicherheitsbewertungen mit den Begründungen für die Bewertung.

In dieser Datei werden auch, sofern erforderlich, numerische Auswertungen und Berechnungen zu der zu referierenden Arbeit gemacht, und erläuternde Tabellen und Abbildungen angelegt.

2.3.1.4 Klassifizierung

In der Tabelle „Listen“ in der Datei „_Uebersicht_<Label>.xlsx“ werden die in Kapitel 2.3.1.2 aufgeführten Kategorien aufgelistet (siehe Tabelle 2), nach denen die betreffende Publikation klassifiziert wird.

Kriterienliste „Publikationen“

Primärliteratur

Als Primärliteratur werden originäre Arbeiten eingestuft, die in wissenschaftlichen Fachzeitschriften nach einem Gutachterverfahren veröffentlicht wurden. In EndNote sind diese Publikationen als „Journal Article“ klassifiziert.

Primärliteratur wird hinsichtlich ihrer Qualität und Unsicherheit bewertet (siehe Kapitel 2.3.3). Unter bestimmten Voraussetzungen kann diese Bewertung pauschal erfolgen, oder es kann darauf verzichtet werden. Letzteres trifft zu, wenn zu einem Thema Serien von Publikationen erscheinen, die nach dem gleichen Muster erstellt sind und bei denen auch auf dieselbe Datengrundlage zurückgegriffen wird. Pauschale Beurteilungen können bei Mitteilungen erstellt werden, bei denen z. B. Nebenaspekte angesprochen werden oder deren Inhalte nicht direkt für das Vorhaben relevant sind.

Forschungsberichte

Hierunter fallen Publikationen, die nicht nach einem Gutachterverfahren publiziert wurden. Dies kann für Berichte aus Behörden und Forschungsinstituten, die ein eigenes Publikationsverfahren (Eigenverlag) haben, zutreffen. In EndNote sind diese Publikationen als „Report“ klassifiziert.

Forschungsberichte werden hinsichtlich der Bewertung von Qualität und Unsicherheit wie Primärliteratur behandelt.

Behördliche Stellungnahmen und Mitteilungen

Diese Publikationen stützen sich hauptsächlich auf bereits publizierte Daten, mit einem Fokus auf bestimmte und aktuelle Probleme. Als aktuelles Beispiel sei in diesem Zusammenhang die Diskussion um die Exposition mit Blei durch den Verzehr von Wildfleisch genannt. Hierzu existiert eine Reihe von Publikationen, in denen Konzentrationen von Blei im Wildfleisch beschrieben werden. Für Deutschland seien hier die aktuellen Veröffentlichungen von Müller-Graf *et al.* (2017) und Gerofke *et al.* (2018) angeführt. Sämtliche Publikationen, Vorträge, Diskussionsbeiträge und Stellungnahmen des BfR beziehen sich auf diese primären Daten und werden daher nicht weiter diskutiert. Dasselbe Vorgehen wird auch für andere Bereiche angewendet, sofern es den Berichterstattern möglich ist, die Zusammenhänge zu beschreiben und Primärliteratur existiert. Auch die Berichte über die Exposition mit Blei in der deutschen Bevölkerung (Blume *et al.* 2012; Schneider *et al.* 2014) basieren auf den Daten des Lebensmittel-Monitorings (LMM) und werden daher in der Datenbank als Expositionsstudie und nicht als Monitoringstudie aufgeführt.

Behördliche Stellungnahmen werden nicht hinsichtlich ihrer Qualität und Unsicherheit bewertet.

Es existiert zum Thema Blei eine große Zahl behördlicher Stellungnahmen. Diese Sekundärliteratur bezieht sich inhaltlich neben wissenschaftlicher Literatur auf andere Primärquellen (z. B. Leitfäden, Richtlinien und andere regulative Publikationen) und wird daher nicht weiter bewertet. Häufig werden Expositions-betrachtungen auf der Basis von Höchstwerten erstellt. Diese Publikationen geben für die hier gestellten Fragen keine adäquaten Antworten. Sie können vielmehr Hinweise auf Schwer-

punkte zukünftiger Forschungsansätze zum Thema „Blei in Verbraucherprodukten und deren Migrationsverhalten“ oder „Verbraucherverhalten beim Umgang mit ...“ geben und werden daher in der Datenbank mitgeführt, aber nicht bewertet.

Sogenannte weitere graue Literatur

Sofern originäre Daten mit angemessener Qualität identifiziert werden können, werden diese Publikationen wie andere Publikationen verwendet und unter die drei Haupttypen eingegliedert. Diese umfassen Mitteilungen jeglicher Art, die nicht unter die o. g. Kategorien fallen. Hierzu zählen Presseberichte, Berichte von Interessenverbänden und Organisationen oder Einzelpersonen. In EndNote sind diese Publikationen als „Manuscript“, „Newspaper Article“, „Pamphlet“ o. ä. klassifiziert.

Die Entscheidung zur Bewertung von Qualität und Unsicherheit wird von Fall zu Fall getroffen. In der Regel wird keine Bewertung vorgenommen. Die Publikationen werden aber in der Auswertung der Daten berücksichtigt.

Weitere Klassifizierung

Wie die Graue Literatur werden auch Publikationen behandelt, die als Buchkapitel, Tagungsband, Tagungsbeitrag klassifiziert sind.

Dissertationen werden nach Qualität und Unsicherheit bewertet, da sie vollwertige wissenschaftliche Studien darstellen.

Kriterienliste „Art der Studie“

Zur Differenzierung der Ergebnisse der verschiedenen Studien erscheint es sinnvoll, drei Typen von Studien zu unterscheiden: Monitoring-Studien, HBM-Studien und Studien zur Exposition (auch mit Beschreibung des Risikos), die im Folgenden aus systematischen Gründen als „Expositionsstudien“ bezeichnet werden. Falls Studien mit bestimmten Namen oder Akronymen bezeichnet sind, wird dies vermerkt. Dadurch können verschiedene Publikationen aus einem Forschungsprojekt gemeinsam in der EndNote-Literaturdatenbank recherchiert werden.

Metaanalysen

Hier handelt es sich in den meisten Fällen um von internationalen Behörden erstellte wissenschaftliche Stellungnahmen (z. B. der EFSA, JECFA (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives)). Oft sind Expertengruppen an der Erarbeitung beteiligt. Die Berichte gehen teilweise über die übliche Definition der Metaanalyse hinaus, da sie noch ergänzende Aspekte (z. B. Risikocharakterisierungen und weitere Analysen) enthalten. Aus Gründen der Praktikabilität wird aber der Begriff der Metaanalyse verwendet. In EndNote sind diese Publikationen je nach der Publikationsform als „Journal Article“ oder „Report“ klassifiziert.

Monitoring-Studien

In dieser Klassifizierung werden als Monitoring alle Messungen, die das Vorkommen von Blei beschreiben, zusammengefasst. Es handelt sich hierbei um alle Berichte, in denen Ergebnisse von Messungen publiziert sind.

In die Kategorie „Monitoring-Studien“ fallen alle Publikationen, in denen Messergebnisse von Blei in Lebensmitteln, Produkten des täglichen Bedarfs, Hausstaub, Wasser und anderen „Produkten“ enthalten sind.

Der wichtigste Vertreter von Monitoring-Studien für Deutschland ist das LMM, das über die gesamte Zeit durchgeführt wurde, die dieses Projekt betrachtet. Die Ergebnisse der Messungen liegen für die Zeit von 1998 – 2002 in einem zusammenfassenden Bericht vor, ab 2003 wurden jährlich Berichte veröffentlicht. Die Messungen im LMM werden in 5-jährigen Perioden nach einem vorher festgelegten

Plan durchgeführt. Wird demnach in einem Jahresbericht ein Lebensmittel genannt, dann beziehen sich die Messungen auf die fünf vorhergehenden Jahre.

Seit 2010 wurden auch Messungen der Konzentrationen in Gebrauchsgegenständen und Kosmetika durchgeführt sowie Messungen zur Freisetzung der Stoffe („Lässigkeit“).

Zur systematischen Messung von Konzentrationen von Blei in Produkten steht analog das in vielen Ländern durchgeführte Konzept der (Total Diet-Studie) TDS zur Verfügung. Dieses Konzept könnte auf andere Produkte übertragen werden. Entsprechende Daten sind für Deutschland noch nicht verfügbar, die Studie wird zurzeit am BfR durchgeführt. Die ersten Ergebnisse werden für 2019 erwartet.

Eine größere Zahl von Untersuchungen steht auch für den Hausstaub und Migration von Stoffen aus Produkten zur Verfügung.

Hinzu kommen gezielte, nicht-systematische Messungen. Bei diesen handelt es sich um Einzelstudien, bei denen Blei in den verschiedensten Medien (z. B. Tee) und mit unterschiedlichen Fragestellungen und Zielen (z. B. Vergleich kontaminierter versus nicht-kontaminierter Bereich) gemessen wurde.

Die Ergebnisse des BUeP fließen nicht in diese Betrachtung ein. Bei diesem Messprogramm steht die Einhaltung der Vorschriften (z. B. Höchstgehalte) im Vordergrund. Der BUeP ist ein risikoorientiertes Messprogramm, dessen Ergebnisse in diesem Projekt keine Aussage über Trends erlauben. In den Jahresberichten wird nur die Zahl der Höchstgehalt-Überschreitungen angegeben. Die Messergebnisse selbst werden vom BVL auf Anfrage an die Behörden weitergegeben.

Seit dem Jahre 2010 werden in den Berichten zum LMM auch die Konzentrationen von Blei in Bedarfsgegenständen und die Bleilässigkeit berichtet. Diese beschreibt die Menge an Blei, die durch physikalische oder chemische Prozesse (z. B. durch Abreiben, Abschaben oder durch Lösung mittels Säurehaltiger Flüssigkeit) freigesetzt wird. Die Lässigkeit nach DIN EN 71-3 bestimmt damit eine simulierte Menge der Freisetzung, die durch Verschlucken aufgenommen werden kann. Sie gibt damit eine Vorstellung von der Menge, die durch Migration für die Aufnahme zur Verfügung steht.

Human-Biomonitoring-Studien

Die interne Exposition wird durch die Menge von Blei im menschlichen Organismus beschrieben, und zwar durch Messungen in Blut, Urin, Haaren und Zähnen. Alle Messungen der Konzentrationen der internen Exposition werden als HBM zusammengefasst.

Interne Exposition betrachtet **immer** die gesamte Exposition, alle Quellen und Pfade gemeinsam. Aus diesem Grunde wurde bei der Klassifizierung der Publikationen die interne Exposition entsprechend klassifiziert. Eine Differenzierung nach einzelnen Quellen und Pfaden ist bei der Bewertung der internen Exposition nicht möglich. Daher müssen externe und interne Expositionsschätzungen gemeinsam betrachtet werden, um Maßnahmen zur Reduktion der Exposition – sofern als erforderlich angesehen – einleiten zu können.

Expositionsstudien

Als dritte Kategorie werden Expositionsstudien differenziert aufgeführt. In diesen wird neben der Messung der Konzentrationen von Blei in den verschiedenen Medien auch eine quantitative Schätzung der Exposition vorgenommen. Teilweise wird auch eine Risikocharakterisierung und -bewertung vorgenommen.

Kriterienliste „Exposition“

Auf der Kriterienliste „Exposition“ (siehe Tabelle 2) wird vermerkt, ob es sich um externe oder interne Exposition oder beides handelt, oder ob ein weiteres, allgemeines Thema bearbeitet wird. Die externe Exposition beschreibt die Quelle, den Pfad und die Höhe der Exposition. Sie wird durch das Vorkom-

men von Blei in Produkten und Medien bestimmt. Handelt es sich hierbei z. B. um Lebensmittel, Verbraucherprodukte (Haushaltsprodukte, kosmetische Produkte, Spielwaren, Hobbyprodukte), so wird die Exposition als „externe Exposition“ klassifiziert. Hinzu kommen die Atemluft (an Feinstaub gebunden) sowie Hausstaub und Boden als Ausdruck eines kumulativen Expositionspfades für Blei als nichtflüchtigen Stoff.

Die interne Exposition beschreibt die Mengen eines Stoffes im menschlichen Körper sowie dessen Verteilung und Elimination.

Sofern die Publikation als „interne Exposition“ klassifiziert wurde, muss die Einteilung für „Art der Studie“ „HBM“ und die Quelle der Exposition „mehrere Quellen“ oder „alle Quellen“ lauten.

Kriterienliste „Quellen der Exposition“

Die systematische Beschreibung der Quellen, aus denen Blei stammt und freigesetzt werden kann, ist unerlässlich für dieses Projekt. Der Begriff „alle Quellen“ wird nur dann ausgewählt, wenn unter „Exposition“ die Kategorie „interne Exposition“ gewählt wurde.

Die verwendeten Kategorien der Klassifizierung sind in der Tabelle 2 aufgeführt.

Tabelle 2: Kriterien der Klassifizierung der Publikationen (in Datei „_Übersicht“)

Publikation	Art der Studie	Exposition	Quellen der Exposition
Journal Article	Metaanalyse	Interne Exposition	Lebensmittel
Forschungsbericht	Monitoringstudie	Externe Exposition	Haushaltsprodukte
Pressebericht	Expositionsstudie	Exposition, allgemein	Kosmetika
behördliche Stellungnahme	HBM Studie	externe und interne Exposition	Spielzeug
sog. Graue Literatur	Review		Hobbyartikel
Buchkapitel	nicht klassifiziert		Textilien
Tagungsband			Do it yourself
Tagungsbeitrag			Genussmittel
Dissertation			Muttermilch
			Übertragung Mutter–Foetus
			Trinkwasser
			Hausstaub
			Bleihaltige Munition
			Umwelt
			Abfall
			Medizinprodukt
			mehrere Quellen
			alle Quellen

2.3.2 Ein- und Ausschluss von Studien zur Bewertung

2.3.2.1 Allgemeine Kriterien

Publikationen, die Informationen zu Blei in den verschiedenen Quellen der Exposition mit Bezug auf Deutschland im engeren und auf Europa im weiteren Sinne liefern und die zwischen 1998 und 2018 (Stichtag 1. Mai) publiziert sind, wurden einbezogen. Mit wenigen Ausnahmen wurden Publikationen ohne diesen Bezug ausgeschlossen. Ausnahmen sind z. B. grundlegende Studien zu Prozessen, wie z. B. der Migration von Blei aus Produkten, was unabhängig von regionalen Aspekten ist. Einbezogen werden auch Studien aus außereuropäischen Ländern, die europäische Import- oder Exportprodukte behandeln.

Bestimmte Publikationen wurden hinsichtlich der untersuchten Populationen ein- bzw. ausgeschlossen. Diese Populationen können in drei folgenden Hauptgruppen eingeteilt werden:

2.3.2.2 Belastung und Belastungsquellen der allgemeinen Bevölkerung

Die Belastung der allgemeinen Bevölkerung berücksichtigt die tägliche und langfristige Aufnahme von Blei, die durch regelmäßige Aufnahme erfolgt. Eine wichtige Quelle ist die Aufnahme von Blei über den Verzehr von Lebensmitteln. Bestimmte Verbraucherprodukte (z. B. elektronische Geräte, Kaffeemaschinen, bleihaltiges Spielzeug, Kosmetika, Behälter für Lebensmittel) kommen als Quellen ebenfalls infrage. An dieser Stelle muss der Hausstaub als Vehikel für Blei eingerechnet werden. Durch Abrieb und andere physikalische Mechanismen kann Blei migrieren und als nicht flüchtiger Stoff im Hausstaub kumulieren.

Alle Arbeiten, die die Belastung der allgemeinen Bevölkerung beschreiben, werden in die Analyse der Daten aufgenommen und diskutiert.

2.3.2.3 Die besondere Belastung bestimmter Populationen und Regionen

Bleimunition

Wildfleisch gehört zu den am höchsten mit Blei belasteten Lebensmitteln. Eine wesentliche Ursache dafür ist die bei der Jagd verwendete Bleimunition, die im geschossenen Wild Bleipartikel hinterlassen kann. In den vergangenen Jahren wurde sehr intensiv die Frage nach der Bleibelastung durch den Verzehr von Wildfleisch diskutiert. Es kann als bewiesen gelten, dass der häufige Verzehr von Wildfleisch zu erheblichen Belastungen führt. Umfangreiche Daten wurden hierzu in einem deutschlandweit durchgeführten Projekt erhoben (Gerofke *et al.* 2018; Müller-Graf *et al.* 2017).

Die Verwendung bleihaltiger Büchsenmunition führte dabei zu statistisch signifikant höheren Einträgen an Blei in das Wildfleisch als bei Verwendung bleifreier Büchsenmunition. Die Unterschiede sind besonders eindrucksvoll bei Wildschweinen und Wildgeflügel, weniger ausgeprägt bei Reh und Rotwild. Die Keulen sind dabei am geringsten belastet.

Für die Allgemeinbevölkerung spielt diese spezielle Quelle von Blei keine große Rolle, da wenig und selten Wild verzehrt wird. Diese spezielle Belastung mit Blei soll im vorliegenden Projekt nicht berücksichtigt werden, da die allgemeine Bevölkerung nicht betroffen ist, die Quelle bekannt ist und Risiko-mindernde Maßnahmen bereits empfohlen wurden.

Altlasten

Lokale Besonderheiten kommen durch Altlasten, auf stillgelegten Industrieanlagen, in ehemaligen Bergbaugebieten und deren Abraum, in eng begrenzten Gebieten, aber auch über große Entfernungen vor. Diese Situationen sind umfänglich untersucht und beziehen sich nicht nur auf Blei, sondern auch auf andere Schwermetalle (SM) (insbesondere Quecksilber und Cadmium) und Kohlenwasserstoffe.

Diese lokalen Belastungen dürften für die betroffene Bevölkerung noch für lange Zeit für eine nicht unerhebliche und lange persistierende Hintergrundbelastung sorgen, was in die vorliegende Analyse der Bleibelastung mit einbezogen wird.

2.3.2.4 Die individuelle akzidentelle Vergiftung

Den Giftinformationszentren und dem BfR werden immer wieder Vergiftungen mit Blei gemeldet. In diesen Fällen konnten als Quellen Trinkgefäße mit bleihaltiger Glasur identifiziert werden. Bei diesen akzidentellen Aufnahmen von Blei handelt es sich nicht um eine Exposition der Allgemeinbevölkerung, sondern um individuelle Ereignisse. Daher findet diese Form der Exposition in diesem Projekt keine Beachtung. Die Erkenntnisse aus diesen Ereignissen liefern aber relevante Informationen hinsichtlich der Inzidenzen und damit auch des Vorkommens entsprechender Produkte.

2.3.3 Bewertungen

2.3.3.1 Bewertung der Qualität

Für die Bewertung der Qualität werden mehrere Kriterienkataloge in der Probephase verwendet:

XProb: Der Begriff XProb steht als Akronym für das Projekt „Evaluation von Standards und Modellen zur probabilistischen Expositionsabschätzung“ und wurde in einem im Umweltforschungsplan geförderten Projekt zur Standardisierung der probabilistischen Expositionsschätzungen (Mekel *et al.* 2007) entwickelt.

IPCS: Im „International Programme on Chemical Safety“ der WHO hat sich eine Arbeitsgruppe „Exposure Planning Group“ mit Fragen der Exposition befasst. Eine der daraus hervorgegangenen Arbeiten ist der Leitfaden zur Unsicherheitsanalyse und Qualitätsbewertung (WHO 2008). Dieser geht nach einem ähnlichen Konzept vor wie XProb. Als zusätzliches Merkmal wird noch die Vertrauenswürdigkeit (Integrity) in den Daten bewertet.

Im IPCS- und im XProb-Konzept werden die Fragen so formuliert, dass sie mit „ja“ (positive Antwort) oder „nein“ (negative Antwort) beantwortet werden können. Je nach Antwort wird eine „1“ für „ja“ oder „0“ für „nein“ vergeben. Die Summe der Zahlen ergibt einen Score. Eine weitere Qualifizierung des Scores z. B. durch Gewichtung wird nicht vorgenommen. Die Kriterien zur Qualitätsbewertung wurden in eine tabellarische Form gebracht.

In der Tabelle „Angemessenheit“ wurden zwei Klassifizierungen hinzugefügt. Da sich die Bewertung der Qualität auf das Ziel dieser Publikation bezieht, wird auch das Ziel des Projektes „Eintragungspfade von Blei in den menschlichen Organismus“ mit in die Bewertung einbezogen. Die zwei zusätzlichen Kriterien sind:

1. Die Angemessenheit der Daten betreffend dem Zweck und dem Ziel dieser Studie ist gegeben.
2. Aus der Studie liegen Angaben über zeitliche Zusammenhänge der Bleikonzentrationen vor.

Beide Ansätze (ICPS und XProb) kommen zu nahezu identischen Bewertungen. Beide Kriterienkataloge bauen auf Vorschlägen von Klimisch *et al.* (1997) zur Feststellung von Qualität auf. Dieses Konzept sieht eine Bewertung von Angemessenheit (appropriateness), Transparenz (transparency) und Genauigkeit (accuracy) vor und wurde so bei XProb und IPCS übernommen. Die Kriterien sind annähernd identisch, obwohl die Gremien, die sie erstellt haben, personell und organisatorisch komplett unterschiedlich waren. Im IPCS-Konzept wird mit „Integrität“ (integrity) noch eine vierte zusätzliche Kategorie eingeführt. Die hier genannten Kriterien bewerten das Vertrauen in die Untersuchung und die verwendeten Methoden und Qualitätsstandards, was in dieser Form nicht im XProb-Ansatz zu finden ist. Da dieses Kriterium im XProb-Ansatz nicht bewertet wird, führt der IPCS Ansatz zu einer differenzierteren Beurteilung. Dieser wird daher im Projekt verwendet.

Die in den Tabellen gemachten Bewertungen werden, sofern erforderlich, begründet. Hierzu wird eine dynamische Tabelle „Begründungen“ verwendet. Zur Arbeitserleichterung wird sie temporär in der Datei „_Übersicht“ mitgeführt.

Tabelle 3: Score der Bewertung der Qualität nach IPCS

	IPCS-Score	EndNote
Angemessenheit	1,00	1,25
Genauigkeit	1,00	1,25
Transparenz	1,00	1,25
Integrität	1,00	1,25
Bewertung	4	5

Der Score von 4 wird anteilig auf die fünf Qualitätspunkte von EndNote verteilt.

EPHPP: Für die Bewertung der Qualität von Daten, die am Menschen erhoben wurden, wurde ein Katalog des kanadischen „National Collaboration Centre for Methods and Tools“ verwendet, der im „Effective Public Health Practice Project, EPHPP“ entwickelt wurde (EHPP 1998). Dieses Tool hat ein „scoring system“ vorgegeben, das übernommen wurde.

Dieser Kriterienkatalog bewertet die Qualität von Studien am Menschen. Er enthält sechs verschiedene Ebenen der Bewertung, die nicht immer verwendet werden, da es sich bei den meisten Studien nicht um Interventionsstudien handelt, sondern lediglich Blut abgenommen wurde bzw. Untersuchungen hinsichtlich des Gesundheitszustandes vorgenommen wurden.

Im Allgemeinen können auch Biomonitoringstudien ohne die EPHPP-Kriterien bewertet werden. Im Verlauf der Studie stellte sich heraus, dass der EPHPP-Katalog nur in wenigen Ausnahmefällen erforderlich war.

2.3.3.2 Bewertung der Unsicherheit (BfR-Konzept)

Die qualitative Unsicherheitsanalyse beschäftigt sich mit dem Nicht-Wissen („lack of knowledge“). Hierzu dient der Leitfaden zur Unsicherheitsanalyse des BfR „Guidelines on Uncertainty Analysis in Exposure Assessments“ (BfR 2015). Hier können Fragen einfließen, die sich bei der Qualitätsbewertung nicht niederschlagen, insbesondere Fragen nach der Repräsentativität der Daten. Die Analyse der Unsicherheiten hat sich als wichtiges zusätzliches Instrumentarium herausgestellt. Die Unsicherheitsanalyse kann auch bei Arbeiten mit hoher Qualität den Nutzen der Daten beschreiben. Wegen fehlender Angaben können nicht immer alle Kriterien bewertet werden. So kann eine Analytikstudie meist nicht hinsichtlich des Expositionsszenarios oder des Expositionsmodells bewertet werden.

Die Unsicherheit wurde qualitativ nach dem BfR-Leitfaden (BfR 2015) bewertet. Die Ergebnisse werden textlich formuliert. Die Basisinformation wird in einer Übersichtstabelle und einem erläuternden Textdokument zusammengefasst „_Unsicherheit“.

Die Bewertungen auf der Basis der Templates wurden nach Fertigstellung über ein Up- und Download in die EndNote-Arbeitsdatenbank eingelesen und sind per Hyperlink aufzurufen.

2.3.3.3 Bewertung des Einsatzes der Kataloge zur Qualität und Unsicherheit

Bereits frühzeitig wurde festgestellt, dass die Kataloge ein gutes und pragmatisches Instrumentarium zur systematischen Bewertung der Publikationen darstellen. Es handelt sich aber um Arbeitsinstru-

mente, in die durchaus subjektive Züge des jeweiligen Betrachters mit einfließen. Dabei können sich während der Recherche in Detailfragen Anpassungen ergeben

Eine wünschenswerte Bewertung durch mehrere Personen konnte wegen des enormen Aufwandes sowie des begrenzten Projektzeitraums nicht realisiert werden. Aufgrund der hohen Anzahl zu bewertenden Studien konnten die Bewertungen nicht für alle Arbeiten erfolgen. So wurde bereits im Vorfeld festgelegt, dass Arbeiten, die außerhalb Europas durchgeführt und erstellt wurden, nicht bewertet werden. Sie wurden aber in die Datenbank mit aufgenommen. Diese Einschränkungen mussten erweitert werden: Arbeiten, die außerhalb Deutschlands durchgeführt werden, sowie Studien, die nur Teilaspekte zur Exposition enthalten sowie Studien, die isoliert nur bestimmte Fragen des Blei-„Vorkommens“ (z. B. Blei im Matetee in Polen oder im Wein in Slowenien) behandeln, oder die sich auf bestimmte Populationen beschränken (z. B. Bleiexposition in polnischen Waisenhäusern), werden ebenfalls nicht hinsichtlich ihrer Qualität bewertet, aber klassifiziert und in die Datenbank übernommen. Die Relevanz solcher Studien für dieses Projekt würde sich erst bei einer großen Zahl solcher solitären Studien zum selben Thema ergeben. Diese Studien sind meist nicht repräsentativ für die Gesamtbevölkerung und geben keine Auskunft zu zeitlichen Abläufen.

Aufgrund des Zeitmangels musste die Bewertung schnell erfolgen, ein einmaliges Durchlesen musste für die Bewertung reichen. Größere Unstimmigkeiten konnten nur selten festgestellt werden.

Je nach Art der bewerteten Arbeit werden nicht alle Kriterien bewertet. Sie werden bei der Bildung des „Score“ ausgeblendet (nur bei EPHPP-Score). Es muss aber auch betont werden, dass eine vollständige Analyse nur bei Originalarbeiten und einigen Meta-Studien möglich ist.

2.4 Ziele der Dokumentation

Der Dokumentation der Rechercheergebnisse dient neben diesem Bericht eine EndNote-Datenbank. Die 409 Literaturstellen umfassende Projektdatenbank „Bleiprojekt_FKZ-2717-62-212-0“ soll dabei drei Zielen dienen:

- ▶ der Dokumentation der Literatursuchen-Ergebnisse und Bewertungen der Qualität und der Daten
- ▶ dem einfachen Zitieren in Word-Dokumenten
- ▶ der späteren Nutzbarkeit für weitergehende Untersuchungen

Hierzu sind Anpassungen nötig sowohl an der vorgegebenen Datenbankstruktur als auch am damit verbundenen EndNote-Zitierstil (siehe Anlage B).

3 Ergebnisse

3.1 Statistische Angaben zur Recherche

3.1.1 Literaturrecherchen

Es wurden nur Arbeiten berücksichtigt, die in den beiden Literaturdatenbanken Scopus und PubMed explizit mit dem Kennwort Blei für den zu berücksichtigenden Zeitraum klassifiziert worden waren, also in dem jeweils kontrollierten Vokabular Embase subject headings (EMTREE) bzw. MESH. Dies ergab zwei etwa gleichgroße Datenbanken, 36.432 Treffer in PubMed und 40.221 Einträge in Scopus. In diesen wurde dann separat nach den Haupt-Kennwörtern Wasser, Fisch, Hausstaub und Keramik/Verbraucherprodukte gesucht.

Im Endergebnis wurden insgesamt 281 Dateien von Scopus, und 253 aus Pubmed in die endgültige Projekt-Datenbank übernommen, wobei 224 Arbeiten in beiden gelistet worden waren. Allerdings waren im Falle Scopus 41 Dateien dabei, die nicht aus dieser Arbeitsdatenbank stammten, sondern über andere Zitierungen (wie etwa Literaturzitate in als wichtig bewerteten Arbeiten) aufgefunden worden waren. Aus Scopus stammten so 57 Einträge, die nicht unter PubMed auffindbar waren, und 11 in PubMed, die nicht in der Scopus-Datenbank gelistet waren.

Insgesamt wurden 409 Einträge (über alle genannten Verfahren) in die finale EndNote-Datenbank aufgenommen.

Als Beispiel für eine Recherche in der EndNote-Datenbank seien hier die Ergebnisse der Suche nach Literaturstellen für das Stichwort „Trinkwasser“, engl. „drinking water“ genannt. Dieses Beispiel geht von den Referenzen aus, die in der EndNote-Arbeitsdatenbank (Kapitel 2.2.1.5) abgelegt sind. Die Suche nach dem Stichwort „Trinkwasser/drinking water“ in Verbindung mit „Europa“ und „Deutschland“ ergibt eine Liste von 203 Treffern. Die Durchsicht dieser Listen ergab 83 Referenzen, die vom Berichtsersteller als relevant für die Aufnahme in die Datenbank angesehen wurden.

Mit dem Vermerk „Trinkwasser“ als „Expositionsquelle“ wurden 43 Titel klassifiziert. Durch die Verschlagwortung wurde eine weitere Qualifizierung der Referenzen vorgenommen. Daran kann erkannt werden, ob vorwiegend Trinkwasser, Grundwasser, Oberflächenwasser oder Mineralwasser in der Arbeit angesprochen werden.

Das Verfahren und das Endergebnis zeigen, dass die systematische Recherche einen hohen Anteil an „Fehltreffern“ ergab, die mit einem hohen Arbeitsaufwand eliminiert werden mussten.

Tabelle 4: Trefferquoten für eine Recherche mit dem Stichwort „Trinkwasser“, und der Eintragungen in der endgültigen EndNote-Datenbank, mit Verschlagwortung (Stand 8.2.2019)

Gesamt Trefferquote	Anzahl der Referenzen
Trefferquote „drinking water“	203 (als zwei Listen (betr. Deutschland und Europa) mit Abstracts und Überschriften)
Durchsicht durch den Verfasser und Vorauswahl zur Übernahme und Dokumentation in EndNote	83 Referenzen
Analyse der EndNote Datenbank	
Davon mit Stichwort „water“ oder „Wasser“ im Abstract	91 (in EndNote)
Davon mit Stichwort „drinking water“ oder „Trinkwasser“ im Abstract“	30 (in EndNote)
Davon mit Stichwort „drinking water“ oder „Wasser“ im Titel“	24 (in EndNote)

Die höhere Anzahl von Treffern bei Arbeiten mit dem Stichwort „Water“ oder „Wasser“ im Abstract liegt daran, dass diese Begriffe auch in anderen Publikationen vorkommen können, die Trinkwasser nicht zum Thema haben.

3.1.2 RAPEX-Datenbank

Die RAPEX-Datenbank wurde nach Meldungen zu auffälligen Messergebnissen von Bleikonzentrationen durchsucht. RAPEX bietet die Möglichkeit, verschiedene Produktkategorien zu recherchieren. Die nachstehende Tabelle 5 gibt die Rechercheergebnisse für wichtige Produktkategorien wieder. Da in dieser Datenbank der Begriff „lead“ über ein Freitextfeld gesucht wird, ergaben sich viele Treffer, bei denen die Textfolge „lead to“ oder „leading“ vorkam. Diese Treffer wurden in einer EXCEL-Liste manuell nachbearbeitet. Das heißt, alle Datensätze, in denen das Wort „lead“ vorkommt ohne inhaltlichen Bezug zu „Blei“, wurden markiert und gelöscht. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 5 aufgelistet.

Tabelle 5: Trefferquoten der Recherchen zu verschiedenen Produktmeldungen in der RAPEX-Datenbank der EU-Kommission (englischsprachige Version)

Year	all	consumer	Risk level severe	Risk Type Chemical	Free Text	Hits	Manual selection
2000-2018	23.390	23.166	22.527	5.409	Lead	382	38
Chemical Products	554	547	504	474	Lead	39	23
Toys	6.219	6.129	5.931	2.288	Lead	144	123
Childcare articles	926	926	889	113	Lead	6	4
Cosmetics	1.005	1.004	896	831	Lead	70	51
Clothing	4.374	4.374	4.374	911	Lead	9	7
Hobby- Sports	6.562	6.562	6.346	2.330	Lead	147	3
Jewellery, decorative articles	552	552	544	370	Lead	92	71
Textiles	4.473	4.373	4.370	811	Lead	8	0

Für die detaillierte Auswertung (letzter Schritt der Analyse) wurde eine manuelle Prüfung der einzelnen Meldungen vorgenommen. Ohne weitere Spezifizierung ergeben sich für „Blei“ als Stichwort 382 Treffer, die Summe der einzelnen Kategorien (468) ist aber höher. Demnach werden etliche Produkte unter mehreren Kategorien in der Datenbank geführt.

3.1.3 RASFF-Datenbank

Eine Einschränkung auf die Eintragung (lead) ergibt eine Trefferquote von 547 Meldungen in der RASFF-Datenbank. Diese Untermenge wird nach „Food Contact Material“ (201 Treffer) und „Food“ (302 Treffer) aufgeschlüsselt. Eine weitere Unterteilung ist nach der Risiko-Einschätzung möglich in „serious“, „not decided“ oder „not serious“. Die Ergebnisse dieser Recherche finden sich in Tabelle 6. In der RASFF-Datenbank kann gezielt nach dem Stoffbegriff „lead“ gesucht werden, die manuelle Nachbearbeitung entfällt hier.

Tabelle 6: Trefferquoten der Recherchen zu verschiedenen Produktmeldungen in der RASFF-Datenbank der EU-Kommission

Gesamttrefferquote (ohne Einschränkung):	52.599 Meldungen
Subject: Lead	547 Meldungen
Category: Food-Contact material	201 Meldungen
Risk category: not serious	5 Meldungen
Risk category: serious	79 Meldungen
Risk category: undecided	117 Meldungen
Category: Food	302 Meldungen
Risk category: not serious	6 Meldungen
Risk category: serious	73 Meldungen
Risk category: undecided	223 Meldungen

3.2 Bewertung der Qualität der Publikationen

Insgesamt wurden 409 Titel in die EndNote-Datenbank übernommen. Davon wurden 148 hinsichtlich ihrer Qualität und Unsicherheit bewertet. Publikationen, die eine Bewertung von zwei oder weniger Punkten (nach EndNote-Schema) erhielten wurden nicht berücksichtigt. Von den nicht bewerteten Publikationen wurden Daten übernommen, sofern sie wichtige Informationen für die Darstellung der Sachlage (Messergebnisse) enthielten.

Tabelle 7: Statistische Übersicht über die Referenzen, die in die Endfassung der EndNote-Datenbank übernommen wurden (Stand: 7.2.2019) und die EndNote-Qualitätskategorie

Publikation	gesamt	Bewertet (EndNote Score)
gesamt	409 Davon bewertet: 148	Stand 07.02.2019
Journal Article	299 Davon bewertet: 114	EndNote 5: 57 EndNote 4: 47 EndNote 3: 7 EndNote 2: 3 EndNote 1: 0
Bericht	57 Davon bewertet: 31	EndNote 5: 26 EndNote 4: 2 EndNote 3: 2 EndNote 2: 0 EndNote 1: 0
Buchbeitrag/Kapitel	5 Davon bewertet: 1	EndNote 5: 1
Kongress/Poster	1 Davon bewertet: 0	
Review	19 Davon bewertet: 2	EndNote 5: 2

3.3 Quellen der Exposition mit vermuteter gesundheitlicher Bedeutung

Verschiedene behördliche Stellungnahmen, vornehmlich Berichte der WHO (2010a, 2017) nennen folgende Quellen der Bleibelastung mit gesundheitlicher Bedeutung: Lebensmittel, Pigmente, Farben, Lötmetall, Buntglas, Bleikristall, Munition, Keramik, Glasur, Schmuck, Spielzeug, einige Kosmetika, traditionelle Medizin, Trinkwasser durch Bleirohre, globale Exposition hauptsächlich durch Recycling.

In verschiedenen Pressemitteilungen weist das BfR auf Bleiexpositionen durch Keramik (BfR 2005), Spielzeug (BfR 2007), Modeschmuck (BfR 2012), Kerzen (BfR 2014a), Espressomaschinen (BfR 2014b) und Säuglings- und Kleinkindernahrung (BfR 2010) hin. Das Institut bezieht sich dabei auf Daten aus dem Lebensmittel-Monitoring (LMM) wie auch auf Meldungen aus dem RAPEX-Meldeverfahren der EU-Kommission.

Teilweise können durch die Verwendung von bestimmten Produkten Bleivergiftungen ausgelöst werden, vor allem durch bleihaltige Keramik. Bleihaltige Farben (Mennige) und Lacke haben in Deutschland keine Bedeutung mehr (im Gegensatz zu anderen Ländern, z. B. USA). Quantitative Angaben über den Anteil der Quellen an der gesamten Exposition stehen nur sporadisch zur Verfügung. In einer ausführlichen Arbeit über die Bleikonzentrationen im Blut von Kindern konnten Etchevers et al. (2015)

einen statistisch gesicherten Zusammenhang mit Blei-Konzentrationen im Hausstaub und im Leitungswasser herstellen. Auch Quellen wie die bereits erwähnte Gebrauchskeramik, traditionelle Kosmetika, Spielplatz-Boden und -Staub, Innenraum-Farben sowie Tabak-Dunst und -Rauch kommen als weitere Quellen infrage.

3.3.1 Monitoring-Studien

Monitoring-Studien umfassen alle Publikationen, die über Messungen der Konzentrationen von Blei in verschiedenen Quellen berichten. Daten aus Sekundär-Literaturstellen werden nicht aufgeführt. Sie wurden aber, soweit möglich, zurückverfolgt und die entsprechende Primärstudie aufgenommen.

3.3.1.1 Lebensmittel

Systematische Messung von Blei-Konzentrationen in Lebensmitteln

Zur systematischen Messung von Konzentrationen von Stoffen in Lebensmitteln sind zwei methodisch unterschiedliche Verfahren zu nennen: 1. das Lebensmittel-Monitoring (LMM) und 2. die Total Diet-Studie (TDS).

Das LMM wird nur in Deutschland seit den 90er Jahren durchgeführt. Lebensmittel werden nach einem prospektiv festgelegten Plan von den Aufsichtsbehörden der Bundesländer beprobt und gemessen. Die Analysen werden dabei unter den teilnehmenden Laboratorien aufgeteilt. Die Planung der Probenahme geschieht in Absprache zwischen den Behörden der Länder, dem BVL und auf Vorschlag des BfR. Es werden Probenzahlen angestrebt, die eine statistisch begründbare Beschreibung mittlerer Konzentrationen und des 95. Perzentils ermöglichen. Die Festlegung der Anzahl der zu analysierenden Proben folgt dabei den Ausführungen von Sieke *et al.* (2008). Dabei wird eine möglichst repräsentative Stichprobe für die Bundesrepublik Deutschland angestrebt. Die Ergebnisse werden in jährlichen Berichten (BVL 2003 bis BVL 2018) der Öffentlichkeit zugänglich gemacht.

Als weiterer wichtiger Studientyp für die Messung der Konzentrationen von Stoffen in Lebensmitteln, ist die TDS zu nennen. Diese Art der Studie wird weltweit durchgeführt. Ein besonderes Ziel der TDS ist die Reduzierung der zu messenden Proben. Dazu werden die Einzelproben zu einem „Pool“ zusammengefasst. So entsteht aus vielen Proben eine zu messende Probe, deren Ergebnis den Mittelwert der eingesetzten Einzelproben ergibt. Allerdings wird die Zahl der zu messenden Proben auch stark von der Auswahl und der Kombination der Einzelproben und deren Aggregationsgrad bestimmt. Sollte nur eine Art der sich im Pool befindenden Lebensmittel hohe Konzentrationen aufweisen, so kann eine Art Verdünnungseffekt durch die gering belasteten Spezies auftreten, was nachteilig für die Expositionsschätzung sein kann. Die Ergebnisse der TDS sind aufgrund des Studiendesigns mit den arithmetischen Mittelwerten des LMM vergleichbar. Eine TDS wird üblicherweise als Block durchgeführt und in bestimmten Zeiträumen wiederholt. Zum Berichtszeitpunkt liegen für Europa TDS-Daten für Frankreich, Großbritannien, Schweden, Serbien und Katalonien vor. Daten aus Deutschland werden nach Abschluss der laufenden TDS zur Verfügung stehen. Ein großer Vorteil der TDS liegt darin, dass die Proben in fertig zubereiteten Lebensmitteln gemessen werden. Korrekturfaktoren für Verluste bei Aufbewahrung und Zubereitung entfallen. Mit der Methode TDS kann auch das Spektrum der zu messenden Stoffe erweitert werden.

Ergebnisse des deutschen Lebensmittel-Monitoring

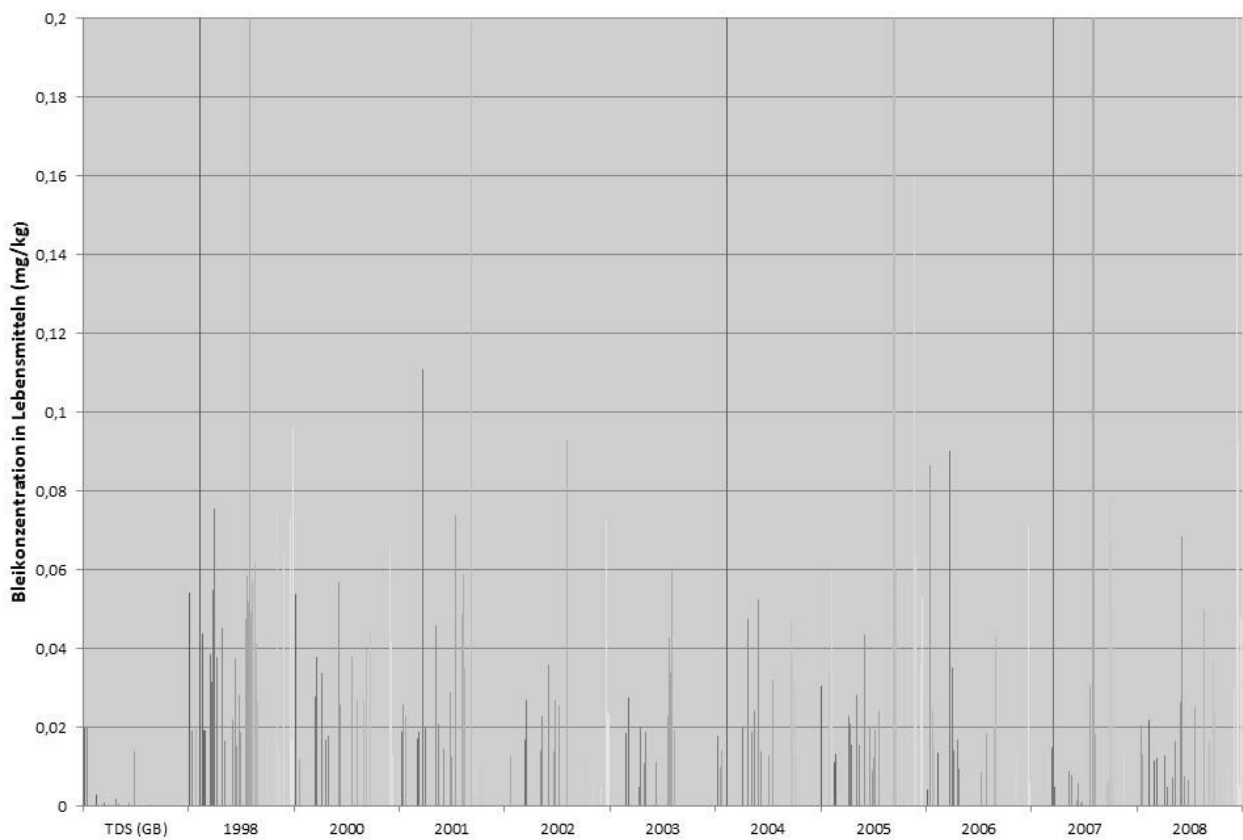
In Abbildung 8 und Abbildung 9 sind die Ergebnisse des LMM (BVL, 2002 bis 2018) seit 1998 aufgeführt. Die Abbildungen zeigen denselben Sachverhalt über die angegebenen Zeitabschnitte und sind aus technischen Gründen und zur besseren Übersicht geteilt. Die einzelnen Balken, unterschieden durch Grautöne geben die Mittelwerte der individuellen Lebensmittel wieder, die bis zum dargestell-

ten Zeitpunkt jeweils kumulativ über 5 Jahre bestimmt werden. Dabei sollen nicht die einzelnen Lebensmittel identifiziert sondern vielmehr die Variabilität dargestellt werden.

Abbildung 8 (1998 bis 2008) zeigt außerdem die Ergebnisse aus einer britischen TDS (Ysart *et al.* 2000). Abbildung 9 (2010 bis 2017) zeigt zusätzlich die Ergebnisse der französischen TDS (Arnich *et al.* 2012).

Im LMM werden über einen Zeitraum von mehreren Jahren (meistens 5 Jahre) Lebensmittel im Handel eingekauft. Die Stoffe werden in Laboratorien gemessen. Diese Laboratorien sind auch in der Lebensmittelüberwachung tätig und genügen daher den entsprechenden Qualitätsstandards. Die Messungen der Stoffe in den Lebensmitteln werden unter den teilnehmenden Laboratorien der Bundesländer nach einem Arbeitsplan aufgeteilt.

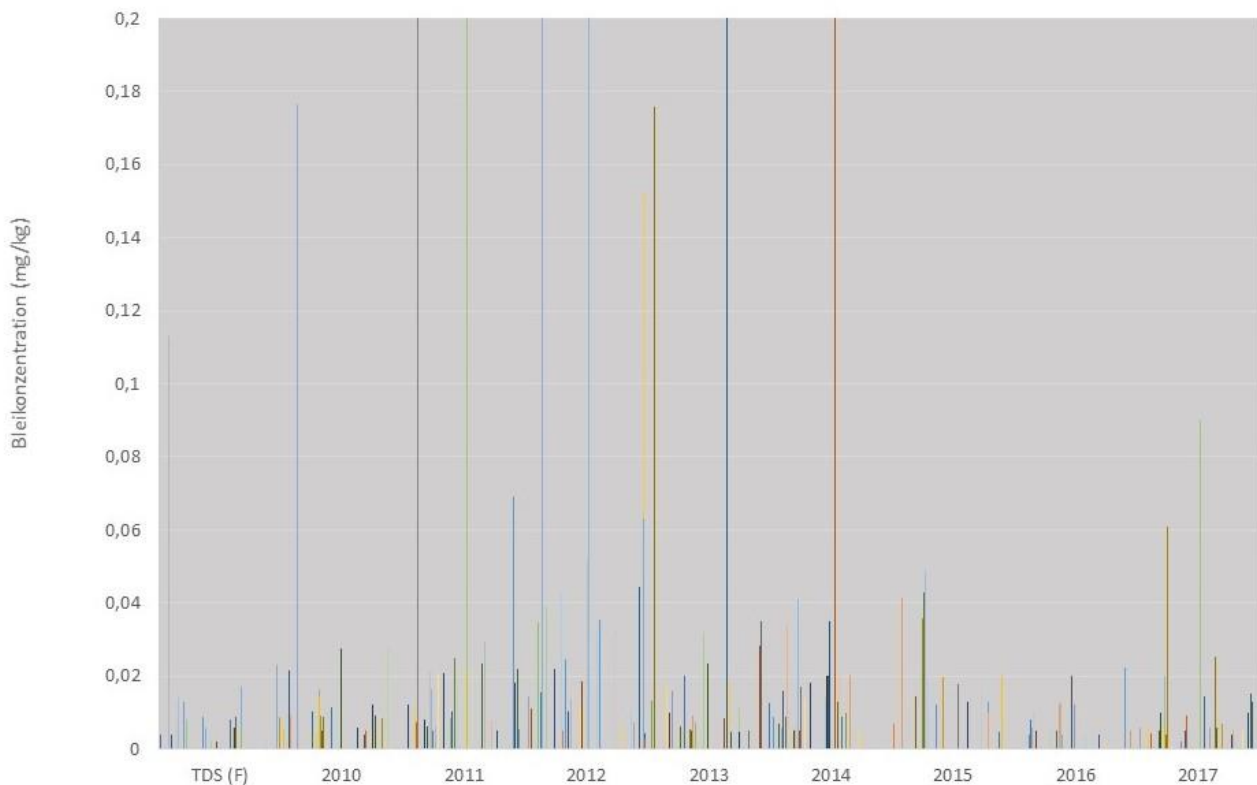
Abbildung 8: Ergebnisse der Messungen von Blei (Mittelwerte) im LMM von 1998 bis 2008



Quelle: Lebensmittel Monitoring und Ysart et al. (2000)

Grafik: Bundesinstitut für Risikobewertung unter Verwendung der angegebenen Quelle

Abbildung 9: Ergebnisse der Messungen von Blei (Mittelwerte) im LMM von 2010 bis 2017



Quelle: Lebensmittel Monitoring und Arnich et al. (2012)

Grafik: Bundesinstitut für Risikobewertung unter Verwendung der angegebenen Quelle

Die Konzentrationen von Blei in den LMM liegen zumeist im Bereich bis $< 0,10$ mg/kg, bei einigen Lebensmitteln auch höher. Die Darstellung ist bei $0,2$ mg/kg abgeschnitten. Die Einzelergebnisse der entsprechenden Lebensmittel sind im nächsten Kapitel in Tabelle 8 näher erläutert. Die Ergebnisse aus der britischen TDS liegen ausnahmslos unterhalb von $0,020$ mg/kg. In der französischen TDS fällt ein hoher Wert von $0,110$ mg/kg auf. Es handelt sich hierbei um Messungen in Krusten- und Schalentieren. Die Bedeutung dieses Wertes in einer TDS wird in Kapitel 3.3.1.1 gesondert diskutiert.

Lebensmittel, die im LMM durch besonders hohe Werte auffielen

Von Relevanz sind die Lebensmittel, deren mittleren Blei-Werte über $0,2$ mg/kg liegen (siehe Abbildung 8 und Abbildung 9). Der Verzehr von 100 g eines solchen Lebensmittels pro Tag bei einem Körpergewicht von 70 kg würde eine Aufnahmemenge von etwa $0,28$ $\mu\text{g}/\text{kg KG}$ ergeben, was ca. 40% der von der EFSA ermittelten Tagesaufnahmemenge ausmacht (siehe Kapitel 1).

In Tabelle 8 sind die Messergebnisse in Meeresfrüchten (Muscheln), verschiedenen Gewürzen, Ziegenkäse, Wild und einigen NEM dargestellt. Die Ergebnisse einer groben Aufnahmeschätzung zeigen, dass vor allem Meeresfrüchte, Wild und NEM einen wesentlichen Anteil an der Bleibelastung haben. Weitere Ausführungen zu diesem Thema finden sich weiter unten in diesem Kapitel und in Kapitel 3.3.1.4. Für die grobe und orientierende Aufnahmeschätzung zum Vergleich der in Tabelle 8 aufgeführten Lebensmittel wurde als Defaultwert vom Autoren dieses vorliegenden Berichtes für den Meeresfrüchte- und Wildverzehr eine Menge von 100 g, für die NEM eine Menge von 10 g und für die Gewürze 1 g angenommen.

Tabelle 8: Lebensmittel, bei denen besonders hohe Konzentrationen im LMM gefunden wurden und die als bedenklich im RASFF gemeldet wurden

Lebensmittel	Lebensmittel, spezifiziert	Jahr der Messung	Konzentration mg/kg	Aufnahmeschätzwert (µg/kg pro Tag)
Meeresfrüchte	Muscheln	1998	0,22	0,31
Meeresfrüchte	Muscheln	2004	0,32	0,45
Gewürze	nicht spez.	1998	0,28	< 0,01
Gewürze	Currypulver	2007	0,31627	< 0,01
Gewürze	Paprikapulver	2007	0,35901	< 0,01
Gewürze	Paprikapulver	2012	0,456	< 0,01
Gewürze	Kurkuma	2014	0,218	< 0,01
Gewürze	Pfeffer	2017	0,09	< 0,01
NEM	Algenpräparate	2005	0,2	0,025
NEM	Mineralstoffpräparate	2005	0,25014	0,034
NEM	Präparate aus Pflanzenextrakten	2005	0,22761	0,034
NEM	Vitamine und Mineralstoffpräparate	2005	0,23452	0,034
NEM	Algenpräparate	2013	0,359	0,051
Wild	Wildschwein	2007	0,2	0,28
Wild	Reh	2012	0,2	0,28
Wild	Hirsch	2016	0,27	0,38
TDS (Frankreich)	Krusten-, Schalentiere	2010	0,115	0,16
Daten aus dem RASFF-Meldeverfahren:				
Gemüse	Linsen	2014	0,59	0,98
Gemüse	Möhren	2014	0,7	1,16
Gewürze	Brennnesseln	2014	9,9	0,16
Gewürze	Kurkuma	2017	58	0,97
Gewürze	Klettenwurzel	2017	11	0,18
Fleisch und Fleischprodukte	Fleischpastete	2014	0,18	0,30
Fleisch und Fleischprodukte	Schweinefleisch	2016	0,17	0,28
Weichtiere	Oktopus	2017	0,48; 0,64	0,80
Hundefutter	--	2018	10,5	--

Als Lebensmittel, die eine bedeutsame Rolle für die Exposition mit Blei darstellen können, sollten Meeresfrüchte sowie NEM in Betracht gezogen werden. Der Verzehr von Wild (Müller-Graf *et al.* 2017) kommt wegen des geringen und seltenen Verzehrs in der Allgemeinbevölkerung eher nicht in Betracht, wohl aber für die Jagd-nahe Bevölkerung. Gewürze spielen wegen der geringen Aufnahmemengen keine große Rolle. Auf NEM wird in Kapitel 3.3.1.4 eingegangen.

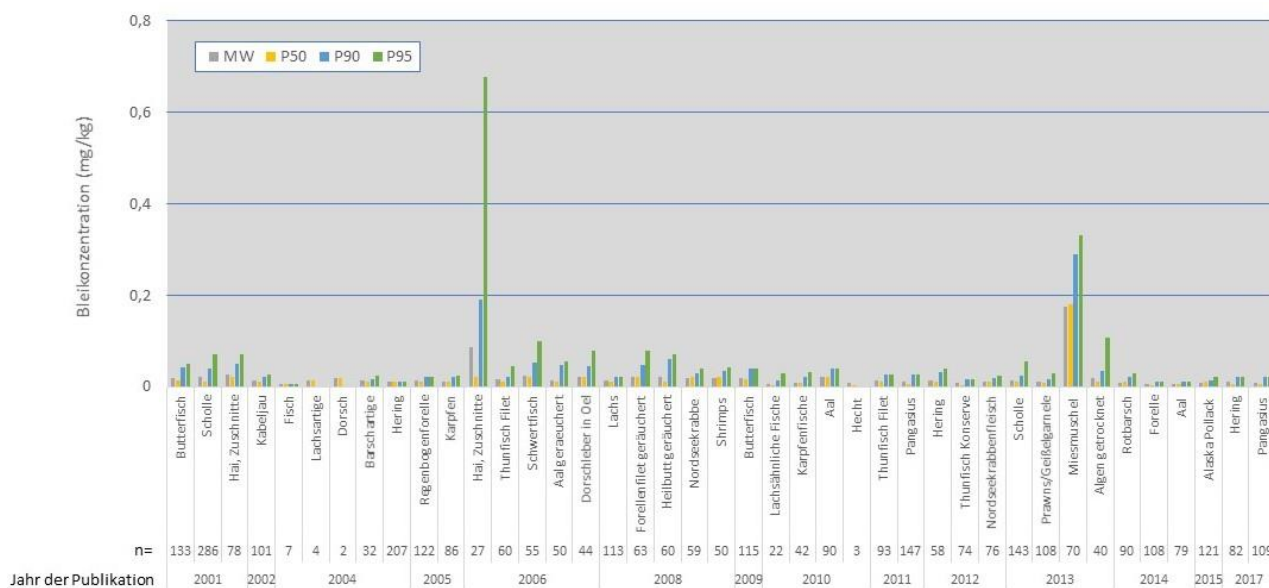
In einer sehr detaillierten Aufstellung der Fischarten und deren Verzehrsmengen errechneten Aranda *et al.* (2017) eine wöchentliche Aufnahmemenge von 0,31 µg/kg Blei (= 0,045 µg/kg pro Tag). In die-

ser Arbeit werden die Konzentrationen von Blei in Fisch nicht mitgeteilt, es wird aber der Fischverzehr kontrolliert protokolliert und eine Aufnahmeberechnung vorgenommen. Diese Rechnung zeigt, dass die geschätzten Aufnahmemengen mit stärkerer Disaggregation der Lebensmittel deutlich niedriger ausfallen als konservative Schätzer.

Daten aus dem LMM-Programm

Zur Klärung der Frage, welche Art Fisch oder Meerestier die hohen Konzentrationen von Blei aufweist, wurden die Daten der Jahre 2001 bis 2017 des LMM spezifisch ausgewertet.

Abbildung 10: Ergebnisse der Messungen von Blei in Fischen und Meerestieren im deutschen LMM in den Jahren 2001 bis 2017



Quelle: Lebensmittel Monitoring

Grafik: Bundesinstitut für Risikobewertung unter Verwendung der angegebenen Quellen

Die Ergebnisse dieser Auswertung sind in Abbildung 10 für 15 Fischarten und drei Weichtierarten sowie für Algen (umgerechnet auf Feuchtgewichte, angenommener Wassergehalt 95 %) wiedergegeben, die im LMM in den Jahren 2001 bis 2017 gemessen wurden. Für 2003, 2007 und 2016 liegen keine Messungen vor. Die Abbildung zeigt Mittelwerte, Median, das 90. und 95. Perzentil der Messungen. Es stellt sich heraus, dass vor allem die Konzentrationen in Miesmuscheln hoch sind. Sie liegen zwischen 0,17 mg/kg (Mittelwert (MW)) und 0,33 mg/kg (95. Perzentil (P95)). Zum Vergleich: in der Umweltprobenbank (UBA 2018a) lag die mittlere Konzentration im Jahr 2015 in Miesmuscheln sogar bei 1,25 mg/kg. Allerdings findet sich auch bei Haien ein hoher Wert für das 95. Perzentil. Dementsprechend ist der arithmetische Mittelwert stark erhöht, bei einem niedrigen Median. Diese hohen Werte maskieren den aggregierten Wert für Fisch und Meerestiere in Abbildung 8 und Tabelle 4. Bei einzelnen Fischarten liegen die 95. Perzentile aber durchaus zwischen 0,05 und 0,1 mg/kg. Insgesamt kann gefolgert werden, dass Fisch in dieser Darstellung keine auffällige Quelle für Blei darstellen sollte. Fischkonsum kann eine erhöhte Bleiaufnahme für die Bevölkerung in Deutschland nicht begründen. Ob das für exzessiven Fischkonsum oder für andere Europäische Länder auch gilt, geht aus diesen Daten nicht hervor. Die hohen Messwerte in Algen liefern eine Erklärung für die hohen Konzentrationen von Blei in Muscheln. Da Algen die Hauptnahrungsquelle für Muscheln sind, kann hier die Ursache für die hohen Konzentrationen in Muscheln liegen. Entsprechend gilt dies auch für Haie, die das Ende der Nahrungskette darstellen.

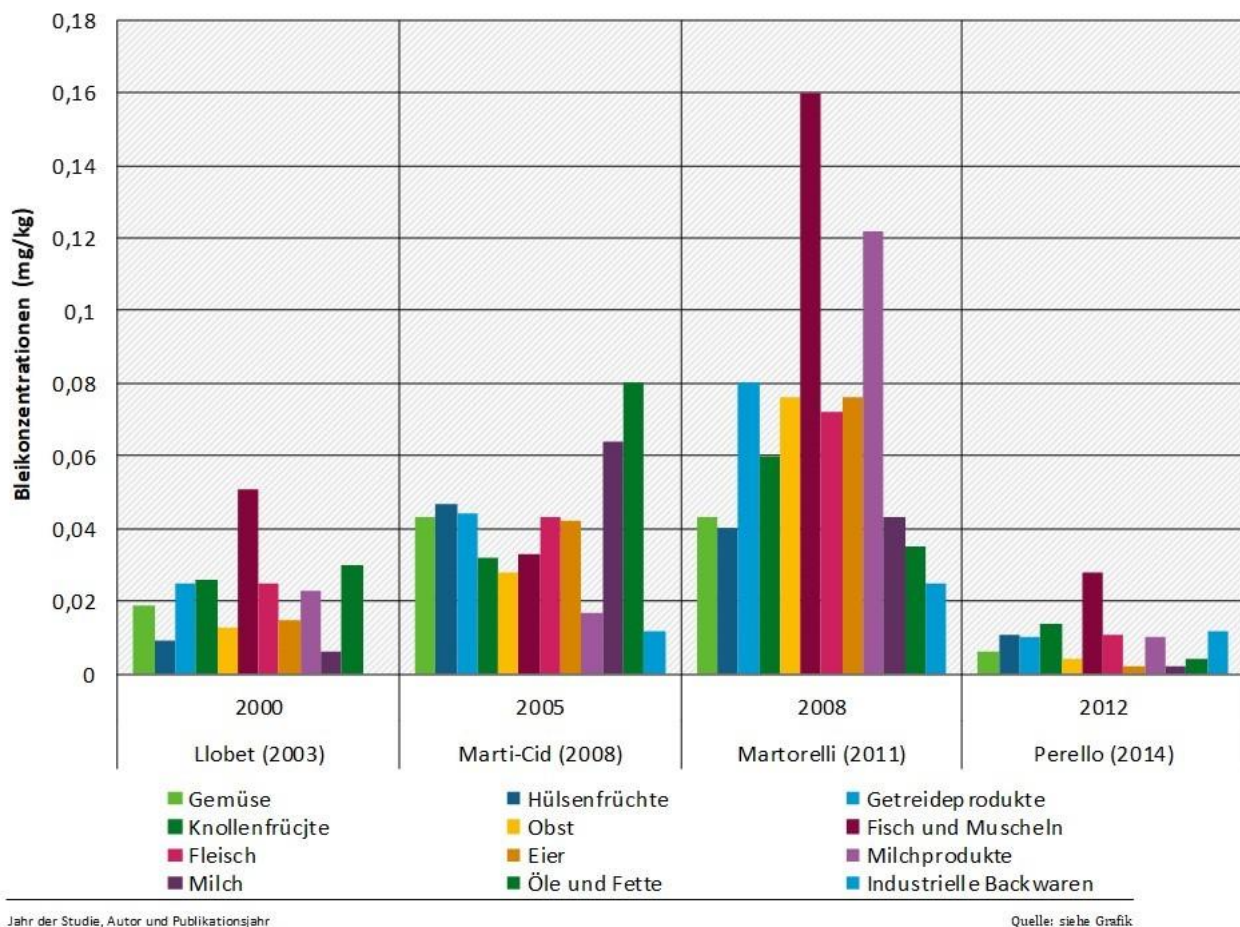
Total Diet-Studien (TDS)

Die Bleikonzentration in Muscheln von 0,098 mg/kg in der französischen TDS (Leblanc *et al.* 2005) könnte demnach allein aufgrund des Studiendesigns als unsicher gelten, da keine Information über den Grad der Variabilität der Konzentration vorliegt. In den Messungen des LMM fielen vor allem Muscheln (siehe Abbildung 10) auf. In der schwedischen TDS von 2011 (Becker *et al.* 2011) wurden Konzentrationen (0,002 bis 0,018 mg/kg) gemessen, die alle ca. um einen Faktor 10 niedriger liegen als im LMM und auch niedriger als in der britischen und französischen TDS. Škrbić *et al.* (2013) ermittelten in einer TDS in Serbien Konzentrationen von 0,01 bis 0,3 mg/kg in verschiedenen Lebensmittelpools und schätzten eine Gesamtaufnahme von Blei durch Lebensmittelverzehr auf 0,4 µg/kg für eine 70 kg schwere Person.

TDS mit Zeitbezug Katalonien

In Spanien sind von der Universität Barcelona zwischen 2000 und 2014 auf der Basis einer TDS mehrere in zeitlicher Abfolge stehende Studien zur Exposition durch Lebensmittelverzehr durchgeführt worden. Diese Publikationen aus derselben Arbeitsgruppe folgen einem einheitlichen methodischen Vorgehen und sind daher gut miteinander vergleichbar. Die regionale Charakteristik ist prinzipiell ideal, in Katalonien lebt eine nicht zu große, aber in der Zahl ausreichende Bevölkerung (Llobet *et al.* 2003; Martí-Cid *et al.* 2008; Martorell *et al.* 2011; Perelló *et al.* 2014).

Abbildung 11: Ergebnisse der vier katalonischen TDS der Jahre 2003, 2006, 2008 und 2012



Grafik: Bundesinstitut für Risikobewertung unter Verwendung der angegebenen Quellen

Die Ergebnisse sind schwer interpretierbar. Der Anstieg der Konzentrationen ist massiv und steht dem allgemeinen Trend (siehe auch Abbildung 8) einer zeitlichen Abfolge der Konzentrationen entgegen.

Die ersten drei Studien von Llobet *et al.* 2003; Martí-Cid *et al.* 2008; Martorell *et al.* 2011 weisen eine stark ansteigende Tendenz auf. Bemerkenswert ist, dass in der folgenden TDS (Perelló *et al.* 2014) ein starker Abfall der Konzentrationen zu verzeichnen ist. Diese zeitliche Abfolge lässt sich mit dem allgemeinen (vermuteten) Trend nicht nachvollziehen. Die Studien werfen daher mehr Fragen auf als sie beantworten können, zumal sie in kurzen Zeitabständen durchgeführt wurden. Geht man davon aus, dass die Bleigehalte eher abnehmen oder mindestens gleichbleibend sind, so ist der Anstieg bis 2011 nicht zu erklären. Dasselbe gilt für den starken Abfall bis 2013. Diese Änderungen könnten methodisch begründet sein, zum einen durch eine unterschiedliche Auswahl der Lebensmittel, die dann im Lebensmittelpool eine hohe bestehende Variabilität maskiert. Das würde aber den Nutzen der Methodik der TDS erheblich in Frage stellen. Zum anderen sollten auch Veränderungen bei der Analytik als Ursache diskutiert werden, was aber die erheblichen Schwankungen ebenfalls nicht erklären kann. Die Autoren selbst geben hierzu auch keine plausible Erklärung ab. In den Messungen verbleiben erhebliche Unsicherheiten. In einer persönlichen Mitteilung (Martí Nadal, 2018) wurde bekannt gegeben, dass sich die Konzentrationen in einer weiteren TDS noch weiter verringert hätten.

Die Ergebnisse der TDS lassen den Schluss zu, dass Vergleiche der Konzentrationen ohne Kenntnisse der gesamten Vorgehensweise der Studie schwierig zu bewerten sind. Die Unterschiede könnten aufgrund einer nicht konsistenten Auswahl der Proben und den Grad der Aggregation der Lebensmittel in der Studie begründen. Die Herkunft der Lebensmittel kann hier eine herausragende Rolle spielen. Zum Beispiel in Schweden hat die regionale Herkunft starke Einflüsse auf die Konzentrationen von Blei (und anderen Schwermetalle). Trotz aller Unsicherheiten kann festgehalten werden, dass die Aufnahme von Blei durch Verzehr von Fisch und Muscheln (in einer Kategorie zusammengefasst) in drei von vier Studien dieser katalanischen Schätzungen deutlich höher ist als bei anderen LM.

Meldungen im RASFF-System

In den Jahren 2000 bis 2018 wurden im RASFF-System einige wenige Meldungen mit bedenklichen Mengen vorgenommen. Im RASFF-System wird vermerkt, ob diese Produkte als nicht verkehrsfähig aus dem Handel genommen wurden.

Einzelstudien

Fisch und Meerestiere

Tabelle 9 stellt Ergebnisse einiger wichtiger Studien der Bleikonzentrationen in Lebensmitteln vor. Ein besonderer Fokus wird dabei auf Blei in Fischen und Meerestieren gelegt. Alle Konzentrationen liegen in Bereichen von 0,1 bis 0,5 mg/kg. Bei konservativen Annahmen werden tägliche Aufnahmen geschätzt, die mit 0,1 bis 0,15 mg/kg KG bis zu 20 % der Werte der EFSA (2012) ergeben. Bei Verwendung von durch Befragungen ermittelten Verzehrdaten liegen die Schätzwerte erheblich darunter.

Milošković *et al.* (2018) berichten über Messungen von Blei in Sardinen aus Süß- und Meerwasser am Westbalkan. Verschiedene Fanggebiete wurden untersucht. Die höchste Bleikonzentration betrug 0,42 mg/kg. Eine Aufnahmeschätzung mit diesem Wert und einem von den Autoren und Autorinnen angegebenen Wert für den Verzehr (10 g) und 70 kg für das Körpergewicht ergibt einen Aufnahme-wert von 0,07 µg/kg pro KG Tag. Das entspricht etwa 10 % des Aufnahmewertes von ca. 0,5 bis 0,7 µg/kg der EFSA. Die Autoren sehen keine Gesundheitsrisiken, sondern sprechen sich aufgrund der reichhaltigen Nährstoffe und Vitamine für den Verzehr von Fisch aus.

Hohe Konzentrationen im Fisch (bis 0,04 mg/kg) wurden in Sardellen, Makrelen, Rotbarben und Meerbrassen vor Kroatien gemessen (Bilandžić *et al.* 2011a). Ausgiebiger Verzehr dieser Fische würde zu bedenklichen Aufnahmemengen führen. In Bulgarien lagen die Konzentrationen von Blei in Fischen aus dem Schwarzen Meer deutlich niedriger (< 0,01 mg/kg), etwa vergleichbar denen, die im deutschen LMM in den vergangenen Jahren vermehrt berichtet wurden, wie auch bei Untersuchungen aus

Italien und Sizilien (Copat *et al.* 2013). Birgisdóttir *et al.* (2013) stellten eine leichte positive Assoziation zwischen der Menge des Verzehrs an Fisch und Meerestieren und einem Anstieg der Konzentrationen von Blei im Blut fest.

Tabelle 9: Berichte von Bleimessungen in einzelnen Studien

Autorinnen und Autoren	Lebensmittel	Gemessene Konzentration	Aufnahmeschätzung ⁶
Bilandžić <i>et al.</i> (2011a)	Sardellen, Makrelen, Rotbarben oder Meerbrassen vor Kroatien gemessen	Hohe Konzentrationen im Fisch, bis zu (max.) 0,34; 0,27; 0,24 und 0,46 mg/kg GM: 0,01 bis 0,02 mg/kg	Konservative Schätzung (50g Fisch pro Tag): Max: 0,25 bis 0,35 µg/kg/Tag GM: 0,03 µg/kg/Tag
Birgisdóttir <i>et al.</i> (2013)	Verzehr von Fisch und Meerestieren	Verzehr: Bis 34 g/Tag Bis 65 g/Tag Bis 107 g/Tag	Bleikonzentrationen im Blut: 20,3 µg/l 24,3 µg/l 28,8 µg/l
Chiesa <i>et al.</i> (2018)	Muscheln (Italien)	0,17 mg/kg	BMDL: 0,01 bis 0,04 µg/kg (Autorenschätzer)
Guéguen <i>et al.</i> (2011)	Austern (Seine-Mündung) und Muscheln (Bucht von Arcachon)	0,18 bis 0,49 mg/kg	0,7 µg/kg pro Tag (konservativer Schätzer)
Copat <i>et al.</i> (2013)	Versch. Fischarten (Sizilien)	0,005 bis 0,071 mg/kg	0,01 bis 0,23 µg/kg/d (Erwachsene) 0,021 bis 0,51 µg/kg/d (Kind) (Autorenschätzer)
Cirillo <i>et al.</i> (2010)	Verschiedene Fischarten, Tintenfisch und Muscheln (Campanien)	0,520 bis 0,670 mg/kg	0,6 bis 4,1 µg/kg pro Tag (Autorenschätzer)
Gutiérrez <i>et al.</i> (2017)	Krabben (verschiedene Orte auf Teneriffa)	0,13 bis 1,25 mg/kg	Aufnahmeschätzwert der Autoren: 1,13 mg/Woche, Ausschöpfung des PTWI 0,06% für einen 70 kg Erwachsenen
Kulawik <i>et al.</i> (2016)	Pangasius	Mediane: 0,007 bis 0,012 µg/g	Bei 100 g Verzehr Aufnahme von 0,017 µg/kg pro Tag
Leblanc <i>et al.</i> (2005)	Muscheln (Daten aus erster franz. TDS)	0,098 mg/kg („mean levels“)	3–4 Jahre: 0,12 µg (MW) 0,83 µg (P95) Erw. 0,26 µg (MW) 1,94 µg (P95)
Milošković <i>et al.</i> (2018)	Sardinen	0,42 mg/kg (Max)	0,07 µg/kg (Autorenschätzer)

⁶ Die konservative Schätzung wurde vom Berichtersteller vorgenommen. Sofern die Exposition von den Autorinnen und Autoren der Publikation angegeben wird, wird diese verwendet (Autorinnen bzw. Autorenschätzer).

Autorinnen und Autoren	Lebensmittel	Gemessene Konzentration	Aufnahmeschätzung ⁶									
Olmedo <i>et al.</i> (2013)	Fisch, Muscheln, (Andalusien, Spanien)	Teilweise hohe Konzentrationen bis zu 0,6 mg/kg, (Sepia) GM max.: 0,117	Konservativer Schätzer: bis zu 0,6–0,8 mg/kg pro Tag									
Squadrone <i>et al.</i> (2016)	Messung verschiedener Schwermetalle in Muscheln, Austern und Fisch aus Aquakultur im Mittelmeer (Nordwestküste Italiens)	Konzentrationen (Mediane in mg/kg) Muscheln: 0,489 Austern: 0,190 Fisch: nicht nachgewiesen	Geschätzte Aufnahme bei 50 g Verzehr in µg/kg pro Tag <table border="0" style="margin-left: 40px;"> <tr> <td></td> <td>Muschel</td> <td>Auster</td> </tr> <tr> <td>Erw. (70 kg)</td> <td>0,34</td> <td>0,1625</td> </tr> <tr> <td>Kind (20kg)</td> <td>1,2225</td> <td>0,4875</td> </tr> </table>		Muschel	Auster	Erw. (70 kg)	0,34	0,1625	Kind (20kg)	1,2225	0,4875
	Muschel	Auster										
Erw. (70 kg)	0,34	0,1625										
Kind (20kg)	1,2225	0,4875										
Ruíz-Navarro <i>et al.</i> (2013)	Algen	Mittlere Bleikonzentration 0,17 mg/kg:	Ein täglicher Verzehr von 4 g/d ergibt eine Bleiaufnahme von 0.68 µg Pb/d, ohne weitere toxikologische Konsequenz									
Musilova <i>et al.</i> (2017)	Kartoffeln auf Industriegelände in der Slowakei	Hohe Korrelation der Gehalte von Blei im Boden und in den Kartoffeln Bleikonzentrationen in Kartoffeln 0,06 bis 0,1 mg/kg.	Die Bleiaufnahme kann bis zu 10–20% der von der EFSA berichteten Aufnahmewerte von ca. 0,7 µg/kg pro Tag betragen.									
Bilandžić <i>et al.</i> (2011b)	Milch	MW (µg/l) 58,7 nördl. Kroatien 36,2 südl. Kroatien	Konservative Schätzung: (1 L Milch pro Tag) 0,5 bis 0,85 µg/kg pro Tag									
Conficoni <i>et al.</i> (2017)	Vergleich von Industriell und handwerklich erzeugtem Eis in Italien	Für industriell erzeugtes Eis wird ein Gehalt von 0,56 mg/kg angegeben (ohne weitere Angabe), handwerklich < Nachweisgrenze (NWG)	Mit diesem Gehalt würde ein 20 kg schweres Kind, das jeden Tag 100 g Eis isst, eine Bleimenge von 0,28 µg pro Tage aufnehmen									
Tattibayeva <i>et al.</i> (2016)	Reis	Maximale Konzentrationen von Blei im aus Europa importiertem Reis 0,08 mg/kg	Expositionsschätzung ergibt ca. 0,01 bis 0,1 µg/kg pro Woche für Erwachsene und Kinder aus Kasachstan, Spanien, Portugal									
Tejera <i>et al.</i> (2013)	Weizenmehl	Bleikonzentration in 50 Proben 0,037 bis 0,05 mg/kg	Autorenschätzer: 0,6 bis 0,9 µg/kg pro Woche, MOS: 240-280									

Autorinnen und Autoren	Lebensmittel	Gemessene Konzentration	Aufnahmeschätzung ⁶
de Roma <i>et al.</i> (2017)	Fertiggerichte	< NWG bis 27 ng/g	0,14 (Erwachsene) bis 1,5 µg/kg (Babys)
Gouvinhas <i>et al.</i> (2016)	Olivenöle	0,01–0,02 bis max. 2,5 µg/g	Aufnahmeschätzwert (konservativ: 0,03 bis 3,5 µg/kg pro Tag)
Beccaloni <i>et al.</i> (2013)	Selbst angebautes Gemüse, Insel Sardinien	Hülsenfrüchte 0,024 Blattgemüse 0,218 Tomaten 0,141 Fruchtgemüse 0,117 Wurzelgemüse 0,034 Kräuter, Gewürz 1,398 Zitrusfrüchte 0,052 Andere Früchte 0,294	Autorenschätzung (Median) Aufnahme pro Tag Erw.: 0,98 µg/kg Kleinkinder: 2,36 µg/kg Kinder: 1,75 µg/Tag

Die von Chiesa *et al.* (2018) festgestellten mittleren Konzentrationen in Muscheln von 0,17 mg/kg (Mediane) stimmen mit den oben genannten Konzentrationen gut überein. In einzelnen Proben wurden allerdings auch deutlich höhere Konzentrationen gemessen. Hier liegt offensichtlich eine hohe Varianz der Messwerte vor. Squadrone *et al.* (2016) stellten neben hohen Konzentrationen in Muscheln auch erhöhte Werte bei Austern, nicht aber bei Fisch (Wolfsbarsch) aus Aquakulturen fest.

Fischkonsum scheint hinsichtlich der Bleiaufnahme eine mögliche Quelle darzustellen. Hier scheint ein Widerspruch zu den bereits genannten deutschen Daten zu existieren. In anderen Europäischen Regionen und hinsichtlich unterschiedlicher Fischarten kann der oben gezogene Schluss nicht bestätigt werden (Bilandžić *et al.* 2011a; Copat *et al.* 2013; Copat *et al.* 2018; Makedonski *et al.* 2017).

Die Schätzung der Bleiaufnahme durch Muschelkonsum auf der Basis der ersten französischen TDS ergibt für Erwachsene einen Mittelwert von 0,26 µg. Bei einem Körpergewicht von 70 kg ergibt sich ein Aufnahmewert von 0,0034 µg/kg und für das 95. Perzentil von 1,94 µg ein Wert von 0,027 µg/kg.

Konzentrationen von Blei in Meerestieren können auch in der Europäischen Datenbank über Kontaminanten in Meerestieren, der „ECsafeSEAFOOD database“⁷ recherchiert werden. Die entsprechende Publikation von Vandermeersch *et al.* (2015) enthält 18 Einträge zu Blei. Die Konzentrationen entsprechen denen in Tabelle 9.

Andere Lebensmittel

Erwähnenswert ist die Studie von Musilova *et al.* (2017), bei der Messungen im Boden eines ehemaligen Industriegeländes und in darauf angebauten Kartoffeln vorgenommen wurde. Diese zeigt eine hohe Korrelation ($R=0,875$) der Bodenwerte mit den Konzentrationen von Blei in den untersuchten Kartoffeln. Die Exposition über den Konsum der hier stärker belasteten Kartoffeln kann bedenkliche Werte annehmen.

In einer experimentellen Studie (Pinto *et al.* 2014) konnte eine ähnliche Korrelation zwischen der Konzentration von Blei im Boden und in Blättern von Salat nachgewiesen werden.

⁷ <http://www.ecsafeseafoodbase.eu/>

Milch kann Konzentrationen enthalten, die bei hohem Konsum bedenklich sein können (Bilandžić *et al.* 2011b). Eine italienische Studie (Conficoni *et al.* 2017) nennt einen Gehalt von 0,056 mg/kg Blei in industriell hergestelltem Speiseeis. Diese Menge würde zu einer hohen Aufnahmemenge bei Kindern führen.

De Roma *et al.* 2017 untersuchten Blei in verschiedenen Fertiglernsmitteln für Kleinkinder, für Kinder, und in Kantinen. Die Konzentrationen lagen, in einem TDS-Ansatz im Nanogramm-pro-Gramm-Bereich. Die geschätzten Aufnahmemerte lagen zwischen 0,15 (Erwachsene/Kantine) bis 1,5 µg/kg Blei (Babynahrung).

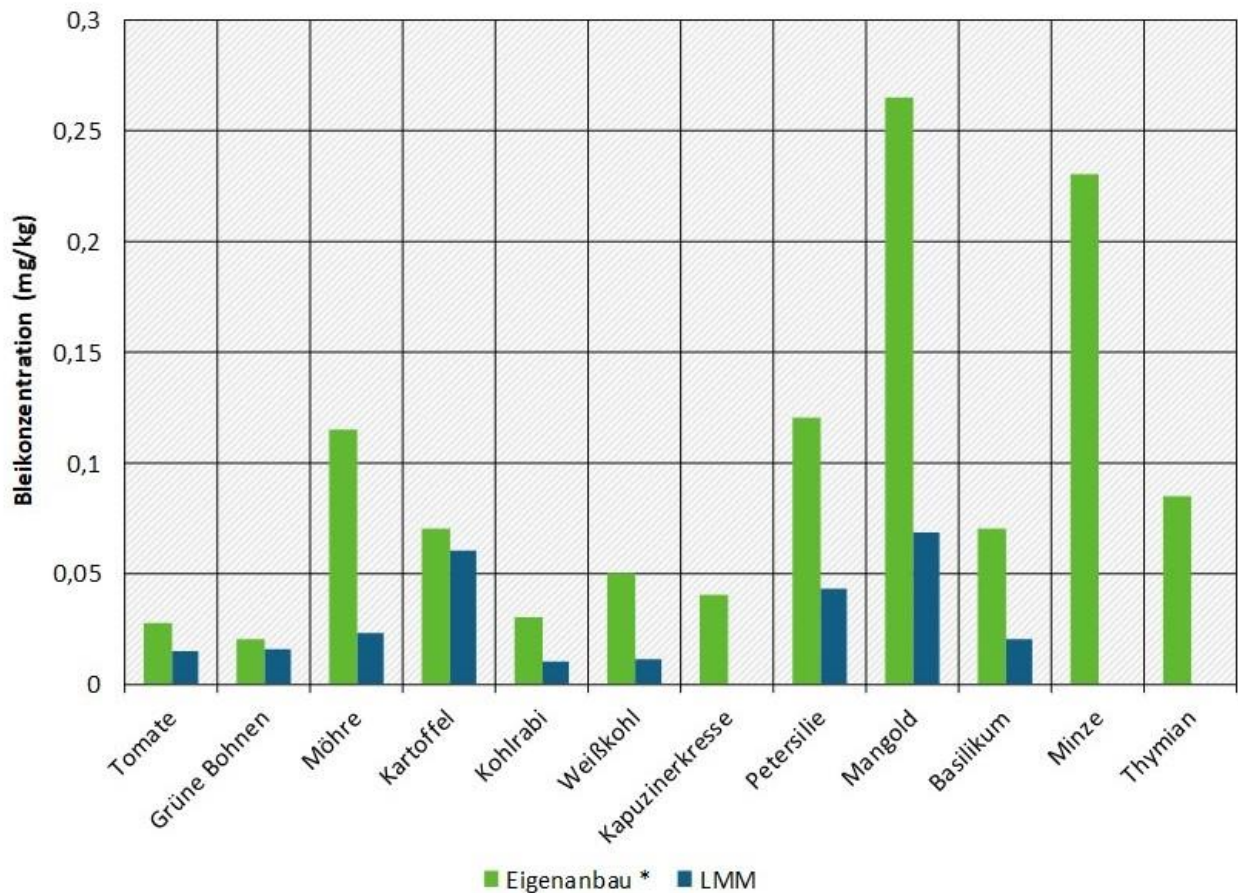
Wein- und Bierkonsum kann erheblich zur Bleiexposition beitragen (Pflaum *et al.* 2016). Die Autorinnen und Autoren berichten gemessene Konzentrationen von bis zu 29 µg/l in Weißwein. Im LMM wurden in den Jahren 2012 und 2016 14 bzw. 17 µg/l in Wein festgestellt. Demnach kann exzessiver Konsum von Wein (z. B. 1L pro Tag) zu einer Aufnahme von bis zu 0,3 bis 0,4 µg/kg pro Tag führen. Die Bleiaufnahme durch Bierkonsum (0,08 µg/kg pro Tag) ist zwar geringer, aber immer noch relevant für die Gesamtaufnahme.

Die von Beccaloni *et al.* (2013) gemessenen Konzentrationen in selbst angebautem Gemüse (siehe Tabelle 9) und die daraus errechnete tägliche Aufnahme müssen vor dem Hintergrund des Minimierungsgebotes als bedenklich eingeschätzt werden.

Säumel *et al.* (2012) berichten von Bleimessungen in selbst angebautem Gemüse aus Gärten der Berliner Innenstadt („urban gardening“). Die Autorinnen und der Autor geben die Konzentrationen pro Trockengewicht an. Zum Vergleich wurde eine Rückschätzung in Feuchtgewicht vorgenommen. Für das Gemüse wurde ein Wassergehalt von 95 % angenommen, für Tomaten abweichend ein Gehalt von 97,5 %. Mangold wurde im LMM nicht beprobt. Als Ersatz wurde der höchste Bleiwert (0,7 mg/kg) verwendet, der in Gemüse (hier Spinat) gemessen wurde. Auch wenn es sich bei den innerstädtischen Proben nur um eine geringe Zahl von Messungen handelt, so übersteigen die Konzentrationen von Blei in Möhren im Eigenanbau die im LMM gemessenen Werte deutlich (vergl. Abbildung 12). Dauer- und Vielverzehr dieses Gemüses könnte zu bedenklichen Aufnahmemengen führen.

Ähnliche Ergebnisse, allerdings mit geringeren Unterschieden, wurden von denselben Autoren für Nüsse, Beeren und Obst aus dem Innenstadtbereich berichtet (Hoffen & Säumel 2014). Die Konzentrationen in Lebensmitteln aus Eigenanbau sind in der Originalarbeit auf das Trockengewicht bezogen. Für die Umrechnung auf das Feuchtgewicht wurde ein Wassergehalt von 95 %, bei den Nüssen von 10% angenommen.

Abbildung 12: Vergleich von Bleikonzentrationen in selbst angebautem Gemüse in der Berliner Innenstadt und Messungen aus dem LMM-Programm



* auf Feuchtmasse umgerechnet

Quelle: Säumel et al. (2012) und LMM

Grafik: Bundesinstitut für Risikobewertung unter Verwendung der angegebenen Quellen

3.3.1.2 Muttermilch

Muttermilch ist das wichtigste Lebensmittel für Neugeborene und Kinder in den ersten Lebensmonaten. Messungen von Blei in der Muttermilch sind daher die wesentliche Grundlage für die Schätzung der externen Exposition von Neugeborenen. Muttermilch bildet aber auch die Belastung der Mutter ab. Daher stellt die Messung der Bleikonzentrationen in der Muttermilch sowohl ein humanes Biomonitoring (=interne Exposition für die Mutter) dar wie auch ein LMM (externe Exposition für das Kind). Da die Muttermilch hauptsächlich im Zusammenhang mit der Exposition der Kinder untersucht wird, ist dieses Unterkapitel dem LMM untergeordnet.

In einer weltweit durchgeführten Studie der WHO liegen für zwei europäische Länder (Ungarn, Schweden) Bleikonzentrationen in der Muttermilch vor, die mit 14,3 bis 17,8 µg/l in Ungarn und 16,8 µg/l in Schweden deutlich höher lagen als der weltweite Durchschnitt von 2 – 5 µg/l (WHO 1989). Diese hohen Werte könnten durch eine besondere Selektion zustande gekommen sein. Bei der Diskussion der hohen Werte in der Muttermilch müsste auch noch die Bleibelastung durch das Benzin einbezogen werden, da die Studie 1989 publiziert wurde, die Daten also noch davor gewonnen wurden. Gundacker *et al.* (2002) fanden in 138 zufällig ausgewählten Muttermilchproben in Österreich eine mittlere Konzentration von 1.63 ± 1.66 µg/l Blei.

Im Jahre 2012 berichteten Ljung Björklund *et al.* (2012) Konzentrationen von 1,2 µg/l Blei in der Muttermilch von schwedischen Müttern in einer zufälligen Stichprobe. Noch geringere Werte fanden Birkeland *et al.* im Jahre 2017 mit 0,25 µg/l Blei in Norwegen.

3.3.1.3 Babynahrung

In verschiedenen Publikationen wurden Konzentrationen von Blei in industriell hergestellter Fertignahrung für Kinder untersucht. Diese Nahrung stellt in einem kurzen, aber individuell unterschiedlich langem Lebensabschnitt die Hauptnahrungsquelle für Kleinkinder dar. Babynahrung wird im Allgemeinen durch die Bestandteile charakterisiert, die die Hauptenergiequelle darstellen. Im deutschen LMM wurden in den Jahren 2001–2003 und 2011 Messungen für diese Lebensmittel vorgenommen. Bei den Messungen 2001 lagen die Werte bei 0,02 mg/kg in allen Lebensmittelgruppen. Im Jahre 2011 wurde in Soja basierter Säuglingsanfangsnahrung eine mittlere Konzentration von 0,005 mg/kg gemessen. Im Jahr 2015 wurde der Bleigehalt in Babybreis auf Getreidebasis im Rahmen des Monitorings analysiert. Die Bleigehalte (Mittelwert und Median) betragen 0,01 mg/kg und das 95. Perzentil lag bei 0,02 mg/kg.

Khamoni *et al.* (2017) untersuchten Bleikonzentrationen in Babynahrung, die auf die verschiedenen Entwicklungsstufen im ersten Lebensjahr zugeschnitten waren. Bei sechs von insgesamt zwölf Proben lagen die Bleikonzentrationen unterhalb der Nachweisgrenze (diese ist in der Publikation nicht spezifiziert). Bei sechs weiteren Proben lag der höchste mittlere Wert bei 0,5 µg/100 g (entspricht 5 µg/kg), der Mittelwert dieser sechs Proben betrug 1,5 µg/kg, bei einem lower-bound (LB) Ansatz kann ein Mittelwert von 0,14 µg errechnet werden.

In der Studie von Mir-Marqués *et al.* (2015) wurde kommerzielle Babynahrung aus dem spanischen Markt untersucht, die Fleisch, Fisch, Gemüse und Obst enthielt. Die Bleikonzentrationen, die mit ICP-OES (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry) gemessen wurden, lagen allesamt unterhalb der Nachweisgrenze von 0,3 mg/kg. Dieses Messverfahren ist allerdings deutlich weniger empfindlich als andere, modernere Messmethoden wie z. B. ICP-MS.

Pandelova *et al.* (2012) fanden die höchsten Konzentrationen von Blei in Soja-basierten (30 µg/kg) und in Milch-basierten (43 µg/kg) Nahrungsmitteln für Babys. Zur Exposition aus dieser Studie vgl. Kapitel 3.3.2.2.

In verschiedenen Formula-Diäten für vier Monate alte Babys fanden Ljung *et al.* (2011) Konzentrationen von 1,2 bis 13 µg/kg Blei. Die Aufnahme von Blei mit diesen Diäten wird auf Werte zwischen 0,09 bis 1,7 (mittlere Werte ca. 0,25) µg/kg geschätzt. Das entspricht etwa den bereits erwähnten Messungen von de Roma *et al.* (2017). Die geringste Blei Aufnahmemenge wird allerdings durch die Muttermilch erzielt (0,07 µg/kg).

Hernández-Martínez & Navarro-Blasco (2012) fanden in den Proben Getreide-basierter Fertignahrungsmittel für Babys aus ökologischem Anbau eine hohe Bleibelastung. Allerdings werden die Ergebnisse ausschließlich allem vor dem Hintergrund dieser besonderen Anbaumethode in der Arbeit diskutiert.

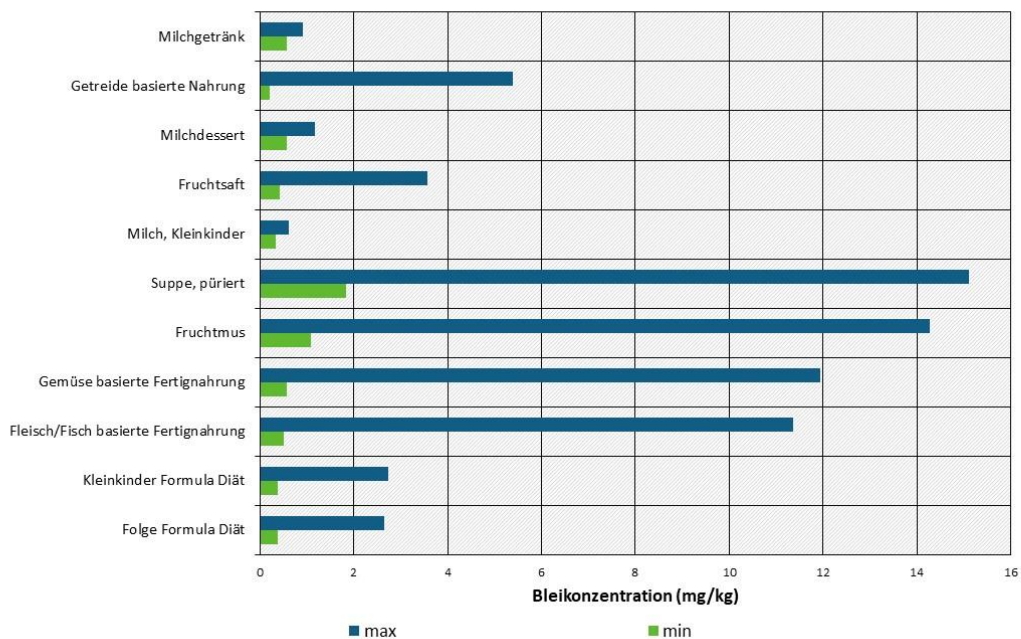
Grundsätzlich betont das BfR (2018) die Einschätzung, dass bezüglich der entwicklungsneurotoxischen Wirkung bei Kindern keine sichere Aufnahmemenge für Blei benannt werden kann. Die Exposition sollte dementsprechend auf das erreichbare Minimum reduziert werden.

TDS für Kinder- und Säuglingsnahrung

Die Ergebnisse der Messungen in der französischen TDS für Baby- und Kleinkindernahrung von Guérin *et al.* (2017) und Sirot *et al.* (2018) ergaben große Schwankungen zwischen den Werten. In Abbildung 13 sind die Messergebnisse dargestellt, errechnet auf der Basis des Lower-Bound (LB)- und Upper-

Bound (UP)-Ansatzes. Verglichen mit den im vorhergehenden Kapitel aufgeführten Daten liegen die Werte der französischen TDS (Mittelwerte) niedriger. Der Unterschied zwischen LB und UB spiegelt sich nur im Minimalwert wider, der beim UB „0“ (Null) betragen würde. Dies trifft für einige LM zu. Interessant für eine Expositionsschätzung sind vielmehr die Maximalwerte. Setzt man diese Werte ein (der Einfachheit halber 10 µg/kg Blei), so ergibt eine grobe und konservative Schätzung (Aufnahmemenge pro Tag 250 g, Körpergewicht 10 kg) einen Aufnahmewert in der Größenordnung von 0,25 µg/kg Blei pro Tag. Im Vergleich zu der EFSA-Schätzung und dem Postulat einer möglichst geringen Aufnahme wären solche Werte als nicht akzeptabel anzusehen. Expositionsschätzungen wurden von Sirot *et al.* 2018 präsentiert. Demnach liegt der Schätzer für die Aufnahme von Blei über Lebensmittel bei Kindern im Alter von 1–3 Jahren bei 0,048 (LB) und 0,094 (UB) µg/kg pro Tag. Kinder im Alter von 5–6 Jahren nehmen 0,130 (LB) und 0,155 (UB) µg/kg pro Tag auf, 7–12-jährige Kinder 0,179 (LB) und 0,196 (UB) µg/kg Blei pro Tag. Im höheren Alter einschl. junge Erwachsene kann eine Aufnahme von Blei von 0,199 (LB) und 0,209 (UB) µg/kg KG pro Tag. Diese Schätzungen kommen der mittleren realen Aufnahme von Blei wahrscheinlich sehr nahe, deutliche Schwankungen sind bei der Variabilität der Messwerte möglich. Die Unsicherheiten scheinen gering zu sein, erkennbar an dem relativ geringen Unterschied zwischen UB und LB Schätzung.

Abbildung 13: Konzentrationen von Blei in Säuglings- und Kleinkindernahrung (französische TDS für Kinder)



Quelle: Guerin et al. (2017); Sirot et al. (2018)

Grafik: Bundesinstitut für Risikobewertung unter Verwendung der angegebenen Quellen

3.3.1.4 Nahrungsergänzungsmittel (NEM)

Blei kann als Bestandteil der Erdkruste natürlicherweise in NEM vorkommen, z. B. wenn diese auf der Basis von Kieselerde hergestellt wurden. Als weitere wichtige Quelle für Blei in NEM müssen Algen genannt werden. Im EFSA-Bericht von 2010 werden mittlere Bleikonzentrationen von 1,07 mg/kg für Algen-basierten NEM und von 0,64 mg/kg für andere NEM aufgelistet, sowie maximale Konzentratio-

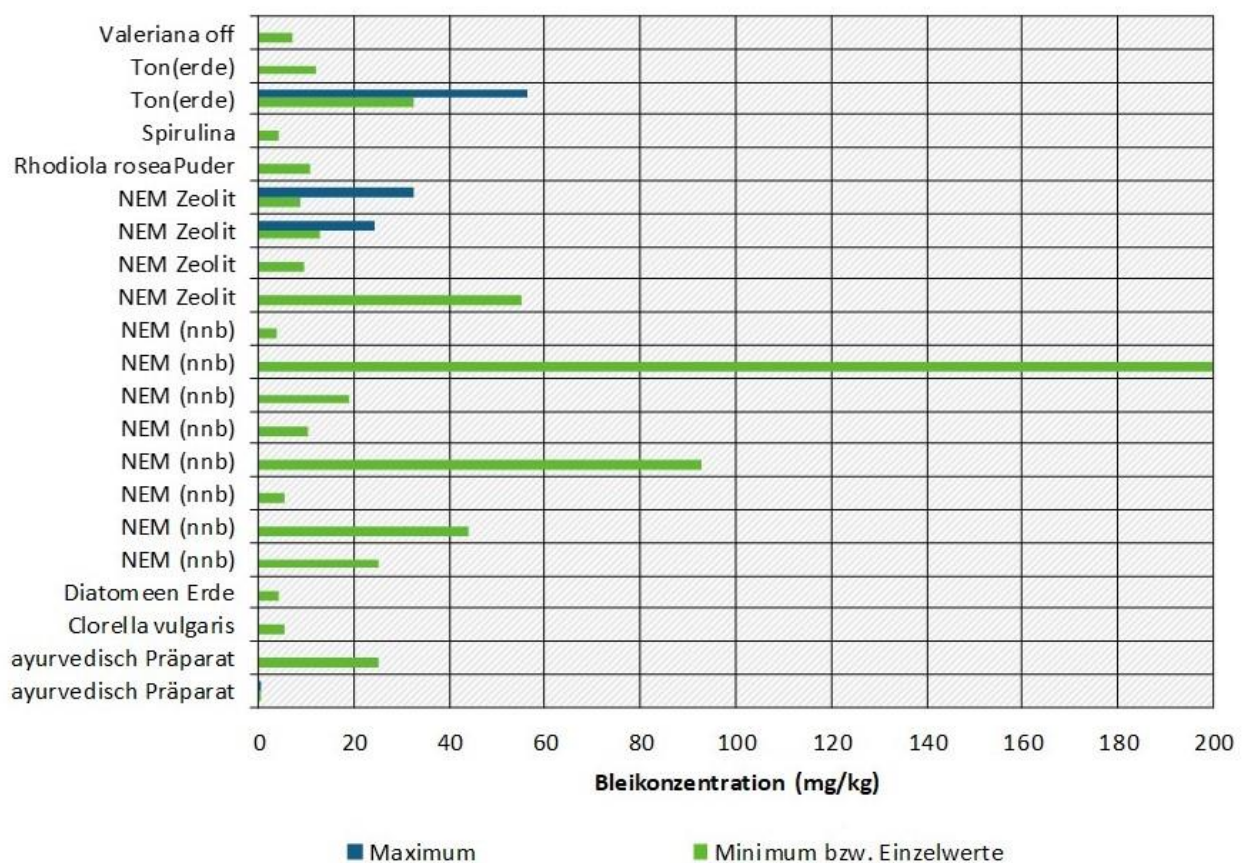
nen von 28 mg/kg (Algen-basiert) und 155 mg/kg (nicht-Algen-basiert). Daraus werden von verschiedenen Institutionen Warnhinweise für den Verzehr von entsprechenden NEM ausgesprochen (BMU⁸, Verbraucherzentrale⁹). Auch im LMM (Kapitel 3.3.1.1) wurden entsprechend hohe Werte gemessen.

Krawczyk (2014) berichtet über Konzentrationen von Blei in Vitaminpräparaten von 0,003 bis 0,008 mg pro Tablette. Bei täglicher Einnahme von einer Tablette resultiert dabei eine Dosis von ca. 0,03 bis 0,09 µg/kg bei einem Körpergewicht von 70 kg.

Ähnliche Konzentrationen von Blei fanden Filipiak-Szok *et al.* (2015) in chinesischen Präparaten (0,3 bis 8,3 µg/Tablette). In derselben Arbeit wird auch über Messungen in Pflanzen aus der chinesischen traditionellen Medizin berichtet. Die Konzentrationen lagen zwischen 0,3 und 0,8 µg/g. Eine konservative Expositionsschätzung aufgrund dieser Daten ist nicht möglich ohne Berücksichtigung der Art der Zubereitung. Ein Pflanzenextrakt für einen Tee von 10 g würde bis zu einer Aufnahme von 8 µg Blei bei vollständiger Ausbeute betragen. Damit wäre die Aufnahmemenge ähnlich hoch wie bei den Tabletten.

Tumir *et al.* (2010) fanden in dreißig Vitaminproben und Teepräparaten in Kroatien Konzentrationen von 0,25–3,86 µg/g Blei. Sie errechneten eine kumulative Aufnahme von 0,95 (Bereich 0,12–90,4) µg pro Tag.

Abbildung 14: Meldungen von Höchstwert-Überschreitungen von Blei in NEM



Quelle: RASFF Datenbank

Grafik: Bundesinstitut für Risikobewertung unter Verwendung der angegebenen Quelle

⁸ <https://www.bmu.de/download/hoechstgehalte-fuer-blei-cadmium-und-quecksilber-in-nahrungsergaenzungsmitteln/>

⁹ <https://www.verbraucherzentrale.de/aktuelle-meldungen/lebensmittel/endlich-klartext-bei-nahrungsergaenzungsmitteln-13409>

Im Schnellwarnsystem (RASFF) wurden wiederholt Überschreitungen der Höchstwerte, mit und ohne Angabe von Messergebnissen berichtet (siehe Abbildung 14). Es sind die Meldungen aufgeführt, die ernster Natur sind und sofortigen Handlungsbedarf begründen. Die Produkte, die überwiegend chinesischen Ursprungs sind, wurden aus dem Handel gezogen. Die teilweise von den Mitgliedsstaaten zur selben Zeit und für dieselben oder ähnliche Produkte berichteten Messwerte liegen in den o. g. Bereich und teilweise auch darüber. Bei der Fülle der verschiedenen Produkte muss allerdings auch konstatiert werden, dass die Zahl der Meldungen im RASFF vergleichsweise gering ist.

Auch diese im RASFF-Schnellwarnsystem gemeldeten Fälle von starken Höchstwertüberschreitungen unterstreichen die Notwendigkeit einer ständigen und konsequenten Lebensmittelüberwachung. Teilweise wurden auch Messungen in mehreren Produkten berichtet. Hier ist der Bereich (min – max) angegeben.

3.3.1.5 Lebensmittelzusatzstoffe

Lebensmittelzusatzstoffe sind chemisch definierte Stoffe, die Lebensmitteln zugesetzt werden. In der Verordnung der Europäischen Kommission zu den Höchstgehalten von Blei in Zusatzstoffen (Verordnung (EU) Nr. 231/2012) werden Höchstwerte für Blei als Verunreinigung in Lebensmittelzusatzstoffen geregelt. Diese werden dann Lebensmitteln zugesetzt. Sie können auch NEM zugesetzt sein, teilweise sogar als Hauptbestandteil, wie das folgende Beispiel für die Aufnahme von Blei aus einem Kurkuma-basierten NEM zeigt. Ein willkürlich ausgewähltes Präparat enthält 250 mg Curcumin. Als Einnahmemenge wird eine Kapsel mit 500 mg pro Tag empfohlen. Der Höchstgehalt als Verunreinigung von Curcumin mit Blei beträgt laut Verordnung 10 mg/kg. Mit der Einnahme einer Kapsel nimmt man demnach eine maximale Menge von 2,5 µg Blei auf. Bezogen auf ein Körpergewicht von 70 kg wäre das 0,035 µg/kg Blei. Dies entspricht einem Anteil von ca. 4-5 % der von der EFSA errechneten täglichen Aufnahme von Blei von 0,6 bis 0,7 µg/kg KG pro Tag.

Daten über Konzentrationen von Blei in Lebensmittelzusatzstoffen konnten anhand des systematischen Reviews nicht identifiziert werden.

Diouf *et al.* (2014) ermittelten auf der Basis der deutschen nationalen Verzehrsstudie und den Vorschriften für Höchstwerte von Lebensmittelzusatzstoffen deren potenzielle Aufnahme. Für sechs Lebensmittelzusatzstoffe lag die geschätzte Aufnahmemenge von Blei für Vielverzehrer (ungünstiges Szenario) zwischen 0,12 und ca. 4 mg/kg KG pro Tag. Für diese Stoffe ist laut Verordnung (EU) Nr. 231/2012 eine Verunreinigung mit Blei von 2 mg/kg erlaubt. Aus diesen Werten kann ein Aufnahmewert für Blei von 0,008 µg/kg KG pro Tag geschätzt werden. Daraus kann man den Schluss ziehen, dass die Aufnahme von Blei als Verunreinigung der in der Verordnung genannten Lebensmittelzusatzstoffe auf einem geringen Niveau liegt.

3.3.1.6 Trinkwasser

Am 01.12.2013 trat ein neuer Grenzwert für Blei im Trinkwasser in Kraft. Pro Liter Wasser dürfen seit diesem Tag nicht mehr als 10 µg Blei enthalten sein. Da die Werte im Wasser aus Bleileitungen in der Regel höher sind, müssen diese gegen Rohre aus besser geeigneten Werkstoffen ausgetauscht werden. Messungen von Blei im Trinkwasser nach diesem Datum zeigen, dass die Bleikonzentrationen im Trinkwasser den Wert von 10 µg/l in der Regel nicht überschreiten. Die Frage ist aber, ob dieser Grenzwert ausreichend ist um die Gesundheit zu schützen.

Die Exposition mit Blei durch Trinkwasser ist eng mit der Verwendung von Bleirohren in der häuslichen Trinkwasserversorgung verknüpft. Etchevers *et al.* (2014) beschreiben einen signifikanten Zusammenhang zwischen der Aufnahme von Trinkwasser aus Rohrleitungen und Bleikonzentrationen im Blut. Sie führen dies auf die Abgabe von Blei aus den o. g. Bleirohren zurück. In einer weiteren Pub-

likation derselben Arbeitsgruppe zeigen Oulhote *et al.* (2013), dass Trinkwasser einen Anteil von ca. 5 % an der internen Exposition mit Blei hat. Der geometrische Mittelwert der Bleikonzentration im Trinkwasser lag niedriger als 1 µg/l, 58 % der Messwerte lagen unterhalb dieses Wertes und 2,9 % lagen höher als 10 µg/l (Lucas *et al.* 2012). Es ist anzumerken, dass diese Studien vor der Festsetzung des o. g. neuen Grenzwertes für Blei im Trinkwasser von 10 µg/l durchgeführt wurden. Etchevers *et al.* (2017) sehen nach neueren Auswertungen der o. g. Arbeiten einen direkten Bezug zwischen Blei-Blutspiegeln und Trinkwasser bei Konzentrationen über 5 µg/l. Dieser Zusammenhang wird auch durch Studien zur Exposition mit Blei über Trinkwasser aus Hamburg (Dengler *et al.* 2011; Fertmann *et al.* 2004) gestützt.

Anhand von Messungen von Blei-Isotopen diskutieren Glorennec *et al.* (2010) die Bedeutung der Anteile von Hausstaub und Trinkwasser an der Gesamtexposition mit Blei. Demnach tragen beide Quellen signifikant zur Bleiexposition bei. Nach Neufestlegung der Grenzwerte für Trinkwasser wäre für diese Quelle die Diskussion aber erneut zu führen.

Bartoń *et al.* (2002) berichteten über Werte aus Krakau (Polen) aus dem Jahre 2000 von 0,68 bis 2,97 µg/l Blei, zu verschiedenen Tageszeiten und an verschiedenen Orten (städtisch, vorstädtisch, ländlich).

Bereits 1998 berichteten Hentschel *et al.* (1998) über Messungen, die von 1997 bis 1998 im Stadtgebiet von Frankfurt am Main durchgeführt wurden. Trinkwasserproben wurden an verschiedenen Orten der häuslichen Versorgung entnommen, am Wasserzähler, in der Küche, mit und ohne Stagnation und zu unterschiedlichen Zeiten. Das höchste 95. Perzentil der Bleikonzentration bei diesen unterschiedlichen Probenentnahmeorten betrug in dieser Untersuchung 0,19 mg/l, die höchsten Werte lagen teilweise aber erheblich darüber. Der Medianwert betrug am Wasserzähler 0,007 mg/l, bei 3-stündlicher Stagnation in der Küche 0,01 mg/l. Zu diesem Zeitpunkt war bei 50 % der Haushalte der 2013 eingeführte Grenzwert von 10 µg/l überschritten.

In niedersächsischen Trinkwasserproben wurden auch vor der Änderung der Trinkwasserverordnung im Jahre 2013 in 88 % von 2.708 Proben Konzentrationen unter 5 µg/l Blei gemessen. Bei 5 % der Proben lag der Wert zwischen 5 und 10 µg/l, und in 4 bzw. 3 % der Proben konnten Konzentrationen von 11-25 bzw. > 25 µg/l ermittelt werden (NLGA 2014). Diese Werte werden sich nicht geändert haben, sofern die Bleirohre nicht ausgetauscht wurden.

Grabmann (2016) schätzt die Aufnahme von Blei über den Pfad „Trinkwasser“ auf 20 µg pro Tag. Dieser Wert resultiert aber aus einer geschätzten Aufnahme von 2 Litern Wasser mit dem zulässigen Höchstwert von 10 µg/l und stellt damit eine extrem konservative Schätzung dar.

Bei einer Aufnahme von einem Liter Trinkwasser (z. B. pur, über Genuss von Tee, Kaffee, oder die Zubereitung von Mahlzeiten) würde bei kompletter Ausschöpfung dieses Grenzwertes von 10 µg/l Blei bei einem Körpergewicht von 70 kg eine Aufnahme von 0,14 µg/kg KG pro Tag resultieren. Das entspricht einem Anteil von ca. 20 % der von der EFSA (2012) geschätzten Blei-Gesamtaufnahme (siehe Kapitel 1) von ca. 0,5 bis 0,7 µg/kg KG pro Tag. Die Menge Blei, die über das Trinkwasser aufgenommen wird wäre demnach auch bei diesem Grenzwert erheblich.

In einer prospektiven Studie in Hamburg konnte ein Zusammenhang zwischen der Konzentration von Blei im Trinkwasser, der konsumierten Menge und der Konzentration im Blut festgestellt werden. Reduktion der Aufnahme kann auch kurzfristig zu einem Absinken des Blutbleispiegels führen (Dengler *et al.* 2011).

Zietz *et al.* (2007) berichten über regionale Unterschiede der niedersächsischen Wasserversorgung. Häufige Überschreitungen der Konzentration von 10 µg/l Blei werden aus städtischen Gebieten (Hannover) sowie aus dem Versorgungsgebieten Goslar, Osterode (Harz) und Stade gefunden. Dies würde zumindest für die Harzregion die Vermutung erhärten, dass der Bergbau eine Quelle für die Belastung des Trinkwassers darstellen kann. Die Autoren selbst geben hierzu keine Erklärung.

Trinkwasser wird regelmäßig auf unerwünschte Stoffe untersucht. So kann in den Berichten der Hamburger Wasserwerke nachgelesen werden, dass in allen Versorgungsstellen der Stadt die Ergebnisse aller gemessenen Proben im Jahre 2018 für die verschiedenen Wasserwerke in Hamburg unterhalb der Nachweisgrenze von 0,001 mg/l Blei lagen¹⁰. Ob diese Konzentrationen auch in den Haushalten ankommen, wäre zu untersuchen. Eine Wiederholung der Messungen von Zietz *et al.* (2007) und Zietz *et al.* (2009) wäre angemessen, um die Auswirkungen des neuen Grenzwertes zu überprüfen.

Im Jahre 2016 lagen in drei Versorgungsgebieten in Baden-Württemberg (LW 2017) die Konzentrationen als Jahresmittelwerte in zwei Gebieten bei < 0,001 und in einem Gebiet bei < 0,0005 mg/l Blei. Ähnliche Ergebnisse publizierten 2016 le Bot *et al.* aus Frankreich in einer Studie mit insgesamt 484 Messungen. Bei diesen Konzentrationen würde sich die mittlere Aufnahmemenge mindestens um einen Faktor 10 (bezogen auf den Grenzwert) verringern.

Damit hätte die Aufnahme von Blei über das Trinkwasser keinen bedeutenden Anteil mehr für die gesamte Bleiaufnahme.

In Anbetracht der Bewertung durch die EFSA, nach der kein TDI mehr für Blei abgeleitet werden kann, sondern die Aufnahme so gering wie möglich gehalten werden soll, könnte über eine weitere Absenkung des Grenzwertes für Blei im Trinkwasser nachgedacht werden.

3.3.1.7 Mineralwasser

Felipe-Sotelo *et al.* (2015) berichten in einer Studie über multivariate Analysen von Metallen in 37 Mineralwassern aus sieben Ländern Europas eine mittlere Konzentration von Blei von 0,894 µg/l. Bei einem Konsum von einem Liter dieser Mischung würde demnach ein 70 kg schwerer Mensch 0,014 µg/kg Blei aufnehmen. Da es sich bei dieser Messung nur um einen (Mittel-)Wert einer Serie von immerhin 37 verschiedenen Wassern aus verschiedenen Provenienzen handeln, kann dieser Wert als Orientierungshilfe verwendet werden. Deutlich niedrigere Konzentrationen werden von Varrica *et al.* (2013) aus Sizilien berichtet. Beide Stichproben sind nicht repräsentativ und können Zufallsbefunde wiedergeben.

3.3.1.8 Haushaltsprodukte

Bis 2016 wurde im Monitoring Programm die Bleilässigkeit in verschiedenen Verbraucherprodukten nachgewiesen. Vergleichbare Studien zu Gehalten von Blei in Verbraucherprodukten liegen von der dänischen EPA (Danish Environmental Protection Agency) vor, die eine groß angelegte Serie von Messungen von Stoffen in Verbraucherprodukten aufgelegt hat (Larsen *et al.* 2017). Für die Frage der Bedeutung von Konzentrationen von Blei in Verbraucherprodukten ist auch die Frage nach der Verfügbarkeit, d. h. der Migration und Freisetzung aus den entsprechenden Produkten zu beantworten. Die Zahl der Studien, die hier eine Antwort geben, ist gering.

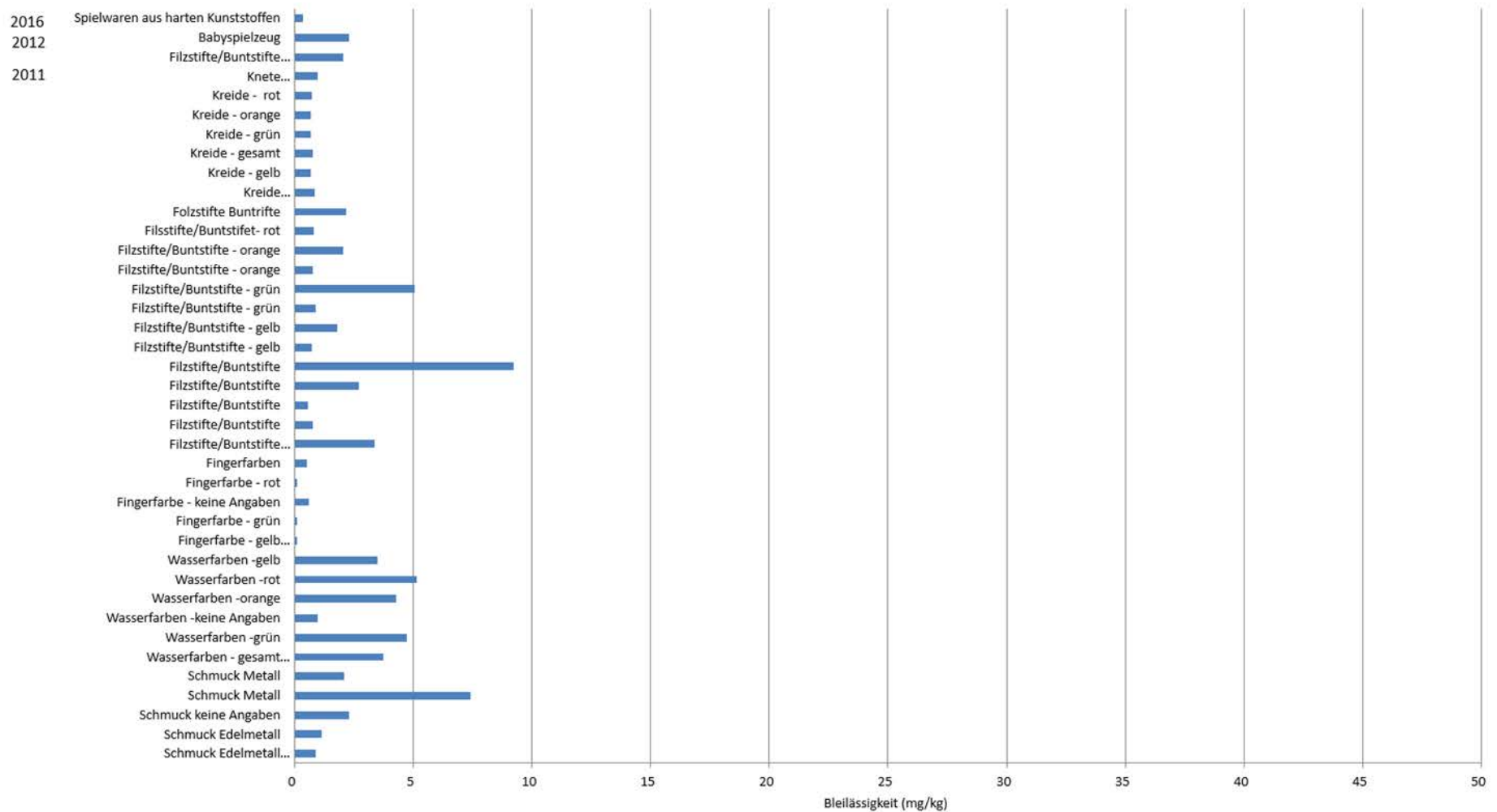
Lichter für Weihnachtsbäume können Blei enthalten, das als Stabilisator in der Ummantelung aus Polyvinylchlorid (PVC) als Abdeckung von Leitungen verwendet wird (Laquatra *et al.* 2008). Ausmaß und Bedeutung dieser Verwendung ist nicht bekannt. Es sollte daher geprüft werden, ob dies generell für PVC-Leitungen gilt. Nach Informationen des Forums „Nachhaltiges Bauen“ (Kolb 2019) enthalten PVC Kabel 1,3 % Tribase Bleisulfat, und 0,4 % Bleistearat mit einem Bleigehalt von 28 %, was einem Gesamtbleigehalt von 0,467 % Blei gleichkommt.

Obwohl bereits Proben im vierstelligen Bereich untersucht wurden, zeigt Abbildung 15, dass die Zahl der Gegenstände noch begrenzt ist, bei denen die Bleilässigkeit im Rahmen des Monitoring-Programmes untersucht wurde. In der Gruppe Holzspielzeug, Kaufmannsladenzubehör wurden elf

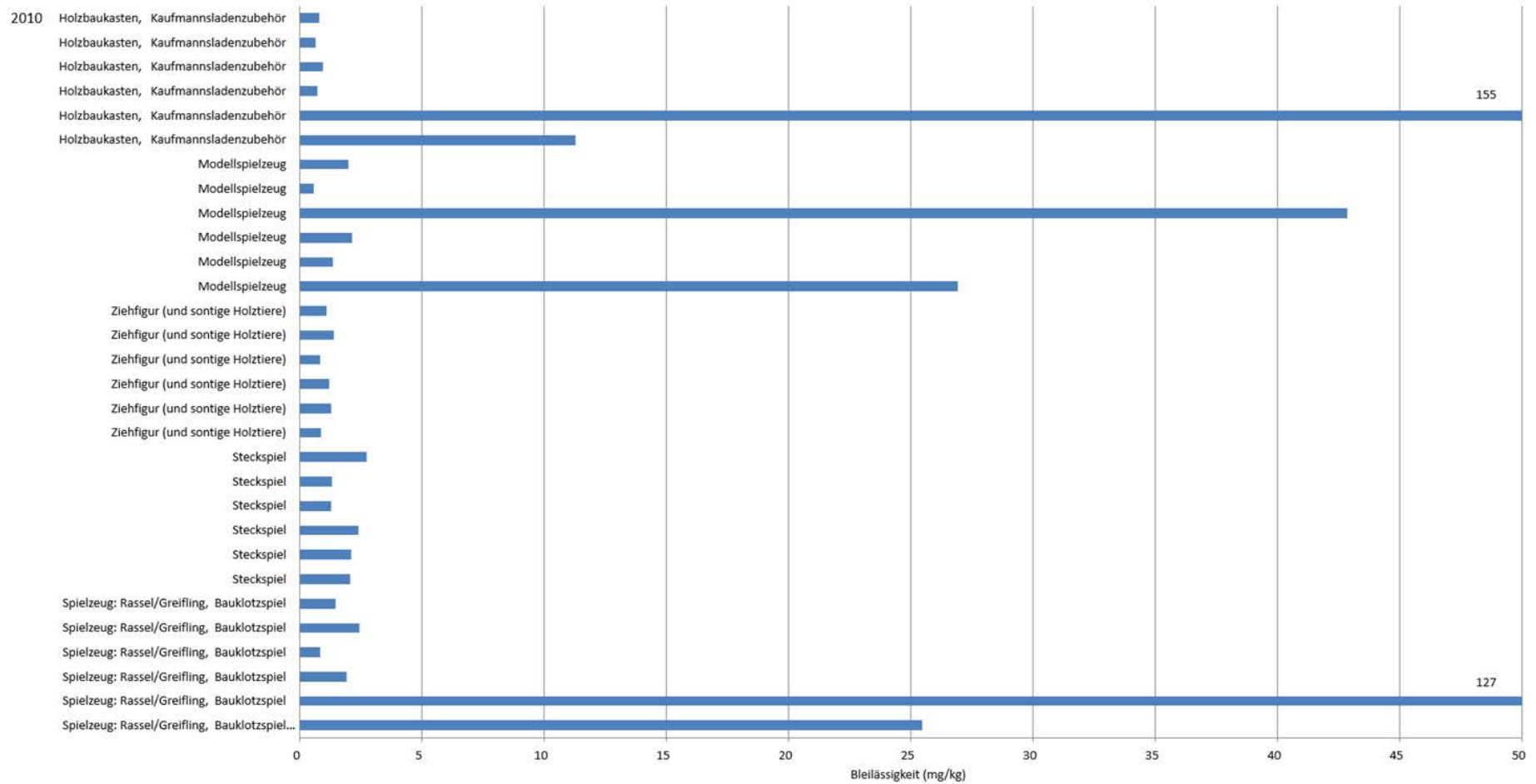
¹⁰ <https://www.hamburgwasser.de/privatkunden/service/mein-wasserwerk/details/wasserwerk-bergedorf/>

Produkte untersucht. Bei neun Produkten lagen die Ergebnisse unterhalb der Nachweis- bzw. Bestimmungsgrenze. Bei einigen Produkten wurden sehr hohe Werte gemessen. Dieses Ergebnis macht die Bedeutung des Monitorings deutlich, und zeigt weiterhin, dass die Stichproben ausgedehnt und weiter systematisiert werden sollten. Eine Expositionsschätzung auf der Basis dieser Daten würde ein kaum brauchbares Ergebnis für eine Aussage hergeben, die eine Tendenz während der Jahre 2009 bis 2018 vermuten ließe. Es liegen zurzeit noch keine brauchbaren Daten zur Anwendung derartiger Produkte aus Deutschland vor. Daten aus weiteren Mitgliedsstaaten der EU könnten hier eventuell ergänzende Informationen liefern. Für regulative Zwecke werden Default-Annahmen gemacht, die die tatsächliche Exposition stark überschätzen und daher ungeeignet sind.

Abbildung 15: Messergebnisse der Bleilässigkeit in verschiedenen Verbraucherprodukten im deutschen Monitoring-Programm



Grafik: Bundesinstitut für Risikobewertung unter Verwendung von Daten aus dem deutschen Monitoring Programm

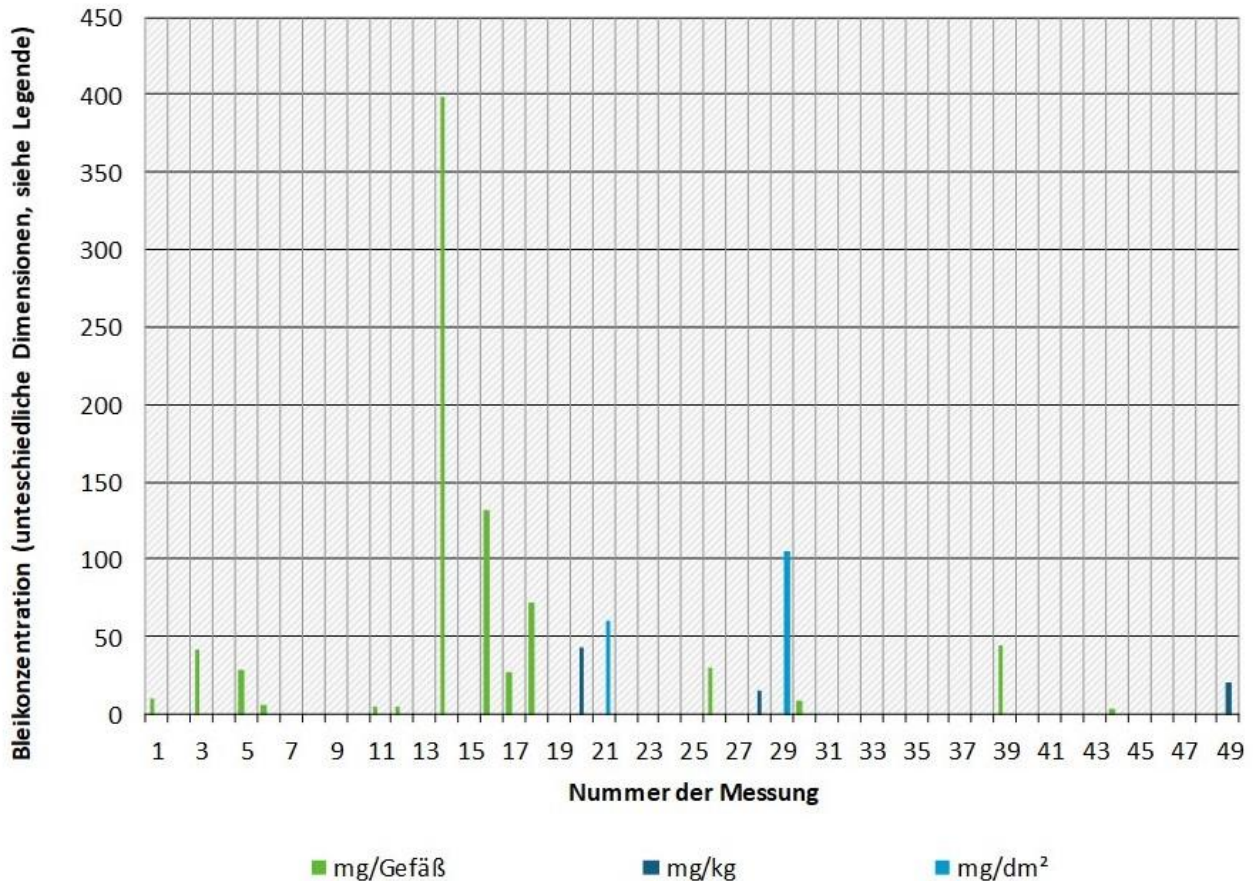


Grafik: Bundesinstitut für Risikobewertung unter Verwendung von Daten aus dem deutschen Monitoring Programm

Lebensmittelkontaktmaterial

Migration aus Glas und Keramik werden im RASFF berichtet, da es sich um Produkte handelt, die mit Lebensmitteln in Kontakt kommen. Oft kommen die Meldungen gleichzeitig aus mehreren Mitgliedsstaaten. Das zeigt, dass es sich häufig um Messungen innerhalb größerer Chargen und damit nicht um Einzelfälle handelt. Im RASFF werden auch die Überschreitungen der Höchstwerte aus Deutschland berichtet. Im Monitoring Programm wurden Glas und Keramik bisher nicht untersucht.

Abbildung 16: Bleilässigkeit von Blei aus Glasgefäßen in RASFF Meldungen (2000 bis 2018) (nur Fälle mit hohem Handlungsbedarf; „serious risk“)



Quelle: RASFF Datenbank

Grafik: Bundesinstitut für Risikobewertung unter Verwendung der angegebenen Quelle

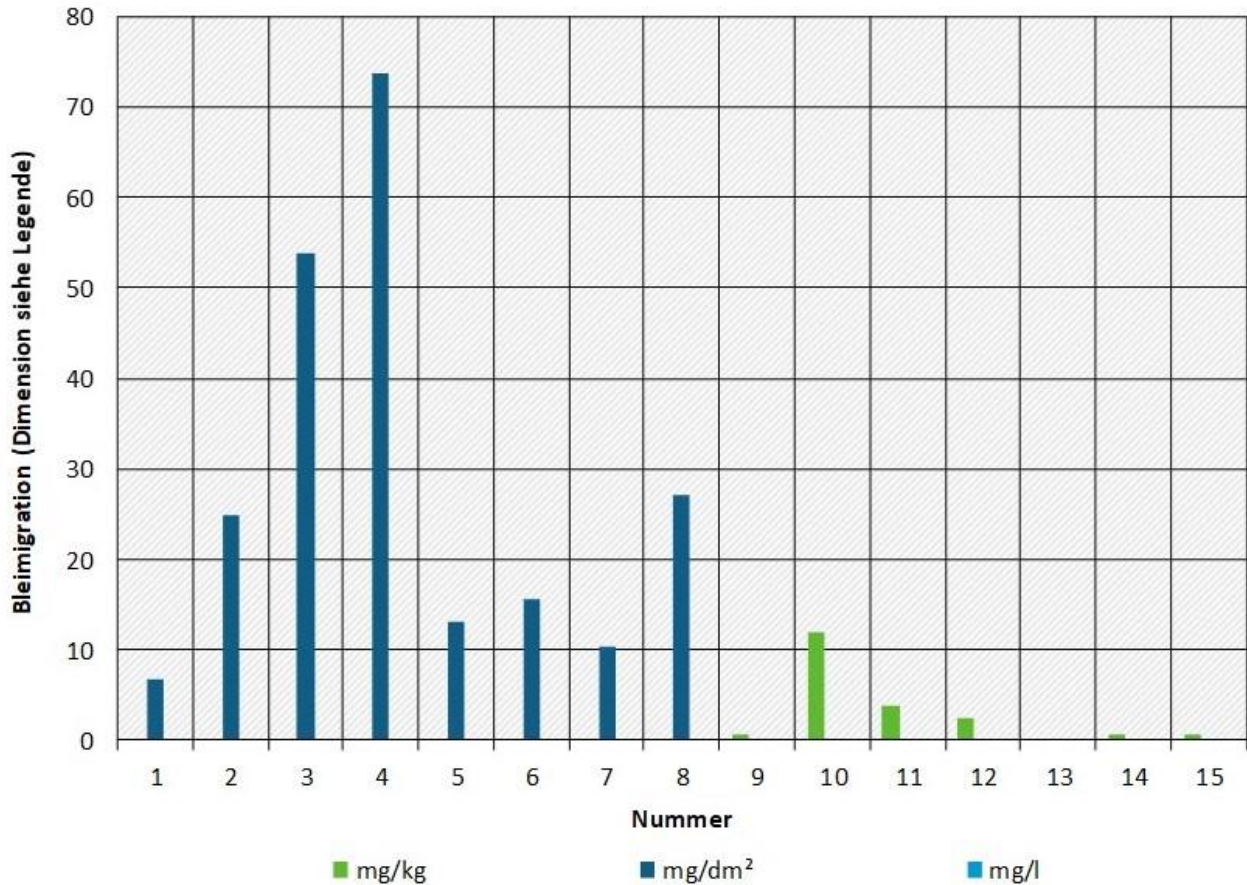
In Abbildung 16 sind Messungen aus 49 RASFF Meldungen aufgeführt, die als „ernst“ und „mit hohem Handlungsbedarf“ eingestuft wurden und die ein sofortiges Eingreifen erforderten.

Weitere Einzelheiten über Messungen finden sich in einem Bericht von Rebeniak *et al.* (2014), die in 1.273 Proben nach polnischen Standardverfahren Höchstwertüberschreitungen in den Jahren 2010–2012 in Glas und Keramik untersuchten. Nur in wenigen Proben wurden höhere Werte für die Migration gefunden. Diese Produkte kamen mehrheitlich aus Nicht-EU-Ländern. Bei den Meldungen in der RASFF-Datenbank handelt es sich überwiegend um Produkte aus China.

Zwei importierte flache Glasteller setzten 0,9 und 11,9 mg/dm² Blei (NWG 0,8 mg/dm²) frei und fünf importierte tiefe Teller 4,7 mg/l, 4,9 mg/l, 5,6 mg/l, 6,1 mg/l, 8,6 mg/l Blei (NWG 4,0 mg/l).

Freisetzung aus Keramik betrug in vier Proben Werte oberhalb der Höchstwerte von 2,0 mg Blei pro Produkt (polnischer Standard PN-B-13210:1997): 2,1, 3,7, 4,2 und 14,4 mg Blei pro Produkt.

Abbildung 17: Meldungen übermäßiger Bleiabgabe aus Keramik im RASFF-Meldesystem im Berichtszeitraum



Quelle: RASFF Datenbank

Grafik: Bundesinstitut für Risikobewertung unter Verwendung der angegebenen Quelle

In der RASFF-Datenbank sind 16 Meldungen aus den Jahren 2012 bis 2017 dokumentiert, nach denen Gegenstände aus Keramik übermäßige Mengen an Blei freisetzen. Diese bewegen sich in Größenordnungen bis zu 75 mg/l, ca. 12 mg/dm² bzw. 4 mg/kg. Diese Ergebnisse zeigen deutlich, dass sich bedenkliche Produkte auf dem Markt befinden und unterstreichen die Notwendigkeit der ständigen Kontrolle.

In einer Migrationsstudie in der verschiedene Teekannen aus Metall nordafrikanischer Herkunft untersucht wurden, die auf dem freien Markt in Brüssel gekauft wurden, konnten Bolle *et al.* (2011) erhebliche Mengen von freigesetztem Blei feststellen. Mit Zitronensäure als Simulans im Testgefäß stieg die Bleikonzentration während der ersten 30 Minuten auf 15 bis 35 mg/l an. Bei natürlichem Tee als Simulans war dieser Anstieg deutlich geringer. Anlass für die Untersuchung war eine Bleivergiftung nach wiederholtem Teegenuss aus einer derartigen Kanne.

Bleikonzentrationen bis zu 8,6 µg/l in Tee und Kaffee wurden aus Kalifornien von Anderson *et al.* 2017 berichtet. Auch wenn das Blei hier aus der Keramik stammt, so liegen die Werte knapp unterhalb der Höchstwerte für Trinkwasser. Bei ähnlichen Standards in Europa sind daher Ergebnisse aus den USA durchaus vergleichbar. Starker Kaffee- bzw. Teegenuss kann auch hier erheblich zur Bleiexposition beitragen. Messungen in Keramik aus Tunesien (Belgaied 2003) ergaben Werte von bis zu 51 mg/l,

was eine exzessive Überschreitung der Höchstwerte darstellt und ein akutes Risiko für Vergiftungen nach sich ziehen kann.

Eine vereinfachte und konservative Expositionsschätzung auf der Basis dieser Werte ergibt, dass ein Kind mit einem Körpergewicht von 20 kg eine Menge von 1 µg/kg aufnimmt, das einen Fruchtsaft aus einem Gefäß mit dem Volumen von 0,2 l trinkt, in dem sich aufgrund einer Lässigkeit von 10 mg/l eine Bleimenge von 0,1 mg/l befindet. Diese Rechnung berücksichtigt nicht, ob die Flüssigkeit vorher 10 Sekunden oder 10 Stunden stand, zeigt aber die Unklarheit dieses Szenario.

Das Ergebnis dieser Studie zeigt, dass Messungen und Kontrollen Überschreitungen der Höchstwerte aufzeigen können. Auch wenn es sich um Einzelfälle handelt, kann die Menge des freigesetzten Bleis erheblich sein. Etliche Berichte über schwere Vergiftungen, bei denen Personen große Bleimengen aus Keramik- und Glasgegenständen aufnehmen unterstreichen dies (Autenrieth *et al.* 1998; Hellström-Lindberg *et al.* 2006; Mărginean *et al.* 2016; Martínón-Torres *et al.* 2005; Ziegler *et al.* 2002).

Das BfR kommt in einer Stellungnahme (BfR 2005) zu dem Schluss, dass die Aufnahme von Blei die vorläufig tolerierbare wöchentliche Aufnahmemenge durch orale Aufnahme erheblich überschreiten kann. Berichte der Giftinformationszentren und aus dem Meldeverfahren nach § 16e Chemikaliengesetz deuten aber auch darauf hin, dass es in Einzelfällen und bei wiederholter Verwendung (Lieblingstasse oder -teller) zu kumulativer Aufnahme und damit zu Vergiftungserscheinungen kommen kann, wie in der Kasuistik von Autenrieth *et al.* (1998) berichtet. Man kann aber davon ausgehen, dass es nicht dauerhaft zu diesen hohen Werten kommt, da es eine einzelne Kurzzeitexposition darstellt. Es handelt sich aber um eine zusätzliche und vermeidbare Aufnahme.

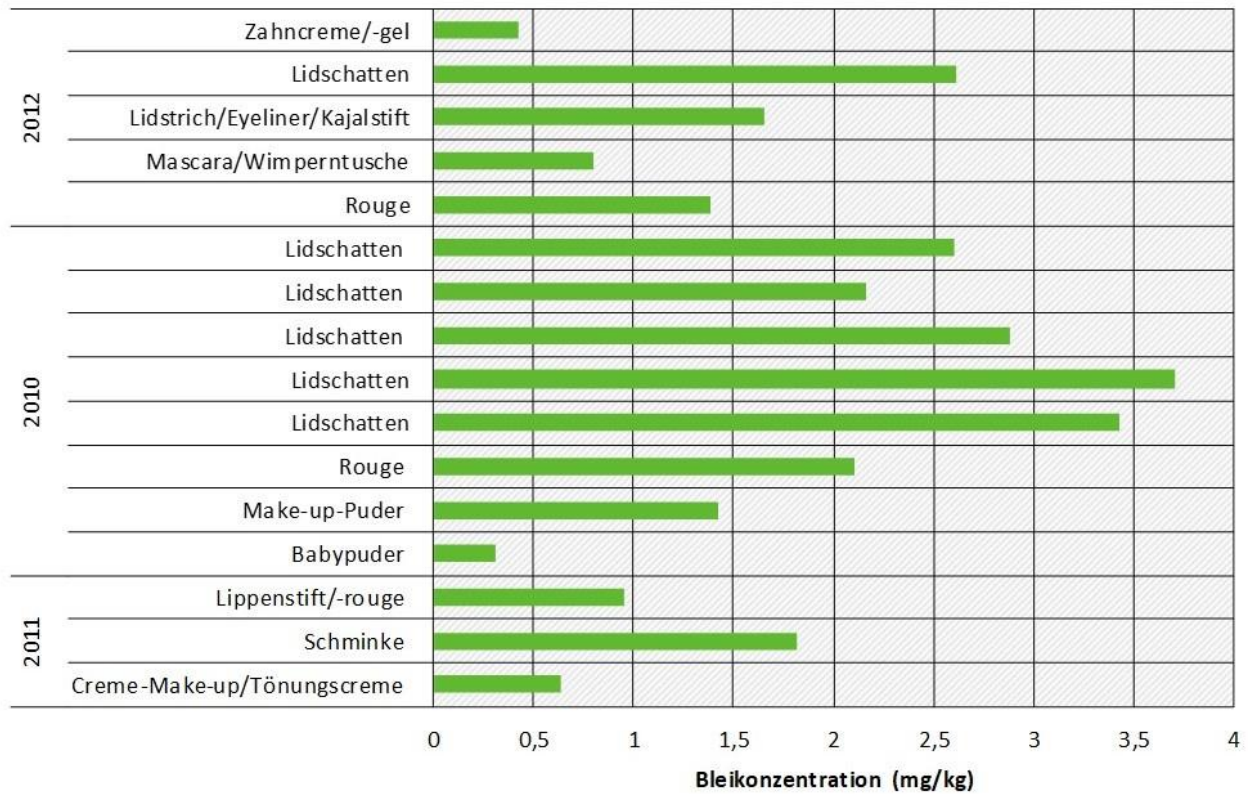
Das BfR schlussfolgert:

„Aus der Beibehaltung der bisherigen Höchstmengen für den Übergang von Blei (...) aus Keramikbedarfsgegenständen auf Lebensmittel können in Einzelfällen Aufnahmemengen resultieren, die insbesondere für Blei nicht mehr als sicher anzusehen sind. Wie viele Verbraucherinnen und Verbraucher wie häufig von solch hohen Schwermetallaufnahmen betroffen sind, bleibt allerdings offen.“ (BfR 2005, S. 2)

3.3.1.9 Kosmetika

Konzentrationen von Blei in kosmetischen Produkten werden im deutschen Monitoring-Programm in den Jahren 2010, 2011 und 2012 gemessen. Die Ergebnisse sind in der Abbildung 18 dargestellt.

Abbildung 18: Ergebnisse der Messungen von Blei in Kosmetika im deutschen Monitoring-Programm



Quelle: Deutsches Monitoringprogramm

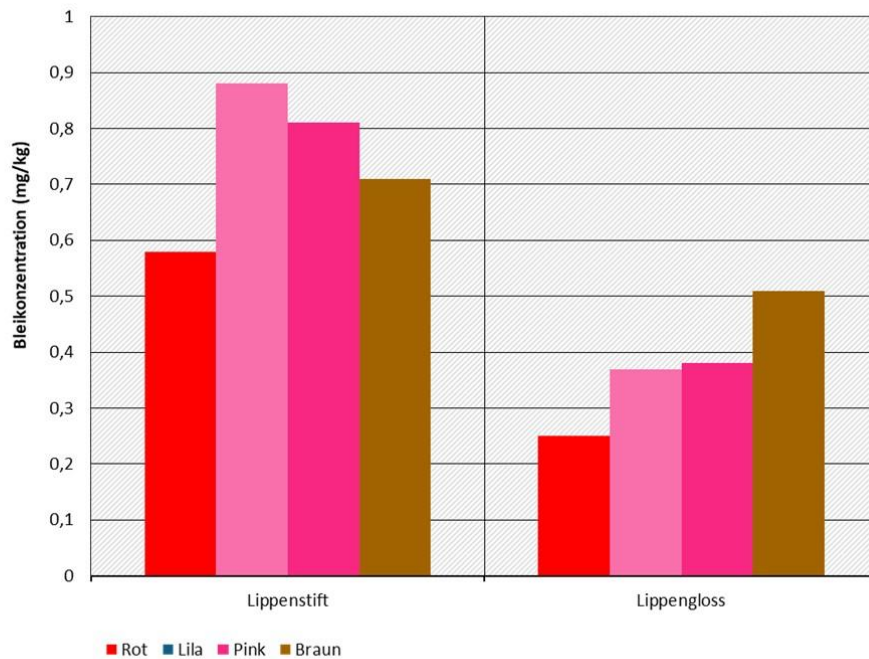
Grafik: Bundesinstitut für Risikobewertung unter Verwendung der angegebenen Quelle

Die geringsten Mengen finden sich in Zahncremes und Babypuder, die höchsten in Lidschatten. Eine Menge von 1 g dieses kosmetischen Mittels mit der höchsten Konzentration würde eine Exposition von 0,042 µg/kg KG ergeben.

Piccinini *et al.* (2013) haben europaweit die Konzentrationen von Blei in 223 verschiedenen Lippenstiften gemessen. Die Mittelwerte der Konzentrationen schwanken zwischen 0,25 und 0,93 mg/kg und liegen dabei in der Tendenz unter den im deutschen Monitoring-Programm gemessenen Konzentrationen von 0,95 mg/kg in Lippenstift, sind aber durchaus vergleichbar (siehe Abbildung 19). Auch Lippenstifte, die aus Europa nach Asien geliefert wurden, weisen Werte im selben Bereich auf (Al-Saleh & Al-Enazi 2011).

Hautaufhellende Kosmetika können Blei enthalten. Entsprechende Messungen wurden von Cristaudo *et al.* (2013) vorgenommen. Allerdings sind die Konzentrationen gering, so dass bei durchschnittlicher Anwendungsmenge keine nennenswerte Exposition resultiert.

Abbildung 19: Konzentrationen von Blei in Lippenstift und Lippengloss (Lack) in den jeweils vier verschiedenen Farben



Quelle: Piccinini *et al.* (2013)

Grafik: Bundesinstitut für Risikobewertung unter Verwendung der angegebenen Quelle

Eine Schätzung der externen Bleiexposition, die aus diesen kosmetischen Präparaten resultiert, liegt im Bereich zwischen 0,01 und 0,3 $\mu\text{g}/\text{kg}$ pro Tag. Der höchste Bleigehalt wurde in Schminke (inkl. Theater und Faschingsschminke) gefunden. Der daraus resultierende Schätzwert der Exposition kann eine erhebliche Höhe erreichen (0,3 $\mu\text{g}/\text{kg}$ pro Tag). Dazu muss allerdings gesagt werden, dass es sich hierbei um eine sehr konservative Schätzung handelt, die schwer zu vergleichen ist mit dem Wert der Aufnahmeschätzung der EFSA (2012), der auf realistischeren Daten beruht. Es ist auch unbekannt, wie häufig und regelmäßig die Produkte angewendet werden. Bei professionellen Schauspielerinnen und Schauspielern kann man von täglicher Anwendung ausgehen. Darüber hinaus muss bedacht werden, dass das Ausmaß der Absorption über die Haut in dieser Schätzung nicht berücksichtigt wurde. Filon *et al.* (2006) ermittelten in einem In-vitro-Hautmodell eine Permeation von Blei durch die Haut von 5 bis 30 ng/m^2 über 24 Stunden, bei verletzter Haut auch bis zu 100 ng/m^2 . Die daraus resultierende „interne“ Aufnahme kann bis zu 50 ng/kg pro Tag betragen, was immerhin ca. 10 % der Gesamtaufnahme (EFSA 2012) beträgt. Dieser Aufnahmewert ist dabei nicht (allein) von der auf der Haut befindlichen Menge, sondern von der Resorptionskapazität der Haut abhängig. Ein großer Teil des Bleis wird schon nach kurzer Zeit von der Haut aufgenommen und dort gespeichert (Filon *et al.* (2006).

Es muss konstatiert werden, dass die dermale Exposition von Blei erheblichen Unsicherheiten unterliegt.

RAPEX-Meldungen

51 Mitteilungen von Vorkommen von Blei in kosmetischen Produkten wurden im RAPEX-System der EU gemeldet. Neben verschiedenen Cremes, Eyeliner und Lidschatten, Gesichtsmasken und Haarpflegemitteln bezieht sich ein großer Teil der Meldungen auf Kinderkosmetik (n=13), Lippenpflege (n=11)

und Make-up (n=11). Als Grund für die Meldungen wird in fast allen Fällen die nicht-Kompatibilität der Produkte mit der Kosmetikverordnung genannt. Überschreitungen der Höchstwerte werden auch von Al-Saleh *et al.* (2009) berichtet. Die Produkte, die teilweise extreme Werte aufwiesen, kamen hauptsächlich aus China.

3.3.1.10 Spielzeug

Wie in Abbildung 15 gezeigt, können einzelne Kinderspielzeuge erhebliche Mengen von Blei abgeben. Diese Messungen werden auch im RAPEX Meldesystem berichtet. Hierbei handelte es sich um eine Absperrvorrichtung für Treppen und einen Kinderstuhl, sowie eine Kinderschürze und ein Lätzchen aus Kunststoff, die als nicht verkehrsfähig identifiziert wurden. Einschränkend muss festgestellt werden, dass diese Entscheidung teilweise aber auch wegen anderer Inhaltsstoffe, z. B. Weichmachern erfolgte.

Aus dem BfR liegt eine Stellungnahme aus dem Jahre 2007 zur Migration von Blei aus Spielzeug vor. Daten wurden bis 2018 nicht berichtet. Cui *et al.* (2015) testeten insgesamt 45 Kinderspielzeuge und Schmuck auf die Lässigkeit von Blei und anderen Metallen. In 13 metallischen Spielzeuggruppen lag die mittlere Bleikonzentration in einem Bereich von 2,2 bis 6.100 mg/kg, der mittlere Wert (angegeben als „average“ war 81,63 mg/kg. Bei 22 Spielzeugprodukten aus Kunststoff-, Papier- oder Holzbasis lag die mittlere Konzentration zwischen Werten unterhalb der NWG bis 44 mg/kg, mit einem mittleren Wert von 3,19 mg/kg. Bei zehn Spielzeugprodukten, die als biegsam bis leicht zerbrechlich charakterisiert wurden, darunter auch Farben für Spielwaren, lagen die Bleikonzentrationen bei < NWG bis 3,9 mg/kg. Für den Sicherheitsabstand zwischen Expositionswert und Grenzwert bei Mundkontakt („mouthing“) wurden in dieser Studie ausschließlich Werte unter 1 ermittelt. Sie schließen daher ein Risiko weitgehend aus.

3.3.1.11 Hobbyartikel und Do It Yourself

Hobbyartikel fassen Verbraucherprodukte zusammen, die in der Freizeit, zum Verschönern und Renovieren verwendet werden. Diese Produkte werden in anderen Gruppen mit eingeschlossen und daher nicht explizit ausgewertet.

3.3.1.12 Bleigießen

Zu Freizeitartikeln zählt auch das Bleigießen an Silvester, bei dem bleihaltige Metallgegenstände erhitzt werden und die dabei entstehende Flüssigkeit in ein Wassergefäß geworfen wird. Dabei entstehen Bleidämpfe, die inhaliert und daher gesundheitsschädlich sein können (Stiftung Warentest 2017; T-Online 2017; UBA 2018c). Den Berichterstattern liegen zurzeit keine Daten über Messungen des Bleigehaltes in der Luft beim Bleigießen vor.

Aufgrund der Festlegung neuer Höchstwerte im Rahmen der REACH-Verordnung ist Blei für das Silvester-Bleigießen nicht mehr verkehrsfähig, da die dann noch zulässige Konzentration von 0,3 % stark überschritten wird.

3.3.1.13 Farben und Lacke

Lucas *et al.* (2012) untersuchten im Rahmen des Saturn-InF Projektes das Vorkommen bleihaltiger Farben in französischen Wohnungen. Mit Hilfe eines tragbaren Detektors zur Röntgenfluoreszenzanalyse (X-ray fluorescence) wurde das Vorkommen von bleihaltigen Farben aufgespürt. Als positiver Befund galt eine Menge von > 1 mg/cm² Blei. Die Prävalenz für bleihaltige Farben in Häusern, die nach 1974 gebaut waren, betrug 3 %, in älteren Häusern 19 %. Die Bleigehalte schwankten je nach Art und dem Alter der Farben, dem Alter und dem Zustand der Häuser bzw. Wohnungen. Auch heute noch wird über Vergiftungen bei der Entfernung alter bleihaltiger Vorstreichfarben berichtet (Pelclová *et al.* 2016).

3.3.1.14 Textilien

Rovira *et al.* (2015, 2017) untersuchten Textilien, die auf dem Körper getragen werden auf SM. Die Bleikonzentrationen lagen im Mittel bei 0,13 mg/kg, die dermale Exposition wurde von den Autoren mit $1,6 \cdot 10^{-8}$ mg/kg pro Tag für Männer, $1,7 \cdot 10^{-8}$ mg/kg pro Tag für Frauen und für Kinder $3,1 \cdot 10^{-8}$ mg/kg pro Tag geschätzt. Ähnliche Konzentrationen beschreiben Rezić *et al.* (2011) in Textilien aus Baumwolle, Flachs, Hanf und Wolle. Nur in drei Wolltextilien wurden 0,7 mg/g Blei gemessen. Diese Konzentration ist zwar höher als die bei Rovira *et al.* (2015, 2017), liegt aber in der gleichen Größenordnung.

Im RAPEX-Meldesystem werden unerwünschte Befunde in Produkten des täglichen Bedarfs von den Überwachungsbehörden gemeldet. Die systematische Recherche über die Produkte „Textil- und Kinderprodukte“ ergab acht Treffer (siehe Tabelle 10).

Tabelle 10: Meldungen über nicht-verkehrsfähige Textil- und Kinderprodukte aus den RAPEX-Meldungen mit Attribut des „Risk Level: serious“

Jahr	Kategorie	Produkt	Beschreibung	Beanstandung
2018	Kleidung	Leder	Bomberjacke	Bleigehalt in Metallteilen 3,35 %
2018	Kleidung	Handtasche	Metallteile	Synthetisches Leder enthält 0,15 % Blei
2018	Kleidung	Toilettentasche		Plastik enthält 0,19 % Blei
2016	Kleidung	T-Shirt	Schwarz mit gelbem Aufdruck	5630 mg/kg Blei in gelber Farbe (Aufdruck)
2011	Kleidung	T-Shirt	Gelbes T-Shirt aus Baumwolle	5844 mg/kg Blei in gelber Farbe (Aufdruck)
2009	Kleidung	Gummi-Sandalen	versch. Farben	Migration von Blei
2006	Kleidung	Lätzchen mit Auffang	mit Gummispachtel	erhöhter Bleigehalt
2008	Kleidung	Latzhose		120 - 130 mg/kg Blei

3.3.1.15 Modeschmuck

Im deutschen Monitoringprogramm wurde im Jahre 2011 die Lässigkeit von Blei im Modeschmuck gemessen (BVL 2013). Außerdem existieren wenige Meldungen im RAPEX-System.

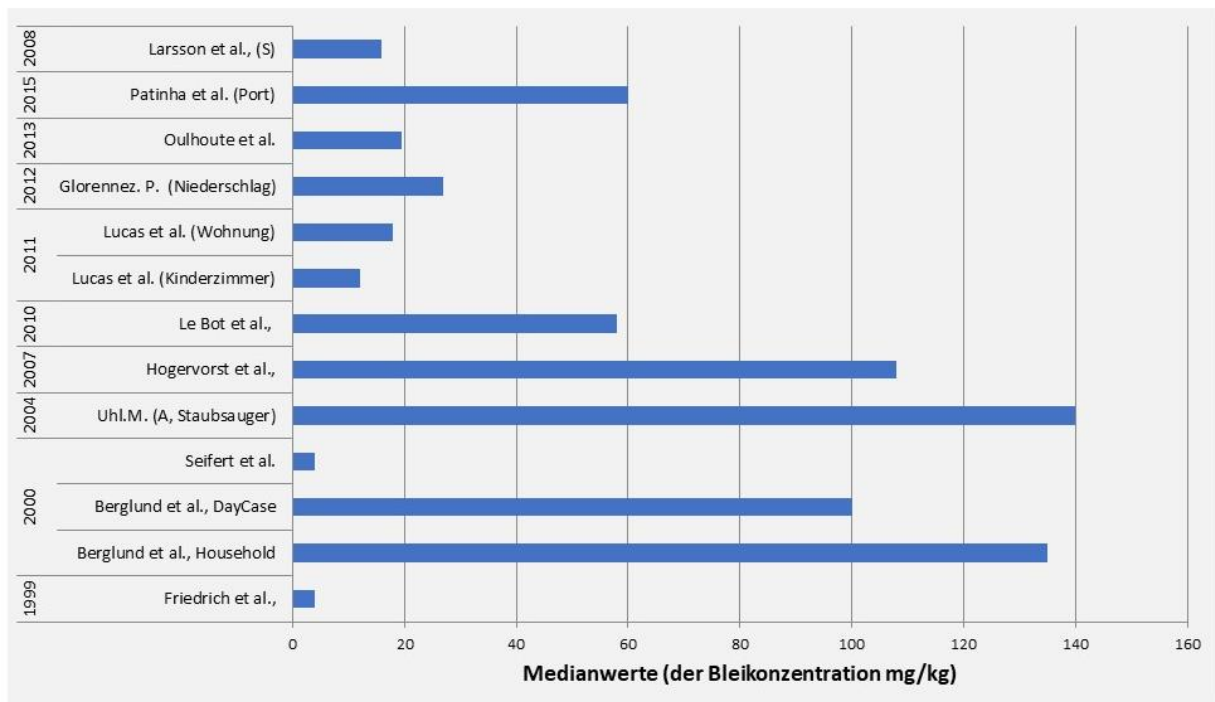
3.3.1.16 Hausstaub

Als weitere wichtige Quelle für die Aufnahme von Blei ist der Hausstaub anzusehen. Ähnliche Untersuchungen zu Bleigehalten, die vergleichbar der Anordnung des LMM liegen, wurden bis zum derzeitigen Datum nicht identifiziert. Hausstaub ist das wichtigste Transportvehikel für nicht-volatile Stoffe (Klenow 2019; Oomen *et al.* 2008). Diese werden aus Produkten im Haushalt (z. B. Spielwaren, Möbel, Textilien, Fußboden[-beläge]) freigesetzt, meistens durch physikalische Einwirkungen (Druck, Abrieb, Wärme etc.) und können vom Hausstaub adsorbiert werden, kommen aber auch direkt über die Belastung des Bodens aus der Umwelt. Es liegen keine Berichte über wiederholte Messungen wie beim LMM vor.

Im Hausstaub kumulieren die Stoffe, die nicht hauptsächlich über die Luft, in Form von Feinstaub oder in physikalischer Form als Gas, transportiert werden. Messungen im Hausstaub bilden daher die kumulative Menge von Blei aus verschiedenen Quellen ab. Abgesehen vom direkten Kontakt über die Haut und die Schleimhäute stellt Hausstaub den oralen Pfad der Exposition dar. Im Allgemeinen wird die Exposition über den Hausstaubpfad ausschließlich für Kinder betrachtet. Die Menge von Blei im Hausstaub ist mehrfach untersucht. Allerdings sind die Aufnahmemengen für Hausstaub nicht klar. Als

Wert für die mittlere Tendenz der Hausstaubaufnahme werden Werte zwischen 30 und 60 mg pro Tag angenommen und als konservative Werte 100 bis 150 mg (Klenow 2019). Diese Aufnahmemenge wird in umfangreicher Form seit Langem diskutiert und wurde auch in einem UFOPLAN-Bericht dargestellt (Klenow et al. 2016 unpubl.).

Abbildung 20: Konzentrationen von Blei im Hausstaub



Friedrich und Seifert beziehen sich auf denselben Umweltsurvey

Quellen: siehe Angaben in der Grafik

Die Angaben der Autoren Glorennec und Lucas beziehen sich auf denselben Survey (Lucas et al.)

Grafik: Bundesinstitut für Risikobewertung unter Verwendung der angegebenen Quellen

Abbildung 20 zeigt die Ergebnisse von Messungen von Blei in drei verschiedenen Messanordnungen und Hausstaubfraktionen. Alle Publikationen verwenden unterschiedliche statistische Angaben, nur der Median wird in allen Publikationen angegeben. Unterschiede bestehen in der Art der Proben-sammlung, der Anzahl der Proben und der Repräsentativität für die jeweiligen Populationen, Regionen und Haustypen und weiteren Faktoren. Daher ist eine Vergleichbarkeit nur bedingt möglich. Die Mes-sungen von Uhl *et al.* (2004) wurden im Staubsaugerbeutel gesammelten Staub gemessen, während die Proben bei Hogervorst *et al.* (2007) und Glorennec *et al.* (2012) im Niederschlag von Staub gemes-sen wurden. Glorennec *et al.* (2012) geben einen Faktor von drei für die Umrechnung von $\mu\text{g}/\text{m}^2$ in mg/kg an, der für die Darstellung hier angewendet wurde, um die Daten vergleichen zu können. Die hier gezeigten Werte zeigen, dass eine einheitliche Probensammlung unerlässlich ist. Positiv sollte angemerkt werden, dass die Publikationen von Glorennec, le Bot, Lucas und Oulhote auf dem „Plomb-Habitat’ Nationwide Representative Survey on Children’s Lead Exposure at Home“ (Glorennec *et al.* 2015) aufbauen und unter verschiedenen Gesichtspunkten ausgewertet und präsentiert werden. Inter-essanterweise liegen die von Friedrich *et al.* (2001) und Seifert *et al.* (2000) berichteten Werte von 1990/92 deutlich niedriger. Etchevers *et al.* (2017) sehen nach neueren Auswertungen der o. g. Arbei-ten einen direkten Bezug zwischen Bleiblutspiegeln und Bleikonzentrationen im Hausstaub.

Verwendet man den Wert der Bleikonzentration im Staub mit der mittleren Tendenz (z. B. $30 \mu\text{g}/\text{g}$), so läge die Höhe der Exposition bei 0,9 bis 1,8 μg pro Tag, legt man eine Aufnahme von 30 bis 60 mg Hausstaub pro Tag zugrunde. Bezogen auf ein Körpergewicht von 10 kg, läge die Bleiexposition zwi-schen 0,09 und 0,18 $\mu\text{g}/\text{kg KG}$ pro Tag, bei Schätzung auf Basis der Mediane etwa den Faktor drei

niedriger. Die Verwendung konservativer Schätzer (150 mg) ergibt Aufnahmewerte bis zu 0,5 µg/kg pro Tag. Das zeigt, dass die Exposition über den Hausstaub einen wichtigen Eintragungspfad darstellt, der kumulativ von anderen Quellen aus dem Innen- (Haushaltsgegenstände, Spielzeug etc.) und Außenbereich gespeist wird. Oulhote *et al.* (2013) schätzen, dass bei einer Konzentration von 14 µg/l Blei im Blut diese Konzentration um 63 % ansteigt, wenn die Hausstaubkonzentration vom 25. Perzentil auf das 95. Perzentil ansteigt.

Anhand von Messungen von Blei-Isotopen diskutieren Glorennec *et al.* (2010) Möglichkeiten einer differenzierten Analyse der Bleiexposition über den Hausstaub- bzw. Trinkwasserpfad und Anteile dieser Pfade an der Gesamtexposition.

3.3.1.17 Umwelt

Belastungen der Bevölkerung über die Umwelt resultieren nach Ansicht des UBA zu einem großen Teil über die Aufnahme von Blei aus Feinstaub (UBA 2018b). Dieses Medium ist ubiquitär vorhanden und es wird aus verschiedensten Quellen gespeist, wobei Verkehr und Industrie eine besondere Rolle spielen. Messungen von Blei im Feinstaub zeigen seit 2007, dass der Grenzwert in der Luft nicht überschritten wird. Nimmt man die Daten aus dem Bericht für 2017, und verwendet einen mittleren Wert für die Atemrate von 20 m³ pro Tag sowie ein Körpergewicht von 70 kg, so kann man feststellen, dass in den meisten Fällen Aufnahmewerte von wenigen Nanogramm pro Körpergewicht pro Tag resultieren, die nur einen geringen Teil der mittleren Gesamtaufnahme von 0,7 µg/kg geschätzt von der EFSA ausmachen.

Exposition durch regionale (umweltbedingte) Besonderheiten

Dieses Szenario wird durch kontaminierten Boden und Staub charakterisiert. Beides kann direkt zur Exposition führen (vergl. Kapitel 3.3.1.16). Netherlands National Water Board (2008) schätzen, dass pro Jahr etwa 0,5 t Blei durch Abrieb von Bremsbelägen in den Straßenstaub und das Abwasser gelangt. Die Daten zu umweltbedingten Belastungen sind insgesamt gesehen inhomogen und widersprüchlich.

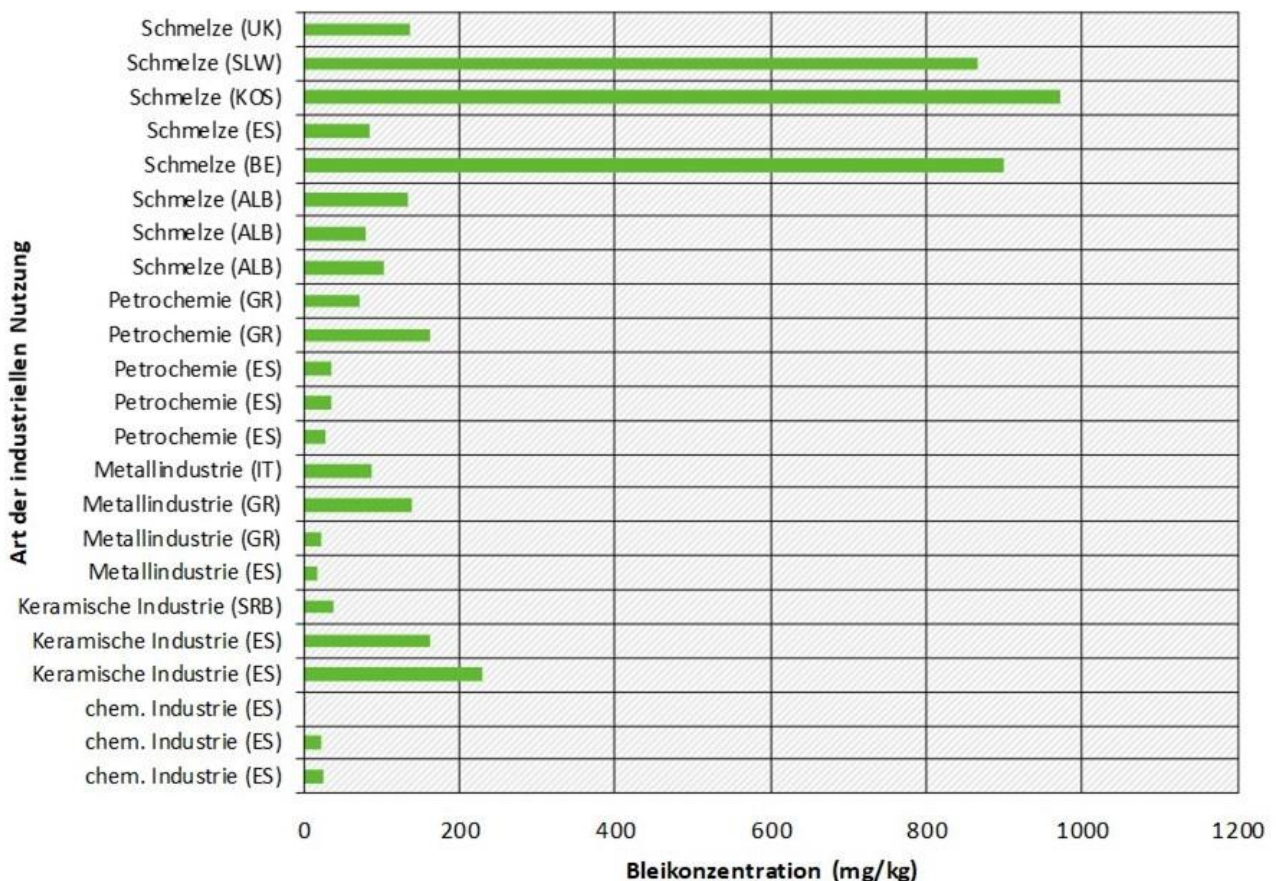
Gemüse, das in Gärten nahe belasteter Straßen oder Industrieanlagen angebaut wird, kann Blei aufnehmen, welches beim Verzehr dann in den menschlichen Körper aufgenommen wird (Augustsson *et al.* 2015; Salvo *et al.* 2018). Aus der Literatur kann in großer Übereinstimmung entnommen werden, dass die Nähe zu industriell genutzten Arealen (incl. Müllverbrennungsanlagen) die Wahrscheinlichkeit der Aufnahme von Blei erhöhen kann. Als Aufnahmepfade für Blei kommen infrage:

- d) die direkte Aufnahme von Staub als Hausstaub und Feinstaub,
- e) direkte Aufnahme von Boden (Spielplätze) und Staub (Verkehr, Industrie),
- f) die indirekte Aufnahme über Gemüse, das auf kontaminiertem Boden angebaut wird.

Wohnen in der Nähe von industriell genutzten oder ehemals industriell genutzten Arealen oder in der Nähe von Straßen mit hohem Verkehrsaufkommen kann einen Einfluss auf die Belastung mit Blei haben, was von einer größeren Zahl von Publikationen adressiert wird. U. a. spielt der Abrieb von Bremsbelägen eine große Rolle (Netherlands National Water Board 2008). Vergleichende Messungen mit Hauptkomponentenanalyse von Schwermetallen im Boden der Stadt Gela, Sizilien (Manno *et al.* 2006) und Griechenland (Bourliva *et al.* 2018) ergaben, dass Blei in erster Linie vom Verkehr und weniger aus industrieller Emission stammt. Dabei stammt das Blei nicht aus den Abgasen. Die Autoren vermuten auf der Basis einer „Hauptkomponenten-Analyse (PCA, principle component analysis)“, dass Abrieb von Bremsen eine wichtige Quelle darstellen kann (vgl. auch Kapitel 3.3.2). Allerdings können auch Industrieanlagen signifikant zur Bleibelastung beitragen, wie aus einer Zusammenstellung internationaler Literatur (Kabir *et al.* 2012) über Berichte von Bodenbelastungen im Zusammenhang mit Industrieanlagen hervorgeht (siehe Abbildung 21).

Demnach kann im Prinzip verallgemeinert werden, dass auch in der Nähe von Industrieanlagen mit einer Belastung des Bodens und Bodenstaubes mit Blei gerechnet werden muss. In einer Metaanalyse weltweiter Befunde stellten Kabir et al. (2012) eine Liste von Messwerten von Blei im Boden zusammen. Die Werte für Europa sind in Abbildung 21 dargestellt. Besonders hohe Werte findet man in der Nähe von Schmelzen, aber auch die chemische Industrie und weitere Industriearten tragen zur Bleibelastung bei. Dieser Befund bestätigt die weiter unten dargestellten regional zugeordneten Ergebnisse des Biomonitorings (siehe Tabelle 11).

Abbildung 21: Zusammenstellung von Konzentrationen im Boden- und Straßenstaub in der Nähe von Industrieanlagen.



Quelle: Kabir et al. 2012

Grafik: Bundesinstitut für Risikobewertung unter Verwendung der angegebenen Quelle

Die in Tabelle 11 zusammengeführten Publikationen zeigen zum einen, dass die Daten hinsichtlich der Expositionen über die Umwelt inhomogen und teilweise auch widersprüchlich sind. Es wird allerdings gezeigt, dass in Übereinstimmung mit den in Abbildung 21 dargestellten Messergebnissen von Blei in Staub und Boden, ein Zusammenhang mit der Belastung durch Industrieanlagen (Augustsson *et al.* 2015; Augustsson *et al.* 2018; Feng & Barratt 1999; Hogervorst *et al.* 2007; Peña-Fernández *et al.* 2015) stehen kann. Dabei geben auch Messungen in selbst angebautem Gemüse Hinweise auf diese Zusammenhänge. Die dänische EPA schätzt den Eintrag von Blei durch den Verkehr auf etwa 108.000 kg pro Jahr (Larsen *et al.* 2014).

Andererseits sind die Studienergebnisse, die den Zusammenhang von Verkehr und Belastung von Staub und Boden betrachten, nicht einheitlich (Bourliva *et al.* 2018; Christoforidis & Stamatis 2009;

Horváth *et al.* 2018; Manno *et al.* 2006; Padoan *et al.* 2017). Dies bezieht sich auf die Unterschiede zwischen städtischen und ländlichen Gebieten und auch industriell genutzten Arealen. Auch die weiter unten dargestellten Biomonitoring-Studien geben hier mehr Aufschluss (Berglund *et al.* 2000; Birkeland *et al.* 2017; de Prisco *et al.* 2010; Dongarrà *et al.* 2012; Meyer *et al.* 2003a; Meyer *et al.* 2003b; Pino *et al.* 2017).

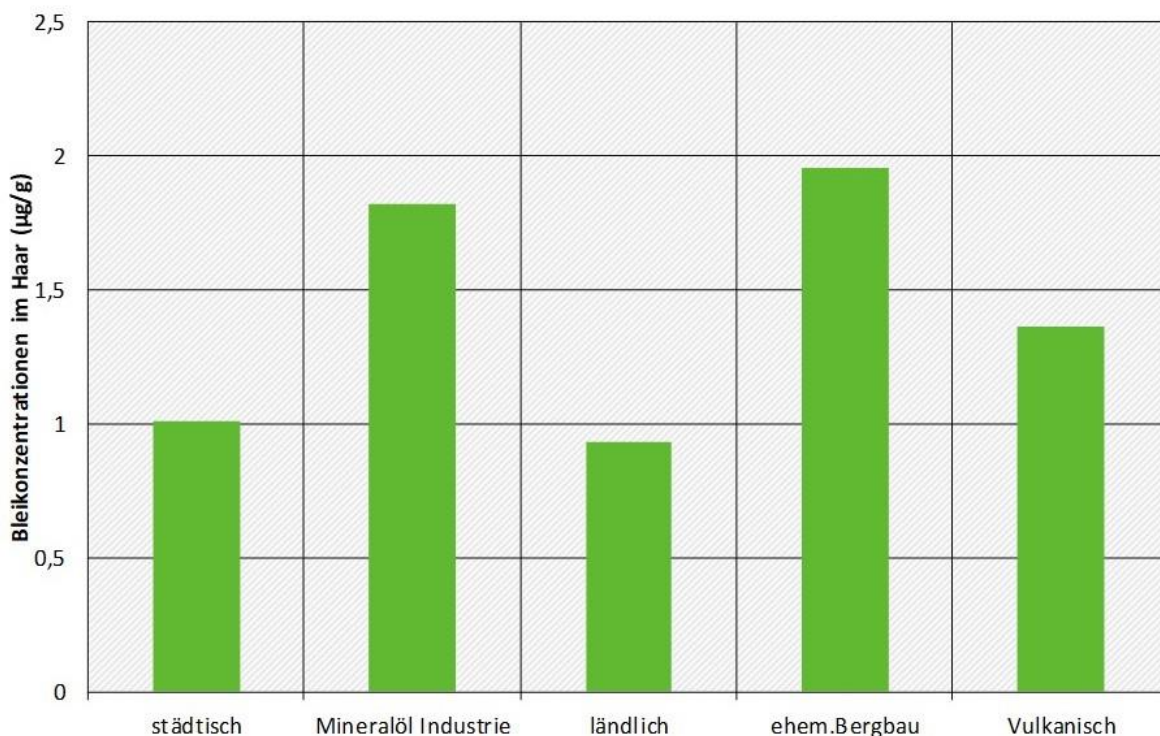
Die gemeinsame Betrachtung dieser Studien ergeben ein Bild, das trotz der Widersprüche folgende Schlüsse zulässt:

- a) Verkehr und Industrie sind wichtige Quellen für die Bleibelastung
- b) Staub und Bodenbelastung charakterisieren die Expositionspfade
- c) Die Belastung kann anhand von Messungen in verschiedenen Medien (Boden, Gemüse und beim Menschen selbst durch HBM festgestellt werden.

Auch Haaranalysen, die eigentlich im Abschnitt HBM-Studien (nächstes Kapitel) behandelt werden, geben Aufschluss über die Exposition hinsichtlich der verschiedenen Expositionsorten. Diese Diskussion wird daher hier vorgezogen:

Haaranalysen liefern verlässliche Aussagen über die kumulative Exposition, da Blei sich mit dem Haarwachstum anreichert. Dongarrà *et al.* (2012) untersuchten die Konzentrationen im Haar bei Kindern in fünf Regionen Siziliens, eine städtische und eine ländliche Kohorte wurden untersucht, sowie eine Kohorte aus einem Industrieareal mit Petrochemie, eine aus einem ehemaligen Bergbauggebiet, und eine Kohorte in vulkanischem Gebiet (siehe Abbildung 22).

Abbildung 22: Ergebnisse der Bleianalysen im Haar von Kindern in fünf Regionen Siziliens (Dongarrà *et al.* 2012)



Quelle: Dongarrà *et al.* (2012)

Grafik: Bundesinstitut für Risikobewertung unter Verwendung der angegebenen Quelle

Die Ergebnisse zeigen die Unterschiede zwischen industrialisiertem und nicht-industrialisiertem Gebiet. Da es sich bei Blei um ein natürliches Mineral handelt, ist die höhere Belastung von Kindern, die in vulkanischem Gebiet leben, wenig überraschend. Ein Unterschied zwischen städtischem und ländlichem Raum lässt sich hier nicht feststellen. Vergleichbare Befunde wurden durch Varrica *et al.* (2014) auf der Insel Sardinien erhoben. Auch hier lagen die Konzentrationen in den Haaren bei Kindern, die in einem Bergbauggebiet leben, deutlich höher als in vergleichsweise gering kontaminierten Gebieten.

Tabelle 11: Publikationen zum Thema Bleiexposition in der Nähe von Industrieanlagen (alle Angaben der Konzentrationen in mg/kg)

Autor	Jahr	Thema	Befunde	Konz. in mg/kg	Bemerkungen
Daten von Boden und Staubmessungen					
Augustsson <i>et al.</i>	2015	Blei Konzentrationen im Boden von Gärten, allgemeine Land und Glasindustrie	Private Gärten Öffentliches Land Industrie	36 76 100	
Augustsson <i>et al.</i>	2018	Blei Konzentrationen im Boden	Lokal, n=988 Glasindustrie, n=7.314	25 130 – 31.000	lokaler Hintergrund versus Glasindustrie
Bourliva <i>et al.</i>	2018	Straßenstaub	Blei im Straßenstaub lokale Schwankungen zwischen	200 100 bis 330	Straßenstaub, Griechenland
Christoforidis & Stamatis	2009	Straßenstaub und Boden	Innerstädtisch Industriereal peripher städtisch Kontrolle	386 273 121 73	Analysen in 96 Straßenboden/-staub wurden in der Nähe der Stadt Kavala (Griechenland)
Feng & Barratt	1999	Staub	Asche der Müllverbrennungsanlage Städtischer Staub Sediment (Fluss)	19,87 6,55 0,08	Müllverbrennung
Hogervorst <i>et al.</i>	2007	Hausstaub	Nicht kontaminiert kontaminiert Deutliche Zunahme des Bleigehaltes in Gemüse	27,6 175	in Nähe einer Zink-schmelze
Horváth <i>et al.</i>	2018	Blei im Boden und Staub.	Straßenstaub/peripher Straßenstaub/städtisch Straßenstaub/Vorort	10 17 9	in den ungarischen Städten Sopron und Szombathely
Lucas <i>et al.</i>	2012	Bleikonzentrationen in Bodenstaub	Spielplatz	21	“leachable lead”
Manno <i>et al.</i>	2006	Bodenstaub)	Straßenstaub/städtisch Straßenstaub/Industriell Straßenstaub/peripher	70 40 60	in Gela (Sizilien)
Padoan <i>et al.</i>	2017	Blei im Straßenstaub und Boden in Turin (Italien).	Verkehr Kontrolle	368 76	Messungen im Bulk

Autor	Jahr	Thema	Befunde	Konz. in mg/kg	Bemerkungen
		Starker Verkehr (zentrales; industrielles Areal vs. Kontrolle)	Industrie Kontrolle Verkehr Kontrolle Industrie Kontrolle	81 33 952 168 169 149	Messungen in 2,5 µm Fraktion Weitere Werte in 10 µm und 250 µm Fraktion
Peña-Fernández <i>et al.</i>	2015		Boden/Ind. /Jul2000 Boden/Ind. /Dec2000 Boden/Ind. /Jul2000 Boden/urb. /Jul2000 Boden/urb. /Dec2000 Boden/urb. /Jul2001	22 14,5 19 24,3 31 41	Messung von SM in verschiedenen städtischen Staubproben in Alcalá (Spanien) in mg/kg
Patinha <i>et al.</i>	2015	„Bioaccessibility“	Median Maximum	60,1 533	Untersuchung von 21 Staubproben Schätzung über den oralen Aufnahmeweg
Biomonitoring-Daten (Haaranalysen; alle Werte in µg/g)					
de Prisco <i>et al.</i>	2012	Blei im Haar	Städtisch Mineralöl Industrie ländlich ehemalige Bergbauregion Vulkanisch	1,01 1,82 0,93 1,95 1,36	Haaranalyse scheint gut geeignet um kumulative Expositionen anzuzeigen. Kinder verschiedener Regionen auf Sizilien.
	2010	Blei im Haar / Schulkinder	zwei Teilgebiete drei Teilgebiete	1,5 0,15	verschiedene Teilgebiete der Provinz Salerno
Biomonitoring-Daten (Blutanalysen; alle Werte in µg/l)					
Berglund <i>et al.</i>	2000	HBM bei Kindern, in der Nähe einer Mine und einer Referenzregion	Stockholm (städt) Referenz (ländl) Mine Referenz (ländl)	28 27 19 21	Keine Unterschiede zu den jeweiligen Referenzregionen, Mine niedriger als städt.
Birkeland <i>et al.</i>	2009	HBM bei 3879 Schulkindern	Nähe Schmelze Ferne	22,90 19,75	
Meyer <i>et al.</i>	2003	Vergleich Industriegebiet vs. Nicht industrialisiertes Gebiet	Industrie Industrie Nicht Industrie	38,7 42,0 43,4	Kaum Unterschiede zwischen den drei Regionen
Nisse <i>et al.</i> (2017)	2017	HBM in der erwach-	Siehe Abbildung 29		Die Aufnahme von

Autor	Jahr	Thema	Befunde	Konz. in mg/kg	Bemerkungen
Tagne-Fotso <i>et al.</i> (2016)		senen Bevölkerung in Nord-Frankreich			Blei durch industrielle Emissionen (aktuell oder historisch) können zum Teil die beobachteten Belastungen bestimmter Bevölkerungsgruppen erklären. Allerdings müssen auch weitere Quellen mitberücksichtigt werden, insbesondere die Aufnahme über den Lebensmittelpfad sowie andere Faktoren.
Pino <i>et al.</i>	2017	HBM bei 13 - 15-jährigen	städtisch industriell ländlich	11,46 11,72 11,97	Nur geringe Unterschiede zwischen städtisch, industriell und ländlich
Vrijens <i>et al.</i>	2014	HBM	Jugendliche Personen, die im Abstand von 0,5 1,0 2,0 km von Menen (Ort in Belgien) leben,	15,1 14,7 14,0	Die Autoren diskutieren intensiv die Exposition im Zusammenhang mit industriell genutzten Arealen

De Prisco *et al.* (2010) berichten ähnliche Werte von Haaranalysen bei Schulkindern in der Provinz Salerno, bei einigen Kindern lagen mit ca. 0,15 µg/g Blei sehr niedrige Konzentrationen vor. Erklärungen für diese Differenzen werden nicht gegeben.

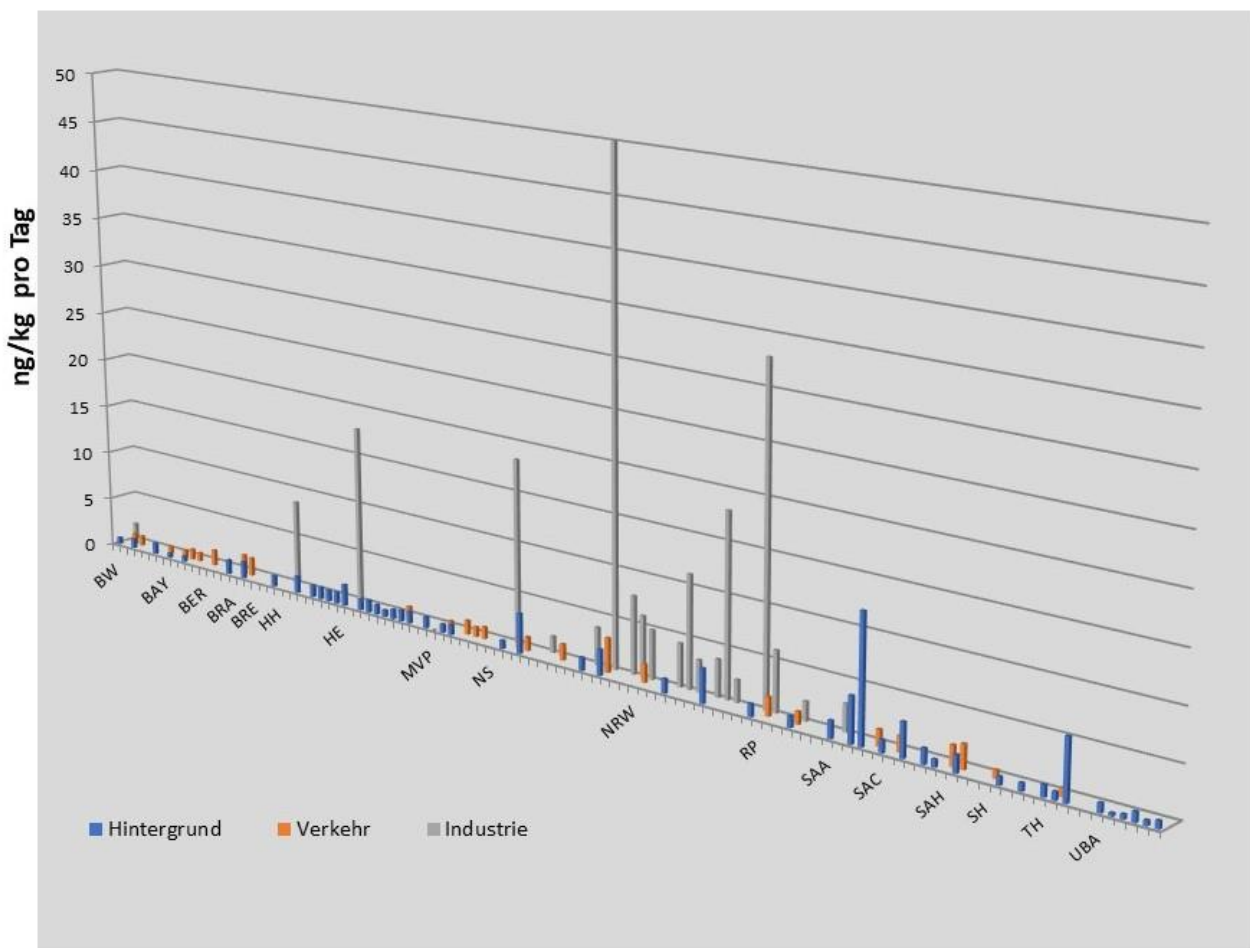
Ähnliche Ergebnisse wurden auch von Drobyshev *et al.* (2017) berichtet. Beim Vergleich der Haarkonzentrationen bei Erwachsenen in einem Industriegebiet wurden fast doppelt so hohe Bleikonzentrationen gefunden wie bei Personen in einer ländlichen Region.

Die Beispiele zeigen die Aussagekraft der Haaranalyse, die keine Momentaufnahme der Bleiexposition darstellt, sondern auch die Akkumulation über Zeiträume einschließt.

Feinstaub

Abbildung 23 zeigt Expositionsschätzungen auf der Basis der Ergebnisse der Jahresmittelwerte der Feinstaubmessungen von Messstationen der Bundesländer und des UBA aus dem Jahre 2017 (UBA 2017). Bis auf wenige Stellen in Sachsen-Anhalt, Sachsen und Thüringen liegen die geschätzten Aufnahmewerte unter 5 ng/kg Blei pro Tag für die Messungen der Hintergrundbelastung und des Verkehrs. Deutlich höher aber liegen Schätzungen für einige Industriearale in Hamburg (8 ng/kg pro Tag), Hessen (17,7 ng/kg pro Tag), Niedersachsen (18,2 ng/kg pro Tag) und Rheinland-Pfalz (32,8 ng/kg pro Tag). Der höchste Wert von 50 ng/kg pro Tag würde dann ca. 8 % der von der EFSA geschätzten Gesamtaufnahme von 0,7 µg/kg pro Tag betragen.

Abbildung 23: Schätzung der jährlichen mittleren Aufnahme von Blei durch Feinstaub in der Bundesrepublik Deutschland, 2017.



Quelle: Umweltbundesamt, 2018

Grafik: Bundesinstitut für Risikobewertung unter Verwendung der angegebenen Quelle

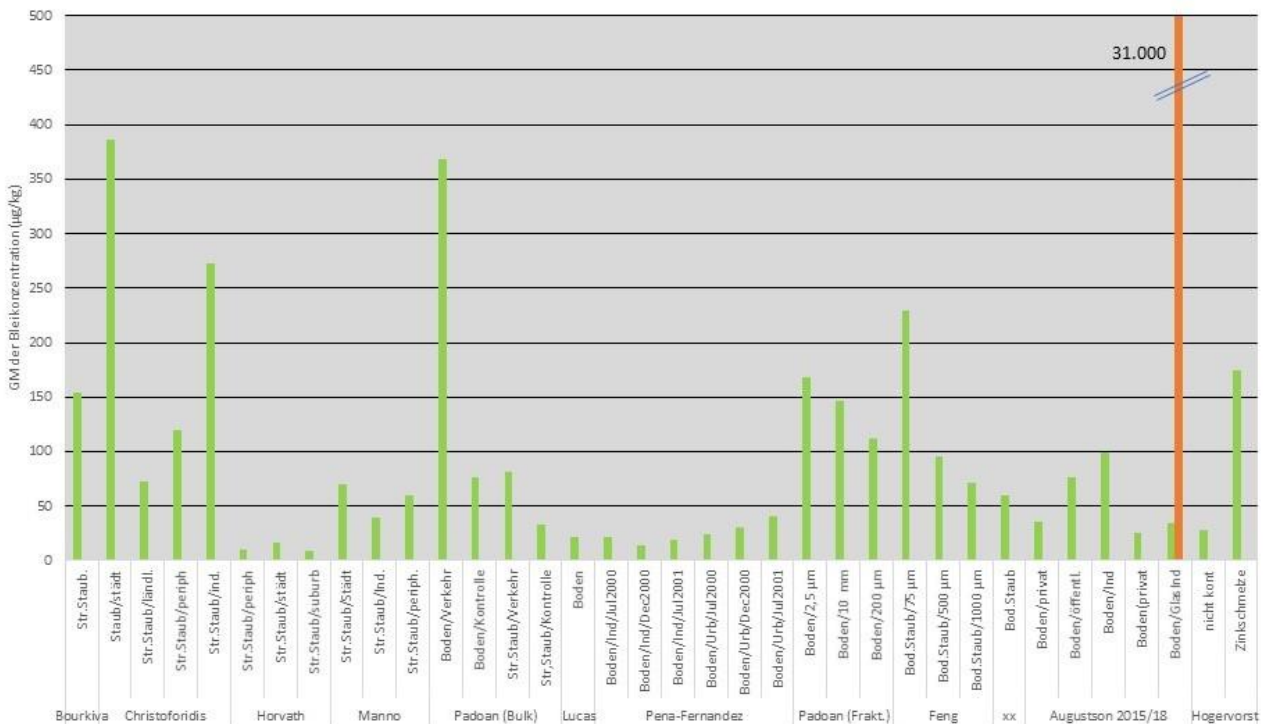
Boden und Bodenstaub

Blei kann im Staub von Straßen in erheblichen Mengen nachgewiesen werden. Die Werte schwanken stark je nach Region und Verkehrslage. Die Bedeutung industrieller Areale scheint auch bei der Belastung von Boden und Staub der Straße eine Rolle zu spielen, sowie die Verkehrsdichte. Untersuchungen von Padoan *et al.* (2017) und Feng & Barratt (1999) zeigen, dass die Bleikonzentrationen in Bodenpartikeln fraktioniert vorkommen. Dies hat Konsequenzen für die Lungengängigkeit, sofern Partikel eingeatmet werden. Die Abbildung 24 zeigt die mittleren Belastungen des Bodens und Staubes.

Bemerkenswert sind auch die Messungen von Augustsson *et al.* (2018), die in verschiedenen Arealen der Glasindustrie deutliche Unterschiede in der Bodenbelastung fanden.

Feng & Barratt (1999) untersuchten die Auswirkung der Windrichtung auf die Verteilung von Blei in der Nähe von Müllverbrennungsanlagen und fanden (bei großer Streubreite) ein unterschiedliches Verbreitungsverhalten in Abhängigkeit der Partikelgrößen. Diese Ergebnisse sind für das Ziel dieser Arbeit zwar nicht zielführend, unterstreichen aber die große Bedeutung von Verbrennungsanlagen für die Belastung von Boden und Staub.

Abbildung 24: Ergebnisse der Messungen (mittlere Werte) von Blei im Straßenstaub in verschiedenen europäischen Ländern



Quellen: siehe Grafik

Grafik: Bundesinstitut für Risikobewertung unter Verwendung der angegebenen Quellen

Oberflächenwasser

Eine Analyse regulatorischer Daten zur Süßwasserüberwachung aus sechs europäischen Mitgliedsstaaten und der FOREGS-Datenbank¹¹ („Geochemical Atlas of Europe“, Forum of European Geological Surveys) ergab, dass bei 9.054 Süßwasserproben nur in 0,6 % der europaweite biologisch verfügbare Blei-Umweltqualitätsstandard (EQS) von 1,2 µg/l überschritten wurde (Peters *et al.* 2018).

Augustsson *et al.* (2016) stellten eine Abnahme der Bleikonzentrationen im Grundwasser in der Nähe von Glashütten in Südschweden mit zunehmender Entfernung fest. Die Konzentrationen des aus diesem Grundwasser gewonnenen Trinkwassers lagen deutlich oberhalb des Grenzwertes von 10 µg/l Blei.

¹¹ <http://weppi.gtk.fi/publ/foregsatlas/index.php>

3.3.1.18 Abfall

Abfall als Expositionsquelle wurde nicht berücksichtigt, da sie in aller Regel nicht zur direkten Belastung der Bevölkerung führt. Die indirekte Belastung kann sich aber in verschiedenen Pfaden der Lebensmittel, des Trinkwassers und Boden bzw. Hausstaub wiederfinden.

3.3.2 Biomonitoring-Studien

Biomonitoring-Studien umfassen in dieser Analyse alle Messungen von Blei in Körperflüssigkeiten und Hautanhangsgebilden des Menschen, auch wenn es sich nicht ausdrücklich um HBM-Studien handelt. Im Falle von Blei handelt es sich um die Konzentrationen im Blut, den Haaren und in Ausnahmefällen in Zähnen. Dreiundsechzig Arbeiten, die der internen Exposition zugeordnet werden, sind unter diesem Studientyp eingeordnet. Ausgangspunkt bzw. Maßstab für die Beurteilung der internen Exposition sind die Daten der Umweltprobenbank (UBA 2018a). Demnach haben sich die Bleikonzentrationen im Vollblut seit dem Jahre 2000 bis 2017 etwa halbiert. Dieser Rückgang ist allerdings im Vergleich zu dem Rückgang seit 1985 auf 1998 als eher mäßig zu sehen. Zwischen 1985 und 1998 gingen die Bleikonzentrationen von ca. 75 µg/l auf Werte unter 30 µg/l im Blut zurück. Dieser Rückgang kann eindeutig auf den Verzicht von Blei im Benzin zurückgeführt werden. Der Rückgang seit 1998 muss andere Ursachen haben. Seit 2010 kann eine Stagnation beobachtet werden.

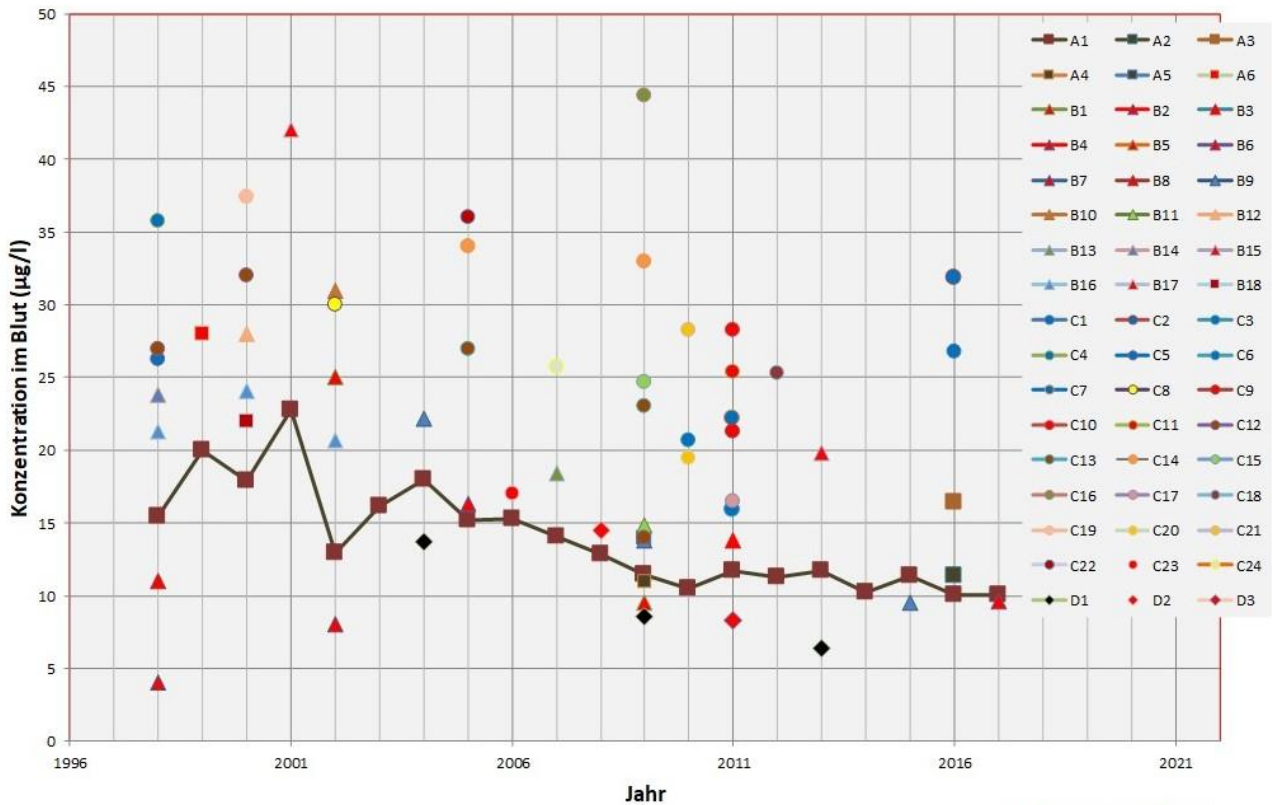
Abbildung 25 zeigt Messergebnisse von Blei im Blut aus verschiedenen europäischen Studien, weiter spezifiziert in Tabelle 12.

Grundlage der Abbildung sind die Daten des zeitlichen Verlaufes aus der Kohorte Münster (A1 [■]). Sie gehen konform mit den Ergebnissen der drei weiteren Kohorten der Umweltprobenbank, welche nicht abgebildet sind (Göen *et al.* 2018). Für die Abbildung 28 wurden Ergebnisse weiterer Studien berücksichtigt, aus zwei Surveys, in denen über die Zeit mehrere Messungen vorgenommen wurden, der belgischen FLEHS-Studie (Schoeters *et al.* 2017; B9 und D1 in Abbildung 28) und dem tschechischen EHMS-Programm (Černá *et al.* 2012; C12 und C13 in Abbildung 27). Die Daten aus der FLEHS-Studie wurden unter verschiedenen Aspekten auch anderweitig publiziert (de Craemer *et al.* 2017; Fierens *et al.* 2016). Alle weiteren Publikationen stammen aus einmaligen Erhebungen. Die Studien betreffen Neugeborene (D1 bis D3, [◆]), Kinder und Jugendliche (B1 bis B18 [▲]), junge Erwachsene bis 29 Jahren (A2 bis A6 [■]) sowie Erwachsene (C1 bis C22 [●]), vergl. Tabelle 12.

Die Daten in Abbildung 25 zeigen, dass auch in den Jahren nach 1998 eine große Variabilität der Konzentrationen vorliegt. Diese Variabilität wird allerdings vor allem durch große Schwankungen bei den erwachsenen Populationen (> 30 Jahre) charakterisiert. Abbildung 26 zeigt, dass bei Betrachtung von Kindern und Jugendlichen die Konzentrationen denen der Münster-Kohorte folgen. Dabei scheint die Variabilität mit zunehmender Jahreszahl abzunehmen.

Erstaunlich ist auch, dass diese Tendenz über alle Publikationen geht, sodass die Abnahme der Konzentrationen als gesamteuropäisches Phänomen angesehen werden kann.

Abbildung 25: Konzentrationen (mittlere Werte) von Blei im Blut aus verschiedenen Publikationen (Erläuterung der Legendennummern siehe Tabelle 12)



Quellen: siehe Tabelle 12

Grafik: Bundesinstitut für Risikobewertung unter Verwendung der angegebenen Quellen

Die Punkte in der Abbildung sind auf das Jahr der Messung bezogen, nicht auf das Publikationsjahr.

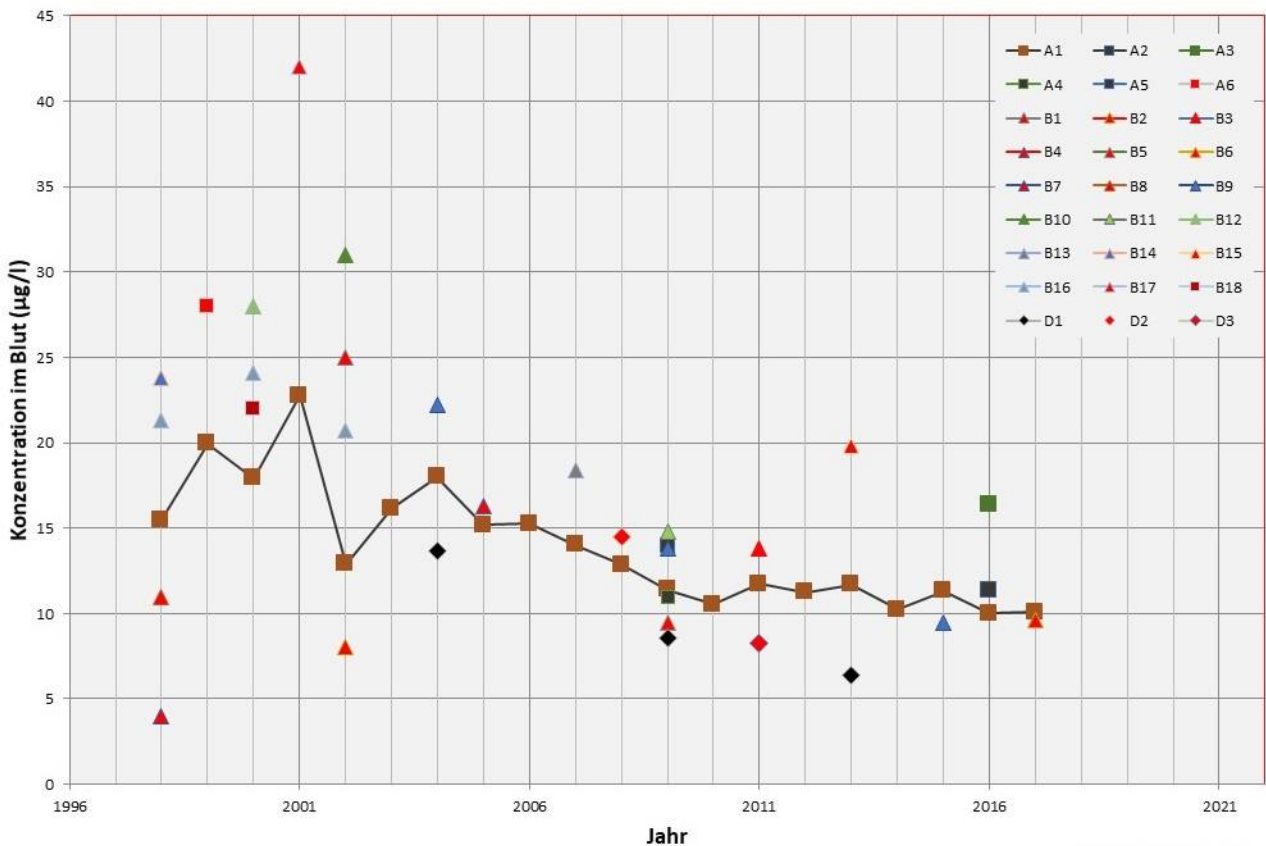
Tabelle 12: Referenzierung der Nummern in der Legende zu Abbildung 25 und Abbildung 26. Konzentrationen (mittlere Werte) von Blei im Blut aus verschiedenen Publikationen

Altersgruppe	Referenz	weitere Anm.	Legende Nummer	Land
Symbol: ■				
20-29 Jahre	UBA (2018a)	GM	A1	D
20-29 Jahre, weibl	Tagne-Fotso <i>et al.</i> (2016)	GM	A2	F
20-29 Jahre, männl	Nisse <i>et al.</i> (2017)	GM	A3	F
junge Frauen	Wennberg <i>et al.</i> (2017)	Median	A4	S
junge Männer	Wennberg <i>et al.</i> (2017)	Median	A5	S
junge Frauen	Dengler <i>et al.</i> (2011)	Median	A6	D
Symbol: ▲				
Kind & Jugendl.	Wilhelm <i>et al.</i> (2003)	GM	B1	D
Kind & Jugendl.	Wilhelm <i>et al.</i> (2003)	Min	B2	D

Altersgruppe	Referenz	weitere Anm.	Legende Nummer	Land
Kind & Jugendl.	Etchevers <i>et al.</i> (2015)	GM	B3	F
Kind & Jugendl.	K. Becker <i>et al.</i> (2007)	GM	B4	D
Kind & Jugendl.	Pino <i>et al.</i> (2012)	GM	B5	ES
Kind & Jugendl.	Pino <i>et al.</i> (2017)	GM	B6	ES
Kind & Jugendl.	Sanna <i>et al.</i> (2003)	min GM	B7	IT
Kind & Jugendl.	Sanna <i>et al.</i> (2003)	max GM	B8	IT
Kind & Jugendl.	Schoeters <i>et al.</i> (2017)	GM	B9	BE
Kind & Jugendl.	Batárióvá <i>et al.</i> (2006)	GM	B10	CZ
Kind & Jugendl.	Fierens <i>et al.</i> (2016)	GM	B11	BE
Kind & Jugendl.	Berglund <i>et al.</i> (2000)	Median	B12	S
Kind & Jugendl.	Stroh <i>et al.</i> (2009)	GM über 1995 bis 2007	B13	S
Kind & Jugendl.	Meyer <i>et al.</i> (2003a)	Median	B14	D
Kind & Jugendl.	Grabmann (2016)	Median	B15	D
Kind & Jugendl.	Link <i>et al.</i> (2007)	GM	B16	D
Kind & Jugendl.	Bartoń (2011)	GM	B17	PL
Kind & Jugendl.	Wilhelm <i>et al.</i> (2007)	GM	B18	D
Symbol: ◆				
Neugeborene	Schoeters <i>et al.</i> (2017)	GM in 2004, 2009, 2013	D1	BE
Neugeborene	García-Esquinas <i>et al.</i> (2013)	GM	D2	ES
Neugeborene	Saoudi <i>et al.</i> (2018)	GM	D3	F
Symbol: ●				
Erw. weibl.	Tagne-Fotso <i>et al.</i> (2016)	GM	C1	F
Erw. männl.	Tagne-Fotso <i>et al.</i> (2016)	GMI	C2	F
Erw.	Sommar <i>et al.</i> (2014)	GM	C3	S
Erw. männl.	K. Becker <i>et al.</i> (2002)	GM	C4	D
Erw. weibl.	K. Becker <i>et al.</i> (2002)	GM	C5	D
Erw. weibl.	Alimonti <i>et al.</i> (2011)	GM	C6	IT
Erw. männl.	Alimonti <i>et al.</i> (2011)	GM.	C7	IT
Erw.	Batárióvá <i>et al.</i> (2006)	GM	C8	CZ
Erw. weibl	Birgisdóttir <i>et al.</i> 2013	Median	C9	NO
Erw. männl	Birgisdóttir <i>et al.</i> 2013	Median	C10	NO
Erw.	Birgisdóttir <i>et al.</i> 2013	> 60 Jahre, Median	C11	NO
Erw. männl	Černá <i>et al.</i> (2012)	Median	C12	CZ
Erw. weibl	Černá <i>et al.</i> (2012)	Median	C13	CZ
Erw.	Forte <i>et al.</i> (2011)	> 60 Jahre	C14	IT
Erw. weibl	Forte <i>et al.</i> (2011)	GM	C15	IT

Altersgruppe	Referenz	weitere Anm.	Legende Nummer	Land
Erw. männl	Forte <i>et al.</i> (2011)	GM	C16	IT
Erw.	Outzen <i>et al.</i> (2015)	Median	C17	DK
Senioren, Heim	Rambousková <i>et al.</i> (2014)	GM	C18	CZ
Erw.	Domingo <i>et al.</i> (2001)	GM	C19	ES
Erw. weibl.	Cañas <i>et al.</i> (2014)	GM	C20	ES
Erw. männl.	Cañas <i>et al.</i> (2014)	GM	C21	ES
Erw. männl, weibl.	Coelho <i>et al.</i> (2014)	AM	C22	PT
Senioren, > 70	Schultze <i>et al.</i> (2014)	Median	C23	S

Abbildung 26: Blei-Blutspiegel bei Kindern, Jugendlichen und jungen Erwachsenen. Vergleich der Ergebnisse der Münster-Kohorte aus der Umweltprobenbank mit Daten aus europäischen Studien (Erläuterung der Legende in Tabelle 12)



Grafik: Bundesinstitut für Risikobewertung unter Verwendung der angegebenen Quelle

Der Trend, der sich im Kollektiv „Münster“ abzeichnet, kann durch den Vergleich mit den Ergebnissen anderer Studien (siehe Abbildung 26) bestätigt werden.

Aus dem Verlauf der Konzentrationen von Blei im Blut kann abgeleitet werden, dass bis zum 30. Lebensjahr eine in der Grundtendenz gleichbleibende Bleibelastung vorherrscht. Diese Belastung ist in den vergangenen 20 Jahren zurückgegangen. Bei Erwachsenen über 30 Jahren liegen die Bleikonzent-

rationen teilweise deutlich höher und sind mit einer starken Variabilität charakterisiert, was auf individuelle und unterschiedlich hohe Expositionen im höheren Lebensalter hindeutet.

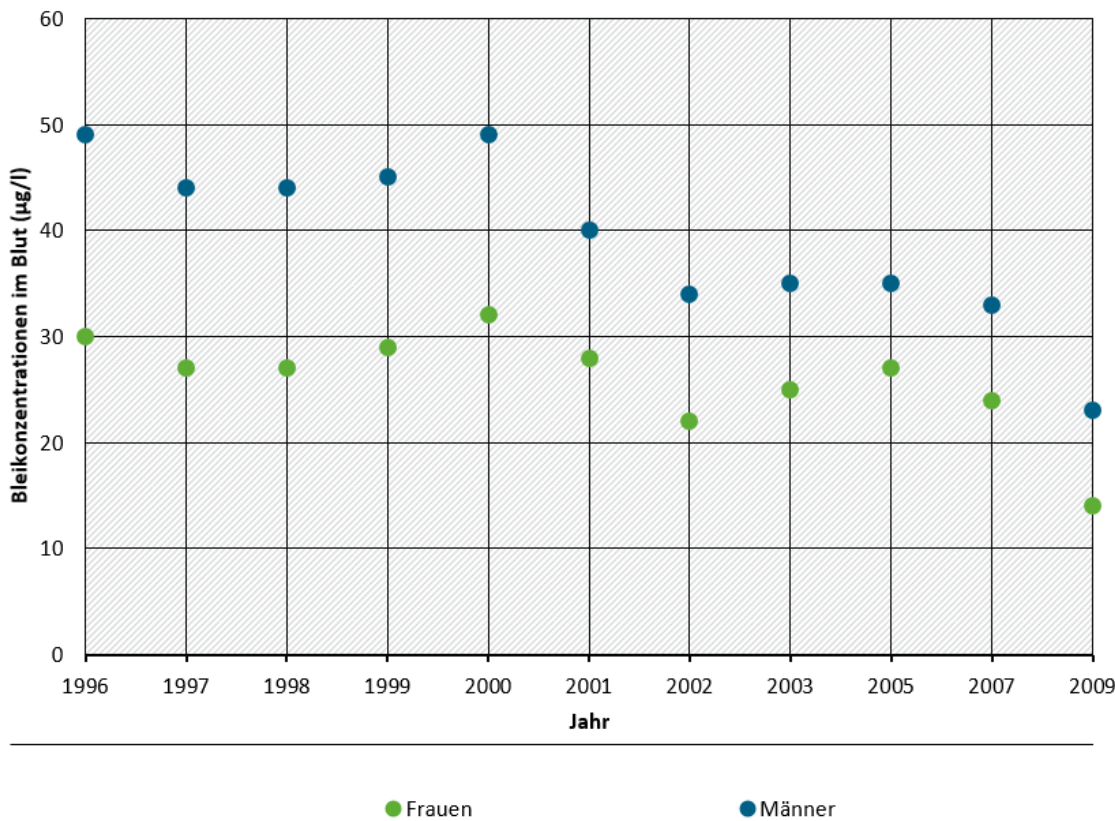
3.3.2.1 Ergebnisse aus Einzelstudien

Tschechische Republik

Im Rahmen des nationalen „Environmental Health Monitoring System“ (EHMS) wurden in der Tschechischen Republik mehrere zeitlich aufeinander folgende Biomonitoring-Surveys durchgeführt (Černá *et al.* 2012).

In den Jahren zwischen 1996 bis 2008 kann eine Abnahme der geometrischen Mittelwerte der Konzentrationen von Blei im Blut von 30 auf 14 µg/l bei Frauen (Čejchanová *et al.* 2012) bzw. von 49 auf 23 µg/l bei Männern sowie für Kinder festgestellt werden (Černá *et al.* 2012). Abbildung 27 zeigt die Ergebnisse für Frauen und Männer.

Abbildung 27: Zeitverlauf der Bleiblutkonzentrationen im tschechischen HBM-Programm 1996 bis 2008



keine Daten aus 2004 und 2006

Quelle: Černá *et al.* 2012

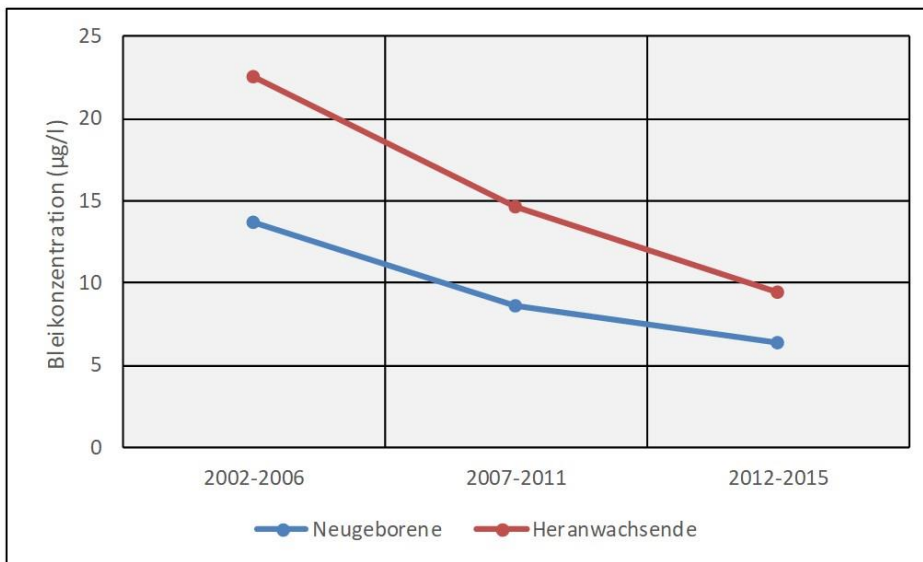
Grafik: Bundesinstitut für Risikobewertung unter Verwendung der angegebenen Quelle

Flandern: FLEHS-Studie

In der Flämischen Umwelt- und Gesundheitsstudie „Flemish Environment and Health Study“, FLEHS (de Craemer *et al.* 2017; Fierens *et al.* 2016; Reynders *et al.* 2017; Schoeters *et al.* 2017) wurden die Untersuchungen in drei Wellen vorgenommen (2002 bis 2006, 2007 bis 2009, und 2013 bis 2105).

Neben Messungen von Kohlenwasserstoffen und Cadmium wurde auch Blei im Blut bei 1.072, 241 und 281 Neugeborenen, bzw. 1.659, 207 und 204 14-15-jährigen gemessen, jeweils in FLEHS I, II und III. Die Ergebnisse sind in Abbildung 28 dargestellt. Bereits bei Neugeborenen beträgt die Konzentration im Blut $8 \mu\text{g/l}$. Das bedeutet, dass die Füllung der Bleidepots bereits in der Fetalphase beginnt.

Abbildung 28: Blei-Konzentrationen im Nabelschnur-Blood von Neugeborenen und im Blut von 13 bis 14-jährigen Heranwachsenden in der flämischen FLEHS Studie



Quelle: Schoeters et al. (2017)

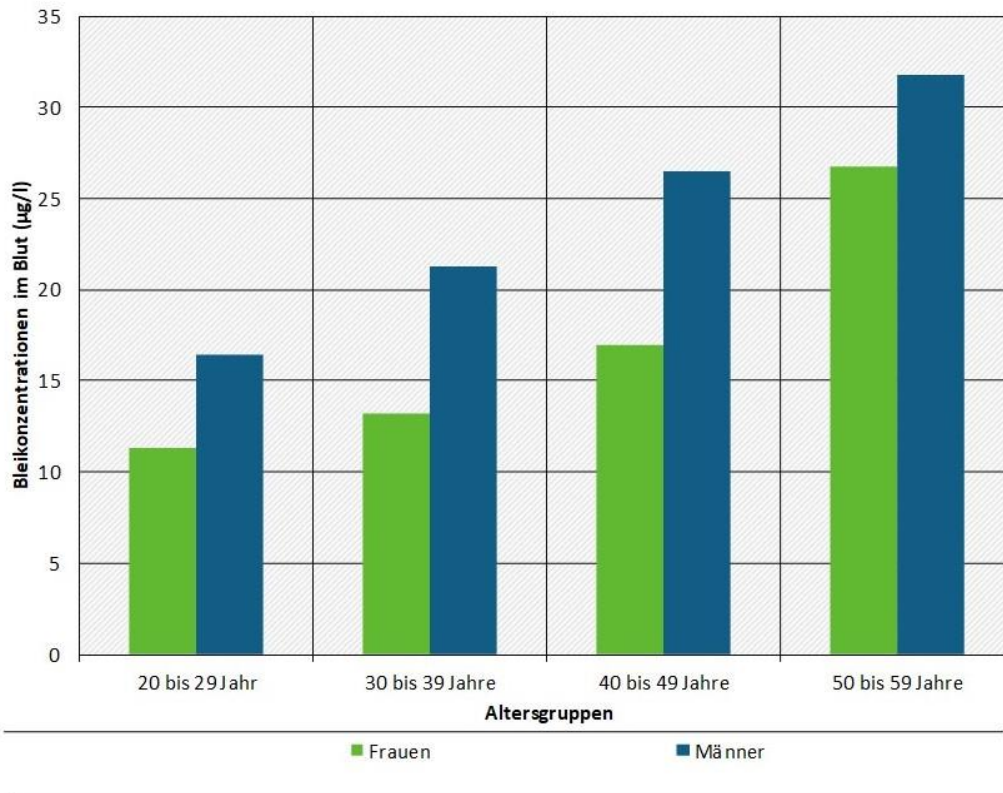
Grafik: Bundesinstitut für Risikobewertung unter Verwendung der angegebenen Quelle

In beiden Altersgruppen nehmen die Konzentrationen im zeitlichen Verlauf deutlich ab. Dieser Befund befindet sich im Einklang mit den Ergebnissen aus dem deutschen Kollektiv „Münster“ und den Ergebnissen aus Tschechien, sowie weiteren Einzelmessungen aus verschiedenen Ländern, wie in Abbildung 12 dargestellt. Die HBM-Daten aus dem FLEHS Survey werden von de Craemer et al. (2017) und Schoeters et al. (2017) vorgestellt, mit leicht unterschiedlichen Zahlenangaben. Auch die Auswertungen von Fieren et al. (2016) gehen auf dieselbe Datenbasis zurück. In dieser Publikation wird eine ländliche Gegend („peripheral area“) einer mehr städtischen/industrialisierten („central area“) gegenübergestellt. Dabei beträgt das geometrische Mittel im eher inner-städtischen („central“) Gebiet $18,2 \mu\text{g/l}$ gegenüber $14,8 \mu\text{g/l}$ Blei im eher ländlichen („peripheral“) Gebiet.

3.3.2.2 Altersabhängigkeit

Abbildung 29 zeigt die Entwicklung der Konzentrationen von Blei im Blut in einer erwachsenen Bevölkerung in Nordfrankreich mit steigendem Lebensalter (Tagne-Fotso *et al.* 2016). Sie verdoppelt sich etwa von der dritten bis zur fünften Lebensdekade. Deutlich ist der Unterschied zwischen Frauen und Männern zu erkennen.

Abbildung 29: Altersabhängigkeit der Bleikonzentrationen im Blut (Daten von Tagne-Fotso *et al.* 2016)

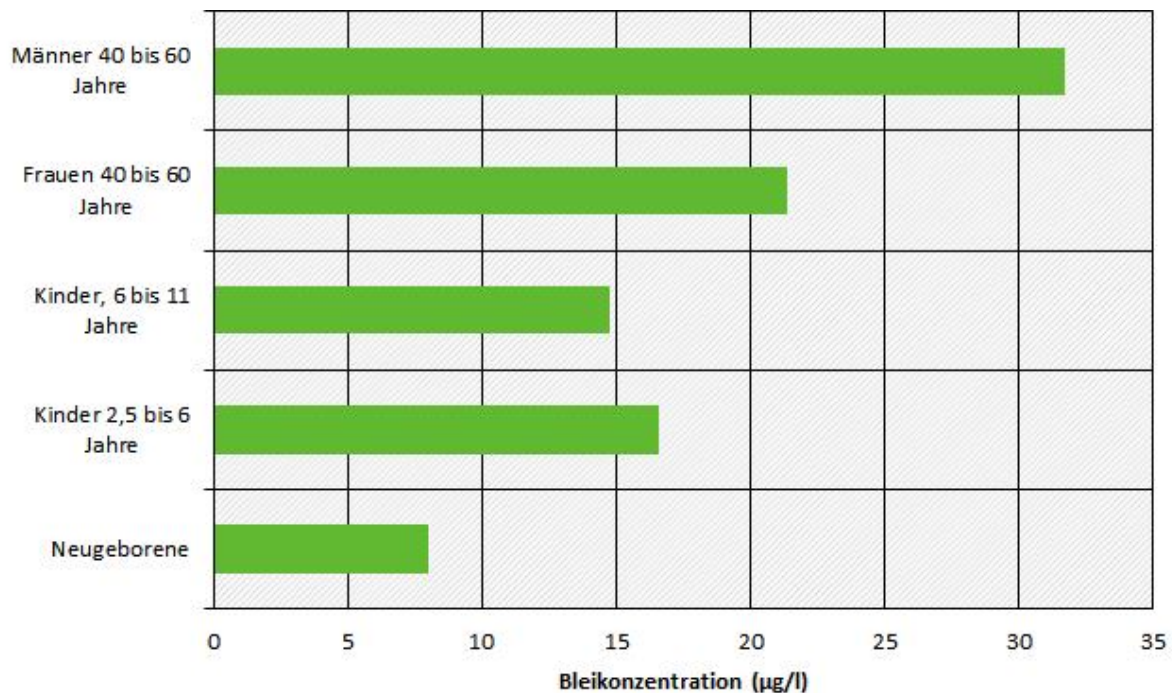


Quelle: Tagne-Fotso *et al.* (2016)

Grafik: Bundesinstitut für Risikobewertung unter Verwendung der angegebenen Quelle

Ähnliche Ergebnisse wurden in der FLEHS Studie in den Daten aus dem zweiten von insgesamt drei Surveys gefunden (Fierens *et al.* 2016; Schoeters *et al.* 2017). Mit der niedrigsten Konzentration im Blut „starten“ die Neugeborenen. Bereits in den ersten Lebensjahren werden die Bleidepots gefüllt. In dieser Studie wurden keine Veränderungen der Konzentrationen im Vorschul- und im Schulalter festgestellt.

Abbildung 30: Altersabhängigkeit der Konzentrationen von Blei im Blut (FLEHS)



Quelle: Fierens et al. (2016); Schoeters et al. (2017)

Grafik: Bundesinstitut für Risikobewertung unter Verwendung der angegebenen Quelle

In einer Biomonitoringstudie bei Neugeborenen, Müttern und Vätern bestimmten García-Esquinas *et al.* (2013) im Nabelschnurblut 14,09 µg/l Blei und im Blut der Mutter 19,8 µg/l. Diese bedeutet, dass bereits während der Schwangerschaft ein großer Teil des mobilisierbaren mütterlichen Bleis auf das Kind übergeht. Die Konzentrationen aus dieser Studie stimmen mit den Messungen von Blei im Nabelschnurblut (siehe Abbildung 28) in der bereits o. a. FLEHS-Studie überein (Schoeters *et al.* 2017).

Im französischen HBM-Programm (Dereumeaux *et al.* 2017; Saoudi *et al.* 2018) wurde bei 1.968 Neugeborenen im Nabelschnurblut ein geometrischer Mittelwert von 8,3 und ein 95. Perzentil von 24,3 µg/l Blei gemessen. Die Daten wurden im Jahre 2011 erhoben und liegen in gleicher Höhe wie die aus der FLEHS-Studie.

Die auf der Basis der Daten von Pandelova *et al.* (2012, siehe Kapitel 3.3.2.2 geschätzte Aufnahme von Blei betrug im ersten Lebensmonat ca. 7-8 µg/kg pro Woche. Sie nimmt dann bis zum 9. Monat auf etwa 2 µg/kg pro Woche ab. Diese Abnahme kann darauf zurückgeführt werden, dass die Aufnahmemengen der Formula Diät durch feste und flüssige Nahrung ersetzt wird. Dementsprechend steigt die Bleiaufnahme ab dem 5. Monat durch diese Nahrungsmittel an. Der Schätzwert der Bleiexposition nimmt bis zum 9. Monat auf 5,5 µg/kg pro Woche zu.

3.3.2.3 Kontrollierte Studien

Bleiaufnahme bei starkem Fischverzehr

In einer randomisiert rekrutierten Kohorte (Outzen *et al.* 2015) von 102 gesunden Männern und Frauen (alle nicht rauchend) im Alter von 48–76 Jahren nahm eine Gruppe von 51 Personen eine Diät mit

Fisch und Muscheln in einer Menge von 1 kg pro Woche ein, davon 260 g Miesmuscheln. Die Kontrollgruppe (ebenfalls 51 Personen) ernährte sich wie gewohnt und nahm weniger als 300 g Fisch und Muscheln pro Woche zu sich. Nach 13 Wochen stieg in der Interventionsgruppe die Blei Konzentrationen im Blut von 14 µg/l um 2,6, nach weiteren 26 Wochen um 3,2 µg/l an. In der Kontrollgruppe war zunächst eine leichte Abnahme, dann eine Zunahme von 0,6 µg/l zu verzeichnen. Man kann daraus schließen, dass eine fisch- und muschelreiche Ernährung zu einer – leichten – Erhöhung der Konzentration von Blei im Blut führt. Diese These wird durch die Ergebnisse aus dem LMM (insbesondere die Konzentrationen bei Muscheln) und weiterer Studien erhärtet. Die Ergebnisse der Arbeit von Birgisdóttir *et al.* (2013) wurde bereits im Kapitel 3.3.1 diskutiert. Die Autoren beschreiben einen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen der Aufnahmemenge von Fisch und Meerestieren und der Konzentrationen von Blei im Blut (siehe Tabelle 9).

3.3.2.4 Geschlechtsspezifische Unterschiede

Der bereits diskutierte Unterschied zwischen Männern und Frauen (Kapitel 3.3.2.2) bestätigt sich in vielen weiteren Untersuchungen. In der bereits angesprochenen Studie von García-Esquinas *et al.* (2013) wurden bei den untersuchten Vätern wurde eine Konzentration von 33 µg/l Blei (geometrischer Mittelwert) im Blut ermittelt. Dieser liegt fast ein Drittel höher als der bei den Müttern. Auch in anderen Studien (Alimonti *et al.* 2011; Černá *et al.* 2012; Falq *et al.* 2011; Tagne-Fotso *et al.* 2016) liegen die Konzentrationen konsistent bei Männern höher als bei Frauen. Besonders bei der Untersuchung von Forte *et al.* (2011) ist die Differenz groß (Frauen 24,3, Männer 44,9 µg/l Blei im Blut). Eine wichtige Ursache für den Unterschied zwischen Männern und Frauen könnte die bei Männern arbeitsbedingt höhere Exposition sein. Weitere Ursachen können ernährungs- und verhaltensbedingt sein (z. B. Aufenthalt eher außerhalb als innerhalb der Wohnung). Darüber hinaus wären toxikokinetische Unterschiede zu diskutieren. Alkoholkonsum und Rauchen ist nach einem Bericht von Alimonti *et al.* (2011) mit höheren Bleikonzentrationen assoziiert. Die Interpretation dieser Daten bedarf einer intensiven Diskussion in Politik und Wissenschaft, die im Rahmen dieses Berichts nicht eingehend geführt werden kann.

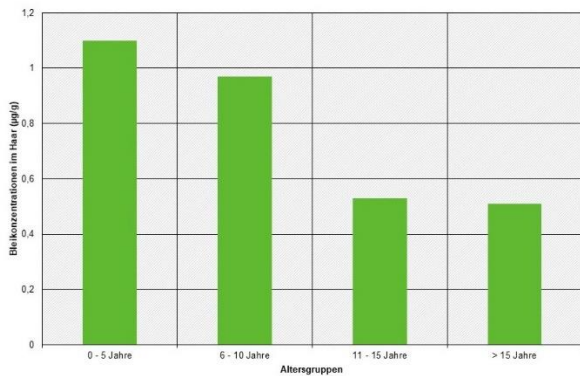
Haaranalysen

In einer Studie zur Erstellung von Referenzwerten für Haaranalysen (Llorente Ballesteros *et al.* 2017) wurden 648 Proben von Kindern und Jugendlichen im Alter bis 18 Jahren in Madrid (Spanien) untersucht. Davon waren 253 Jungen und 395 Mädchen, deren Haare nicht gefärbt oder anderweitig behandelt waren. Die mittlere Konzentration von Blei im Haar dieser Kohorte betrug 1,23 µg/g, mit einem Schwankungsbereich zwischen 0,05 und 19,4 µg/g, der Median betrug 0,7 µg/g, was auf eine rechtsschiefe Verteilung der Konzentrationswerte schließen lässt. Bis zum Alter von 15 Jahren und älter nimmt die Konzentration weiter ab.

In einer groß angelegten Studie mit Haaranalysen in einem Kollektiv von insgesamt 10.306 Personen im Alter von ein bis 60 Jahren (Dunicz-Sokolowska *et al.* 2006a; 2006b; 2007a; 2007b; Abbildung 32) wurde gezeigt, dass in der ersten Lebensdekade die Bleikonzentrationen bei Jungen eher konstant sind, während bei Mädchen eine leichte Abnahme zu verzeichnen ist. Die Konzentrationen von Blei im Blut bei verschiedenen Altersgruppen unterscheiden sich in dieser Stichprobe deutlich. Im Alter bis zu 5 Jahren sind die Konzentrationen bei Jungen und Mädchen am höchsten und nehmen dann ab. Bei Jungen nehmen die Konzentrationen vom 5. Lebensjahr bis zum zwanzigsten Lebensjahr ab und bleiben dann konstant bis zum 60. Lebensjahr. Bei Mädchen nimmt die Konzentration bereits vom fünften bis zum zwanzigsten Lebensjahr ab und bleibt dann ebenfalls über vier Dekaden konstant. Diese Ergebnisse zeigen, dass die Haare ein eigenes Kompartiment darstellen, welches im Erwachsenenalter im Gleichgewicht mit dem zentralen Kompartiment (Blut) steht. Diese Befunde werden von den Untersuchungen bei Kindern und Heranwachsenden durch Peña-Fernández *et al.* (2014) bestätigt. Die von Chojnacka *et al.* (2010a; 2010b) durchgeführten Messungen von Blei in Haaren von 117 Studierenden

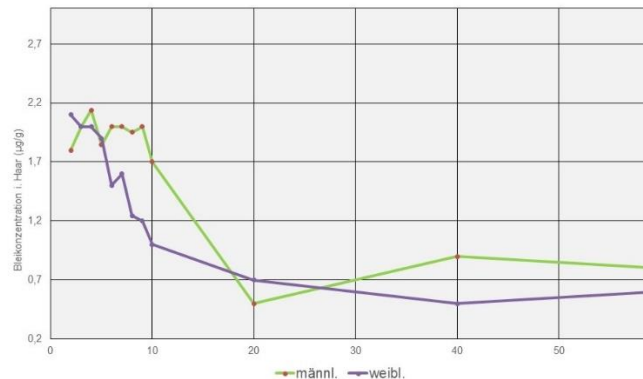
der Chemie im Alter von 21 und 22 Jahren liegen mit einem Mittelwert von 3,08 und einem Median von 1,69 mg/kg vergleichsweise hoch.

Abbildung 31: Altersverteilung der Konzentrationen von Blei im Haar bei Kindern und Jugendlichen



Quelle: Llorente-Ballesteros et al., (2017)

Abbildung 32: Altersabhängigkeit der Konzentrationen im Haar, gezeigt an 10.306 Personen



Quelle: Dunicz-Sokolowska et al. (2006/2007)

Grafik: Bundesinstitut für Risikobewertung unter Verwendung der angegebenen Quellen

Die unterschiedliche Entwicklung der Konzentrationen im Haar und im Blut kann in erster Linie durch das kinetische Verhalten von Blei charakterisiert und erklärt werden. Nach Rabinowitz *et al.* (1976) sind mehrere Kompartimente für Blut und Haar bestimmend. Die unterschiedlichen Konzentrationen können daher durch Umverteilungsphänomene zustande kommen. Die Geschwindigkeit und Dauer der Herstellung dieses Gleichgewichtes ist unbekannt. Das Kindesalter scheint hier eine besonders kritische Lebensphase zu sein. Dies wird durch die große Variabilität der Messergebnisse im Blut, den Haaren und (eingeschränkt) den Zähnen deutlich. Die Konzentration im Blut zeigt dabei kurzfristige Veränderungen an, die in der Peripherie ist jedoch langfristig und ändert sich kaum.

Ein „steady state“ stellt sich aber offensichtlich erst mit dem 20. Lebensjahr ein (siehe Abbildung 32).

Zu Analysen von Blei in den Zähnen liegen nur wenige Daten vor. Erwähnenswert ist eine Studie von Kuchenbecker *et al.* aus dem Jahre 2002, in der die Bleikonzentrationen in Zahnwurzeln von 230 nicht-repräsentativ ausgewählten Probanden im Alter von 20 bis 83 Jahren gemessen wurden. Ein Vergleich mit Blutspiegeln wurde nicht vorgenommen. Allerdings fügt sich diese Studie gut in die Ergebnisse anderer Untersuchungen ein: Es konnte ein Zusammenhang zwischen Alter und Konzentration in den Zähnen gezeigt werden, ebenso wie eine Korrelation mit der Dauer beruflicher Exposition. Die Nutzung von Bleirohren in der Trinkwasserversorgung zeigte ebenfalls eine Korrelation mit der Bleikonzentration in den Zähnen.

Unterschiede zwischen Männern und Frauen sind in Haaranalysen nicht so konsistent wie im Blut. Bei jungen spanischen Frauen fanden González-Muñoz *et al.* (2008) höhere Bleikonzentrationen (1,46 µg/mg) als bei Männern (0,273 µg/mg), wie auch Michalak *et al.* (2014) in einer polnischen Kohorte. Die Bleiaufnahme über Lebensmittelverzehr war nicht different. Die Gründe für diesen Befund werden von den Autorinnen nicht diskutiert, sie verweisen aber auf andere Publikationen (Dunicz-Sokolowska *et al.* 2006b), bei denen allerdings eher gleich hohe Konzentrationen (siehe Abbildung 32) beschrieben werden.

Drobyshev *et al.* (2017) fanden beim Vergleich der Haarkonzentrationen bei Erwachsenen in einem Industriegebiet in Russland versus einem ländlichen Gebiet bei Frauen höhere Konzentrationen als bei Männern.

Der Unterschied zwischen Männern und Frauen wird auch von Gonzalez-Reimers *et al.* (2014) beschrieben. In dieser vergleichenden Untersuchung konnten Zusammenhänge zwischen Konzentrationen im Haar und der Menge des Fischverzehrs aufgezeigt werden, ohne allerdings konkrete Angaben zur Art der Fische zu machen.

Geschlechtsunterschiede, die bei Kindern oder Jugendlichen gefunden werden, können nicht auf berufliche Expositionen zurückgeführt werden, wohl aber auf örtliche und Wohnunterschiede. Tamburo *et al.* (2016) führten Messungen von Blei im Haar bei 943 Jugendlichen im Alter von 11 bis 13 Jahren in verschiedenen Orten Siziliens durch und fanden vergleichbare Konzentration bei Kindern in der Stadt (Palermo) und in einer Bergbauregion. In Industriearealen lagen jedoch die Konzentrationen bei gleichaltrigen Jungen höher, während die bei Mädchen im vulkanischen Gebiet jene der Jungen überstieg. Diese Unterschiede werden allerdings nicht diskutiert, es werden auch keine Hypothesen aufgestellt. Die Arbeit geht der Fragestellung in angemessener Weise nach, stellt aber nur fest, dass Geschlechtsunterschiede einen „confounding factor“ bei Haar-Monitoring-Studien darstellen.

Das häusliche Zigarettenrauchen sowie die Schulnähe zu Hauptverkehrsstraßen können zu höheren Belastungen von Kindern mit Blei beitragen, wie verschiedene Untersuchungen (de Prisco *et al.* 2010; Özden *et al.* 2007) zeigen.

Es kann resümiert werden, dass die Analyse von Blei im Haar im Rahmen von Biomonitoring-Studien in Deutschland kaum eine Rolle spielt, aber eine wichtige Ergänzung der Kenntnisse über Blei im menschlichen Körper darstellen kann, insbesondere bei direktem Vergleich verschieden exponierter Populationen. Der Vorteil dieser Methode liegt in der, z. B. im Vergleich zur Blutentnahme, einfachen und wenig invasiven Gewinnung des Probenmaterials.

3.3.3 Expositionsstudien

In Expositionsstudien wird – oft im Zusammenhang mit Risikobewertungen – die Exposition von Blei ermittelt. Expositionsstudien werden meistens von nationalen und internationalen Behörden angefertigt. Die Daten hierzu werden in der Regel nicht selbst erhoben. Zur Ermittlung der Exposition sind a) Daten aus Monitoring-Studien erforderlich, sowie b) Erhebungen der Aufnahme (z. B. von Lebensmitteln).

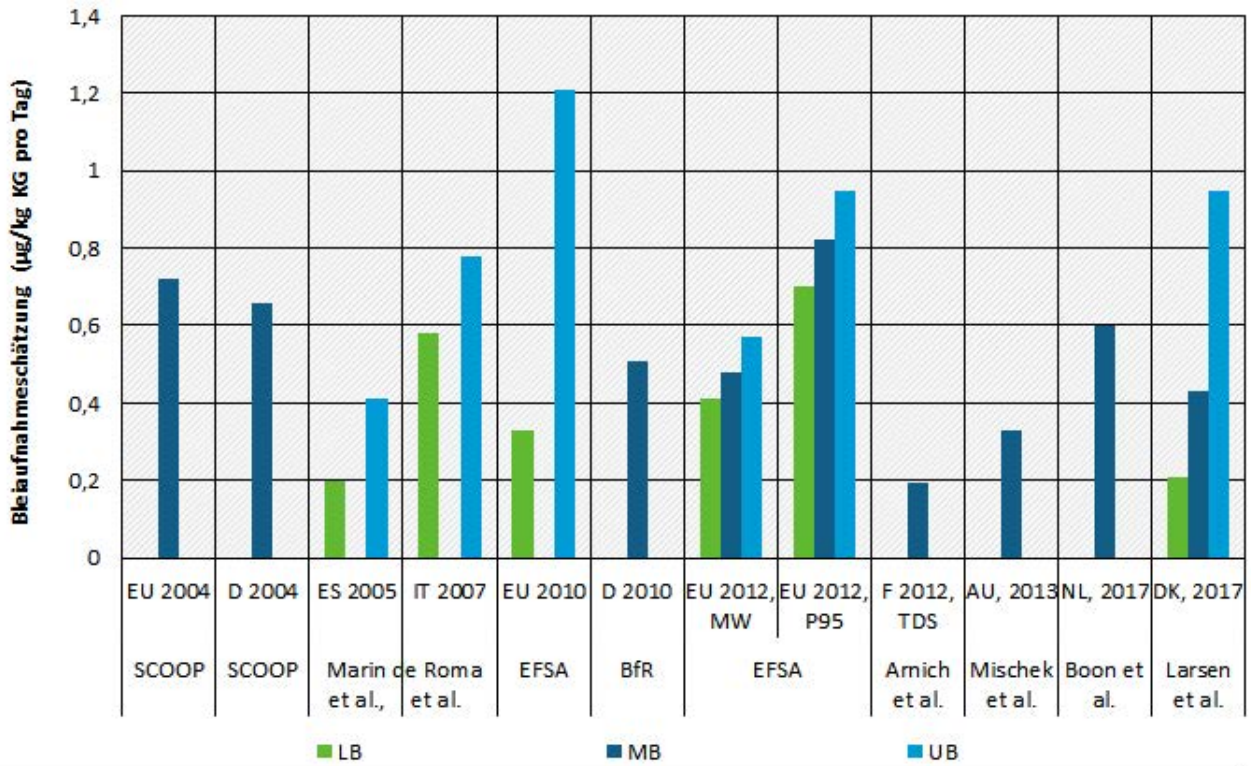
In dieser Studie sollen die im Folgenden aufgeführten drei Bewertungen als Grundlage für einen Vergleich von Studien dienen, die die gesamte Bleiexposition untersucht haben. Sie wurden von derselben Institution bzw. dessen Vorläufer unter vergleichbaren Bedingungen zu verschiedenen Zeitpunkten durchgeführt.

Es sind:

- a) Die Risikobewertung durch das SCOOP (EC-SCOOP 2004) dem Vorläufer der EFSA
- b) Die erste Bewertung des Panels für Kontaminanten der EFSA (2010b)
- c) Die zweite Bewertung des Panels für Kontaminanten der EFSA (2012)

Diese drei Bewertungen der Exposition sind durch die höchsten Gremien der EU durchgeführt und können als Referenzen angesehen werden.

Abbildung 33: Ergebnisse der Schätzung der Aufnahme (zentrale und konservative Schätzer) von Blei bei Erwachsenen



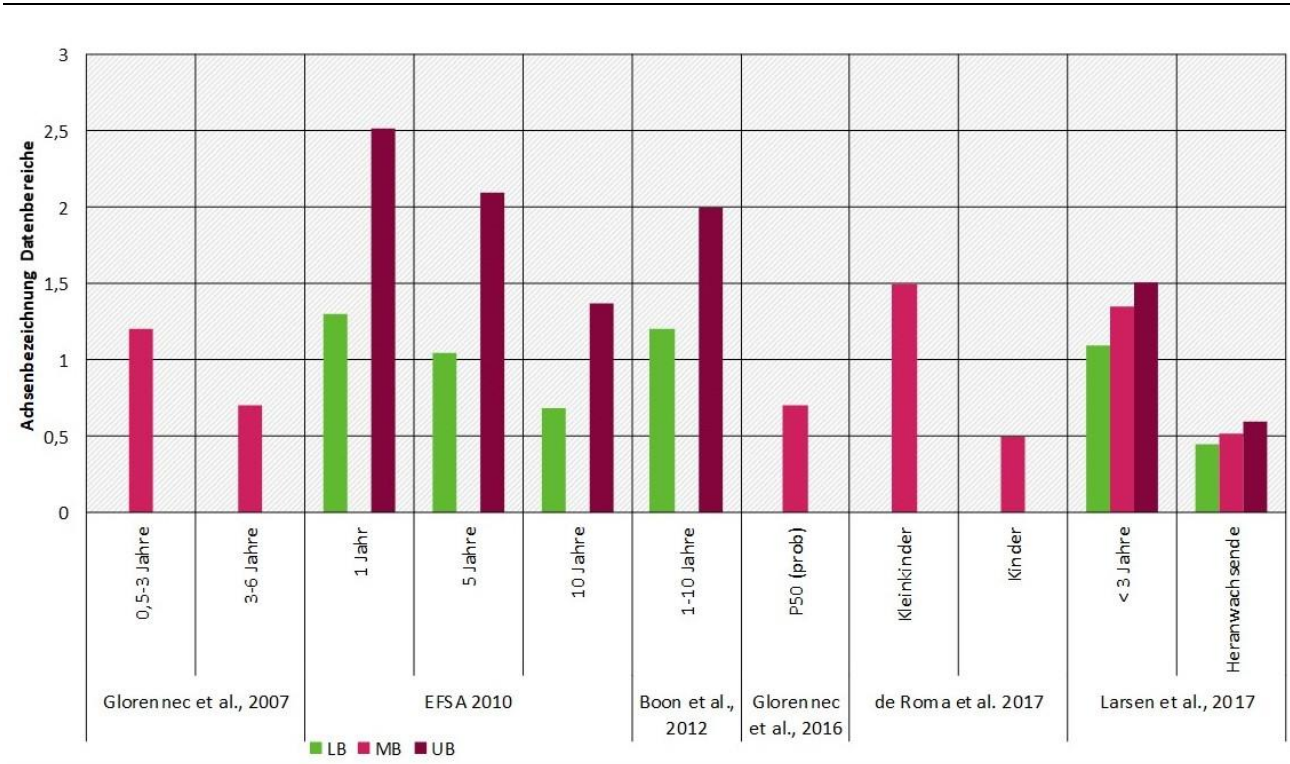
Vorzugsweise über den Verzehr von Lebensmitteln, ermittelt durch verschiedene nationale und internationale Behörden, in chronologischer Reihenfolge. Die Mehrfachbalken zeigen die Ergebnisse durch Schätzung der lower, middle und upper bound Werte.

Grafik: Bundesinstitut für Risikobewertung unter Verwendung der angegebenen Quellen

Die Schätzung des SCOOP beläuft sich auf ca. 0,7 µg/kg KG Blei pro Tag für die EU, die für Deutschland liegt etwas niedriger. Im Jahre 2010 wurde eine weitere Schätzung vorgenommen, die Werte von 0,3 (LB) bzw. 1,2 (UB) µg/kg KG ergab. Die Schätzung der EFSA (2012) ergibt einen Schätzwert der Aufnahme von 0,43 (UB), 0,50 (MB) und 0,57 (UB) µg/kg KG pro Tag für den Mittelwert (siehe Abbildung 33). Für das 95. Perzentil beträgt der Schätzer 0,74 (LB), 0,85 (MB) und 0,97 (UB) µg/kg KG pro Tag. Aus diesen Daten kann auch ein Referenzbereich ermittelt werden. Wegen der Unsicherheiten sollte es vermieden werden, einen Einzelwert anzugeben. Die EFSA-Schätzung von 2012 berücksichtigt keine anderen Quellen als LM. Daher müsste hier die Gesamtaufnahme noch deutlich höher angesetzt werden. Für orientierende Vergleiche wurde in diesem Bericht auf dieser Basis ein Aufnahmewert von ca. 0,5 bis 0,7 µg/kg KG Blei angenommen. Das ist höher als der UB-Schätzer des Mittelwertes und entspricht ungefähr dem middle-bound (MB)-Schätzer des 95. Perzentils.

Die Ergebnisse dieser Berichte werden mit Ergebnissen anderer Publikationen verglichen, um mögliche Trends aufzuzeigen. Die Ergebnisse sind in Abbildung 33 für Erwachsene und in Abbildung 34 für Kinder dargestellt. Die Darstellung der Exposition gestaltet sich schwierig, da die Schätzverfahren, Datenbasis und die Aggregationsniveaus sehr unterschiedlich sind. Ein Trend kann hier nicht herausgelesen werden. Für die Schätzung der dänischen EPA (Larsen *et al.* 2017) werden das 5., 50. und 95. Perzentil angegeben.

Abbildung 34: Ergebnisse der Schätzung der Aufnahme (mittlere Schätzer) von Blei bei Kindern



Grafik: Bundesinstitut für Risikobewertung unter Verwendung der angegebenen Quellen

Die Abbildung 34 zeigt mittlere Schätzer, meistens auf der Basis von UB und LB Schätzungen, teilweise auch mediane und ein probabilistisch ermittelter Median (Glorennec *et al.* 2016). Aus dieser kann als wesentliche Information herausgelesen werden, dass die Schätzer der Exposition einer erheblichen Variabilität unterliegen, die zu einem großen Teil auch auf die verschiedenen Modellansätze zurückgeführt werden kann. Diese betrifft sowohl die Variabilität innerhalb einer Studie wie auch zwischen den Studien. Der Upper- und Lower-Bound-Ansatz beschreiben die Unsicherheit, was auch hier sehr deutlich zum Ausdruck kommt. Diese Unsicherheit bezieht sich vor allem auf die Messmethode. Die Jahresangaben beziehen sich auf das Jahr der Veröffentlichung. Die Daten zu den jeweiligen Expositionsschätzungen sind aber teilweise deutlich älteren Datums. Die Daten der Schätzung der dänischen EPA (Larsen *et al.* 2017) geben die 5., 50. und 95. Perzentile der mittleren Aufnahmeschätzer für Kleinkinder (< 3 Jahre) und Heranwachsende an. Diese Schätzungen beruhen ausschließlich auf Lebensmittel als Expositionsquelle und sind daher eine Unterschätzung der Gesamtexposition.

Im SCOOP-Bericht von 2004 wurden für die verfügbaren Daten aus Frankreich und Deutschland auch Schätzungen für Kinder vorgenommen. Diese Ergebnisse können nicht in die Abbildung 34 mit aufgenommen werden, da die Werte in µg pro Woche angegeben sind und wegen der großen Altersspanne nicht in µg/kg umgerechnet werden können.

Insgesamt gesehen kann geschlussfolgert werden, dass die Exposition bei Kindern unabhängig vom Alter hoch ist. Vor dem Hintergrund, dass Kinder eine besonders schützenswerte Population sind, kann dieser Befund nicht akzeptiert werden. Ein zeitlicher Trend oder Tendenzen können aus dieser Darstellung nicht abgeleitet werden.

3.4 Fazit und Schlussfolgerungen

Die Publikationen, aus denen Informationen zum Vorkommen von Blei gezogen werden können,

- sind in großer Zahl verfügbar,
- beschreiben in der Regel keine zeitlichen Verläufe, auch nicht in systematischen Erhebungen.

Die Informationen aus diesen Studien sind oft

- heterogen und schlecht vergleichbar,
- nicht in der erforderlichen Detailtiefe vorhanden.

Systematische Erhebungen, die auch zeitliche Tendenzen beschreiben, sind

- hauptsächlich auf nationale Surveys und Messprogramme beschränkt,
- Marktkontrollprogramme, also risikoorientiert und damit ungeeignet, die tatsächliche Belastung des Menschen zu beschreiben,
- in der Zeitabfolge nicht konsequent auf bestimmte Expositionsquellen und -pfade ausgerichtet.

Zurzeit erscheint es sinnvoll zu sein, sich auf Datenerhebungen der nationalen Ebene zu stützen. Für die Exposition über den Verzehr von Lebensmitteln wären das Messprogramme, die möglichst alle Lebensmittel einbeziehen. Hierbei sollte dem LMM die zentrale Rolle als Vergleichsmaßstab zukommen.

Darüber hinaus erscheint eine intensive Kommunikation auf nationaler und internationaler Ebene wünschenswert, um die verschiedenen Player auf dem Gebiet der Expositionsforschung zusammenzubringen. Allein die verschiedenen Quellen von Blei (Lebensmittel, Verbraucherprodukte, Hausstaub, Kosmetika, Verkehr, Umwelt) machen deutlich, wie vielfältig die Daten und, damit verbunden auch die „Datenlieferanten“ sind. Hierzu ist eine intensive Vernetzung verschiedener Institutionen notwendig. Ein gutes Beispiel für eine gelungene Integration ist die Kooperation französischer Behörden und anderer wissenschaftlicher Einrichtungen. In Frankreich wird zwar kein Monitoring als Programm über längere Zeiträume durchgeführt, es verknüpft aber die verschiedenen Expositionsquellen und Pfade zu einer einheitlichen Grundgesamtheit aufgrund einer engen Kooperation verschiedener Behörden und Forschungseinrichtungen. Tabelle 13 listet die in diesem Kontext publizierten wichtigsten französischen Arbeiten auf.

Tabelle 13: Publikationen in Frankreich zum Thema Exposition mit Blei

Autor	Thema	Studienart/ Expositionsquellen	Bemerkungen
Leblanc & Sirot (2011)	"Second French Total Diet Study (TDS 2) Report 1. Inorganic contaminants, minerals, persistent organic pollutants, mycotoxins and phytoestrogens ANSES Opinion"	TDS	Originalbericht der französischen Behörde (engl. Übersetzung)
Etchevers <i>et al.</i> (2010)	Imprégnation des enfants par le plomb en France en 2008-2009	HBM	Originalbericht
Glorennec <i>et al.</i> (2015)	Exposition au plomb des enfants dans leur logement. Projet Plomb-Habitat (2008-2014): principaux résultats, retombées et perspectives.	Hausstaub, Trinkwasser	Originalbericht
Arnich <i>et al.</i> (2012)	Dietary exposure to trace elements and health risk assessment in the 2nd French Total Diet Study	Lebensmittel TDS	aufbauender Bericht ¹²
Etchevers <i>et al.</i> (2014)	Blood lead levels and risk factors in young children in France, 2008–2009	HBM	aufbauender Bericht
Etchevers <i>et al.</i> (2015)	Environmental determinants of different blood lead levels in children: A quantile analysis from a nationwide survey	HBM	aufbauender Bericht
Falq <i>et al.</i> (2011)	Blood lead levels in the adult population living in France the French Nutrition and Health Survey (ENNS 2006–2007)	HBM	Originalbericht
Glorennec <i>et al.</i> (2012)	French children's exposure to metals via ingestion of indoor dust, outdoor playground dust and soil: Contamination data	Hausstaub	aufbauender Bericht Fokus auf Sammelmethode
Glorennec <i>et al.</i> (2016)	Environmental and dietary exposure of young children to inorganic trace elements	Lebensmittel	aufbauender Bericht
Lucas <i>et al.</i> (2012)	Lead contamination in French children's homes and environment	Trinkwasser Hausstaub	aufbauender Bericht
le Bot <i>et al.</i> (2016)	Exposure of children to metals via tap water ingestion at home: Contamination and exposure data from a nationwide survey in France	TDS, Trinkwasser Lebensmittel	aufbauender Bericht
Oulhote <i>et al.</i> (2013)	Implications of different residential lead standards on children' blood lead levels in France: Predictions based on a national cross-sectional survey	HBM	aufbauender Bericht
Guérin <i>et al.</i> (2017)	Levels of lead in foods from the first French total diet study on infants and toddlers	TDS	aufbauender Bericht

¹² Aufbauender Bericht: Ein Bericht, der sich auf die Ergebnisse vorhergehender Studien derselben Institutionen stützt

Der französische Ansatz besteht aus drei abgestimmten Surveys (Verzehrstudie, TDS – allgemein und für Kinder) und Surveys zu Staub, Boden und Trinkwasser, aus denen eine Vielzahl von Folgepublikationen hervorgeht, die bestimmte Aspekte beleuchten. Hervorzuheben ist das Zusammenspiel und die Kooperation der Institute. Diese Verflechtung verschiedener Forschungseinrichtungen ist beispielhaft, und könnte auch in Deutschland praktiziert werden. Die Voraussetzungen sind mit den Forschungseinrichtungen des Bundes vorhanden und werden ansatzweise (Gesundheitssurvey, Umweltsurvey, Verzehrstudien) bereits praktiziert.

3.4.1 Datenqualität und Unsicherheit

Auf die Bedeutung der Bewertung der Qualität und Unsicherheit im Zusammenhang mit den zur Verfügung stehenden Ressourcen wurde bereits in den Kapiteln 2.3.3.1 und 2.3.3.2 hingewiesen.

Die Kriterien des International Programme on Chemical Safety (IPCS) wurden entwickelt, um die Qualität von Berichten zur externen Exposition zu bewerten. Heinemeyer (2019) hat die im Bericht des IPCS genannten Kriterien in Tabellenform übertragen und für diesen Bericht in Form von Listen eingerichtet. Der Katalog setzt dabei auf vier unterschiedliche Kriterienlisten, die abgefragt werden und mit Hilfe eines Score-Systems zu einer Bewertung führen.

Es lässt sich zusammenfassen, dass der Kriterienkatalog für eine solche Bewertung sinnvoll und hilfreich ist. Die meisten in Journals publizierten Berichte und Publikationen enthalten die Informationen, die zur Beantwortung der Fragen erforderlich sind. Der Kriterienkatalog bemisst die Qualität allerdings eher am Vorhandensein der Information als an der Richtigkeit. So kann z. B. die Qualität nicht hoch sein, wenn die Zahl der untersuchten Personen zwar angegeben ist, mit $n = 16$ Personen aber völlig unzureichend ist, um z. B. ein 95. Perzentil zu errechnen, was statistisch nicht sinnvoll ist. Dieser Umstand kann durch die Unsicherheitsanalyse ausgeglichen werden, aus der hervorgeht, dass die Zahl der Proben unzureichend und nicht repräsentativ ist.

Ein wichtiger Punkt im Zusammenhang mit Expositionsschätzungen ist die Frage nach der Angemessenheit einer Studie. Für Expositionsschätzungen werden häufig Studien herangezogen, die für andere Zwecke als die der Expositionsschätzung durchgeführt wurden. Dies trifft z. B. auf die Verzehrstudien zu, die zum Zweck der Schätzung der Aufnahme der Kalorien, Mineral- und Spurenelementen oder Vitamine durchgeführt werden. Für Expositionsschätzungen haben diese Studien Unschärfen, die dem Ziel der Schätzung der Exposition nicht gerecht werden. In dieser Studie wurde die Aufnahme von Fisch und Meerestieren als kritisch für die Bleiaufnahme identifiziert. Wenn z. B. diese beiden Arten in einer Verzehrstudie nicht differenziert werden, so kann keine sichere Schätzung durchgeführt werden, da unklar ist, ob der Fisch- oder der Meerestierverzehr stärker zur Exposition beiträgt. Die Daten aus dem LMM geben hier eine klare Antwort. Allerdings muss die Schlussfolgerung etwas relativiert werden, wenn man die Daten aus anderen Ländern (Kroatien, Italien) einbezieht. Hier ist die Trennung zwischen Fisch und Muscheln nicht so klar und bedarf einer weiteren und gezielten Analyse.

Die Angemessenheit kann daher für die Studie als Verzehrstudie völlig ausreichend sein. Sollten die Werte jedoch für Expositionsfragen herangezogen werden, so reichen die Daten nicht aus und wären daher für den Zweck unpassend. Es werden TDS (Katalonien) angeführt, in denen diese Problematik eine erhebliche Rolle spielt (Kapitel 3.3.1.1). Der Grund hierfür liegt in der unterschiedlichen Planung und Organisation der TDS und den verschiedenen Aggregationstiefen der Lebensmittelklassifizierung, was die Vergleichbarkeit erschwert. Das Problem des „Verdünnungseffektes“ in der TDS durch das „poolen“ wurde bereits angesprochen (Kapitel 3.3.1.1). Hier kann durch unklare Kombinationen verschiedener Lebensmittel in einem Pool eine erhebliche Unterschätzung der Exposition resultieren. Ähnliches gilt für Messungen der Konzentrationen in Lebensmitteln, die mit dem Ziel der Marktkontrollen vorgenommen wurden.

Unsicherheiten der Expositionsschätzungen können bei regulatorischen Schätzungen verstärkt werden, wenn konservative Annahmen gemacht oder Defaultwerte angenommen werden (müssen), um

den Handlungsbedarf abzuschätzen. Die Exposition oder der Aufnahmeschätzwert liegt dann weitab der Realität. Im vorliegenden Bericht wurde die gesamte Exposition nicht über alle Pfade geschätzt, es wurden aber konservative Schätzer mit dem – eher – realistischen Schätzwert der Aufnahme, der von der EFSA (2012) publiziert wurde, verglichen. Dies kommt einem additiven Verfahren gleich. Schätzungen der gesamten Exposition können nur dann in guter Qualität gelingen, wenn alle Parameter denselben Standards genügen. Dies gilt auch für die hier verwendeten Studien und Daten. Aus diesen Qualitätsfragen und den damit verbundenen Unsicherheiten ergibt sich eine Reihe von Konsequenzen zur Verbesserung der Qualität.

Auf der Grundlage des verwendeten IPCS-Katalogs der Qualitätskriterien (WHO 2008) fallen insbesondere diejenigen Arbeiten auf, bei denen keine Ausführungen zu den Verfahren der Qualitätssicherung gemacht werden. Hier wird die Integrität der erhobenen Daten ermittelt. Daraus kann man ableiten wie hoch das Vertrauen in die betreffende Studie ist. Die meisten Punkte des Scores wurden an dieser Stelle abgezogen. Das bedeutet in der Konsequenz, dass den Qualitätsstandards, der Guten Laboratoriumspraxis und der Datensicherheit eine wichtige und starke Position eingeräumt werden sollte.

Unsicherheiten betreffen in dieser Untersuchung in den meisten der betrachteten Studien fast ausschließlich die Expositionsparameter. Die Auswahl der Probanden oder Proben ist oft nicht repräsentativ. Das liegt meistens an unzureichenden Probenzahlen. Man kann dann zwar Aussagen treffen, die inhaltlich durchaus richtig und plausibel sind, Verallgemeinerungen aber nicht bzw. nur bedingt zulassen.

3.4.2 Hinweise auf relevante Eintragungspfade und Populationen

Blei wirkt auf das zentrale Nervensystem, das im frühesten Kindesalter besonders empfindlich ist, was sich in den Untersuchungen zum IQ bestätigt (EFSA 2012). Die wichtigste zu schützenden Populationen sind daher die Kinder im Verlauf der frühen Entwicklungsphase. Insbesondere den ungeborenen und neugeborenen Kindern gilt die Aufmerksamkeit. Neugeborene haben bereits Konzentrationen im Blut von 5 bis 10 µg/l Blei oder höher. Die Belastung ist zurückzuführen auf die Übertragung über die Nabelschnur von der Mutter auf das Kind. Frauen im gebärfähigen Alter sind daher neben den Neugeborenen die zweite wichtige Zielgruppe.

Nach dem Verzicht auf bleihaltiges Benzin hat sich die Exposition mit Blei deutlich verringert. Auch wenn es möglich ist, individuelle Quellen der Exposition zu identifizieren, so existiert doch eine Grundbelastung, die insbesondere im frühen Lebensalter zu nennenswerten Konzentrationen im Blut führt. Die Reduktion dieser Grundbelastung erscheint schwierig.

Ein weiterer Grund für die Charakterisierung der Kinder und ihrer Mütter als besonders wichtige Populationen beruht auf der Analyse der Blutspiegel und den daraus folgenden pharmakokinetischen Überlegungen. Die Bleibelastung im Kindesalter ist nicht nur für diesen Lebensabschnitt, sondern für alle Altersstufen bestimmend. Das Blei gelangt in den Körper und erreicht sehr schnell die tiefen und peripheren Kompartimente, gezeigt an den Haaranalysen. Man muss noch hinzufügen, dass die Kinder dann auch noch das Blei, das ihnen die Mutter während der Schwangerschaft übertragen hat, als „Hypothek“ mitbringen. Die Mütter sind daher neben den Kindern selbst die wichtigste Population, um die Belastung mit Blei zu beeinflussen. Es sollte auf der Basis der hier gewonnenen Daten diskutiert werden, wie eine Reduktion dieser kindlichen Exposition – wenn auch nur ansatzweise – gelingen könnte.

3.4.2.1 Bleiquellen

Das folgende Kapitel fasst kurz die wichtigsten Erkenntnisse zusammen, erläutert daraus folgende Aktionen, Empfehlungen und eventuelle Maßnahmen.

Lebensmittel

Zusammenfassung

Lebensmittel stellen eine wesentliche Quelle für die Aufnahme von Blei dar. Die Analyse der hier vorgestellten Daten ergibt, dass kein Lebensmittel ohne Blei ist. Lebensmittelverzehr trägt zu einem großen Teil zur täglichen und dauerhaften Blei-Exposition bei. Ein besonderes Augenmerk ist allerdings auf die Lebensmittel zu legen, bei denen die Messungen Konzentrationen ergaben, die deutlich höher sind als die in anderen Lebensmitteln. Die internationalen Studien nennen hier wiederholt Fisch und Meeresfrüchte. Aus diesen Untersuchungen ist nicht klar, welche Spezies stärker zur Exposition beiträgt. Eine prospektive Expositionsstudie (Outzen *et al.* 2015) liefert Hinweise darauf, dass starker Fisch- und Muschelverzehr die Aufnahme von Blei erhöhen kann. Personen, die über mehrere Wochen eine Fisch- und Muscheldiät zu sich nahmen, wiesen um ca. 2 µg/l erhöhte Bleikonzentrationen im Blut auf. In einer norwegischen Studie (Birgisdóttir *et al.* 2013) wird sogar eine Korrelation zwischen der Aufnahmemenge von Fisch und Meerestieren mit den Bleiblutspiegeln hergestellt. Es könnte dabei durchaus sein, dass allein der in diesen Studien nicht differenzierte Muschelkonsum verantwortlich für die Veränderungen der Blutspiegel ist. Auf der anderen Seite könnte die Belastung der Fischarten auch regionalbedingt unterschiedlich sein. Studien, vor allem aus Südeuropa (Kroatien, Sizilien, Sardinien), geben darauf Hinweise. Allerdings ergibt eine Auswertung der Daten aus dem LMM der Jahre 2001 bis 2016, dass als einzige Blei-Quelle die Miesmuschel infrage kommt. Hier zeigt sich die Bedeutung und Aussagekraft des Konzeptes des LMM mit der Messung in einzelnen differenzierten Kategorien. Inwieweit der zu ziehende Schluss auch für andere europäische Länder gilt, sollte entsprechend detailliert und unter regionalen Aspekten untersucht werden.

NEM werden im Allgemeinen nicht als essentielle Bestandteile der Ernährung angesehen, während der Schwangerschaft und Stillzeit aber gern eingenommen, um mögliche Defizite auszugleichen.

Verzehr von bleibelastetem Wild führt nur bei der jagenden Bevölkerung zu einem gesundheitlichen Risiko. Maßnahmen wurden diskutiert und vorgeschlagen (Gerofke *et al.* 2018; Müller-Graf *et al.* 2017).

Gewürze sind teilweise hoch mit Blei belastet, allerdings dürfte die Aufnahmemenge sehr gering sein.

Gemüse, das auf bleihaltigen Böden gewachsen ist, kann höher mit Blei belastet sein als solches von unbelasteten Böden. Diesem aus vielen Publikationen bekannten Phänomen wird im LMM und TDS bisher keine Rechnung getragen.

Handlungsempfehlungen

Fisch wird für Schwangere als besonders wichtiges und gesundes Lebensmittel empfohlen. Auf der Basis der vorhandenen Daten kann für Deutschland festgestellt werden, dass Fische gering belastet sind und ohne Bedenken verzehrt werden können. Eine Einschränkung gilt allerdings auf bestimmte Regionen begrenzt und auf bestimmte Fischarten bezogen.

Die Messungen von Blei im deutschen LMM-Programm zeigen allerdings, dass Miesmuscheln hoch belastet sind. Häufiger Verzehr kann daher zu einer zusätzlichen Belastung mit Blei führen. Aufgrund weiterer Studien müssen auch Austern als belastet angesehen werden. Zusätzliche Messungen können Aufschluss geben.

Die Differenzierung der Bleigehalte in Fisch, Muscheln und anderen Meerestieren wird europaweit nicht konsequent vorgenommen. Dies ist aber von großer Bedeutung für Länder und Regionen mit besonders hohem und häufigem Verzehr an Fisch und Meerestieren. Hier sollten Lebensmitteltabellen konsequenter und differenzierter geführt werden.

Die Herkunft der Lebensmittel in Deutschland ist nicht ausreichend bekannt, was bedeutsam für die Bleiexposition sein kann. Viele Hinweise existieren, dass Gemüse, welches auf kontaminierten Böden wächst, höhere Bleikonzentrationen enthalten kann als solches von nicht-kontaminierten Böden. Die Programme im LMM könnten anhand von Bleikatastern angepasst werden, um eventuelle Einflüsse zu studieren. Dies könnte in einem Projektmonitoring im Rahmen des LMM erfolgen. In einem solchen Programm sollte auch das „Urban gardening“ eingeschlossen werden. Hier bietet sich ein prospektives Vorgehen in großen Städten mit hohem Verkehrsaufkommen und mit Industrieanlagen an. Dies sollte auch die Messung von Blei und anderen SM in Lebensmitteln einschließen, die direkt an der Straße ausgestellt und angeboten werden.

Empfehlungen

Schwangere und Stillende sollten auf den Verzehr von Muscheln (und Austern) möglichst verzichten.

Der Verzehr von Wild während der Schwangerschaft und Stillzeit sollte unbedingt vermieden werden. Auch belastet die Bleiaufnahme durch regelmäßigen Verzehr von Wild während des Kindes- und Jugendalters den Organismus.

Gemüse, das auf Böden angebaut wurde, die in der Nähe von stark befahrenen Straßen oder auf ehemaligen Industriearealen bzw. in Bergbaugebieten liegen, sollte von Schwangeren nicht verzehrt werden.

Gewürze, die hoch belastet sein können, sollten kein Gesundheitsrisiko darstellen, da sie in der Regel in geringen Mengen verzehrt werden. Schwangere und Stillende sollten aus Vorsorgegründen trotzdem auf stark gewürzte Speisen verzichten.

NEM werden gerade in der Schwangerschaft oft eingenommen. Sofern eine abwechslungsreiche Diät mit viel Gemüse und Obst verzehrt wird, kann auf NEM, insbesondere solchen auf Algenbasis und Basis von Kiesegel, verzichtet werden. Da die kumulative Bleiaufnahme mit dem ersten Lebenstag beginnt, sollten Kinder und Jugendliche ohne ausdrückliche ärztliche Empfehlung keine NEM zu sich nehmen.

Maßnahmen zur Verbesserung der Datenlage

Folgende Maßnahmen zur Verbesserung der Daten sollten diskutiert werden:

- a) Ausweitung des LMM auf kritische Lebensmittel
- b) Ausweitung des LMM auf kritische Regionen
- c) Verbraucherhinweise

Gegenstände des täglichen Bedarfs

Zusammenfassung

Keramik, Glas und Modeschmuck können Blei freisetzen. Die gesetzlichen Regelungen führen dazu, dass importierte Ware in vielen Fällen bereits vor dem Vermarkten aus dem Handel gezogen wird. Für Souvenirs oder Waren nicht identifizierbarer Herkunft ist dies häufig nicht der Fall. Daher sollten solche Gefäße nicht für Lebensmittel oder anderen Gebrauch verwendet werden. Gleiches gilt für Spielzeug. Handelsübliches Industrieglas enthält kein Blei.

Handlungsempfehlungen

Die Kontrollmaßnahmen (RAPEX, RASFF) auf nationaler und europäischer Ebene sollten häufiger durchgeführt werden.

Empfehlungen

Schwangere und Stillende sollten keine Keramik- und Glasgefäße unbekannter Herkunft verwenden. Entsprechend der Empfehlungen zu NEM kann dies auch für Kinder im Allgemeinen empfohlen werden.

Maßnahmen

Außer den oben genannten Empfehlungen werden vom Gutachter keine weitergehenden Maßnahmen für sinnvoll erachtet.

Hausstaub

Zusammenfassung

Die Modellierungen der Aufnahme von Hausstaub unterstützen stark die Annahme, dass Boden und Hausstaub eine erhebliche Rolle für die Aufnahme von Blei spielen. Da diese Art der Exposition vor Allem Kinder betrifft, dürfte Hausstaub damit eine der wesentlichen Quellen für Blei im Kindesalter und damit die Grundlage für eine lebenslange Exposition darstellen. Die Spitzen der Erwachsenen-Exposition können nicht mit der Hausstaub- und Bodenaufnahme begründet werden.

Im Zusammenhang mit der Diskussion um Mikroplastik dürfte auch die Bedeutung des Hausstaubes zukünftig erheblich zunehmen.

Handlungsempfehlungen

Die Messungen von Blei im Hausstaub sollten im Rahmen nationaler Surveys und über einen Zeitverlauf kontinuierlich durchgeführt werden. Eine Stratifizierungsstrategie bei der Planung einer repräsentativen Stichprobe ist zu entwickeln. Ein entsprechendes Messprogramm kann an die bestehenden Survey-Konzepte angegliedert werden. Die Messungen sollten so angelegt werden, dass die Stoffe über längere Zeiträume verfolgt werden können

Empfehlungen

Die wichtigste Maßnahme zur Vermeidung der Hausstaubexposition dürfte das häufige Entfernen des kontaminierten Staubes sein. Zu den geeigneten Maßnahmen gehören je nach den Verhältnissen das feuchte Wischen von Fußböden und Möbeln, das Lüften, Saugen von Teppichen und Teppichböden, insbesondere wenn Kinder im Haushalt sind.

Maßnahmen

Aussprechen von Empfehlungen durch Risikomanagerinnen und -manager, Messprogramme siehe oben.

Umwelt

Zusammenfassung

Im Allgemeinen kann festgestellt werden, dass die Belastung mit Blei in Gebieten mit hohem Verkehrsaufkommen, in Industriegebieten und Arealen, auf denen ehemals Blei gewonnen, verarbeitet oder auf andere Arten freigesetzt wurde, über eine allgemeine Grundbelastung hinausgehen kann. Dies kann auch für einen Vergleich von Stadt und Land zutreffen.

Reifenabrieb und bleihaltige Bremsbeläge können zu einer Belastung des Straßenstaubes führen und damit auch die Feinstaubbelastung erhöhen. Es wird empfohlen, Schulen und Kindertagesstätten nicht in der Nähe von Straßen mit hohem Verkehrsaufkommen zu platzieren (Özden *et al.* 2007).

Hinweise über allgemeine Belastungen über die Umwelt könnten Studien an Personen liefern, die sich überwiegend außerhalb von Wohnungen aufhalten. Hierzu liefert die Studie von Hrnčířová *et al.* (2008) bei Obdachlosen Hinweise. Die Konzentrationen von Blei lagen bei diesem Personenkreis höher als bei einem Kontrollkollektiv, und zwar bei Frauen deutlich höher als bei Männern. Diese Daten

erlauben die Schlussfolgerung, dass obdachlose Frauen wie Männer einer umweltbezogenen Belastung ausgesetzt sind.

In Industriearealen kann die Feinstaubbelastung stark ansteigen und auch signifikant zur Gesamtaufnahme von Blei beitragen, sofern industrielle Bleiquellen vorhanden sind. In Gebieten mit hoher Industriedichte, insbesondere in der Nähe von ehemaligen Bleischmelzen kann die Exposition mit Blei zusätzlich über den Verzehr von selbst angebautem Gemüse und Obst mit zur erhöhten Exposition beitragen. Diese Hypothese wird von mehreren Arbeiten unterstützt, u. a. von Meyer *et al.* (2003b), die Blutspiegel bei Kindern im Alter zwischen fünf und sieben Jahren in einem ehemals industriell genutzten mit einem nicht industriell genutzten Areal in Sachsen-Anhalt verglichen und einen Unterschied von 6 (1992 und 1995) bis 10 µg/l Blei (1999) fanden.

Man muss abschließend anmerken, dass die oben beschriebenen Beobachtungen ausschließlich gemacht werden. Es existieren Berichte, die diese Befunde nicht bestätigen. Man muss die individuellen Bedingungen daher in jedem Einzelfall prüfen. Glorennec (2006) untersuchte die Unsicherheiten der Zuordnung von Quellen zur Exposition in einem ehemals belasteten Gebiet und charakterisiert die Hauptunsicherheiten im Zusammenhang mit der Bodenbelastung.

Eingehende Messungen von Blei in Boden und Bodenstaub sind in Deutschland in den letzten 10 Jahren vernachlässigt worden.

Handlungsempfehlungen

Berücksichtigung der umweltbezogenen Belastungen von Boden, Staub und Hausstaub bei der Planung von Studien.

Empfehlungen

Für Verbraucherinnen und Verbraucher können aus diesen Befunden keine Empfehlungen abgeleitet werden. Die Berichterstatter greifen die Empfehlung auf, Schulen und Kindergärten nicht in der Nähe von Straßen mit hohem Verkehrsaufkommen zu errichten.

Allgemeine Bemerkungen

Schätzungen der Bleiaufnahme aus Quellen, die keine Lebensmittel sind, basieren fast ausschließlich auf der Nutzung von Defaultwerten. Diese stellen konservative und für regulative Zwecke begründete Expositionsparameter dar. Sie sind aber ungeeignet, die tatsächliche Aufnahme von Blei zu schätzen.

Ein erster Schritt für eine Verbesserung der Datenlage stellt die vorliegende Studie dar, die eine Bestandsaufnahme macht, welche Daten zu Expositionspfaden von Blei vorliegen. Die Frage nach der Sensitivität diese Ergebnisse für die Quantifizierung der Aufnahmeschätzung wäre ein nächster Schritt. Hierzu sind weitere Daten erforderlich, insbesondere zum Verbraucherverhalten. Dies könnte auf einem Expertentreffen diskutiert und Wege zur Verbesserung der Schätzverfahren herausgearbeitet werden.

Es wäre zu überlegen, ob man mit Messungen von Blei in den Haaren oder Zähnen einen weitaus umfassenderen Überblick über die Belastung des menschlichen Körpers erhalten kann. Diese Konzentrationen spiegeln die kumulative Aufnahme wider und sind zeitlichen Schwankungen nicht so stark unterlegen. Die Konzentrationen in den Zähnen und im Blut korrelieren miteinander (Bartoń 2011) und es könnten viele und repräsentative Proben gewonnen werden. Allerdings weisen die Konzentrationen in den Zähnen eine bemerkenswert hohe Variabilität auf (Hodgson *et al.* 2015), was aufgrund der toxikokinetischen Gegebenheiten auf Verteilungsphänomene zurückgeführt werden kann (Zu- und Abfluss sind nicht im Gleichgewicht).

Das Studiendesign zur Aufklärung weiterer Unterschiede durch bestimmte Einflussgrößen (z. B. Lebensmittelverzehr, bestimmte äußere Bedingungen) muss diskutiert werden. Hier ist unbedingt ein

prospektiver (Fall-Kontrollstudie) einem retrospektiven Ansatz (Befragungsstudie in Kombination mit HBM) vorzuziehen.

3.4.3 Einschätzung der Anteile der jeweiligen Quellen und Pfade an der Gesamtexposition

Ziel dieses Projektes ist es, die wichtigen Quellen und Pfade der Bleiexposition zu identifizieren und zu beschreiben. Eine Einordnung hinsichtlich der Bedeutung für die Gesamtexposition kann aus diesem Ansatz allein heraus nicht vorgenommen werden. Hierzu wäre eine detaillierte Schätzung der externen Exposition erforderlich. Allerdings ist eine solche detaillierte Expositionsschätzung, die für ein solches „Ranking“ erforderlich wäre, wegen der unterschiedlichen und teilweise unangemessenen Datenlage gar nicht möglich und wissenschaftlich nicht vertretbar. Ein Vergleich kann nur dann erfolgen, wenn alle Schätzungen auf einer möglichst realistischen Basis und einer vergleichbaren Datengrundlage erfolgen.

Der einzige Bereich, für den eine einigermaßen realistische Schätzung vorgenommen werden kann, betrifft die Aufnahme von Blei (und anderen Stoffen) über den Verzehr von Lebensmitteln. Die Beschreibung der Lebensmittel und des Verzehrverhaltens erfüllen wichtige Kriterien für eine realistische Expositionsschätzung. Allein die unterschiedlichen Methoden der Erhebung des Lebensmittelkonsums sowie die unterschiedlichen Verfahren der Erhebung der Konzentrationen der Stoffe in den Lebensmitteln führen zu Unsicherheiten und Einschränkungen der Interpretation der Schätzergebnisse.

Realistische Schätzungen der Exposition sind mit Einschränkungen für Hausstaub möglich. Dabei müssen die unterschiedlichen Sammelverfahren und Partikelgrößen berücksichtigt und differenziert werden. Außerdem ist nicht bekannt, wie viel Hausstaub z. B. ein zweijähriges Kind pro Tag aufnimmt. Die augenblicklich verwendeten Defaultwerte (100 mg pro Tag) scheinen aber plausibel zu sein. Der empirische Nachweis fehlt allerdings.

Aufnahmeschätzungen für andere Produkte des täglichen Bedarfs wie Spielzeug, Möbel, Wohnungseinrichtung, Haushaltsgegenstände beruhen auf regulativen Vorgaben und sind vor allem darauf ausgerichtet, einen Handlungsbedarf zu begründen. Die hier verwendeten Defaults und Meinungen von Expertinnen und Experten reichen nicht aus, um realistische Expositionsschätzungen vornehmen zu können.

Ein wichtiger Punkt ist, dass bestimmte Expositionsszenarien nur auf beschränkte Personenkreise oder Situationen ausgerichtet sind. Das wichtigste Beispiel stellt Wild dar, das fast ausschließlich durch Jagd nahe Personen (auch Kinder) verzehrt wird. Diese Szenarien sind aber für die allgemeine Bevölkerung nicht von Bedeutung.

Ein anderes Beispiel für erhebliche Unsicherheiten ist die Vermutung, dass auch nach der Festlegung eines neuen Grenzwertes für Blei im Trinkwasser nicht bekannt ist, in welchen Haushalten noch bleihaltigen Rohren vorhanden sind. Es ist daher auch unbekannt, wie die regionale Verteilung dieser Haushalte ist. Trinkwasser aus bleihaltigen Rohren kann eine große Bedeutung als quantitativer Pfad für die Gesamtaufnahme haben, eine Aussage über die Allgemeinbevölkerung ist aber nicht möglich, da die Trennung der Haushalte mit bleihaltigen von nicht-bleihaltigen Wasserrohre nicht möglich ist.

4 Diskussion

4.1 Defizite und Verbesserungsbedarf

Drei Bereiche an Defiziten dieser vorliegenden Studie können festgehalten werden:

- a) Defizite der Studie selbst
- b) Defizite der Datengenerierung
- c) Defizite der Methoden zur Expositionsschätzung

Defizite der Studie selbst liegen, wie schon an einigen Stellen ausgeführt, in der kurzen Dauer der Studie und der damit verbundenen geringen Durchdringungstiefe der Analysen. Die Qualität der Arbeiten kann wahrscheinlich sehr viel tiefergehend bewertet werden als im Rahmen dieser Studie geschehen. Das Fehlen des Vieraugenprinzips schwächt darüber hinaus die Aussagen der Qualitätsbewertung ab. Trotzdem sind die Ergebnisse, vor allem die Messergebnisse für verwertbar, auch wenn die Messungen nicht immer mit der modernsten Analytik vorgenommen wurden.

Defizite der Datengenerierung liegen darin begründet, dass viele Studien nicht mit dem Ziel der Expositionsschätzung durchgeführt wurden. Die erhobenen Daten sind meistens nicht repräsentativ für eine Bevölkerung oder eine Produktgruppe. Die Zahlen sind meistens ausreichend, um zentrale oder periphere Tendenzen schätzen zu können. Auch im LMM reicht die Probenzahl oft nicht aus.

Defizite der Methoden zur Expositionsschätzung liegen u. a. darin begründet, dass Verfahren zur Anwendung kommen, die ursprünglich nicht für diesen Zweck vorgesehen waren. Ein wichtiges Beispiel, das für (fast) alle Produktarten angewendet werden kann, stellt die Klassifizierung der Produkte in Kategorien dar. Bei der gestellten Aufgabe müssen zum Beispiel die infrage kommenden Lebensmittel so getrennt werden, dass Unterschiede erkannt werden können. Das Beispiel Fisch und Meerestiere zeigt dies deutlich auf. Daher müssen die verschiedenen Methoden der Datengewinnung an dieser Stelle auf den Prüfstand. Die Studie zeigt, dass die Produkte nicht ausreichend scharf getrennt werden können bzw. eine Trennung fehlt. Dies bezieht sich auf die fehlende Detailtiefe der Verzehrstudien und der Messprogramme zu Blei-Konzentrationen. Viele Annahmen sind Defaults, die einem konservativen Ansatz folgen.

Insofern ist es schwierig, eindeutige Ergebnisse in dieser Studie zu generieren. Die Bedeutung von Muscheln und Meerestieren als für die Bleibelastung herausragenden Eintragungspfad ist in den Augen des Verfassers aber mit hoher Wahrscheinlichkeit vorhanden. Dasselbe gilt für NEM. Fisch kommt als Quelle für eine systematische Aufnahme von Blei nicht in Betracht. Einzelnen Fischarten (Hai, Sardinen) sollte aber bei Beachtung geschenkt werden.

Der Anteil vom Verkehr im innerstädtischen Bereich und Wohnen in oder in der Nähe von Industriearealen an der Gesamtexposition ist unsicher. Die Schärfung der Untersuchungsinstrumentarien (Weiterentwicklung von Verzehrstudien und Verhaltensstudien, Messungen von Kontaminanten und die Betrachtung von zeitlichen Verläufen) ist eine Voraussetzung dafür, zu verlässlicheren und weniger unsicheren Daten zu kommen.

4.1.1 Monitoring von Konzentrationen in Lebensmitteln

Messungen der Konzentrationen in Lebensmitteln liegen aus dem LMM, das in Deutschland seit den 90er-Jahren betrieben wird, vor. Eines der wichtigsten Ergebnisse dieser Analyse konnte nur daher gewonnen werden, weil in diesem Programm die Lebensmittel in einer angemessenen Detailtiefe untersucht wurden. So werden Fische z. B. bis auf ihre Spezies hin charakterisiert und konnten daher bei der Analyse gut von anderen Meerestieren getrennt dargestellt werden. Fische und Meerestiere werden in anderen Studien aber oft gemeinsam betrachtet. Während der Bericht zur französischen TDS

(Guérin *et al.* 2017) nur Fisch als Lebensmittelkategorie nennt, unterscheidet die Schätzung von Arnich *et al.* (2012) immerhin zwischen Fisch und Krusten- und Weichtieren. In der deutschen Nationalen Verzehrsstudie II werden im Ergebnisband 2 (MRI 2008) Fische und Krustentiere gemeinsam genannt, was zu Unsicherheiten bei der Aufnahmeschätzung führt. Allein diese Beispiele zeigen die Schwierigkeiten und die damit verbundenen Unsicherheiten des Vergleiches der Studien auf.

Die Folgerung, dass hauptsächlich Verzehr von Muscheln für eine erhöhte Aufnahme von Blei verantwortlich ist, kann nur auf der Basis der deutschen Daten aus dem LMM gezogen werden, nicht aber aus den internationalen Studien. werden für die Adria ausdrücklich von Milošković *et al.* (2018) die Sardinienarten aus Süß- und Meerwasser genannt. Es kann demnach nicht mit Sicherheit belegt werden, dass Fischkonsum nicht zur Bleiexposition beiträgt. Regionale Besonderheiten und die Herkunft der Fische und Meerestiere könnten eine Rolle spielen. Da Algen eine zentrale Rolle als Hauptnahrungsquelle der Muscheln und als Grundstoff zur Herstellung von NEM spielen, könnte diese Feststellung eine Brücke zwischen den Expositionspfaden darstellen. Andere Lebensmittel (außer Wild) scheinen bei der Blei-Belastung keine herausragende Rolle zu spielen.

Im LMM sollte bei zukünftigen Planungen die Kontinuität der Messungen stärker betont werden. Es macht Sinn, bei wiederholten Messungen Konsistenz abzubilden. Ein Teil der Messungen sollte in den gleichen rohen Lebensmitteln derselben Kategorie mit demselben regionalen Bezug beprobt werden.

4.1.2 Messungen von Blei in Produkten

Messungen von Blei in den verschiedenen Produkten des täglichen Bedarfs (sogenannte Verbraucherprodukte) sind vornehmlich auf der Basis des Vollzugs gesetzlicher Regeln vorgenommen worden. Bei diesen Produkten müssen Unsicherheiten durch die Messungen der Migration (Lässigkeit) gesehen werden. Besonders Keramik und Bleiglas scheint von Bedeutung zu sein. Die Bedeutung dieser Expositionsquellen wird durch das Vorkommen von Bleivergiftungen erhärtet.

Da Blei ein Metall mit hohem spezifischem Gewicht ist, kommt es nach der Freisetzung aus den Produkten zu einer Akkumulation im Staub. Für den Innenraum ist das der Hausstaub, für den Außenbereich Boden und Bodenstaub. Diese Pfade werden als wesentliche Expositionspfade angesehen. Allerdings ist die Quantifizierung der Exposition schwierig, einerseits wegen der fehlenden Daten zu den Aufnahmemengen von Staub und Boden (Klenow *et al.* 2016 unpubl.; Klenow 2019), aber auch wegen den heterogenen Messdaten in den verschiedenen Medien. Trotzdem besteht Einigkeit darüber, dass Staub einen wichtigen Eintragungspfad darstellt (Berglund *et al.* 2000; Glorennec *et al.* 2012).

Im Zusammenhang mit Staub und Boden ist die umweltbezogene Exposition zu diskutieren, die hinsichtlich der vorliegenden Daten wahrscheinlich die größten Unsicherheiten aufweisen. In diesen Kreis der Expositionsquellen gehören Emissionen (aktuelle und vergangene) aus Industrieanlagen und aus dem Verkehr. Zu diesem Thema sind die Publikationen häufig inkonsistent. Ein Zusammenhang mit Bleigewinnung (Minen) und bleiverarbeitenden Industrien (Schmelzen, Glashütten) wird anhand von Messungen in Böden bestätigt. Die erhöhten Bleikonzentrationen in benachbart angebautem Gemüse und Biomonitoringdaten von Personen aus den betroffenen Gebieten unterstützen diese Annahme. Allerdings sind die Tendenzen nicht immer eindeutig. Die Feinstaubbelastung muss in diesem Zusammenhang als zusätzliche Quelle unbedingt mit in die Diskussion einbezogen werden.

4.1.3 Verkehr und Umwelt

Ähnliches gilt für den Zusammenhang von Verkehr und Bleiexposition. Es liegen ausreichende Befunde vor, dass innerstädtisch und an Straßen mit hohem Verkehrsaufkommen eine höhere Bleiexposition besteht als z. B. in ländlichen Gebieten. Befunde an Obdachlosen und erhöhte Konzentrationen in Gemüse aus „urban gardening“ sollen hier aus vielen anderen Untersuchungen besonders herausgehoben werden. Die Unsicherheiten sind hier allerdings erheblich, was hauptsächlich auf die unzureichende Datenlage zurückgeführt werden kann.

4.1.4 Messungen von Konzentrationen im menschlichen Körper

Hinsichtlich der Konzentrationen von Blei im menschlichen Körper können zwei Hauptgruppen identifiziert werden: zum einen sind dies Neugeborene, Kleinkinder, Kinder, Heranwachsende und junge Erwachsene bis 29 Jahre. Bis zu diesem Alter kann eine Zunahme der Blei Konzentrationen im Blut beobachtet werden. Insgesamt weisen die Konzentrationen der einzelnen Studien untereinander eine sehr hohe Variabilität auf.

Zum anderen scheinen im höheren Lebensalter individuelle und langjährige Unterschiede in der Exposition in den Vordergrund zu treten. Daraus können bestimmte Situationen herausgearbeitet werden, bei denen Expositionen aus unterschiedlichen Quellen die individuelle Belastung bedingen.

Wie in der tschechischen EHMS Studie (Kapitel 3.3.1.1) wird auch in der belgischen FLEHS-Studie und in anderen Einzelstudien ein deutlicher Unterschied der Bleikonzentrationen im Blut zwischen Männern und Frauen (Fierens *et al.* 2016) beschrieben. Dieser Unterschied kann durch eine berufliche Exposition erklärt werden.

Blut

Das Messen der Konzentrationen von Blei im Blut hat sich als zuverlässige Methode zur Feststellung der Bleibelastung erwiesen. Ein großer Teil der in diesem Bericht dargestellten Messungen im Blut stellen singuläre Bestimmungen der Konzentrationen dar. Die Blutentnahmen erfolgten in der Regel am frühen Morgen. Solange hier ein einheitliches Vorgehen vorliegt und eine klare Zielvorgabe besteht, können die Konzentrationen untereinander verglichen und auch ihre Entwicklung in Populationen über längere Zeiträume verfolgt werden. Eine zuverlässige Schätzung der Exposition muss aber pharmakokinetisch begründet sein und bedarf darüber hinaus Kenntnisse der externen Exposition. In diesem Zusammenhang bedarf es Messungen über die Zeit, um Aufnahme, Verteilung und Elimination beschreiben zu können. Dazu müssen diese Verteilungsprozesse im Gleichgewicht (steady state) stehen. Bei diskontinuierlicher Aufnahme von Blei kann dies von Bedeutung sein. Das Blut stellt dabei das zentrale Kompartiment dar, das sich im Austausch mit peripheren Verteilungsräumen befindet, die Blei langfristig speichern (z.B. Skelett). Die damit verbundenen Verteilungs- und Rückverteilungsprozesse haben lange Halbwertszeiten. Im Falle Blei dürften Messungen auch aus HBM-Programmen für Expositionsschätzungen nutzbar sein, wenn sie in der Phase des „steady state“ vorgenommen wurden.

Die Charakterisierung der internen Exposition muss diese Besonderheiten berücksichtigen, um die Ergebnisse der Messungen richtig interpretieren zu können. Hohe Blutkonzentrationen können als Folge einer erhöhten externen Exposition interpretiert werden. Daher kann die beobachtete Variabilität der Blei-Blutwerte in der erwachsenen Bevölkerung als eine Folge der Variabilität der externen Exposition angesehen werden.

4.1.5 Verbesserung der Datenlage bei Verbraucherprodukten

Die Expositionsbetrachtungen für Blei beruhen zum großen Teil auf Daten, die keine realistische Schätzung erlauben. Es sollte an dieser Stelle erwähnt werden, dass regulative Expositionsansätze das Prinzip eines konservativen Ansatzes verfolgen. Je nach Datenlage werden für Expositionsschätzungen hohe Perzentilwerte verwendet oder, wenn keine anderen verlässlichen Aufnahmewerte vorliegen, sogenannte Defaultwerte. Dieser Ansatz führt aufgrund der entsprechenden Unsicherheiten zu Überschätzungen der Exposition und gilt auch für viele der vom Verfasser vorgenommenen Expositionsschätzungen im Ergebnisteil dieses Berichts.

Für die Schätzungen realistischer Aufnahmewerte für Blei durch Kontakt mit Produkten des täglichen Bedarfs (Verbraucherprodukte) besteht ein erheblicher Bedarf an verlässlichen Daten. Die Ergebnisse der Expositionsschätzungen (Kapitel 3.3.3) zeigen eine hohe Variabilität der Schätzergebnisse auf, die im Wesentlichen durch Expositionsparameter hervorgerufen ist, die mit Unsicherheiten behaftet sind. Die häufigsten Ursachen dieser Unsicherheiten in dieser Studie beruhen auf nicht-repräsentativer und

nicht ausreichender (weil zu kleiner) Probenzahl. Sie beruhen aber auch darauf, dass bei Expositionsschätzungen Daten verwendet werden, die keinen empirischen Hintergrund haben und daher als sogenannte Defaultwerte in die Schätzungen eingehen. Unsicherheitsanalysen werden noch nicht standardmäßig vorgenommen.

Dieses Projekt stellt einen ersten und wichtigen Schritt für eine Verbesserung der Datenlage dar. Sie ist eine Bestandsaufnahme, in der geklärt wird, welche Daten vorliegen und welche Sensitivität diese Parameter auf die Quantifizierung der Aufnahmeschätzung haben. Dies könnte auf einem Expertentreffen diskutiert und Wege zur Verbesserung der Schätzverfahren herausgearbeitet werden.

4.1.5.1 Verhaltensstudien

Die bekanntesten Verhaltensstudien im Zusammenhang mit einer Blei-Exposition stellen die Verzehrsstudien dar. Diese Befragungsstudien sind für die Schätzung der Exposition eingeführt und allgemein akzeptiert. Als eines der wichtigsten Defizite der Verzehrsstudien muss das Fehlen einer ausreichenden Disaggregation genannt werden. Die Differenzierung spezieller Lebensmittel gelingt dann nicht mehr. Außerdem verändern sich Verzehrgewohnheiten, insbesondere bei viel verzehrten Lebensmitteln. Das Propagieren zum Verzehr dieser Lebensmittel, oftmals mit einer Begründung eines gesundheitlichen Vorteils, ändert Verzehrgewohnheiten extrem und schnell, sodass Daten aus Verzehrsstudien schnell veralten und aktualisiert werden müssen.

Nimmt man die Prinzipien und die Methodik der Verzehrsstudien zum Vorbild, so kann man Studien erarbeiten, die das Verhalten von Verbraucherinnen und Verbrauchern erfragen und Daten über die Häufigkeiten und die Mengen des Gebrauchs von chemischen Produkten liefern können. Das BfR hat hier mit einer Pilotstudie die ersten Schritte unternommen (Schneider *et al.* 2019). Dieser Ansatz sollte weitergeführt werden.

4.1.5.2 Gehalte und Freisetzung

In einigen Fällen wurde die „Lässigkeit“ gemessen und numerisch angegeben. Was bedeuten diese Werte für die Expositionsschätzung? Die Beispielrechnung in Kapitel 3.3.1.8 zeigt, dass mehr Angaben erforderlich sind als die für regulatorische Zwecke gemessene freigesetzte Menge, um die Schätzungen der Exposition mit denen anderer Quellen vergleichen zu können. Migrationsmessungen für Stoffe aus Produkten, insbesondere aus Produkten, die zu Kontakt mit Lebensmitteln führen, sollten erweitert und verbessert werden. Eine Harmonisierung hinsichtlich der unterschiedlichen Migrationswerte und Maßeinheiten sollte angestrebt werden.

Bei Keramikprodukten ist zu beachten, dass die chemische Zusammensetzung der Glasuren einen Einfluss auf die Migrationsraten und -mengen haben kann (Demont *et al.* 2012). Hier bieten sich Ansatzpunkte für Glasuren, in denen die Verwendung von Blei unvermeidbar ist.

Schätzungen der Bleiaufnahme von Quellen, die keine Lebensmittel sind, basieren fast ausschließlich auf der Nutzung von Defaultwerten. Diese stellen konservativ begründete Expositionsparameter dar mit der Intention einer Überschätzung der Exposition. Sie sind ungeeignet, die tatsächliche Aufnahme von Blei zu schätzen. Es ist dringend erforderlich, Verhaltensdaten zu erheben, die die Aufnahmemengen beschreiben.

4.1.5.3 Verkehr

Verkehr ist eine bedeutsame Quelle für die Bleiexposition. Die Daten sind wegen fehlender Klarheit und Eindeutigkeit klärungsbedürftig. Der Zusammenhang scheint aber plausibel zu sein und erfordert Forschungs- und Handlungsbedarf. Als mögliche Quellen für Blei aus dem Verkehr werden Reifen- und Bremsenabrieb genannt. Messungen von Verkehrsdichte, von Reifen- und Bremsenabrieb (Larsen *et al.* 2014) sowie Bodenkonzentration in ausgewählten Arealen (mit und ohne Industriegeschichte) sollten untersucht werden.

4.1.6 Interne und externe Exposition

Die in der Praxis immer wieder vorkommenden Unterschiede zwischen externer und interner Exposition können auf vielfältige Weise erklärt werden. Im Moment scheint die interne Exposition diejenige zu sein, die wissenschaftlich besser (weil leichter) untersucht und hinsichtlich der Aussagen plausibel ist. Die wichtigste Erklärung für den Unterschied ist daher die schlechtere Daten- und Erkenntnislage im Falle der externen Exposition. Der Informationsbedarf ist bei externer Expositionsschätzung erheblich höher als bei der internen Exposition.

Die Maßnahmen, die ergriffen werden sollen, um die Exposition zu senken, können nur über den externen Pfad erfolgen. Diese Senkung der Exposition mit Blei beginnt mit der Verbesserung der Erkenntnis- und Datenlage. Die gewonnenen Daten und Informationen sind erforderlich um die Expositionsquellen besser zu identifizieren und quantifizieren und um Maßnahmen abzuleiten.

4.1.6.1 Ergänzungen von Surveys durch detaillierte Befragungen der Populationen

Die Rolle von Befragungsstudien wurde schon in Kapitel 4.1.5.1 diskutiert. Die Bedeutung derartiger Studien kann nur unterstrichen werden. Selbst die schon weit entwickelten Verzehrsstudien stoßen hier an Grenzen. Ihr Konzept ist dennoch zielführend und sollte auch auf andere Produkte ausgeweitet werden, indem Befragungsstudien zum Umgang mit Produkten des täglichen Bedarfs durchgeführt werden. Die Pilotstudie des BfR (Schneider *et al.* 2019) zeigt in die richtige Richtung und sollte unbedingt weiter fortgeführt und auf weitere Produkte und Expositionssituationen erweitert werden.

An dieser Stelle sollte auch die Anregung noch einmal aufgegriffen werden, Verzehrsstudien stärker auf Expositionsfragen auszurichten (Heinemeyer 2019).

4.1.6.2 Anpassung von wiederholten Untersuchungen und Messprogrammen

Seit vielen Jahren betreibt das UBA den German Environmental Survey (GerES). In der Vergangenheit wurde dieser Survey nicht mit einem konsequenten Ansatz zur Kontinuität bestimmter Fragestellungen durchgeführt. Für die Einzelsurveys werden die Fragestellungen zu oft geändert. Es wurden keine Mehrfachmessungen von Blei z. B. im Hausstaub vorgenommen. Die zeitliche Komponente wird nur bei der Umweltprobenbank konsequent verfolgt. Der Erfolg dieses Vorgehens ist inzwischen dokumentiert (Göen *et al.* 2018).

Diese Daten zeigen, dass bei Untersuchungen zur Belastung mit Blei sehr strikt darauf geachtet werden muss, dass die untersuchten Kollektive vergleichbar sind und zwar hinsichtlich zeitlicher Änderungen der individuellen Exposition und der Veränderungen innerhalb einer Altersgruppe. Demnach sollte ein Kollektiv von Probanden über mindestens 20 Jahre individuell verfolgt werden, in einem weiteren sollten alle fünf bis zehn Jahre jeweils Populationen gleichen Alters und Geschlechts, am besten in einem Fall-Kontrollansatz verglichen werden.

Der Berichterstatter schlägt vor, im Umweltsurvey einen Teil der Messungen in einem horizontal angelegten Teil kontinuierlich vorzunehmen.

4.1.7 Regionale Besonderheiten der Bleibelastung

Regionale Besonderheiten der Bleibelastung sollten erfasst und kartiert werden, z. B. in einem Bleika-taster. Entsprechende Strategien sind zu entwickeln.

Zum Beispiel könnten Kartoffeln oder anderes Gemüse aus drei größeren deutschen Anbaugebieten für eine Longitudinalstudie ausgewählt werden, die dann über etwa 20 Jahre durchgeführt wird. Dieser Ansatz ändert die Zielsetzung des LMM zu einem prospektiven Ansatz, mit dem Ziel der Feststellung des Erfolges bestimmter Maßnahmen. Das Konzept der TDS empfiehlt sich hier aus den bereits mehrfach diskutierten Gründen nur bedingt, da Unterschätzungen der Exposition möglich sind und die Detailtiefe oftmals fehlt.

4.1.7.1 Kataster von Haaranalysen

Die bereits diskutierten Haaranalysen könnten eine Hilfe sein, regionale Besonderheiten zu evaluieren. Repräsentative Messungen in festzulegenden Altersgruppen können das Biomonitoring im Blut ergänzen und besseren Einblick in toxikokinetische Zusammenhänge liefern.

4.1.8 Verbesserung der Kooperation der Behörden

UBA und BfR arbeiten im Deutschen Gesundheitssurvey mit dem hierfür verantwortlichen RKI zusammen. Diese Zusammenarbeit bietet gute Voraussetzungen, Forschung im Bereich der Exposition noch stärker zu verzahnen und damit die Informationsbasis zu gegenseitigem Nutzen zu verbreitern. Auch das Max-Rubner-Institut ist hier mit einzubinden, da es die Zuständigkeit für die Nationale Verzehrsstudie hat.

Eine solche Zusammenarbeit hat direkte Auswirkungen auf die Verbesserung der allgemeinen Datenlage. Die Strukturen für eine solche Kooperation müssen langfristig angelegt sein.

4.1.9 Weitere konkrete Schritte

Die Verfasser schlagen vor, in absehbarer Zukunft eine Bleikonferenz abzuhalten. Diese sollte die auf der Basis dieses Berichtes vorgeschlagenen Schritte diskutieren. Entsprechende Aktivitäten wären in einem Forschungsantrag zu formulieren.

5 Quellenverzeichnis

- Al-Saleh I, Al-Enazi S, Shinwari N (2009). Assessment of lead in cosmetic products. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 54 (2): 105–113. doi: 10.1016/j.yrtph.2009.02.005
- Al-Saleh I & Al-Enazi S (2011). Trace metals in lipsticks. *Toxicological and Environmental Chemistry*, 93 (6): 1149–1165. doi: 10.1080/02772248.2011.582040
- Alimonti A, Bocca B, Mattei D, Pino A (2011). Programme for Biomonitoring the Italian Population Exposure (PROBE): Internal Dose of Metals Reihe: Rapporti ISTISAN, Band 9. Bericht: 11/9 (IX+83 S). Roma, IT: Istituto Superiore di Sanità. Verfügbar unter http://www.iss.it/binary/publ/cont/11_9_web.pdf.
- Anderson GL, Garnick L, Fung MS, Gaffney SH (2017). A pilot study to assess lead exposure from routine consumption of coffee and tea from ceramic mugs: Comparison to California safe harbor levels. *International Journal of Food Contamination*, 4 (1): 4 [11 S.]. doi: 10.1186/s40550-017-0049-7
- Aranda N, Valls RM, Romeu M, Sánchez-Martos V, Albaladejo R, Fernández-Castillejo S, Nogués R, Catalán Ú, Pedret A, Espinel AE, Delgado MA, Arija V, Solà R, Giralt M (2017). Consumption of seafood and its estimated heavy metals are associated with lipid profile and oxidative lipid damage on healthy adults from a Spanish Mediterranean area: A cross-sectional study. *Environmental Research*, 156: 644–651. doi: 10.1016/j.envres.2017.04.037
- Arnich N, Sirost V, Rivière G, Jean J, Noël L, Guérin T, Leblanc J-C (2012). Dietary exposure to trace elements and health risk assessment in the 2nd French Total Diet Study. *Food and Chemical Toxicology*, 50 (7): 2432–2449. doi: 10.1016/j.fct.2012.04.016
- Augustsson AML, Uddh-Söderberg TE, Hogmalm KJ, Filipsson MEM (2015). Metal uptake by homegrown vegetables – The relative importance in human health risk assessments at contaminated sites. *Environmental Research*, 138: 181–190. doi: 10.1016/j.envres.2015.01.020
- Augustsson AML, Uddh-Söderberg TE, Jarsjö J, Åström M, Olofsson B, Balfors B, Destouni G (2016). The risk of overestimating the risk-metal leaching to groundwater near contaminated glass waste deposits and exposure via drinking water. *Science of the Total Environment*, 566-567: 1420–1431. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.06.003
- Augustsson AML, Uddh-Söderberg TE, Filipsson MEM, Helmfrid I, Berglund M, Karlsson H, Hogmalm KJ, Karlsson A, Alriksson S (2018). Challenges in assessing the health risks of consuming vegetables in metal-contaminated environments. *Environment International*, 113: 269–280. doi: 10.1016/j.envint.2017.10.002
- Autenrieth T, Schmidt TC, Habscheid W (1998). Bleivergiftung durch griechische Keramiktafel [Lead poisoning caused by drinking from a Greek ceramic cup]. *Deutsche Medizinische Wochenschrift*, 123 (12): 353–358.
- Bartoń HJ, Zachwieja Z, Fołta M (2002). Predicted intake of trace elements and minerals via household drinking water by 6-year-old children from Kraków (Poland). Part 1: Lead (year 2000). *Food Additives and Contaminants*, 19 (10): 906–915. doi: 10.1080/02652030210145919
- Bartoń HJ (2011). Advantages of the use of deciduous teeth, hair, and blood analysis for lead and cadmium bio-monitoring in children. A study of 6-year-old children from Krakow (Poland). *Biological Trace Element Research*, 143 (2): 637–658. doi: 10.1007/s12011-010-8896-6
- Batárióvá A, Spěváčková V, Beneš B, Čejchanová M, Šmíd J, Černá M (2006). Blood and urine levels of Pb, Cd and Hg in the general population of the Czech Republic and proposed reference values. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 209 (4): 359–366. doi: 10.1016/j.ijheh.2006.02.005
- Beccaloni E, Vanni F, Beccaloni M, Carere M (2013). Concentrations of arsenic, cadmium, lead and zinc in homegrown vegetables and fruits: Estimated intake by population in an industrialized area of Sardinia, Italy. *Microchemical Journal*, 107: 190–195. doi: 10.1016/j.microc.2012.06.012
- Becker K, Kaus S, Krause C, Lepom P, Schulz C, Seiwert M, Seifert B (2002). German Environmental Survey 1998 (GerES III): Environmental pollutants in blood of the German population. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 205 (4): 297–308. doi: 10.1078/1438-4639-00155
- Becker K, Müssig-Zufika M, Conrad A, Lüdecke A, Schulz C, Seiwert M, Kolossa-Gehring M (2007). Kinder-Umwelt-Survey KUS 2003/06: Human-Biomonitoring. Stoffgehalte in Blut und Urin der Kinder in Deutschland. Reihe WaBoLu-Hefte, Band 01/07, 103 Seiten. Dessau, DE: Umweltbundesamt. Verfügbar unter <http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3257.pdf>.
- Becker K, Schroeter-Kermani C, Seiwert M, Rütther M, Conrad A, Schulz C, Wilhelm M, Wittsiepe J, Günsel A, Dobler L, Kolossa-Gehring M (2013). German health-related environmental monitoring: Assessing time trends of the general population's exposure to heavy metals. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 216 (3): 250–254. doi: 10.1016/j.ijheh.2013.01.002

- Becker W, Jorhem L, Sundström B, Grawé KP (2011). Contents of mineral elements in Swedish market basket diets. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24 (2): 279–287. doi: 10.1016/j.jfca.2010.10.001
- Belgaid J-E (2003). Release of heavy metals from Tunisian traditional earthenware. *Food and Chemical Toxicology*, 41 (1): 95–98. doi: 10.1016/S0278-6915(02)00202-8
- Berglund M, Lind B, Vahter ME, Sörensen S (2000). Impact of soil and dust lead on children's blood lead in contaminated areas of Sweden. *Archives of Environmental Health*, 55 (2): 93–97. doi: 10.1080/00039890009603393
- BfR, Bundesinstitut für Risikobewertung (2005). Blei und Cadmium aus Keramik. Aktualisierte Stellungnahme Nr. 023/2005 des BfR vom 26. März 2004 (akt. 07. Juni 2005 – derzeit in Überarbeitung/22. November 2017). Verfügbar unter http://www.bfr.bund.de/cm/343/blei_und_cadmium_aus_keramik.pdf.
- BfR, Bundesinstitut für Risikobewertung (2007). Migration von toxikologisch relevanten Elementen aus Spielzeug. Aktualisierte Stellungnahme Nr. 030/2007 des BfR vom 31. Januar 2003 (akt. 09. Juli 2007). (8 S./PDF). Verfügbar unter http://www.bfr.bund.de/cm/343/migration_von_toxikologisch_relevanten_stoffen_aus_spielzeug.pdf.
- BfR, Bundesinstitut für Risikobewertung – Berichterstatter: Wobst B (2010). Stellungnahme aus Sicht der Risikobewertung zu „Wissenschaftliches Gutachten zu Blei in Lebensmitteln“ der EFSA. Anlage zu 84-3811-01-5668256 vom 02. Juli 2010, 21 Seiten. Berlin, DE. [unveröffentlicht]
- BfR, Bundesinstitut für Risikobewertung (2012). Kinder sollten keinen bleihaltigen Modeschmuck tragen. Stellungnahme Nr. 045/2012 des BfR vom 30. November 2012. Verfügbar unter <http://www.bfr.bund.de/cm/343/kinder-sollten-keinen-bleihaltigen-modeschmuck-tragen.pdf>.
- BfR, Bundesinstitut für Risikobewertung (2014a). Blei, Nickel und allergene Duftstoffe in Kerzen sollten begrenzt werden. Stellungnahme Nr. 004/2014 des BfR vom 11. November 2013. Verfügbar unter <http://www.bfr.bund.de/cm/343/blei-nickel-und-allergene-duftstoffe-in-kerzen-sollten-begrenzt-werden.pdf>.
- BfR, Bundesinstitut für Risikobewertung (2014b). Freisetzung von Blei aus Kaffee- und Espressomaschinen. Aktualisierte Stellungnahme Nr. 003/2014 des BfR vom 2. Dezember 2013 (akt. 14. Januar 2014). Verfügbar unter <http://www.bfr.bund.de/cm/343/freisetzung-von-blei-aus-kaffee-und-espressomaschinen.pdf>.
- BfR, Bundesinstitut für Risikobewertung – Heinemeyer G, Mosbach-Schulz O, Kreienbrock L, Schümann M, Filter M, Greiner M, Herzler M, Lindtner O, Kurzenhäuser S, Röder B (2015). Guidance document on uncertainty analysis in exposure assessment. Recommendation of the Committee for Exposure Assessment and Standardisation of the Federal Institute for Risk Assessment (BfR). Bericht: 03/2015 (56 S). Berlin, DE: Bundesinstitut für Risikobewertung BfR. Verfügbar unter <http://www.bfr.bund.de/cm/350/guidelines-on-uncertainty-analysis-in-exposure-assessments.pdf>.
- Bierkens JG, Smolders R, van Holderbeke M, Cornelis C (2011). Predicting blood lead levels from current and past environmental data in Europe. *Science of the Total Environment*, 409 (23): 5101–5110. doi: 10.1016/j.scitotenv.2011.08.034
- Bilandžić N, Dokić M, Sedak M (2011a). Metal content determination in four fish species from the Adriatic Sea. *Food Chemistry*, 124 (3): 1005–1010. doi: 10.1016/j.foodchem.2010.07.060
- Bilandžić N, Đokić M, Sedak M, Solomun B, Varenina I, Knežević Z, Benić M (2011b). Trace element levels in raw milk from northern and southern regions of Croatia. *Food Chemistry*, 127 (1): 63–66. doi: 10.1016/j.foodchem.2010.12.084
- Birgisdóttir BE, Knutsen HK, Haugen MA, Gjelstad IMF, Jenssen MTS, Ellingsen DG, Thomassen Y, Alexander JW, Meltzer HM, Brantsæter AL (2013). Essential and toxic element concentrations in blood and urine and their associations with diet: Results from a Norwegian population study including high-consumers of seafood and game. *Science of the Total Environment*, 463-464: 836–844. doi: 10.1016/j.scitotenv.2013.06.078
- Birkeland S, Vollset M, Henjum S, Gjengedal E (2017). Arsenic, Bromine, and Lead in Breast Milk and Urine from Norwegian Mothers – Interactions which Influence the Levels. Beitrag zur Tagung 16th International Conference on Chemistry and the Environment in 2017, in Oslo, NO, 2017-06-18/–22. (Poster). The Norwegian Chemical Society (NKS). Verfügbar unter <https://www.researchgate.net/publication/327112451>.
- Blume K, Lindtner O, Schneider K, Schwarz MA, Heinemeyer G (2012). Exposure to heavy metals via food consumption [Frühjahrstagung der Deutschen Gesellschaft für Pharmakologie und Toxikologie (78th Annual Congress of the German Society for Experimental and Clinical Pharmacology and Toxicology DGPT), Dresden DE, 2012-03-19/–22, Abstr.-Nr. 043]. *Naunyn-Schmiedeberg's Archives of Pharmacology*, 385 (Suppl. 1): 12.
- Bolle F, Brian W, Petit D, Boutakhrif K, Feraille G, van Loco J (2011). Tea brewed in traditional metallic teapots as a significant source of lead, nickel and other chemical elements. *Food Additives and Contaminants, Part A: Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment*, 28 (9): 1287–1293. doi: 10.1080/19440049.2011.580010
- Bourliva A, Kantiranis NA, Papadopoulou L, Aidona EV, Christophoridis C, Kollias P, Evgenakis M, Fytianos KK (2018). Seasonal and spatial variations of magnetic susceptibility and potentially toxic elements (PTEs) in road dusts of Thessaloniki city, Greece: A one-year monitoring period. *Science of the Total Environment*, 639: 417–427. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.05.170

- BVL, Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (2003). Lebensmittel-Monitoring 2001. Gemeinsamer Bericht des Bundes und der Länder (52 S). Berlin, DE. Verfügbar unter https://www.bvl.bund.de/DE/01_Lebensmittel/01_Aufgaben/02_AmtlicheLebensmittelueberwachung/04_Monitoring/Im_monitoring_Berichte_Archiv/Im_monitoring_Berichte_Archiv_node.html + https://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Downloads/01_Lebensmittel/01_Im_mon_dokumente/02_Monitoring_Tabellen/archiv/Im_monitoring_tabellen_table.html.
- BVL, Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (2013). Berichte zur Lebensmittelsicherheit 2011 – Monitoring. Gemeinsamer Bericht des Bundes und der Länder Reihe: BVL-Reporte, Dombrowski S, Hg., Band 7.5 (VI+95 S). Basel, CH: Springer Basel. doi: 10.1007/978-3-0348-0580-3
- BVL, Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (2018). Berichte zur Lebensmittelsicherheit 2017 – Monitoring. Gemeinsamer Bericht des Bundes und der Länder Reihe: BVL-Reporte. Berlin, DE: Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL). Verfügbar unter https://www.bvl.bund.de/DE/01_Lebensmittel/01_Aufgaben/02_AmtlicheLebensmittelueberwachung/04_Monitoring/Im_monitoring_node.html.
- Cañas AI, Cervantes-Amat M, Esteban M, Ruiz-Moraga M, Pérez-Gómez B, Mayor J, Castaño A (2014). Blood lead levels in a representative sample of the Spanish adult population: The BIOAMBIENT.ES project. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 217 (4): 452–459. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2013.09.001>
- Čejchanová M, Wranová K, Spěváčková V, Krsková A, Šmíd J, Černá M (2012). Human biomonitoring study-toxic elements in blood of women. *Central European Journal of Public Health*, 20 (2): 139–143. Verfügbar unter <https://pdfs.semanticscholar.org/c661/4684075ad35569b93c2d32147a6f87e3382a.pdf>.
- Černá M, Krsková A, Čejchanová M, Spěváčková V (2012). Human biomonitoring in the Czech Republic: An overview. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 215 (2): 109–119. doi: 10.1016/j.ijheh.2011.09.007
- Chiesa LM, Ceriani F, Caligara M, di Candia D, Malandra R, Panseri S, Arioli F (2018). Mussels and clams from the Italian fish market. Is there a human exposition risk to metals and arsenic? *Chemosphere*, 194: 644–649. doi: 10.1016/j.chemosphere.2017.12.041
- Chojnacka K, Zielińska A, Górecka H, Dobrzański Z, Górecki H (2010a). Reference values for hair minerals of Polish students. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 29 (3): 314–319. doi: 10.1016/j.etap.2010.03.010
- Chojnacka K, Zielińska A, Michalak I, Górecki H (2010b). The effect of dietary habits on mineral composition of human scalp hair. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 30 (2): 188–194. doi: 10.1016/j.etap.2010.06.002
- Christoforidis A & Stamatis N (2009). Heavy metal contamination in street dust and roadside soil along the major national road in Kavala's region, Greece. *Geoderma*, 151 (3-4): 257–263. doi: 10.1016/j.geoderma.2009.04.016
- Cirillo T, Fasano E, Viscardi V, Arnese A, Amodio-Cocchieri R (2010). Survey of lead, cadmium, mercury and arsenic in seafood purchased in Campania, Italy. *Food Additives and Contaminants, Part B: Surveillance*, 3 (1): 30–38. doi: 10.1080/19440041003636646
- Coelho PCDS, Costa S, Costa C, Silva SPE, Walter A, Ranville JF, Pastorinho MRD, Harrington CF, Taylor AM, Dall'Armi V, Zoffoli R, Candeias C, da Silva EF, Bonassi S, Laffon B, Teixeira JPF (2014). Biomonitoring of several toxic metal(loid)s in different biological matrices from environmentally and occupationally exposed populations from Panasqueira mine area, Portugal. *Environmental Geochemistry and Health*, 36 (2): 255–269. doi: 10.1007/s10653-013-9562-7
- Conficoni D, Alberghini L, Bissacco E, Ferioli M, Giaccone V (2017). Heavy metal presence in two different types of ice cream: Artisanal ice cream (Italian Gelato) and industrial ice cream. *Journal of Food Protection*, 80 (3): 443–446. doi: 10.4315/0362-028X.JFP-16-291
- Copat C, Arena G, Fiore M, Ledda C, Fallico R, Sciacca S, Ferrante M (2013). Heavy metals concentrations in fish and shellfish from eastern Mediterranean Sea: Consumption advisories. *Food and Chemical Toxicology*, 53: 33–37. doi: 10.1016/j.fct.2012.11.038
- Copat C, Grasso A, Fiore M, Cristaldi A, Zuccarello P, Santo Signorelli S, Oliveri Conti G, Ferrante M (2018). Trace elements in seafood from the Mediterranean sea: An exposure risk assessment. *Food and Chemical Toxicology*, 115: 13–19. doi: 10.1016/j.fct.2018.03.001
- Cristaudo A, d'Illio S, Gallinella B, Mosca A, Majorani C, Violante N, Senofonte O, Morrone A, Petrucci F (2013). Use of potentially harmful skin-lightening products among immigrant women in Rome, Italy: A pilot study. *Dermatology*, 226 (3): 200–206. doi: 10.1159/000348706
- Cui X-Y, Li S-W, Zhang S-J, Fan Y-Y, Ma LQ (2015). Toxic metals in children's toys and jewelry: Coupling bioaccessibility with risk assessment. *Environmental Pollution*, 200: 77–84. doi: 10.1016/j.envpol.2015.01.035
- de Craemer S, Croes K, van Larebeke N, de Henauw S, Schoeters G, Govarts E, Loots I, Nawrot T, Nelen V, den Hond E, Bruckers L, Gao Y-E, Baeyens W (2017). Metals, hormones and sexual maturation in Flemish adolescents in three cross-sectional studies (2002–2015). *Environment International*, 102: 190–199. doi: 10.1016/j.envint.2017.02.014

- de Roma A, Esposito M, Chiaravalle E, Miedico O, de Filippis SP, Brambilla G (2017). Occurrence of cadmium, lead, mercury, and arsenic in prepared meals in Italy: Potential relevance for intake assessment. *Journal of Food Composition and Analysis*, 63: 28–33. doi: 10.1016/j.jfca.2017.07.027
- de Prisco PP, Volpe MG, Petitto F, Palladino C, Saturnino C, Capasso A, di Stasio M, de Prisco R (2010). Level of essential and toxic metals in urban adolescents hair: Preliminary study. *Biomedical Research*, 21 (2): 131–140. Verfügbar unter <https://pdfs.semanticscholar.org/ef25/63e0040a0313a995e9970aad50e851186f5d.pdf>.
- Demont M, Boutakhrit K, Fekete V, Bolle F, van Loco J (2012). Migration of 18 trace elements from ceramic food contact material: Influence of pigment, pH, nature of acid and temperature. *Food and Chemical Toxicology*, 50 (3-4): 734–743. doi: 10.1016/j.fct.2011.12.043
- Dengler D, Fertmann R, Hentschel S, Janßen U, Lommel A, Wessel M (2011). Untersuchungsprogramm „Bleibelastung durch Trinkwasser“ – Aktueller Stand und Einfluss von möglichen Vorbeugungsmaßnahmen (105 S). Hamburg, DE: Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Arbeit, Gesundheit und Soziales, Amt für Gesundheit. Verfügbar unter <https://www.hamburg.de/contentblob/122342/29237a7072c53c98cfd4cd924c9c9c/data/bericht-bleibelastung-durch-trinkwasser.pdf>.
- Dereumeaux C, Filol C, Charles M-A, Denys S (2017). The French human biomonitoring program: First lessons from the perinatal component and future needs. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 220 (2, Part A): 64–70. doi: 10.1016/j.ijheh.2016.11.005
- Diouf F, Berg K, Ptok S, Lindtner O, Heinemeyer G, Hesecker H (2014). German database on the occurrence of food additives: Application for intake estimation of five food colours for toddlers and children. *Food Additives and Contaminants, Part A: Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment*, 31 (2): 197–206. doi: 10.1080/19440049.2013.865146
- Domingo JL, Schuhmacher M, Agramunt MC, Müller L, Neugebauer F (2001). Levels of metals and organic substances in blood and urine of workers at a new hazardous waste incinerator. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 74 (4): 263–269. doi: 10.1007/s004200000217
- Dongarrà G, Lombardo MG, Tamburo E, Varrica D, Cibella F, Cuttitta G (2011). Concentration and reference interval of trace elements in human hair from students living in Palermo, Sicily (Italy). *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 32 (1): 27–34. doi: 10.1016/j.etap.2011.03.003
- Dongarrà G, Varrica D, Tamburo E, d'Andrea D (2012). Trace elements in scalp hair of children living in differing environmental contexts in Sicily (Italy). *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 34 (2): 160–169. doi: 10.1016/j.etap.2012.03.005
- Drobyshev EJ, Solovyev ND, Ivanenko NB, Kombarova MY, Ganeev AA (2017). Trace element biomonitoring in hair of school children from a polluted area by sector field inductively coupled plasma mass spectrometry. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 39: 14–20. doi: 10.1016/j.jtemb.2016.07.004
- Dunicz-Sokolowska A, Graczyk A, Radomska K, Długaszek M, Właźlak E, Surkont G (2006a). Contents of bioelements and toxic metals in a Polish population determined by hair analysis. Part 2: Young persons aged 10-20 years. *Magnesium Research*, 19 (3): 167–179. doi: 10.1684/mrh.2006.0004
- Dunicz-Sokolowska A, Radomska K, Długaszek M, Graczyk A (2006b). Contents of bioelements and toxic metals in the Polish population determined by hair analysis. Part 1. Children aged 1 to 10 years. *Magnesium Research*, 19 (1): 35–45.
- Dunicz-Sokolowska A, Dhigaszek M, Radomska K, Właźlak E, Surkont G, Graczyk A (2007a). Contents of bioelements and toxic metals in the Polish population determined by hair analysis. Part III: Adults aged 20 to 40 years. *Magnesium Research*, 20 (1): 43–52. doi: 10.1684/mrh.2007.0091
- Dunicz-Sokolowska A, Właźlak E, Surkont G, Radomska K, Długaszek M, Graczyk A (2007b). Contents of bioelements and toxic metals in the Polish population determined by hair analysis Part IV. Adults aged 40 to 60 years. *Magnesium Research*, 20 (2): 136–147. doi: 10.1684/mrh.2007.0097
- EC-SCOOP, European Commission, Directorate-General Health and Consumer Protection, EU Scientific Committee for Food, Scientific Co-Operation (2004). Assessment of the Dietary Exposure to Arsenic, Cadmium, Lead and Mercury of the Population of the EU Member States Reihe: Reports on Tasks for Scientific Cooperation. Bericht: SCOOP Task 3.2.11 (125 S). Verfügbar unter https://ec.europa.eu/food/sites/food/files/safety/docs/cs_contaminants_catalogue_scoop_3-2-11_heavy_metals_report_en.pdf – Zugriff: 2018-06-30.
- EFSA, European Food Safety Authority (2010a). Application of systematic review methodology to food and feed safety assessments to support decision making. *EFSA Journal*, 8 (6): 1637 [90 S.]. doi: 10.2903/j.efsa.2010.1637
- EFSA, European Food Safety Authority, CONTAM Panel on Contaminants in the Food Chain (2010b). Scientific Opinion on lead in food. *EFSA Journal*, 8 (4): 1570 [151 S.]. doi: 10.2903/j.efsa.2010.1570
- EFSA, European Food Safety Authority (2012). Lead dietary exposure in the European population. *EFSA Journal*, 10 (7): 2831 [59 S.]. doi: 10.2903/j.efsa.2012.2831

- EHPP, Effective Public Health Practice Project (1998). Quality Assessment Tool for Quantitative Studies. Thomas BH, Ciliska D, Dobbins M, Micucci S (Eds.). Hamilton ON, CA: National Collaborating Centre for Methods and Tools (NCCMT). Verfügbar unter <https://merst.ca/ephpp/> – Zugriff: 2018-06-30.
- Etchevers A, Lecoffre C, le Tertre A, le Strat Y, Groupe Investigateurs Saturn-Inf, de Launay C, Bérat B, Bidondo M-L, Pascal M, Fréry N, de Crouy-Chanel P, Stempfelet M, Salomez J-L (2010). Imprégnation des enfants par le plomb en France en 2008-2009 [Blood lead level in children in France, 2008-2009]. BEHWeb, 2 (8 S./PDF). Verfügbar unter <http://www.invs.sante.fr/behweb/2010/02/index.htm> – Zugriff: 2018-06-30.
- Etchevers A, Bretin P, Lecoffre C, Bidondo M-L, le Strat Y, Glorennec P, le Tertre A (2014). Blood lead levels and risk factors in young children in France, 2008-2009. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 217 (4-5): 528–537. doi: 10.1016/j.ijheh.2013.10.002
- Etchevers A, le Tertre A, Lucas J-P, Bretin P, Oulhote Y, le Bot B, Glorennec P (2015). Environmental determinants of different blood lead levels in children: A quantile analysis from a nationwide survey. *Environment International*, 74: 152–159. doi: 10.1016/j.envint.2014.10.007
- Etchevers A, Glorennec P, Lucas J-P, le Bot B, Lecoffre C, le Tertre A (2017). Exposition au plomb des enfants en France: Niveaux d'imprégnation et déterminants [Blood lead levels and risk factors in young children in France]. *Toxicologie Analytique et Clinique*, 29 (4): 483–495. doi: 10.1016/j.toxac.2017.07.001 [geprüft: Preprint]
- Falq G, Zeghnoun A, Pascal M, Vernay M, le Strat Y, Garnier R, Olichon D, Bretin P, Castetbon K, Fréry N (2011). Blood lead levels in the adult population living in France: The French Nutrition and Health Survey (ENNS 2006–2007). *Environment International*, 37 (3): 565–571. doi: 10.1016/j.envint.2010.11.012
- Felipe-Sotelo M, Henshall-Bell ER, Evans NDM, Read DT (2015). Comparison of the chemical composition of British and Continental European bottled waters by multivariate analysis. *Journal of Food Composition and Analysis*, 39: 33–42. doi: 10.1016/j.jfca.2014.10.014
- Feng Y-P & Barratt R (1999). Distributions of lead and cadmium in dust in the vicinity of a sewage sludge incinerator. *Journal of Environmental Monitoring*, 1 (2): 169–176. doi: 10.1039/A808286C
- Fertmann R, Hentschel S, Dengler D, Janßen U, Lommel A (2004). Lead exposure by drinking water: An epidemiological study in Hamburg, Germany. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 207 (3): 235–244. doi: 10.1078/1438-4639-00285
- Fierens S, Rebolledo J, Versporten A, Brits E, Haufroid V, de Plaen P, van Nieuwenhuysse A (2016). Human biomonitoring of heavy metals in the vicinity of non-ferrous metal plants in Ath, Belgium. *Archives of Public Health*, 74 (1): 42 [11 S.]. doi: 10.1186/s13690-016-0154-8
- Filipiak-Szok A, Kurzawa M, Szłyk E (2015). Determination of toxic metals by ICP-MS in Asiatic and European medicinal plants and dietary supplements. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 30: 54–58. doi: 10.1016/j.jtemb.2014.10.008 [geprüft: Preprint]
- Filon FL, Boeniger M, Maina G, Adami G, Spinelli P, Damian A (2006). Skin absorption of inorganic lead (PbO) and the effect of skin cleansers. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 48 (7): 692–699. doi: 10.1097/01.jom.0000214474.61563.1c
- Forte G, Madeddu R, Tolu P, Asara Y, Marchal JA, Bocca B (2011). Reference intervals for blood Cd and Pb in the general population of Sardinia (Italy). *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 214 (2): 102–109. doi: 10.1016/j.ijheh.2010.09.006
- Friedrich C, Helm D, Becker K, Hoffmann K, Krause C, Nöllke P, Schulz C, Seiwert M, Seifert B (2001). Umwelt-Survey 1990/92, Band IV: Hausstaub. Deskription der Spurenelemente und Biozidgehalte im Hausstaub in der Bundesrepublik Deutschland. Reihe WaBoLu-Hefte, Band 1/01, 278 Seiten. Berlin, DE: Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Umweltbundesamtes.
- García-Esquinas E, Pérez-Gómez B, Fernández-Navarro P, Fernández MA, de Paz C, Pérez-Meixeira AM, Gil E, Iriso A, Sanz JC, Astray J, Cisneros M, de Santos A, Asensio Á, García-Sagredo JM, García JF, Vioque J, López-Abente G, Pollán M, González MJ, Martínez M, Aragonés N (2013). Lead, mercury and cadmium in umbilical cord blood and its association with parental epidemiological variables and birth factors. *BMC Public Health*, 13 (1): 841. doi: 10.1186/1471-2458-13-841
- Gerofke A, Ulbig E, Martin A, Müller-Graf C, Selhorst T, Gremse C, Spolders M, Schafft H, Heinemeyer G, Greiner M, Lahrssen-Wiederholt M, Hensel A (2018). Lead content in wild game shot with lead or non-lead ammunition – Does "state of the art consumer health protection" require non-lead ammunition? *PLoS One*, 13 (7): e0200792. doi: 10.1371/journal.pone.0200792
- Glorennec P (2006). Analysis and reduction of the uncertainty of the assessment of children's lead exposure around an old mine. *Environmental Research*, 100 (2): 150–158. doi: 10.1016/j.envres.2005.03.007

- Glorennec P, Peyr C, Poupon J, Oulhote Y, le Bot B (2010). Identifying sources of lead exposure for children, with lead concentrations and isotope ratios. *Journal of occupational and environmental hygiene*, 7 (5): 253–260. doi: 10.1080/15459621003648281
- Glorennec P, Lucas J-P, Mandin C, le Bot B (2012). French children's exposure to metals via ingestion of indoor dust, outdoor playground dust and soil: Contamination data. *Environment International*, 45 (1): 129–134. doi: 10.1016/j.envint.2012.04.010
- Glorennec P, Lucas J-P, Etchevers A, Oulhote Y, Mandin C, Poupon J, le Strat Y, Bretin P, Douay F, le Bot B, le Tertre A (2015). Exposition au plomb des enfants dans leur logement. *Projet Plomb-Habitat (2008–2014): principaux résultats, retombées et perspectives [Childhood lead exposure in the home. Plomb-Habitat (Home-Lead) project (2008–2014): Principal results, impacts and perspectives]*. *Environnement, Risques et Santé*, 14 (1): 28–37. doi: 10.1684/ers.2014.0751
- Glorennec P, Lucas J-P, Mercat A-C, Roudot A-C, le Bot B (2016). Environmental and dietary exposure of young children to inorganic trace elements. *Environment International*, 97: 28–36. doi: 10.1016/j.envint.2016.10.009
- Göen T, Lermen D, Hildebrand J, Bartel-Steinbach M, Weber T, Kolossa-Gehring M (2018). Discovering time-trends of the German populations exposure to contaminants by analysis of human samples of the German Environmental Specimen Bank (ESB). *Toxicology Letters*, 298: 194–200. doi: 10.1016/j.toxlet.2018.06.007
- González-Muñoz MJ, Peña A, Meseguer I (2008). Monitoring heavy metal contents in food and hair in a sample of young Spanish subjects. *Food and Chemical Toxicology*, 46 (9): 3048–3052. doi: 10.1016/j.fct.2008.06.004
- Gonzalez-Reimers E, Martín-González C, Galindo-Martín LR, Aleman-Valls MR, Velasco-Vázquez J, Arnay de la Rosa M, Pérez-Hernández O, Luis RH (2014). Lead, cadmium and zinc in hair samples: Relationship with dietary habits and urban environment. *Biological Trace Element Research*, 157 (3): 205–210. doi: 10.1007/s12011-014-9896-8
- Gouvinhas I, Domínguez-Perles R, Machado N, Carvalho T, Matos C, Barros AIRNA (2016). Effect of Agro-Environmental Factors on the Mineral Content of Olive Oils: Categorization of the Three Major Portuguese Cultivars. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 93 (6): 813–822. doi: 10.1007/s11746-016-2827-4
- Grabmann AT (2016). Bleikonzentration im Blut von jugendlichen und erwachsenen Sportschützen. Dissertation (Dr. med.), Institut und Poliklinik für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin, Ludwig-Maximilians-Universität, München, DE. 90 Seiten. Verfügbar unter <https://edoc.ub.uni-muenchen.de/19172/> – Zugriff: 2018-06-30.
- Guéguen M, Amiard J-C, Arnich N, Badot P-M, Claisse D, Guérin T, Vernoux J-P (2011). Shellfish and residual chemical contaminants: Hazards, monitoring, and health risk assessment along French coasts. In: *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, Bd. 213, S. 55–111. doi: 10.1007/978-1-4419-9860-6_3
- Guérin T, le Calvez E, Zinck J, Bemrah N, Sirot V, Leblanc J-C, Chekri R, Hulin M, Noël L (2017). Levels of lead in foods from the first French total diet study on infants and toddlers. *Food Chemistry*, 237: 849–856. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.06.043
- Gundacker C, Pietschnig B, Wittmann KJ, Lischka A, Salzer H, Hohenauer L, Schuster E (2002). Lead and mercury in breast milk. *Pediatrics*, 110 (5): 873–878. doi: 10.1542/peds.110.5.873
- Gutiérrez AJ, Lozano G, Rubio C, Martín V, Hardisson A, Revert C (2017). Heavy metals in black crabs in the Atlantic Coast (Tenerife, Spain) – Human risk assessment. *Clean – Soil, Air, Water*, 45 (1). doi: 10.1002/clen.201600047
- Heinemeyer G (2019). Data availability and data generation concepts. In: Heinemeyer G, Jantunen M, Hakkinen P (Hgg.), *The Practice of Consumer Exposure Assessment*, Band in press, 1. Ausg. Springer International Publishing. Verfügbar unter <https://www.springer.com/de/book/9783319961477> – Zugriff: 2018-06-30.
- Hellström-Lindberg E, Björklund A, Karlson-Stiber C, Harper P, Seldén AI (2006). Lead poisoning from souvenir earthenware. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 79 (2): 165–168. doi: 10.1007/s00420-005-0037-8
- Hentschel W, Karius A, Heudorf U (1998). Das Frankfurter Bleiprojekt – Maßnahmen zur Einhaltung des derzeitigen und der künftigen Grenzwerte für Blei im Trinkwasser. (15 S./PDF). Verfügbar unter https://www.frankfurt.de/sixcms/detail.php?id=2839&ffmpar%5b_id_inhalt%5d=23860 – Zugriff: 2018-06-30.
- Hernández-Martínez R & Navarro-Blasco I (2012). Estimation of dietary intake and content of lead and cadmium in infant cereals marketed in Spain. *Food Control*, 26 (1): 6–14. doi: 10.1016/j.foodcont.2011.12.024
- Hodgson S, Manmee C, Dirks W, Shepherd T, Pless-Mulloli T (2015). Determinants of childhood lead exposure in the postleaded petrol era: The Tooth Fairy cohort from Newcastle upon Tyne. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 25 (4): 420–426. doi: 10.1038/jes.2014.79
- Hogervorst J, Plusquin M, Vangronsveld J, Nawrot T, Cuypers A, van Hecke E, Roels HA, Carleer R, Staessen JA (2007). House dust as possible route of environmental exposure to cadmium and lead in the adult general population. *Environmental Research*, 103 (1): 30–37. doi: 10.1016/j.envres.2006.05.009
- Horváth A, Kalicz P, Farsang A, Balázs P, Berki I, Bidló A (2018). Influence of human impacts on trace metal accumulation in soils of two Hungarian cities. *Science of the Total Environment*, 637–638: 1197–1208. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.05.033

- Hrnčířová D, Batářiá A, Černá M, Procházka B, Dlouhý P, Anděl M (2008). Exposure of Prague's homeless population to lead and cadmium, compared to Prague's general population. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 211 (5-6): 580–586. doi: 10.1016/j.ijheh.2007.09.006
- Kabir E, Ray S, Kim K-H, Yoon H-O, Jeon E-C, Kim Y-S, Cho Y-S, Yun S-T, Brown RJC (2012). Current status of trace metal pollution in soils affected by industrial activities. *The Scientific World Journal*, 2012: 916705. doi: 10.1100/2012/916705
- Khamoni JA, Hamshaw T, Gardiner PHE (2017). Impact of ingredients on the elemental content of baby foods. *Food Chemistry*, 231: 309–315. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.03.143
- Klenow S, Heiland A, Heinemeyer G (2016 unpubl.). Schadstoffe im Hausstaub: Verbesserung der gesundheitlichen Bewertung durch Ermittlung der tatsächlichen Staubaufnahme von Kindern und Erwachsenen. Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (UFOPLAN) – Forschungskennzahl FKZ 3712 62 204, 104 Seiten. Berlin, DE: Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA). [unveröffentlicht]
- Klenow S (2019). Exposure via the housedust path. In: Heinemeyer G, Jantunen M, Hakkinen P (Hgg.), *The Practice of Consumer Exposure Assessment* (in press). Berlin, DE: Springer Verlag.
- Klimisch H-J, Andreae M, Tillmann U (1997). A systematic approach for evaluating the quality of experimental toxicological and ecotoxicological data. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 25 (1): RT961076 [5 S.]. doi: 10.1006/rtp.1996.1076
- Kolb B (2019). PVC - Kabel - Ökobilanz. Webseite Forum | Nachhaltiges Bauen, Herrsching BY, DE: <https://nachhaltiges-bauen.de/baustoffe/PVC%20-%20Kabel> – Zugriff: 2019-01-08.
- Krawczyk M (2014). Determination of macro and trace elements in multivitamin dietary supplements by high-resolution continuum source graphite furnace atomic absorption spectrometry with slurry sampling. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 88: 377–384. doi: 10.1016/j.jpba.2013.09.016
- Kuchenbecker D, Schaffernicht H, Raddatz M (2002). Bleigehalt in Zähnen als Marker einer umweltbedingten Bleibelastung [The lead content in teeth as a maker of environmental exposure to lead]. *Arbeitsmedizin Sozialmedizin Umweltmedizin*, 37 (8): 388–393.
- Kulawik P, Migdal W, Gambuś F, Ciešlik E, Özoğul F, Tkaczewska J, Szczurowska K, Walkowska I (2016). Microbiological and chemical safety concerns regarding frozen filets obtained from *Pangasius sutchi* and Nile tilapia exported to European countries. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96 (4): 1373–1379. doi: 10.1002/jsfa.7233
- Laquatra J, Coyne LM, Pierce MR (2008). Lead in Christmas lights. *Journal of Environmental Health*, 71 (5): 8–11.
- Larsen PB, Leck Fotel F, Slothuus T, Hjelmar O, Buchardt Boyd H, Højlund L-L, Tørsløv J (2014). Survey of Lead and Lead Compounds. Part of the LOUS-Review. Bericht: Environmental Project No. 1539 (136 S). Copenhagen, DK: Danish Environmental Protection Agency. Verfügbar unter <https://www2.mst.dk/udgiv/publications/2014/01/978-87-93026-93-3.pdf> – Zugriff: 2018-06-30.
- Larsen PB, Boberg J, Brunn Poulsen P, Mørck TA, Buchardt Boyd H, Nørgaard Andersen D, Axelstad M, Hass U, Hgg. (2017). Exposure of Children and Unborn Children to Selected Chemical Substances, Reihe Survey of Chemical Substances in Consumer Products. Band No. 158 April 2017, 174 Seiten. Copenhagen DK: Danish Environmental Protection Agency. Verfügbar unter <http://www2.mst.dk/udgiv/publications/2017/04/978-87-93529-84-7.pdf> – Zugriff: 2018-12-06.
- le Bot B, Lucas J-P, Lacroix F, Glorennec P (2016). Exposure of children to metals via tap water ingestion at home: Contamination and exposure data from a nationwide survey in France. *Environment International*, 94: 500–507. doi: 10.1016/j.envint.2016.06.009
- Leblanc J-C, Guérin T, Noël L, Calamassi-Tran G, Volatier J-L, Verger P (2005). Dietary exposure estimates of 18 elements from the 1st French Total Diet Study. *Food Additives and Contaminants*, 22 (7): 624–641. doi: 10.1080/02652030500135367
- Leblanc J-C & Sirot VS (2011). Second French Total Diet Study (TDS 2). Report 1 – Inorganic Contaminants, Minerals, Persistent Organic Pollutants, Mycotoxins and Phytoestrogens [Étude de l'alimentation totale française 2 (EAT 2). Tome 1 – Contaminants inorganiques, minéraux, polluants organiques persistants, mycotoxines, phyto-estrogènes] Reihe: Scientific Publications. Bericht: ANSES Opinion (304 S). Maisons-Alfort, FR: Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES). Verfügbar unter <https://www.anses.fr/en/content/total-diet-studies-tdss> – Zugriff: 2018-06-30.
- Link B, Gabrio T, Piechotowski I, Zöllner I, Schwenk M (2007). Baden-Wuerttemberg Environmental Health Survey (BW-EHS) from 1996 to 2003: Toxic metals in blood and urine of children. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 210 (3-4): 357–371. doi: 10.1016/j.ijheh.2007.01.031
- Ljung Björklund K, Vahter M, Palm B, Grandér M, Lignell S, Berglund M (2012). Metals and trace element concentrations in breast milk of first time healthy mothers: A biological monitoring study. *Environmental Health*, 11 (1): 92. doi: 10.1186/1476-069X-11-92

- Ljung K, Palm B, Grandér M, Vahter M (2011). High concentrations of essential and toxic elements in infant formula and infant foods - A matter of concern. *Food Chemistry*, 127 (3): 943–951. doi: 10.1016/j.foodchem.2011.01.062
- Llobet JM, Falcó G, Casas C, Teixidó À, Domingo JL (2003). Concentrations of arsenic, cadmium, mercury, and lead in common foods and estimated daily intake by children, adolescents, adults, and seniors of Catalonia, Spain. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51 (3): 838–842. doi: 10.1021/jf020734q
- Llorente Ballesteros MT, Navarro Serrano I, Izquierdo Álvarez S (2017). Reference levels of trace elements in hair samples from children and adolescents in Madrid, Spain. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 43: 113–120. doi: 10.1016/j.jtemb.2016.12.010
- Lucas J-P, le Bot B, Glorennec P, Etchevers A, Bretin P, Douay F, Sébille V, Bellanger L, Mandin C (2012). Lead contamination in French children's homes and environment. *Environmental Research*, 116: 58–65. doi: 10.1016/j.envres.2012.04.005
- Lucas J-P, Bellanger L, Le Strat Y, Le Tertre A, Glorennec P, Le Bot B, Etchevers A, Mandin C, Sébille V (2014). Source contributions of lead in residential floor dust and within-home variability of dust lead loading. *Science of the Total Environment*, 470–471: 768–779. doi: 10.1016/j.scitotenv.2013.10.028
- LW, Landeswasserversorgung Baden-Württemberg (2017). Trinkwasseranalyse – Jahresmittelwerte 2016. Verfügbar unter <https://www.lw-online.de/fileadmin/lwonline/redaktion/pdf-dateien/publikationen/2016-Trinkwasseranalyse-Internet.pdf>.
- Makedonski L, Peycheva K, Stancheva M (2017). Determination of heavy metals in selected black sea fish species. *Food Control*, 72: 313–318. doi: 10.1016/j.foodcont.2015.08.024
- Manno E, Varrica D, Dongarrà G (2006). Metal distribution in road dust samples collected in an urban area close to a petrochemical plant at Gela, Sicily. *Atmospheric Environment*, 40 (30): 5929–5941. doi: 10.1016/j.atmosenv.2006.05.020
- Mărginean CO, Melit LE, Moldovan HR, Lupu VV, Marginean MO (2016). Lead poisoning in a 16-year-old girl: A case report and a review of the literature (CARE compliant). *Medicine (United States)*, 95 (38): e4916. doi: 10.1097/MD.0000000000004916
- Martí-Cid R, Llobet JM, Castell V, Domingo JL (2008). Dietary intake of arsenic, cadmium, mercury, and lead by the population of Catalonia, Spain. *Biological Trace Element Research*, 125 (2): 120–132. doi: 10.1007/s12011-008-8162-3
- Martinón-Torres F, Dargallo Carbonell T, Marcos Alonso S, Cabanas Rodríguez P, González Alonso N, Almeida Agudín S (2005). Ingestión de cuerpos extraños de plomo [Ingestion of foreign bodies containing lead]. *Anales de Pediatría*, 63 (5): 453–456. doi: 10.1157/13080413
- Martorell I, Perelló G, Martí-Cid R, Llobet JM, Castell V, Domingo JL (2011). Human exposure to arsenic, cadmium, mercury, and lead from foods in Catalonia, Spain: Temporal trend. *Biological Trace Element Research*, 142 (3): 309–322. doi: 10.1007/s12011-010-8787-x
- Mekel O, Mosbach-Schulz O, Schümann M, Okken P-K, Peters C, Herrmann J, Hehl O, Bubenheim M, Fehr R, Timm J (2007). Evaluation von Standards und Modellen zur probabilistischen Expositionsabschätzung. Teil 1: Grundlagen der bevölkerungsbezogenen Expositionsmodellierung. Abschlußbericht. Auflage. Reihe WaBoLu-Hefte, Band 02/07, 273 Seiten. Dessau-Roßlau, DE: Umweltbundesamt. Verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/evaluation-von-standards-modellen-zur>.
- Meyer I, Becker K, Lippold U, Meyer E, Wichmann H-E, Heinrich JG (2003a). Biomonitoring von Blei und Cadmium bei Frauen aus industriellen Regionen Sachsen-Anhalts [Biomonitoring of lead and cadmium in women from industrial regions of eastern Germany]. *Umweltmedizin in Forschung und Praxis*, 8 (4): 227–236.
- Meyer I, Hoelscher B, Frye C, Becker K, Wichmann HE, Heinrich J (2003b). Temporal changes in blood lead levels of children in East Germany. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 206 (3): 181–192. doi: 10.1078/1438-4639-00207
- Michalak I, Wołowicz P, Chojnacka K (2014). Determination of exposure to lead of subjects from southwestern Poland by human hair analysis. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186 (4): 2259–2267. doi: 10.1007/s10661-013-3534-3
- Milošković A, Milošević Đ, Radojković N, Radenković M, Đuretanić S, Veličković T, Simić V (2018). Potentially toxic elements in freshwater (*Alburnus* spp.) and marine (*Sardina pilchardus*) sardines from the Western Balkan Peninsula: An assessment of human health risk and management. *Science of the Total Environment*, 644: 899–906. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.07.041
- Mir-Marqués A, González-Masó A, Cervera ML, de la Guardia M (2015). Mineral profile of Spanish commercial baby food. *Food Chemistry*, 172: 238–244. doi: 10.1016/j.foodchem.2014.09.074
- MRI, Max Rubner-Institut (2008). Nationale Verzehrsstudie II – Die bundesweite Befragung zur Ernährung von Jugendlichen und Erwachsenen. Ergebnisbericht, Teil 2 (xxv+280 S). Karlsruhe DE: Max Rubner-Institut – Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel. Verfügbar unter http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Ernaehrung/NVS_ErgebnisberichtTeil2.html – Zugriff: 2018-06-30.

- Müller-Graf C, Gerofke A, Martin A, Bandick N, Lahrssen-Wiederholt M, Schafft H-A, Selhorst T, Ulbig E, Hensel A (2017). Reduction of lead contents in game meat: Results of the 'Food Safety of Game Meat Obtained Through Hunting' research project. In: Paulsen P, Bauer A, Smulders FJM (Hgg.), Game Meat Hygiene – Food Safety and Security. Game Meat Hygiene in Focus – International Research Forum For Game Meat Hygiene, Edinburgh Scotland, Kap. 12, S. 201–212. Wageningen, NL: Wageningen Academic Publishers. doi: 10.3920/978-90-8686-840-7_12
- Musilova J, Bystricka J, Vollmannova A, Janotova B, Orsak M, Harangozo L, Hegedusova A (2017). Safety of potato consumption in Slovak region contaminated by heavy metals due to previous mining activity. *Journal of Food Quality*, 2017: 9385716 [11 S.]. doi: 10.1155/2017/9385716
- Netherlands National Water Board, Water Unit in cooperation with DELTARES and TN (2008). Road Traffic Brake Wear. Netherlands Emission Inventory – Emission estimates for diffuse sources, Website: Pollutant Release and Transfer Register (11 S./PDF). Verfügbar unter <http://www.emissieregistratie.nl/erpubliek/documenten/Water/Factsheets/English/Road%20traffic%20brake%20wear.pdf> – Zugriff: 2018-06-30.
- Nisse C, Tagne-Fotso R, Howsam M, Richeval C, Labat L, Leroyer A (2017). Blood and urinary levels of metals and metalloids in the general adult population of Northern France: The IMEPOGE study, 2008–2010. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 220 (2, Part B): 341–363. doi: 10.1016/j.ijheh.2016.09.020
- NLGA, Niedersächsisches Landesgesundheitsamt (2014). Trinkwasserqualität sichern – Bleisanierung unterstützen. Abschlussbericht zum niedersächsischen Blei-Programm (2004-2014) (29 S). Hannover, DE. Verfügbar unter https://www.nlga.niedersachsen.de/download/92863/FAbschlussbericht_Blei-Programm_2004-2014_.pdf – Zugriff: 2018-06-30.
- Olmedo P, Pla A, Hernández AF, Barbier F, Ayouni L, Gil F (2013). Determination of toxic elements (mercury, cadmium, lead, tin and arsenic) in fish and shellfish samples. Risk assessment for the consumers. *Environment International*, 59: 63–72. doi: 10.1016/j.envint.2013.05.005
- Oomen AG, Janssen PJCM, Dusseldorp A, Noorlander CW (2008). Exposure to Chemicals via House Dust. Bilthoven, NL: RIVM, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. Verfügbar unter <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/609021064.html> – Zugriff: 2018-06-30.
- Oulhote Y, le Tertre A, Etchevers A, le Bot B, Lucas J-P, Mandin C, le Strat Y, Lanphear B, Gloennec P (2013). Implications of different residential lead standards on children's blood lead levels in France: Predictions based on a national cross-sectional survey. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 216 (6): 743–750. doi: 10.1016/j.ijheh.2013.02.007
- Outzen M, Tjønneland A, Larsen EH, Hansen M, Andersen KK, Christensen J, Overvad K, Olsen A (2015). Effect of increased intake of fish and mussels on exposure to toxic trace elements in a healthy, middle-aged population. *Food Additives and Contaminants, Part A: Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment*, 32 (11): 1858–1866. doi: 10.1080/19440049.2015.1072878
- Özden TA, Gökçay G, Ertem HV, Süoğlu ÖD, Kiliç A, Sökücü S, Saner G (2007). Elevated hair levels of cadmium and lead in school children exposed to smoking and in highways near schools. *Clinical Biochemistry*, 40 (1-2): 52–56. doi: 10.1016/j.clinbiochem.2006.07.006
- Padoan E, Romè C, Ajmone-Marsan F (2017). Bioaccessibility and size distribution of metals in road dust and roadside soils along a peri-urban transect. *Science of the Total Environment*, 601-602: 89–98. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.05.180
- Pandelova ME, Lopez WL, Michalke B, Schramm KW (2012). Ca, Cd, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Se, and Zn contents in baby foods from the EU market: Comparison of assessed infant intakes with the present safety limits for minerals and trace elements. *Journal of Food Composition and Analysis*, 27 (2): 120–127. doi: 10.1016/j.jfca.2012.04.011
- Patinha C, Reis AP, Dias AC, Abduljelil AA, Noack Y, Robert S, Cave M, Ferreira da Silva E (2015). The mobility and human oral bioaccessibility of Zn and Pb in urban dusts of Estarreja (N Portugal). *Environmental Geochemistry and Health*, 37 (1): 115–131. doi: 10.1007/s10653-014-9634-3
- Pelclová D, Šťastná J, Vlčková Š, Vlček K, Urban M, Laštovková A, Doležel Z (2016). Is Central Europe safe from environmental lead intoxications? A case series. *Central European Journal of Public Health*, 24 (2): 120–122. doi: 10.21101/cejph.a4640
- Peña-Fernández A, Lobo-Bedmar MdC, González-Muñoz MJ (2014). Monitoring lead in hair of children and adolescents of Alcalá de Henares, Spain. A study by gender and residential areas. *Environment International*, 72: 170–175. doi: 10.1016/j.envint.2014.03.010
- Peña-Fernández A, Lobo-Bedmar MdC, González-Muñoz MJ (2015). Annual and seasonal variability of metals and metalloids in urban and industrial soils in Alcalá de Henares (Spain). *Environmental Research*, 136: 40–46. doi: 10.1016/j.envres.2014.09.037

- Perelló G, Llobet JM, Gómez-Catalán J, Castell V, Centrich F, Nadal M, Domingo JL (2014). Human health risks derived from dietary exposure to toxic metals in Catalonia, Spain: Temporal trend. *Biological Trace Element Research*, 162 (1-3): 26–37. doi: 10.1007/s12011-014-0138-x
- Peters A, Wilson I, Merrington G, Chowdhury MJ (2018). Are lead exposures a risk in European fresh waters? A regulatory assessment accounting for bioavailability. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 100 (1): 127–133. doi: 10.1007/s00128-017-2238-8
- Pflaum T, Hausler T, Baumung C, Ackermann S, Kuballa T, Rehm J, Lachenmeier DW (2016). Carcinogenic compounds in alcoholic beverages: An update. *Archives of Toxicology*, 90 (10): 2349–2367. doi: 10.1007/s00204-016-1770-3
- Piccinini P, Piecha M, Torrent SF (2013). European survey on the content of lead in lip products. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 76: 225–233. doi: 10.1016/j.jpba.2012.11.047
- Pino A, Amato A, Alimonti A, Mattei D, Bocca B (2012). Human biomonitoring for metals in Italian urban adolescents: Data from Latium Region. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 215 (2): 185–190. doi: 10.1016/j.ijheh.2011.07.015
- Pino A, Chiarotti F, Calamandrei G, Gotti A, Karakitsios S, Handakas E, Bocca B, Sarigiannis D, Alimonti A (2017). Human biomonitoring data analysis for metals in an Italian adolescents cohort: An exposome approach. *Environmental Research*, 159: 344–354. doi: 10.1016/j.envres.2017.08.012
- Pinto E, Almeida AA, Aguiar AARM, Ferreira IMPLVO (2014). Changes in macrominerals, trace elements and pigments content during lettuce (*Lactuca sativa* L.) growth: Influence of soil composition. *Food Chemistry*, 152: 603–611. doi: 10.1016/j.foodchem.2013.12.023
- Rabinowitz MB, Wetherill GW, Kopple JD (1976). Kinetic analysis of lead metabolism in healthy humans. *Journal of Clinical Investigation*, 58 (2): 260–270. doi: 10.1172/JCI108467
- Rambousková J, Krsková A, Slavíková M, Čejchanová M, Černá M (2014). Blood levels of lead, cadmium, and mercury in the elderly living in institutionalized care in the Czech Republic. *Experimental Gerontology*, 58: 8–13. doi: 10.1016/j.exger.2014.07.002
- Rebeniak M, Wojciechowska-Mazurek M, Mania M, Szytal T, Strzelecka A, Starska K (2014). Exposure to lead and cadmium released from ceramics and glassware intended to come into contact with food. *Roczniki Państwowego Zakładu Higieny*, 65 (4): 301–309.
- Reynders H, Colles A, Morrens B, Mampaey M, Coertjens D, Koppen G, Schoeters G, Loots I, Chovanova H, Winderickx W, van Campenhout K (2017). The added value of a surveillance human biomonitoring program: The case of FLEHS in Flanders (Belgium). *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 220 (2): 46–54. doi: 10.1016/j.ijheh.2016.09.013
- Rezić I, Zeiner M, Steffan I (2011). Determination of 28 selected elements in textiles by axially viewed inductively coupled plasma optical emission spectrometry. *Talanta*, 83 (3): 865–871. doi: 10.1016/j.talanta.2010.10.031
- Rovira J, Nadal M, Schuhmacher M, Domingo JL (2015). Human exposure to trace elements through the skin by direct contact with clothing: Risk assessment. *Environmental Research*, 140: 308–316. doi: 10.1016/j.envres.2015.03.032
- Rovira J, Nadal M, Schuhmacher M, Domingo JL (2017). Home textile as a potential pathway for dermal exposure to trace elements: assessment of health risks. *Journal of the Textile Institute*, 108 (11): 1966–1974. doi: 10.1080/00405000.2017.1302635
- Ruiz-Navarro M, Rubio Armendáriz C, Luis González G, Ojeda Feo I, González-Weller DM, Gutiérrez Fernández ÁJ, Hardisson de la Torre A (2013). Metals in edible algae: Evaluation and comparative study. *Revista de Toxicología*, 30 (2): 182–192.
- Salvo A, la Torre GL, Mangano V, Casale KE, Bartolomeo G, Santini A, Granata T, Dugo G (2018). Toxic inorganic pollutants in foods from agricultural producing areas of Southern Italy: Level and risk assessment. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 148: 114–124. doi: 10.1016/j.ecoenv.2017.10.015
- Sanna E, Liguori A, Palmas L, Soro MR, Floris G (2003). Blood and hair lead levels in boys and girls living in two Sardinian towns at different risks of lead pollution. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 55 (3): 293–299. doi: 10.1016/S0147-6513(02)00072-6
- Saoudi A, Dereumeaux C, Gorla S, Berat B, Brunel S, Pecheux M, de Crouy-Chanel P, Zeghnoun A, Rambaud L, Wagner V, le Tertre A, Fillol C, Vandentorren S, Guldner L (2018). Prenatal exposure to lead in France: Cord-blood levels and associated factors: Results from the perinatal component of the French Longitudinal Study since Childhood (Elfe). *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 221 (3): 441–450. doi: 10.1016/j.ijheh.2018.01.007
- Säumel I, Kotsyuk I, Hölscher M, Lenkerei C, Weber F, Kowarik I (2012). How healthy is urban horticulture in high traffic areas? Trace metal concentrations in vegetable crops from plantings within inner city neighbourhoods in Berlin, Germany. *Environmental Pollution*, 165: 124–132. doi: 10.1016/j.envpol.2012.02.019
- Schneider K, Schwarz MA, Lindtner O, Blume K, Heinemeyer G (2014). Lead exposure from food: the German LEXUKon project. *Food Additives and Contaminants, Part A: Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment*, 31 (6): 1052–1063. doi: 10.1080/19440049.2014.905875

- Schneider K, Recke S, Kaiser E, Götte S, Berkefeld H, Lässig J, Rüdiger T, Lindtner O, Oltmanns J (2019). Consumer behaviour survey for assessing exposure from consumer products: a feasibility study. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 29 (1): 83–94. doi: 10.1038/s41370-018-0040-2
- Schoeters G, Govarts E, Bruckers L, den Hond E, Nelen V, de Henauw S, Sioen I, Nawrot TS, Plusquin M, Vriens A, Covaci A, Loots I, Morrens B, Coertjens D, van Larebeke N, de Craemer S, Croes K, Lambrechts N, Colles A, Baeyens W (2017). Three cycles of human biomonitoring in Flanders – Time trends observed in the Flemish Environment and Health Study. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 220 (2): 36–45. doi: 10.1016/j.ijheh.2016.11.006
- Schultze B, Lind PM, Larsson A, Lind L (2014). Whole blood and serum concentrations of metals in a Swedish population-based sample. *Scandinavian Journal of Clinical and Laboratory Investigation*, 74 (2): 143–148. doi: 10.3109/00365513.2013.864785
- DIN EN 71 - 3 (2018). Sicherheit von Spielzeug – Teil 3: Migration bestimmter Elemente; Deutsche Fassung EN 71-3:2013+A3:2018. NASG, Normenausschuss Sicherheitstechnische Grundsätze. DIN, Deutsches Institut für Normung (Hg.), Berlin, DE: Beuth Verlag. Verfügbar unter <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-71-3/290440334>. [geprüft: DIN EN 71 3:2013-07]
- Sieke C, Lindtner O, Banasiak U (2008). Pflanzenschutzmittelrückstände. Nationales Monitoring – Abschätzung der Verbrauchereexposition: Teil 2 [German food monitoring - Refined design for consumer exposure assessment: Part 2]. *Deutsche Lebensmittel-Rundschau*, 104 (7): 336–342.
- Sirots VS, Traore T, Guérin T, Noel L, Bachelot M, Cravedi J-P, Mazur A, Glorennec P, Vasseur P, Jean J, Carne G, Gorecki S, Riviere G, Hulin M (2018). French infant total diet study: Exposure to selected trace elements and associated health risks. *Food and Chemical Toxicology*, 120: 625–633. doi: 10.1016/j.fct.2018.07.062
- Škrbić B, Živančev J, Mrmoš N (2013). Concentrations of arsenic, cadmium and lead in selected foodstuffs from Serbian market basket: Estimated intake by the population from the Serbia. *Food and Chemical Toxicology*, 58: 440–448. doi: 10.1016/j.fct.2013.05.026
- Sommar JN, Hedmer M, Lundh T, Nilsson L, Skerfving S, Bergdahl IA (2014). Investigation of lead concentrations in whole blood, plasma and urine as biomarkers for biological monitoring of lead exposure. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 24 (1): 51–57. doi: 10.1038/jes.2013.4
- Squadrone S, Brizio P, Stella C, Prearo M, Pastorino P, Serracca L, Ercolini C, Abete MC (2016). Presence of trace metals in aquaculture marine ecosystems of the northwestern Mediterranean Sea (Italy). *Environmental Pollution*, 215: 77–83. doi: 10.1016/j.envpol.2016.04.096
- Stiftung Warentest (2017). Bleigießen: Besser bleifrei ins Neue Jahr. Test.de : Meldungen, (2 PDF S./PDF). Verfügbar unter <https://www.test.de/Bleigiessen-Besser-bleifrei-ins-Neue-Jahr-4484000-0/> – Zugriff: 2018-11-08.
- Stroh E, Lundh T, Oudin A, Skerfving S, Strömberg U (2009). Geographical patterns in blood lead in relation to industrial emissions and traffic in Swedish children, 1978-2007. *BMC Public Health*, 9: 225 [14 S.]. doi: 10.1186/1471-2458-9-225
- T-Online (2017). Neues EU-Gesetz: Darum gibt es 2018 kein Bleigießen mehr. (3 S./PDF). Verfügbar unter https://www.t-online.de/leben/familie/id_82973848/neues-eu-gesetz-bleigiessen-ab-silvester-2018-verboden.html – Zugriff: 2018-06-30.
- Tagne-Fotso R, Leroyer A, Howsam M, Dehon B, Richeval C, Nisse C, Members of Health Examination Centres of Nord-Pas-de-Calais region network (2016). Current sources of lead exposure and their relative contributions to the blood lead levels in the general adult population of Northern France: The IMEPOGE Study, 2008-2010. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A: Current Issues*, 79 (6): 245–265. doi: 10.1080/15287394.2016.1149131
- Tamburo E, Varrica D, Dongarrà G (2016). Gender as a key factor in trace metal and metalloid content of human scalp hair. A multi-site study. *Science of the Total Environment*, 573: 996–1002. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.08.178
- Tattibayeva D, Nebot C, Miranda JM, Cepeda A, Mateyev E, Erkebaev M, Franco CM (2016). A study on toxic and essential elements in rice from the Republic of Kazakhstan: comparing the level of contamination in rice from the European Community. *Environmental Geochemistry and Health*, 38 (1): 85–98. doi: 10.1007/s10653-015-9687-y
- Tejera RL, Luis G, González-Weller D, Caballero JM, Gutiérrez ÁJ, Rubio C, Hardisson A (2013). Metals in wheat flour; comparative study and safety control. *Nutricion Hospitalaria*, 28 (2): 506–513. doi: 10.3305/nh.2013.28.2.6287
- Tumir H, Bošnjir J, Vedrinaro-Dragojević I, Dragun Z, Tomić S, Puntarić D, Jurak G (2010). Preliminary investigation of metal and metalloid contamination of homeopathic products marketed in Croatia. *Homeopathy*, 99 (3): 183–188. doi: 10.1016/j.homp.2010.05.001
- UBA, Umweltbundesamt (2018a). Blei-Belastung des Menschen. Sinkende Bleikonzentrationen im Vollblut nach Inkrafttreten des Benzin-Blei-Gesetzes. In: *Umweltprobenbank des Bundes*, bereitgestellt von UBA - Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, DE. Verfügbar unter https://www.umweltprobenbank.de/de/documents/selected_results/12700 – Zugriff: 2018-06-30.
- UBA, Umweltbundesamt (2018b). Blei im Feinstaub. Webseite (Update 2018-09-28): <https://www.umweltbundesamt.de/blei-im-feinstaub> – Zugriff: 2018-06-30.

- UBA, Umweltbundesamt (2018c). Blei zu Weihnachten und Silvester. (2 S./PDF). Verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/umwelteinfluesse-auf-den-menschen/besondere-belastungssituationen/blei-zu-weihnachten-silvester> – Zugriff: 2018-08-06.
- Uhl M, Hohenblum P, Scharf S, Trimbacher C (2004). Hausstaub – ein Indikator für Innenraumbelastung. Bericht: BE-258. Wien, AT: Umweltbundesamt GmbH. Verfügbar unter <http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/BE258.pdf>.
- Vandermeersch G, Lourenço HM, Alvarez-Muñoz D, Cunha S, Diogène J, Cano-Sancho G, Sloth JJ, Kwadijk C, Barcelo D, Allegaert W, Bekaert K, Fernandes JO, Marques A, Robbens J (2015). Environmental contaminants of emerging concern in seafood - European database on contaminant levels. *Environmental Research*, 143: 29–45. doi: 10.1016/j.envres.2015.06.011
- Varrica D, Tamburo E, Dongarrà G (2013). Sicilian bottled natural waters: Major and trace inorganic components. *Applied Geochemistry*, 34: 102–113. doi: 10.1016/j.apgeochem.2013.02.017
- Varrica D, Tamburo E, Milia N, Vallascas E, Cortimiglia V, de Giudici G, Dongarrà G, Sanna E, Monna F, Losno R (2014). Metals and metalloids in hair samples of children living near the abandoned mine sites of Sulcis-Inglesiente (Sardinia, Italy). *Environmental Research*, 134: 366–374. doi: 10.1016/j.envres.2014.08.013
- Verordnung (EU) Nr. 231/2012 der Kommission vom 9. März 2012 mit Spezifikationen für die in den Anhängen II und III der Verordnung (EG) Nr. 1333/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates aufgeführten Lebensmittelzusatzstoffe. *Amtsblatt der Europäischen Union L 83/1–L 83/295 (295 S.)*, 2012-03-09. Verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX%3A32012R0231>.
- von Hoffen LP & Säumel I (2014). Orchards for edible cities: Cadmium and lead content in nuts, berries, pome and stone fruits harvested within the inner city neighbourhoods in Berlin, Germany. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 101 (1): 233–239. doi: 10.1016/j.ecoenv.2013.11.023
- Vrijens J, Leermakers M, Stalpaert M, Schoeters G, den Hond E, Bruckers L, Colles A, Nelen V, van den Mierop E, van Larebeke N, Loots I, Baeyens W (2014). Trace metal concentrations measured in blood and urine of adolescents in Flanders, Belgium: Reference population and case studies Genk-Zuid and Menen. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 217 (4-5): 515–527. doi: 10.1016/j.ijheh.2013.10.001
- Ward EM, Schulte PA, Straif K, Hopf NB, Caldwell JC, Carreón T, Demarini DM, Fowler BA, Goldstein BD, Hemminki K, Hines CJ, Pursiainen KH, Kuempel E, Lewtas J, Lunn RM, Lyng E, McElvenny DM, Muhle H, Nakajima T, Robertson LW, Rothman N, Ruder AM, Schubauer-Berigan MK, Siemiatycki J, Silverman D, Smith MT, Sorahan T, Steenland K, Stevens RG, Vineis P, Zahm SH, Zeise L, Coglianò VJ (2010). Research recommendations for selected IARC-classified agents. *Environmental Health Perspectives*, 118 (10): 1355–1362. doi: 10.1289/ehp.0901828
- Wennberg M, Lundh T, Sommar JN, Bergdahl IA (2017). Time trends and exposure determinants of lead and cadmium in the adult population of northern Sweden 1990–2014. *Environmental Research*, 159: 111–117. doi: 10.1016/j.envres.2017.07.029
- WHO, World Health Organization, IAEA, International Atomic Energy Agency (1989). *Minor and Trace Elements in Breast Milk: Report of a Joint WHO/IAEA Collaborative Study (159 S)*. Geneva, CH: WHO World Health Organization. Verfügbar unter <http://apps.who.int/iris/handle/10665/39678> – Zugriff: 2018-06-30.
- WHO, World Health Organization (2007). *Blood Lead Levels in Children – Fact Sheet No. 4.5. (4 Seiten)*. Copenhagen, DK: WHO Regional Office for Europe. Verfügbar unter http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0004/97447/4.5.pdf – Zugriff: 2018-06-30.
- WHO, World Health Organization, IPCS, International Programme on Chemical Safety & IOMC, Inter-Organization Programme for the Sound Management of Chemicals (2008). *Uncertainty and Data Quality in Exposure Assessment. Part 1: Guidance Document on Characterizing and Communicating Uncertainty in Exposure Assessment. Part 2: Hallmarks of Data Quality in Chemical Exposure Assessment. Bericht: IPCS Harmonization Project Document No. 6 (175 S)*. Geneva, CH: WHO World Health Organisation. Verfügbar unter http://www.who.int/ipcs/methods/harmonization/areas/hazard_assessment/en/ – Zugriff: 2018-06-30.
- WHO, World Health Organization (2009). *Levels of Lead in Children’s Blood – Fact Sheet No. 4.5. (8 Seiten)*. Copenhagen, DK: WHO Regional Office for Europe. Verfügbar unter http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0003/97050/4.5.-Levels-of-lead-in-childrens-blood-EDITING_layouted.pdf – Zugriff: 2018-06-30.
- WHO, World Health Organization (2010a). *Childhood Lead Poisoning (74 S)*. Geneva, CH: WHO World Health Organisation. Verfügbar unter <http://www.who.int/ceh/publications/leadguidance.pdf> – Zugriff: 2018-06-30.
- WHO, World Health Organization (2010b). *Exposure to Lead: A Major Public Health Concern. (6 Seiten)*. Geneva, CH: WHO World Health Organisation. Verfügbar unter <https://www.who.int/ipcs/features/lead..pdf>.
- WHO, World Health Organization (2017). *Lead Poisoning and Health – Fact Sheet. (5 S./PDF)*. Verfügbar unter <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs379/en/> – Zugriff: 2018-06-30.
- Wilhelm M, Wittsiepe J, Schrey P, Feldmann 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): 493–503. doi: 10.1078/1438-4639-00256

- Wilhelm M, Eberwein G, Hölzer J, Gladtko D, Angerer J, Marczyński B, Behrendt H, Ring J, Sugiri D, Ranft U (2007). Influence of industrial sources on children's health - Hot spot studies in North Rhine Westphalia, Germany. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 210 (5): 591–599. doi: 10.1016/j.ijheh.2007.02.007
- Ysart G, Miller P, Croasdale M, Crews H, Robb P, Baxter M, de L'Argy C, Harrison N (2000). 1997 UK Total Diet Study dietary exposures to aluminium, arsenic, cadmium, chromium, copper, lead, mercury, nickel, selenium, tin and zinc. *Food Additives and Contaminants*, 17 (9): 775–786. doi: 10.1080/026520300415327
- Ziegler S, Wolf C, Salzer-Muhar U, Schaffer A, Konnaris C, Rüdiger H, Osterode W (2002). Acute lead intoxication from a mug with a ceramic inner surface [2]. *American Journal of Medicine*, 112 (8): 677–678. doi: 10.1016/S0002-9343(02)01096-3
- Zietz BP, Laß J, Suchenwirth R (2007). Assessment and management of tap water lead contamination in Lower Saxony, Germany. *International Journal of Environmental Health Research*, 17 (6): 407–418. doi: 10.1080/09603120701628719
- Zietz BP, Laß J, Dunkelberg H, Suchenwirth R (2009). Die Bleibelastung des niedersächsischen Trinkwassers verursacht durch Korrosion von Rohrleitungsmaterialien [Lead pollution of drinking water in Lower Saxony from corrosion of pipe materials]. *Gesundheitswesen*, 71 (5): 265–274. doi: 10.1055/s-0029-1202325

6 Anhang

6.1 Schlagwortliste

Schlagwortliste Stand 2.9.2018

1. Ebene	2. Ebene	3. Ebene
Abfall	Abfall	Abfall
Abfall	Altpapier	Altpapier
Abfall	Kläranlagen	Kläranlagen
Abfall	Kläranlagen	Klärschlamm
Abfall	Kompostierung	Kompostierung
Abfall	Müllverbrennung	Verbrennungsprozesse
Analytik	Analytik	Analyse
Analytik	Analytik	Analytik
Analytik	Ausstattung	Gas-Chromatographie
Analytik	Ausstattung	Gaschromatographie-Massenspektrometrie
Analytik	Ausstattung	GC/MS
Analytik	Ausstattung	GC-MS
Analytik	Ausstattung	GC-MS/MS
Analytik	Ausstattung	ICP-MS
Analytik	Messung	Messdaten
Analytik	Messung	Messfehler
Analytik	Messung	Messgenauigkeit
Analytik	Messung	Messmethoden
Analytik	Messung	Messung
Analytik	Messung	Messunsicherheit
Analytik	Messung	Messverfahren
Analytik	Messung	Messwerte
Analytik	Messung	Solid-phase extraction
Analytik	Probennahme	Probennahme
Analytik	Probennahme	Probengewinnung
Analytik	Probennahme	Probenplanung
Analytik	Probennahme	Probenvorbereitung
Analytik	Probennahme	Stichprobe
Analytik	Probennahme	Stichproben-Konzept
Analytik	Qualitätskontrolle	Bestimmungsgrenze
Analytik	Qualitätskontrolle	gute Laborpraxis
Analytik	Qualitätskontrolle	Laborvergleich
Analytik	Qualitätskontrolle	Nachweisgrenze
Analytik	Qualitätskontrolle	SOP
Bewertung	Risiko	akut
Bewertung	Risiko	akzidentell
Bewertung	Risiko	ALARA
Bewertung	Risiko	chronisch

Bewertung	Risiko	gestuftes Verfahren
Bewertung	Risiko	Risikoabschätzung
Bewertung	Risiko	Risikoabschätzung, quantitativ
Bewertung	Risiko	Risikoanalyse
Bewertung	Risiko	Risikobericht
Bewertung	Risiko	Risikobewertung
Bewertung	Risiko	Risikobewertung, qualitativ
Bewertung	Risiko	Risikobewertung, quantitative
Bewertung	Risiko	Risikocharakterisierung
Bewertung	Risiko	Risikokommunikation
Bewertung	Risiko	Risikomanagement
Bewertung	Statistische Verfahren	Repräsentativität
Bewertung	Statistische Verfahren	Sensitivität
Bewertung	Statistische Verfahren	Sensitivitätsanalyse
Bewertung	Statistische Verfahren	Sicherheitsfaktoren
Bewertung	Statistische Verfahren	Umweltbelastung
Bewertung	Statistische Verfahren	Unsicherheit
Bewertung	Statistische Verfahren	Unsicherheitsanalyse
Bewertung	Statistische Verfahren	Variabilität
Bewertung	Statistische Verfahren	Varianz
biomarker	Biomarker	Biomarker
biomarker	Blut	Coproporphyrin
biomarker	Blut	delta aminolävulininsäure
Schwermetall	Blei	Blei
Schwermetall	Bleiaufnahme	Bleiaufnahme
Schwermetall	Bleisalze	Bleisalze
Schwermetall	Blei-Toxizität	Blei-Toxizität
Schwermetall	Bleivergiftung	Bleivergiftung
Schwermetall	Tetraethylblei	Tetraethylblei
Schwermetall	Tetramethylblei	Tetramethylblei
Boden/Staub	Boden	Boden
Boden/Staub	Boden	Bodenaufnahme
Boden/Staub	Boden	Boden-Ingestion
Boden/Staub	Boden	Bodenkontamination
Boden/Staub	Hausstaub	Feinstaub
Boden/Staub	Hausstaub	Hausstaub
Boden/Staub	Hausstaub	Partikel
Boden/Staub	Hausstaub	Staub
Chemie	anorganisch	anorganisch
Chemie	Chemische Reaktion	Chelatbildner
Chemie	Chemische Reaktion	chemische Reaktionen
Chemie	Chemische Reaktion	Radikale
Chemie	Nano	Nanopartikel
Chemie	Nano	Nano-Produkte
Chemie	Nano	Nanotechnologie

Chemie	Stoff	Erdöl
Chemie	Stoff	Metalle
Chemie	Stoff	Mineralien
Chemie	Stoff	Mineralöle
Chemie	Stoff	Schwermetalle
		Comprehensive European Food Consumption Data Base
Daten	Datenbank	
Effekt	Allgemein	Durst
Effekt	Allgemein	Gesundheitsschäden
Effekt	Allgemein	Metallgeschmack
Effekt	Blut	Anämie
Effekt	Blut	Mikrozytäre hypochrome Anämie
Effekt	Dosis Wirkung	Dosis-Wirkung
Effekt	Dosis Wirkung	Dosis-Wirkungs-Beziehung
Effekt	Dosis Wirkung	Dosis-Wirkungs-Modelle
Effekt	Dosis Wirkung	Referenzdosis
Effekt	Dosis Wirkung	Referenzwerte
Effekt	Effekt	Berufskrankheit
Effekt	Gastrointestinal	Bauchschmerzen
Effekt	Gastrointestinal	Durchfall, Diarrhoe
Effekt	Gastrointestinal	Schwarzer Stuhlgang
Effekt	Gastrointestinal	Übelkeit
Effekt	Gastrointestinal	Verstopfung
Effekt	Genexpression	DNA-Defekt
Effekt	Genexpression	DNA-Veränderung
Effekt	Gesundheit	Gesundheitsrisiko
Effekt	Herz- Kreislauf	Blutdruck
Effekt	Herz- Kreislauf	Bluthochdruck
Effekt	Hormone	endokrine Disruptoren
Effekt	Hormone	Fertilität
Effekt	Kanzerogenität	Brustkrebs
Effekt	Kanzerogenität	Carcinogenität
Effekt	Kanzerogenität	Darmkrebs
Effekt	Kanzerogenität	Hautkrebs
Effekt	Kanzerogenität	Leukämie
Effekt	Kanzerogenität	Magenkrebs
Effekt	Lunge	Asthma
Effekt	Muskel-Skelett	Muskelschwäche
Effekt	Nieren	Oligurie
Effekt	Sensibilisierung	Allergene
Effekt	Sensibilisierung	Allergenizität
Effekt	Sensibilisierung	Allergie
Effekt	Sensibilisierung	Hypersensitivität
Effekt	Vergiftung	giftige Substanzen
Effekt	Vergiftung	Vergiftung
Effekt	ZNS	enzephalopathie

Effekt	ZNS	Gehirn
Effekt	ZNS	Intelligenz
Effekt	ZNS	Intelligenzquotient
Effekt	ZNS	IQ
Effekt	ZNS	Parästhesie
Effekt	ZNS	Übelkeit
Emission	Emission	Emission
Emission	Emission	Emissionsquellen
Emission	Emission	Emissionsrate
Emission	Emission	Emissionsszenario
Exposition	Expoart	Exposition, aggregierte
Exposition	Expoart	Exposition, akute
Exposition	Expoart	Exposition, berufliche
Exposition	Expoart	Exposition, chronische
Exposition	Expoart	Exposition, interne
Exposition	Expoart	Exposition, kombinierte
Exposition	Expoart	Exposition, kumulative
Exposition	Expoart	Exposition, pränatale
Exposition	Expoart	Expositionsschätzung
Exposition	Expoart	Kurzzeit(exposition)
Exposition	Expoart	Langzeitexposition
Exposition	Expoart	außen
Exposition	Expoart	Außenluft
Exposition	Expoart	Chemische Reinigung
Exposition	Expoart	Innenraum
Exposition	Expoart	Innenraum Luftqualität
Exposition	Expoart	Innenraumbelastung
Exposition	Expoart	Innenraumkonzentration
Exposition	Expoart	Innenraumluft
Exposition	Exposition	Exposition
Exposition	Expositionsdaten	Expositionsdaten
Exposition	Expositionsdaten	Expositionsdauer
Exposition	Expositionsdaten	Expositionsfaktoren
Exposition	Expositionsdaten	Expositionskategorien
Exposition	Expositionsdaten	Expositionsparameter, stoffspezifische
Exposition	Expositionsmodell	Migrationsmodell
Exposition	Expositionsmodell	Modell
Exposition	Expositionspfad	Ablagerungen
Exposition	Expositionspfad	Adhäsion
Exposition	Expositionspfad	Adsorption
Exposition	Expositionspfad	Aufnahmepfade
Exposition	Expositionspfad	Aufnahmepfade, oral, inhalativ, dermal
Exposition	Expositionspfad	Deposition
Exposition	Expositionspfad	dermal
Exposition	Expositionspfad	Diffusion

Exposition	Expositionspfad	Expositionspfad
Exposition	Expositionspfad	Expositionsweg
Exposition	Expositionspfad	Feuchtigkeit
Exposition	Expositionspfad	Haut
Exposition	Expositionspfad	inhalativ
Exposition	Expositionspfad	oral
Exposition	Expositionspfad	parenteral
Exposition	Expositionspfad	Persistenz
Exposition	Expositionsquelle	Exposition durch Lebensmittel
Exposition	Expositionsquelle	Expositionsquelle
Exposition	Expositionsquelle	Kontaminanten
Exposition	Expositionsquelle	natürliches Vorkommen
Exposition	Expositionsquelle	Kosmetik
Exposition	Expositionsquelle	Verunreinigung
Exposition	Expositionsschätzung	Aufnahmeschätzung
Exposition	Expositionsschätzung	Expositionsberechnung
Exposition	Expositionsschätzung	Expositionsbewertung
Exposition	Expositionsschätzung	Expositionsmodell
Exposition	Expositionsschätzung	Expositionsschätzung
Exposition	Expositionsschätzung	Expositionsschätzung, konservative
Exposition	Expositionsschätzung	Expositionsschätzung, quantitative
Exposition	Expositionsszenario	Expositionssituation
Exposition	Expositionsszenario	Expositionsstandards
Exposition	Expositionsszenario	Expositionsszenarien
Exposition	Expositionsszenario	Expositionsübersicht
Exposition	Expositionsszenario	Expositionsvorhersagen
Exposition	Qualitätskontrolle	Gute Expositionspraxis
Exposition	Verbraucherexposition	Anwenderexposition
Kinetik	Aufnahme	Absorption
Kinetik	Aufnahme	Aufnahme
Kinetik	Aufnahme	Aufnahme, geschätzte
Kinetik	Aufnahme	Aufnahme, tägliche
Kinetik	Aufnahme	Aufnahmemodell
Kinetik	Elimination	Ausscheidung
Kinetik	Elimination	Creatinin-Clearance
Kinetik	Kinetik	Akkumulation
Kinetik	Kinetik	Belastung
Kinetik	Kinetik	Bio-Akkumulation
Kinetik	Kinetik	Bioverfügbarkeit
Kinetik	Kinetik	Blutkonzentration
Kinetik	Kinetik	Clearance-Rate
Kinetik	Kinetik	Dosis
Kinetik	Kinetik	Hautabsorption
Kinetik	Kinetik	Hintergrundbelastung
Kinetik	Kinetik	Interaktion

Kinetik	Kinetik	Kinetik
Kinetik	Kinetik	Kompartiment Modell
Kinetik	Kinetik	Konzentration
Kinetik	Kinetik	Körperlast
Kinetik	Kinetik	Spermien
Kinetik	Kinetik	Urin
Lebensmittel	Additive	Zusatzstoffe
Lebensmittel	algae	Algen
Lebensmittel	Babynahrung	Babynahrung
Lebensmittel	Babynahrung	Kindernahrung
Lebensmittel	Eier und Eiprodukte	Eier
Lebensmittel	Ergänzungsmittel	Nahrungsergänzungsmittel
Lebensmittel	Fisch und Fischprodukt	Fisch
Lebensmittel	Fisch und Fischprodukt	Krabben
Lebensmittel	Fisch und Fischprodukt	Krebs
Lebensmittel	Fisch und Fischprodukt	Krustentiere
Lebensmittel	Fisch und Fischprodukt	Makrele
Lebensmittel	Fisch und Fischprodukt	Meeresfisch
Lebensmittel	Fisch und Fischprodukt	Meeresfrüchte
Lebensmittel	Fisch und Fischprodukt	Schalentiere
Lebensmittel	Fisch und Fischprodukt	Süßwasserfisch
Lebensmittel	Fleisch	Gefügel
Lebensmittel	Fleisch	Huhn
Lebensmittel	Fleisch	Lamm
Lebensmittel	Fleisch	Rindfleisch
Lebensmittel	Fleisch	Rotwild
Lebensmittel	Fleisch	Schafe
Lebensmittel	Fleisch	Schwein
Lebensmittel	Fleisch	Schweinefleisch
Lebensmittel	Fleisch	Wild
Lebensmittel	Fleisch Produkt	salami
Lebensmittel	Früchte	Obst
Lebensmittel	Früchte	Trauben
Lebensmittel	Gemüse	Gemüse, allg
Lebensmittel	Gemüse	Paprika
Lebensmittel	Gemüse	Salat
Lebensmittel	Getränk	Bier
Lebensmittel	Getränk	Fruchtsaft
Lebensmittel	Getränk	Limonade
Lebensmittel	Getränk	Wein
Lebensmittel	Getreide und Backwaren	Backwaren
Lebensmittel	Getreide und Backwaren	Brot
Lebensmittel	Getreide und Backwaren	Reis
Lebensmittel	Getreide und Backwaren	Weizen
Lebensmittel	Kräuter	Chili

Lebensmittel	Kräuter	Gewürze
Lebensmittel	Kräuter	Kräuter
Lebensmittel	Lebensmittel	Lebensmittel
Lebensmittel	Lebensmittel Verpackung	Lebensmittelverpackungen
Lebensmittel	Lebensmittelsicherheit	Lebensmittelsicherheit
Lebensmittel	Milch und Milchprodukt	Käse
Lebensmittel	Milch und Milchprodukt	Milch
Lebensmittel	Milch und Milchprodukt	Muttermilch
Lebensmittel	Milch und Milchprodukt	Schmelzkäse
Lebensmittel	Nährstoff	Nährstoffe
Lebensmittel	Nüsse und Hülsenfrüchte	Hülsenfrucht
Lebensmittel	Nüsse und Hülsenfrüchte	Nüsse
Lebensmittel	Öl	Öle
Lebensmittel	Öl	Sojaöl
Lebensmittel	Öl	Speiseöl
Lebensmittel	Pflanze	Pflanzen
Lebensmittel	Pflanze	Pilze
Lebensmittel	Salz	Salz
Lebensmittel	Suppe	Suppe
Lebensmittel	Suppe	Suppenpulver
Lebensmittel	Tee	schwarzer Tee
Lebensmittel	Tee	Tee
Lebensmittel	Verarbeitetes LM	Lebensmittel, industriell hergestellt
Lebensmittel	Verarbeitetes LM	Lebensmittel, verarbeitet
Lebensmittel	Gesamt	Exposition
Lebensmittel	Fertiglebensmittel	Säuglings- und Kleinkindernahrung
Monitoring	Biomonitoring	Biomonitoring
Monitoring	Biomonitoring	HBM
Monitoring	Biomonitoring	Human-Biomonitoring
Monitoring	Kinetik	Blutkonzentration
Monitoring	Kinetik	Blutspiegel
Monitoring	Kinetik	body burden
Monitoring	Lebensmittel	LM-Monitoring
Monitoring	Lebensmittel	gezieltes Monitoring
Monitoring	Lebensmittel	TDS
Monitoring	Boden/Hausstaub	Hausstaub
Monitoring	Boden/Hausstaub	Boden
Monitoring	Verbraucherprodukt	Spielzeug
Monitoring	Verbraucherprodukt	Textil
Monitoring	Kosmetik	Messprogramm
Monitoring	Monitoring	ambient monitoring
Monitoring	Pestizide	Rückstände
Monitoring	Survey	Umwelt-Monitoring
Monitoring	Survey	Umwelt-Survey
Parameter	Expositionsdaten	Luftwechselrate

Parameter	Expositionsdaten	Raumgröße
Parameter	Expositionsdaten	Schichtdicke
Parameter	Körpermaß	Atemfrequenz
Parameter	Körpermaß	Atemraten
Parameter	Körpermaß	Atemvolumen
Parameter	Körpermaß	Atmung
Parameter	Körpermaß	Hände
Parameter	Körpermaß	Hautoberfläche
Parameter	Körpermaß	Körperfett
Parameter	Körpermaß	Körpergewicht
Parameter	Körpermaß	Körpergröße
Parameter	Körpermaß	Körpermasse
Parameter	Körpermaß	Körperoberfläche
Parameter	Körpermaß	Kreatinin
Parameter	Körpermaß	Lungenfunktion
Parameter	Körpermaß	Oberfläche
Biometrie	Körperfunktion	Blut
Biometrie	Körperfunktion	Blutbildung
Biometrie	Körperteil	Fruchtwasser
Biometrie	Körperteil	Haar
Biometrie	Körperteil	Mundhöhle
Biometrie	Körperteil	Placenta
Biometrie	Körperteil	Schwangerschaft
population	Alter	Alter
population	alter	Babys
population	alter	Erwachsene
population	Alter	Jugendliche
population	Alter	Kind
population	Alter	Kinder
population	Alter	Neugeborene
population	Alter	Senioren
population	Geschlecht	Frauen
population	Geschlecht	Geschlecht
population	Geschlecht	Mädchen
population	Geschlecht	Männer
population	Geschlecht	Schwangere
population	Ort	Arbeitsplatz
population	Population	Allgemeinbevölkerung
population	Population	Arbeiter
population	Population	Bevölkerung
population	Population	Mensch
population	Verhalten	Angler
Privates Umfeld	Haushalt	Außenbereich
Privates Umfeld	Haushalt	Bad
Privates Umfeld	Haushalt	Dusche

Privates Umfeld	Haushalt	Haushalt
Privates Umfeld	Haushalt	Innenraum
Privates Umfeld	Haushalt	Kindergarten
Privates Umfeld	Haushalt	Schlafzimmer
Privates Umfeld	Haushalt	Schule
Privates Umfeld	Haushalt	Wohnbereich
Privates Umfeld	Haushalt	Wohnraum
Prozess Charakterisierung	Arzneimittel	Antidot
Prozess Charakterisierung	Arzneimittel	Arzneimittelrückstände
Prozess Charakterisierung	Arzneimittel	Ayurvedische Arzneimittel
Prozess Charakterisierung	Arzneimittel	Hormone
Prozess Charakterisierung	Befragung	ad-hoc-Befragung
Prozess Charakterisierung	Luft	Luft
Prozess Charakterisierung	Luft	Raumluft
Prozess Charakterisierung	Boden	Transfer
Prozess Charakterisierung	Saison	Saisonalität
Prozess Charakterisierung	Studententyp	Duplikatstudie
Prozess Charakterisierung	Studententyp	Epidemiologie
Prozess Charakterisierung	Studententyp	Meta-Analyse
Prozess Charakterisierung	Studententyp	Kammertest
Prozess Charakterisierung	Verbrennung	Verbrennungsprozesse
Prozess Charakterisierung	Verhalten	Aufnahme
Prozess Charakterisierung	Verhalten	German Environmental Survey
Prozess Charakterisierung	Verhalten	gesunde Freiwillige
Prozess Charakterisierung	Verhalten	hand-to-mouth
Prozess Charakterisierung	Verhalten	Heizen
Prozess Charakterisierung	Verhalten	Hygiene
Prozess Charakterisierung	Verhalten	Hyperaktivität
Prozess Charakterisierung	Verhalten	imprägnieren
Prozess Charakterisierung	Verhalten	Ingestion
Prozess Charakterisierung	Verhalten	Jagd
Prozess Charakterisierung	Verhalten	Kindergarten
Prozess Charakterisierung	Verhalten	mouthing
Prozess Charakterisierung	Verhalten	Mundhygiene
Prozess Charakterisierung	Verhalten	Passivrauchen
Prozess Charakterisierung	Verhalten	Rauchen
Prozess Charakterisierung	Verhalten	Räuchern
Prozess Charakterisierung	Verhalten	Sport
Prozess Charakterisierung	Verhalten	Stillen
Prozess Charakterisierung	Verhalten	Vegetarier
Prozess Charakterisierung	Verhalten	Verbraucher
Prozess Charakterisierung	Verhalten	Verhaltens
Prozess Charakterisierung	Verhalten	Verwendung
Prozess Charakterisierung	Verhalten	Verzehr
Prozess Charakterisierung	Verwendung	Haustiere

Prozess Charakterisierung	Verwendung	Heimwerker
Prozess Charakterisierung	Verwendung	Konservierungsstoffe
Recherche	Literatursuche	Literaturrecherche
Recherche	Literatursuche	Referenz
Deutschland	Baden-Württemberg	
Deutschland	Bayern	
Deutschland	Berlin	
Deutschland	Bremen	
Deutschland	gesamt	
Deutschland	Hamburg	
Deutschland	Hessen	
Deutschland	Mecklenburg- Vorpommern	
Deutschland	Niedersachsen	
Deutschland	Nordrhein-Westfalen	
Deutschland	NRW	
Deutschland	Rheinland-Pfalz	
Deutschland	Saarland	
Deutschland	Sachsen	
Deutschland	Sachsen-Anhalt	
Deutschland	Schleswig-Holstein	
Deutschland	Thüringen	
Europa	Belgien	
Europa	Dänemark	
Europa	France	
Europa	Griechenland	
Europa	Grossbritannien	
Europa	Holland	
Europa	Irland	
Europa	Island	
Europa	Italien	
Europa	Kroatien	
Europa	Lettland	
Europa	Litauen	
Europa	Niederlande	
Europa	Nordische Länder	
Europa	Norwegen	
Europa	Österreich	
Europa	Ostsee	
Europa	Polen	
Europa	Portugal	
Europa	Schweden	
Europa	Schweiz	
Europa	Slowakei	
Europa	Spanien	
Europa	Tschechien	

Europa	Ungarn	
Europa	United Kingdom	
Europa	europa	
region	Land	Land
region	Landwirtschaft	Landwirtschaft
region	region	regional
region	Städtisch	Stadt
Regulation	Expositionsschätzung	reasonable worst case
Regulation	Grenzwert	ADI
Regulation	Grenzwert	akute Referenzdosis
Regulation	Grenzwert	akzeptable Tagesdosis
Regulation	Grenzwert	ARfD
Regulation	Grenzwert	DNEL
Regulation	Grenzwert	Grenzwerte
Regulation	Grenzwert	Höchstwert
		Provisorische tolerierbare wöchentliche
Regulation	Grenzwert	Dosis
Regulation	Grenzwert	PTWI
Regulation	Grenzwert	TDI
Regulation	regulation	Biozid-Richtlinie
Regulation	Regulation	Codex Alimentarius
	Risiko Minderungs Maß-	
Regulation	nahme	Expositionsreduktion
Regulation	Risiko-Prinzip	ALARA
Schwermetall	Blei	Blei
Schwermetall	Blei	Bleiaufnahme
Schwermetall	Bleisalze	Bleisalze
Schwermetall	Blei-Toxizität	Blei-Toxizität
Schwermetall	Bleivergiftung	Bleivergiftung
Schwermetall	Tetraethylblei	Tetraethylblei
Schwermetall	Tetramethylblei	Tetramethylblei
Verbraucherprodukt	Baby Artikel	Babypflege
Verbraucherprodukt	Baby Artikel	Babyprodukte
Verbraucherprodukt	Baby Artikel	Schnuller
Verbraucherprodukt	Bauprodukt	Baumaterialien
Verbraucherprodukt	Bauprodukt	Bauprodukte
Verbraucherprodukt	Bauprodukt	Beschichtungen
Verbraucherprodukt	Bauprodukt	Beton
Verbraucherprodukt	Bauprodukt	Dämmstoffe
Verbraucherprodukt	Bauprodukt	Dichtstoffe
Verbraucherprodukt	Bauprodukt	Dichtungsmittel
Verbraucherprodukt	Bauprodukt	Dichtungsschaum
Verbraucherprodukt	Bauprodukt	Flammschutzmittel
Verbraucherprodukt	Bauprodukt	Fugendichtung
Verbraucherprodukt	Bauprodukt	Kitt
Verbraucherprodukt	Bauprodukt	Montageschaum

Verbraucherprodukt	Bauprodukt	Mörtel
Verbraucherprodukt	Bauprodukt	Parkett
Verbraucherprodukt	Bauprodukt	PVC
Verbraucherprodukt	Bauprodukt	PVC-Belag
Verbraucherprodukt	Bauprodukt	PVC-Produkte
Verbraucherprodukt	Bauprodukt	Tapete
Verbraucherprodukt	Biozide	Biozide
Verbraucherprodukt	Elektrogeräte	Elektrogeräte
Verbraucherprodukt	Elektrogeräte	Espressomaschine
Verbraucherprodukt	Elektrogeräte	Kaffeemaschine
Verbraucherprodukt	Farben/Lacke	Abbeizer
Verbraucherprodukt	Farben/Lacke	Antifouling-Anstriche
Verbraucherprodukt	Farben/Lacke	Azofarbstoffe
Verbraucherprodukt	Farben/Lacke	Beizen
Verbraucherprodukt	Farben/Lacke	Dichtungsstoffe
Verbraucherprodukt	Farben/Lacke	Dispersionsfarbe
Verbraucherprodukt	Farben/Lacke	Entferner
Verbraucherprodukt	Farben/Lacke	Farben
Verbraucherprodukt	Farben/Lacke	Lacke
Verbraucherprodukt	Farben/Lacke	Lösemittel
Verbraucherprodukt	Farben/Lacke	Ölfarbe
Verbraucherprodukt	Farben/Lacke	Parkettlacke
Verbraucherprodukt	Farben/Lacke	Parkettversiegelung
Verbraucherprodukt	Gummi	Gummidichtung
Verbraucherprodukt	Gummi	Radiergummi
Verbraucherprodukt	Haushalt	Bedarfsgegenstände
Verbraucherprodukt	Haushalt	Fotochemikalien
Verbraucherprodukt	Haushalt	Haushaltschemikalien
Verbraucherprodukt	Haushalt	Haushaltsprodukte
Verbraucherprodukt	Haushalt	Keramik
Verbraucherprodukt	Haushalt	Lederwaren
Verbraucherprodukt	Haushalt	Möbel
Verbraucherprodukt	Haushalt	Nuckel
Verbraucherprodukt	Haushalt	Papier
Verbraucherprodukt	Haushalt	Papiertaschentücher
Verbraucherprodukt	Haushalt	Pappe
Verbraucherprodukt	Haushalt	Porzellan
Verbraucherprodukt	Haushalt	Schaumstoffe
Verbraucherprodukt	Haushalt	Schmuck
Verbraucherprodukt	Haushalt	Schraubdeckel
Verbraucherprodukt	Haushalt	Schreibwaren
Verbraucherprodukt	Haushalt	Sex-Spielzeug
Verbraucherprodukt	Haushalt	Thermalpapier
Verbraucherprodukt	Haushalt	Tinten
Verbraucherprodukt	Haushalt	Tischdecken etc.

Verbraucherprodukt	Haushalt	Toner
Verbraucherprodukt	Haushalt	Verpackungsmaterial
Verbraucherprodukt	Haushalt	Verschlüsse
Verbraucherprodukt	Haushalt	Zelte
Verbraucherprodukt	Haushalt	Kerzen
Verbraucherprodukt	Heimtextil	Bettwäsche
Verbraucherprodukt	Heimtextil	Fussbodenbelag
Verbraucherprodukt	Heimtextil	Matratzen
Verbraucherprodukt	Heimtextil	Teppich
Verbraucherprodukt	Heimtextil	Vorhänge
Verbraucherprodukt	Textil	Pyjama
Verbraucherprodukt	Hobby, Freizeit	Bastel-Artikel
Verbraucherprodukt	Hobby, Freizeit	Bastelklebstoffe
Verbraucherprodukt	Hobby, Freizeit	Haftklebstoffe
Verbraucherprodukt	Hobby, Freizeit	Hobby-Artikel
Verbraucherprodukt	Hobby, Freizeit	Spachtelmasse
Verbraucherprodukt	Holz	Holz
Verbraucherprodukt	Holz	Spanplatten
Verbraucherprodukt	Holz	Holzschutzmittel
Verbraucherprodukt	Hygiene Produkt	Hygieneartikel
Verbraucherprodukt	Hygiene Produkt	Körperpflegeprodukte
Verbraucherprodukt	Hygiene Produkt	Seife
Verbraucherprodukt	Hygiene Produkt	Tampons
Verbraucherprodukt	Hygiene Produkt	Windeln
Verbraucherprodukt	Hygiene Produkt	Zahnbürsten
Verbraucherprodukt	Kleber	Parkettkleber
Verbraucherprodukt	Kleber	Sekundenkleber
Verbraucherprodukt	Kleber	Teppichkleber
Verbraucherprodukt	Kleber	Zwei-Komponenten-Kleber
Verbraucherprodukt	Kosmetik	Anti-Schuppen-Shampoo
Verbraucherprodukt	Kosmetik	Anti-Transpirantien
Verbraucherprodukt	Kosmetik	Badeutensilien
Verbraucherprodukt	Kosmetik	Duschgel
Verbraucherprodukt	Kosmetik	Enthaarungsmittel
Verbraucherprodukt	Kosmetik	Haarfärbemittel
Verbraucherprodukt	Kosmetik	Haarpflege
Verbraucherprodukt	Kosmetik	Haarpflegeprodukte
Verbraucherprodukt	Kosmetik	Haarspray
Verbraucherprodukt	Kosmetik	Hautpflege
Verbraucherprodukt	Kosmetik	Körperlotion
Verbraucherprodukt	Kosmetik	Kosmetika
Verbraucherprodukt	Kosmetik	Parfüme
Verbraucherprodukt	Kosmetik	Seife
Verbraucherprodukt	Kosmetik	Lippenprodukte
Verbraucherprodukt	Kunstrasen	Kunstrasen

Verbraucherprodukt	Kunstrasen	Rasen, künstlich
Verbraucherprodukt	Migration	Leaching
Verbraucherprodukt	Migration	Migration
Verbraucherprodukt	Migration	Migrationsstudie
Verbraucherprodukt	Pestizid	Fungizide
Verbraucherprodukt	Pestizid	Herbicide
Verbraucherprodukt	Pestizid	Insektizide
Verbraucherprodukt	Pestizid	Pestizide
Verbraucherprodukt	Pestizid	Pflanzenschutzmittel
Verbraucherprodukt	Pestizid	Repellantien
Verbraucherprodukt	Plastik	Gehäusekunststoffe
Verbraucherprodukt	Plastik	Kabelisolierungen
Verbraucherprodukt	Plastik	Kunststoff
Verbraucherprodukt	Plastik	Kunststoffverpackungen
Verbraucherprodukt	Produkt	Plastik
Verbraucherprodukt	Produkt	Produkte
Verbraucherprodukt	Produktidentifizierung	Klassifikation
Verbraucherprodukt	Reiniger	Allzweckreiniger
Verbraucherprodukt	Reiniger	Desinfektionsmittel
Verbraucherprodukt	Reiniger	Detergenzien, Waschmittel
Verbraucherprodukt	Reiniger	Haushaltsreiniger
Verbraucherprodukt	Reiniger	Ofenreiniger
Verbraucherprodukt	Reiniger	Reinigung
Verbraucherprodukt	Reiniger	Reinigungsmittel
Verbraucherprodukt	Reiniger	Sanitärreiniger
Verbraucherprodukt	Reiniger	Scheuermittel
Verbraucherprodukt	Reiniger	Teppichreiniger
Verbraucherprodukt	Spielzeug	Knete
Verbraucherprodukt	Spielzeug	Puppe, Figur
Verbraucherprodukt	Spielzeug	Bausteine
Verbraucherprodukt	Spielzeug	Fahrzeug
Verbraucherprodukt	Spielzeug	allgemein
Verbraucherprodukt	Sprays, Aerosole	Aerosole
Verbraucherprodukt	Sprays, Aerosole	Spray
Verbraucherprodukt	Tabak	e-Zigaretten
Verbraucherprodukt	Tabak	Tabak
Verbraucherprodukt	Tabak	Zigaretten
Verbraucherprodukt	Tattoo	Hautaufkleber
Verbraucherprodukt	Tattoo	Tattoos
Verbraucherprodukt	Tattoo	Tattoos, abwaschbare
Verbraucherprodukt	Textil	Regenmäntel
Verbraucherprodukt	Textil	Textilien
Verbraucherprodukt	Textil	Wolle
Wasser	Oberflächenwasser	Abwasser
Wasser	Oberflächenwasser	Flusswasser

Wasser	Oberflächenwasser	Gewässer
Wasser	Grundwasser	Grundwasser
Wasser	Mineralwasser	Mineralwasser
Wasser	Oberflächenwasser	Regenwasser
Wasser	Trinkwasser	Bleirohre
Wasser	Wasser	Wasser

6.2 Beispiel für „_Synopsis_Etchevers.A_2015.DOCX“

Titel der Publikation	Environmental determinants of different blood lead levels in children: A quantile analysis from a nationwide survey
Autor(en)	Anne Etchevers, Alain Le Tertre, Jean-Paul Lucas, Philippe Bretin, Youssef Oulhote, Barbara Le Bot, Philippe Glorennec
Jahr	2015
Kurzbeschreibung	<p>HBM Studie bei 484 Kindern, die randomisiert rekrutiert wurden, nach Gespräch mit Eltern. Die Studie ist Teil eines französischen Survey in F bei 3831 Kindern.</p> <p>Die mittlere Konzentration (GM) im Blut: 13,8 µg/l 95 % Vertrauensbereich des GM: 12.7–14.9 95. Perzentil: 32,8 µg/l</p> <p>Die Konzentrationen wurden mit verschiedenen Quellen der Exposition korreliert.</p> <p>Folgende mögliche Quellen wurden untersucht:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hausstaub und gewöhnlicher Flächenstaub, • Keramik, • traditionelle Kosmetika, • Spielplatz Boden und -staub, • Leitungswasser, • Farben • Tabak Dunst/Rauch <p>Alle waren mit dem GM assoziiert. Hausstaub und Leitungswasser zeigten den höchsten Anteil am GM und dem 95. Perzentil der Blei Blutspiegel. Die Konzentrationen im Hausstaub wurden auch an anderer Stelle publiziert (z.B. Glorennec, 2012)</p>
Qualität	Die Studie wurde in hoher Qualität durchgeführt.
Unsicherheiten	Keine wesentlichen Unsicherheiten
Fazit	Arbeit gibt Auskunft über die Höhe der internen Belastung, gemessen an der Konzentration im Blut, und möglichen Quellen der Belastung. Hier scheint dem Hausstaub und dem Leitungswasser eine besondere Rolle zuzukommen
Bedeutung für Expositions-schätzungen	Für Vergleichszwecke mit deutschen Daten sehr wertvolle Arbeit. Die Arbeit gibt Hinweise auf nicht-lebensmittel bedingte Quellen der Exposition

6.3 Beispiel für die Tabelle „_Uebersicht_Etchevers.A.2015.XLSX“

Bibliographische Daten und Auswertung	Übersicht und Bewertungen
Autor(en)	Anne Etchevers, Alain Le Tertre, Jean-Paul Lucas, Philippe Bretin, Youssef Oulhote, Barbara Le Bot, Philippe Glorennec
Titel	Environmental determinants of different blood lead levels in children: A quantile analysis from a nationwide survey
Kurztitel	Etchevers.A_2015

Bibliographische Daten und Auswertung	Übersicht und Bewertungen		
Journal	Environment International 74 (2015) 152–159		
Jahr	2015		
Publikation	Journal Article		
Art der Studie	HBM Studie		
Name der Studie	Projet Plomb-habitat		
Exposition	Interne Exposition		
Quellen der Exposition	mehrere Quellen		
Humandaten	keine		
Stichwörter nach BfR Liste	1. Ebene	2. Ebene	3. Ebene
	Monitoring	Biomonitoring	HBM
	Population	Alter	Kinder
	Boden/Staub	Hausstaub	Boden/Staub
	Wasser	Trinkwasser	
	Verbraucherprodukt	Farben/Lacke	
	Verbraucherprodukt	Kosmetik	
	Verbraucherprodukt	Haushalt	Keramik
	Verbraucherprodukt	Tabak	Tabak
Bewertung der Qualität	Score	EndNote	
IPCS	3,38	4,00	
XProb	2,93	5,00	
gesamt		4,00	
Unsicherheit			
BfR-Schema	Fragestellung und allgemeine Betrachtung tragen nicht zur Unsicherheit bei		
BfR-Szenario	nicht bewertet	Keine Expositionsschätzung	
BfR-Modell	nicht bewertet	Keine Modellschätzung	
BfR_Parameter	Auswahl der Probanden und Probandinnen wurde randomisiert durchgeführt		