

XI – 1.5

Orientierungswerte – Human-Biomonitoring

CH. SCHULZ und M. KOLOSSA-GEHRING, Berlin

Einleitung

Human-Biomonitoring (HBM) ist ein Werkzeug der gesundheitsbezogenen Umweltbeobachtung. Im HBM werden menschliche Körperflüssigkeiten und -gewebe untersucht, um ihre Belastung mit Schadstoffen zu bestimmen. So wird zum Beispiel analysiert, wie hoch die Bleigehalte bei Einzelpersonen oder Bevölkerungsgruppen im Blut sind. Das HBM dient somit der Erfassung und Beobachtung aber auch der Bewertung der tatsächlichen inneren (körperlichen) Schadstoffbelastungen bzw. der von einzelnen Personen oder Bevölkerungsgruppen.

Die in Körperflüssigkeiten und -geweben messbaren Stoff- oder Metabolitenkonzentrationen reflektieren die Gesamtbelastung des Menschen aus verschiedenen Quellen (Nahrung, Trinkwasser, Luft, Boden, Bedarfsgegenstände u. a. m.) und stellen das Integral über alle Aufnahmepfade (über die Atemwege, durch den Mund oder die Haut) dar. Die individuellen Besonderheiten einer Person hinsichtlich Aufnahme (Resorption), Stoffwechsel (Metabolismus) und Ausscheidung gehen dabei unmittelbar in das Untersuchungsergebnis ein.

1 Kommission Human-Biomonitoring des Umweltbundesamtes

Zur Klärung grundsätzlicher Fragen des HBM haben 1992 das ehemalige Bundesgesundheitsamt (BGA) und das Umweltbundesamt (UBA) gemeinsam die „Kommission Human-Biomonitoring“ gegründet [3, 4, 57]. Nach Auflösung des BGA ist die Kommission in die alleinige Zuständigkeit des UBA übergegangen.

Mitglieder der Kommission sind Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus Bundes- und Landesbehörden, Universitäten, Hygiene-Instituten und Kliniken, die aufgrund ihrer fachlichen Kompetenz vom Präsidenten des UBA für die Dauer von jeweils drei Jahren berufen werden (zuletzt 2010). Neben

den Mitgliedern gibt es ständige Gäste der Kommission: Vertreterinnen und Vertreter der Arbeitsgemeinschaft der Obersten Landesgesundheitsbehörden, des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, des Bundesministeriums für Gesundheit, des Robert Koch-Instituts, des Bundesinstituts für Risikobewertung und des Umweltbundesamtes. Des Weiteren werden themenbezogen Sachverständige als beratende Gäste hinzugezogen.

1.1 Grundsatzüberlegungen zum HBM

Die Kommission hat für ihre Arbeit den Begriff Human-Biomonitoring definiert sowie Möglichkeiten und Voraussetzungen des HBM beschrieben [5]. Zu diesen Voraussetzungen gehört auch die Qualitätssicherung, die neben verlässlichen chemisch-analytischen Grundlagen auch Mindestanforderungen an die Probenahme und an die zu dokumentierenden Informationen über die Probanden, die bei HBM-Untersuchungen einzuhalten sind, einschließt [6]. Dem Bedarf der Bewertung von HBM-Messergebnissen gerecht werdend, erarbeitete die Kommission Kriterien für die Ableitung von Beurteilungswerten [7].

1.2 Stoffmonographien, Stellungnahmen zu aktuellen Fragen und Addenden

Auf der Basis der Grundsatzüberlegungen [5, 6, 7] erstellt die Kommission Monografien zu einzelnen Stoffen und leitet Referenz- und HBM-Werte ab, soweit das vorhandene Datenmaterial ausreicht. Diese Stoffmonografien enthalten im Wesentlichen folgende Inhalte: Vorkommen, Verwendung und Verbreitung der Substanz in der Umwelt, Aufnahmepfade, Verstoffwechslung und Ausscheidung beim Menschen, Angaben zur inneren Belastung von Menschen und deren gesundheitliche Bedeutung sowie Hinweise auf Einflussfaktoren. Die bisher erschienenen Stoffmonographien sind im Literaturverzeichnis aufgeführt.

Die Kommission bezieht darüber hinaus Stellung zu aktuellen und speziellen Fragen des HBM, die in der Öffentlichkeit oder in Fachkreisen diskutiert werden. Bisher hat die Kommission zu folgenden Fragestellungen Stellung genommen: „Speicheltest – Quecksilberbelastung durch Amalgamfüllungen“ [9], „Aluminium“ [13], „Formaldehyd und Human-Biomonitoring“ [20], „Einsatz von Chelatbildnern in der Umweltmedizin?“ [21], „Gemeinsame Stellungnahme der Kommission ‚Human-Biomonitoring‘ des Umweltbundesamt und des Arbeitskreises der Umweltmedizinischen Beratungsstellen/Ambulanzen (AK UMB/UMA) zur Stoffmonographie Pentachlorphenol“ [1], „Selen und Human-Biomonitoring“ [23], „Abschätzung der zusätzlichen Aufnahme von PCB in Innenräumen durch die Bestimmung der PCB-Konzentrationen in Plasma bzw. Vollblut“ [29], „Verwendung von Hämoglobin-Addukten als Biomarker für das Monitoring von Belastungen und Beanspruchungen durch genotoxische Stoffe“ [28], „Commentary regarding the article by Drasch et al.: Scientific comment on the German human biological monitoring values (HBM values) for mercury“ [2], „Normierung von Stoffgehalten im Urin – Kreatinin“ [34], „Haaranalyse in der Umweltmedizin“ [33], „Empfehlungen zum Einsatz von Human-Biomonitoring bei einer stör- oder unfallbedingten Freisetzung von Chemikalien mit Exposition der Bevölkerung“ [40], „Naphthalin/Naphthol und Human-Biomonitoring“ [44] und „Acrylamid und Human-Biomonitoring“ [45].

Dem wissenschaftlichen Erkenntnisprozess folgend bewertete die Kommission Blei [25, 53] und Quecksilber [55] erneut und aktualisierte die Konzeption der Referenzwerte [47].

2 Orientierungswerte

Damit die inneren Schadstoffbelastungen von Menschen, die nicht beruflich belastet sind, einheitlich bewertet werden können, hat die Kommission HBM des UBA Kriterien für die Erarbeitung von Orientierungswerten aufgestellt und leitet danach die so genannten Referenz- und HBM-Werte ab [7, 47]. Diese Werte gelten für die Allgemeinbevölkerung und finden Anwendung in der Umweltmedizin.

2.1 Referenzwerte

Der Referenzwert für einen chemischen Stoff in einem Körpermedium (z. B. Blut, Urin) ist ein Wert,

der aus einer Reihe von Messwerten einer Stichprobe aus einer definierten Bevölkerungsgruppe nach einem vorgegebenem statistischen Verfahren abgeleitet ist [7, 47]. Zur statistischen Definition und rechnerischen Ermittlung eines Referenzwertes aus einer Reihe von Messwerten wird auf die Richtlinie der UPAC verwiesen [56]. Die Kommission HBM legt, in Anlehnung an diese Schrift, als Referenzwert das innerhalb des 95 %-Konfidenzintervall gerundete 95. Perzentil der Messwerte einer Stoffkonzentration in dem entsprechenden Körpermedium der Referenzpopulation fest. Außerdem werden, wo sinnvoll und anhand der Datenlage möglich, Referenzwerte für besonders belastete bzw. für bezüglich bestimmter Belastungen bereinigte Teilgruppen angegeben (z. B. Cadmium im Blut für Nichtraucher).

Nach Möglichkeit werden die Referenzwerte an einer geeigneten Referenzpopulation, wie den Umwelt-Surveys [58], ermittelt. Sie ermöglichen u. a.

- die Beschreibung des Ist-Zustandes (so genannte Grundbelastung) bei einer bestimmten Bevölkerungsgruppe mit oder ohne erkennbare spezifische Belastung zum Zeitpunkt der Untersuchung,
- die Festlegung einer besonderen Belastung von Einzelpersonen oder Personengruppen mit Stoffen,
- die Überprüfung von Qualitätszielen für die menschliche Belastung unter präventivmedizinischen Aspekten und
- die Verwendung als Beurteilungsmaßstab bei epidemiologischen Untersuchungen von Populationen mit besonderer Umweltbelastung ohne die Notwendigkeit, zusätzliche umfangreiche Vergleichskollektive zu untersuchen.

Die Kommission weist ausdrücklich darauf hin, dass die Referenzwerte rein statistisch definierte Werte sind, denen per se keine gesundheitliche Bedeutung zukommt. Referenzwerte wurden für die folgenden Stoffe/Verbindungen abgeleitet und aktualisiert:

- für perfluorierte Verbindungen (PFOA, PFOS) im Blutplasma (*Tab. 1*) [48],
- für die DEHP-Metabolite 5oxo-MEHP und 5OH-MEHP im Urin (*Tab. 2*) [35],
- für Antimon, Arsen und die Metalle Blei, Cadmium, Nickel, Quecksilber, Platin, Thallium und Uran im Urin (*Tab. 3*) [8, 11, 12, 17, 22, 27, 30, 32, 36, 39, 52],
- für Chlorphenole im Urin und Pentachlorphenol im Serum (*Tab. 4*) [10, 19, 24, 54],

Tabelle 1: Referenzwerte für perfluorierte Verbindungen im Blutplasma

Analyt	Personengruppe	Bezugsjahr ^a	ReferenzWert ^b
PFOA [48]	Frauen, Männer und Kinder jünger als 10 Jahre ¹	2003–2007	10 µg/l
PFOS [48]	Frauen ¹	2003–2007	20 µg/l
	Männer ¹	2003–2007	25 µg/l
	Kinder jünger als 10 Jahre ¹	2003–2007	10 µg/l

^a Jahre, in denen die zu Grunde liegenden Daten erhoben wurden;

^b bei der Anwendung von Referenzwerten ist grundsätzlich die analytische Messunsicherheit zu berücksichtigen, d. h. bei der Bewertung von HBM-Messwerten ist sicherzustellen, dass die Analysen unter den Bedingungen der internen und externen Qualitätssicherung durchgeführt wurden;

PFOA: Perfluorooctansäure; PFOS: Perfluorooctansulfonsäure

¹ Datenquelle: basierend auf Angaben aus der Literatur

Tabelle 2: Referenzwerte für die Summe der DEHP-Metabolite: 5oxo-MEHP und 5OH-MEHP im Urin

Analyt	Personengruppe	Bezugsjahr ^a	ReferenzWert ^b
5oxo-MEHP [28]	Kinder ¹ und Erwachsene ² jedoch keine streng repräsentativen Referenzkollektive	2001/02 und 2002	150 µg/l
5OH-MEHP [28]	Kinder ¹ und Erwachsene ² jedoch keine streng repräsentativen Referenzkollektive	2001/02 und 2002	220 µg/l

^a Jahre, in denen die zu Grunde liegenden Daten erhoben wurden;

^b bei der Anwendung von Referenzwerten ist grundsätzlich die analytische Messunsicherheit zu berücksichtigen, d. h. bei der Bewertung von HBM-Messwerten ist sicherzustellen, dass die Analysen unter den Bedingungen der internen und externen Qualitätssicherung durchgeführt wurden;

¹ Datenquelle: Becker K et al. (2004) DEHP metabolites in urine of children and DEHP in house dust. Int J Hyg Environ Health 207:409–417;

² Datenquelle: Koch HM et al. (2003) Internal exposure of the general population to DEHP and other phthalates – determination of secondary and primary phthalate monoester metabolites in urine. Environ Res 93:117–185

Tabelle 3: Referenzwerte für Antimon, Arsen und Metalle (Pb, Cd, Ni, Hg, Pt, Tl, U) im Urin oder im Blut

Analyt und Probenmaterial	Personengruppe	Bezugsjahr ^a	Referenzwert ^b
Antimon im Morgenurin [52]	Kinder (3–14 Jahre) ¹	2003/06	0,3 µg/l
Arsen im Morgenurin [30, 52]	Kinder (3–14 Jahre) ohne Fischverzehr 48 Stunden vor der Probenahme ¹ Erwachsene (18–69 Jahre) ohne Fischverzehr 48 Stunden vor der Probenahme ²	2003/06 1997/99	15,0 µg/l
Blei im Vollblut [8, 32, 39, 52]	Kinder (3–14 Jahre) ¹ Frauen (18–69 Jahre) ² Männer (18–69 Jahre) ²	2003/06 1997/99 1997/99	35 µg/l 70 µg/l 90 µg/l
Cadmium im Morgenurin [11, 32, 39, 52]	nicht aktiv rauchende Kinder (3–14 Jahre) ¹ Erwachsene (18–69 Jahre) Nichtraucher ²	2003/06 1997/99	0,2 µg/l 0,8 µg/l
Cadmium im Vollblut [11, 32, 39, 52]	nicht aktiv rauchende Kinder (3–14 Jahre) ¹ Erwachsene (18–69 Jahre) Nichtraucher ²	2003/06 1997/99	< 0,3 µg/l ³ 1,0 µg/l
Nickel im Urin [22, 52]	Kinder (3–14 Jahre) ¹ Erwachsene, jedoch kein streng repräsentatives Referenzkollektiv ⁴	2003/06	4,5 µg/l 3 µg/l
Quecksilber im Morgenurin [17, 32, 39, 52]	Kinder (3–14 Jahre) ohne Amalgamfüllungen ¹ Erwachsene (18–69 Jahre) ohne Amalgamfüllungen ²	2003/06 1997/99	0,4 µg/l 1,0 µg/l
Quecksilber im Vollblut [17, 32, 39, 52]	Kinder (3–14 Jahre), Fischkonsum bis dreimal im Monat ¹ Erwachsene (18–69 Jahre) Fischkonsum bis dreimal im Monat ²	2003/06 1997/99	0,8 µg/l 2,0 µg/l
Platin im Morgenurin [27, 52]	Erwachsene (18–69 Jahre) ohne Inlays, Brücken oder Kronen aus Edelmetallen ²	1997/99	10 ng/l
Thallium im Morgenurin [52]	Kinder (3–14 Jahre) ¹	2003/06	0,6 µg/l
Uran im Morgenurin [36, 52]	Kinder (3–14 Jahre) ¹ Erwachsene, jedoch kein streng repräsentatives Referenzkollektiv	2003/06 2001/03	40 ng/l 30–60 ng/l ⁵

^a Jahre, in denen die zu Grunde liegende Studie durchgeführt wurde;

^b Bei der Anwendung von Referenzwerten ist grundsätzlich die analytische Messunsicherheit zu berücksichtigen, d. h. bei der Bewertung von HBM-Messwerten ist sicherzustellen, dass die Analysen unter den Bedingungen der internen und externen Qualitätssicherung durchgeführt wurden

¹ Datenquelle: Kinder-Umwelt-Survey 2003/06; ² Datenquelle: Umwelt-Survey 1998; ³ kein Referenzwert i.S. der Definition, aber sollten Cadmiumgehalte im Blut zuverlässig und bestätigt über 0,3 µg/l auftreten, so muss eine spezifische Cd-Belastung z. B. aktives Tabakrauchen angenommen werden; ⁴ Datenquelle: basierend auf Angaben aus der Literatur; ⁵ kein Referenzwert i.S. der Definition, der angegebene Bereich wird zur Orientierung als Hintergrundbelastung angesehen

Tabelle 4: Referenzwerte für Chlorphenole im Urin und Pentachlorphenol im Serum

Analyt und Probenmaterial	Personengruppe	Bezugsjahr ^a	Referenzwerte ^b
2-Monochlor-phenol im Morgenurin [54]	Kinder (3–14 Jahre) ¹	2003/06	7,0 µg/l
4-Monochlor-phenol im Morgenurin [54]	Kinder (3–14 Jahre) ¹	2003/06	15 µg/l
	Erwachsene (18–69 Jahre) ²	1998	
2,4-Dichlorphenol im Morgenurin [54]	Kinder (3–14 Jahre) ¹	2003/06	2 µg/l
	Erwachsene (18–69 Jahre) ²	1997/99	3 µg/l
2,5-Dichlorphenol im Morgenurin [54]	Kinder (3–14 Jahre) ¹	2003/06	6 µg/l
	Erwachsene (18–69 Jahre) ²	1997/99	20 µg/l
2,6-Dichlorphenol im Morgenurin [54]	Kinder (3–14 Jahre) ¹	2003/06	< 0,3 µg/l ^c
	Erwachsene (18–69 Jahre) ²	1997/99	
2,3,4-Trichlorphenol im Morgenurin [54]	Kinder (3–14 Jahre) ¹	2003/06	< 0,3 µg/l ^c
	Erwachsene (18–69 Jahre) ²	1997/99	
2,4,5-Trichlorphenol im Morgenurin [54]	Kinder (3–14 Jahre) ¹	2003/06	0,5 µg/l
	Erwachsene (18–69 Jahre) ²	1997/99	1 µg/l
2,4,6-Trichlorphenol im Morgenurin [54]	Kinder (3–14 Jahre) ¹	2003/06	0,7 µg/l
	Erwachsene (18–69 Jahre) ²	1997/99	1,5 µg/l
2,3,4,6-Tetrachlorphenol im Morgenurin [54]	Kinder (3–14 Jahre) ¹	2003/06	< 0,3 µg/l ^c
	Erwachsene (18–69 Jahre) ²	1997/99	1,0 µg/l
Pentachlorphenol (PCP) im Morgenurin [10, 19, 24, 54]	Kinder (3–14 Jahre) ¹	2003/06	2,0 µg/l ^c
	Erwachsene (18–69 Jahre) ²	1997/99	5 µg/l
PCP im Serum [10, 19]	Erwachsene (jedoch keine streng repräsentativen Referenzkollektive) ³	1995/96	12 µg/l

^a Jahre, in denen die zu Grunde liegenden Daten erhoben wurden;

^b bei der Anwendung von Referenzwerten ist grundsätzlich die analytische Messunsicherheit zu berücksichtigen, d. h. bei der Bewertung von HBM-Messwerten ist sicherzustellen, dass die Analysen unter den Bedingungen der internen und externen Qualitätssicherung durchgeführt wurden;

¹ Datenquelle: Kinder-Umwelt-Survey 2003/06;

² Datenquelle: Umwelt-Survey 1997/99;

³ Datenquelle: Umwelttoxikologische Studie im Landkreis Pinneberg des Landes Schleswig-Holstein;

Tabelle 5: Referenzwerte für Organophosphat-Metabolite (DMP, DMTP, DMTP, DEP, DETP) im Urin und für Pyrethroid-Metabolite (*cis*-Cl₂CA, *trans*-Cl₂CA und 3-PBA) im Urin

Analyt	Personengruppe	Bezugsjahr ^a	Referenzwert ^b
DMP im Morgenurin [31, 37]	Kinder (3–14 Jahre) ¹	2003/06	75 µg/l
	Allgemeinbevölkerung, jedoch kein streng repräsentatives Referenzkollektiv ²	1998	135 µg/l
DMTP im Morgenurin [31, 37]	Kinder (3–14 Jahre) ¹	2003/06	100 µg/l
	Allgemeinbevölkerung, jedoch kein streng repräsentatives Referenzkollektiv ²	1998	160 µg/l
DMDTP im Morgenurin [31, 37]	Kinder (3–14 Jahre) ¹	2003/06	10 µg/l
DEP im Morgenurin [31, 37]	Kinder (3–14 Jahre) ¹	2003/06	30 µg/l
	Allgemeinbevölkerung, jedoch kein streng repräsentatives Referenzkollektiv ²	1998	16 µg/l
DETP im Morgenurin [31, 37]	Kinder (3–14 Jahre) ¹	2003/06	10 µg/l
<i>cis</i> -Cl ₂ CA im Morgenurin [37, 49]	Kinder (3–14 Jahre) ¹	2003/06	1 µg/l
	Allgemeinbevölkerung, jedoch kein streng repräsentatives Referenzkollektiv ³	1995–2004	
<i>trans</i> -Cl ₂ CA im Morgenurin [37, 49]	Kinder (3–14 Jahre) ¹	2003/06	2 µg/l
	Allgemeinbevölkerung, jedoch kein streng repräsentatives Referenzkollektiv ³	1995–2004	
3-PBA im Morgenurin [37, 49]	Kinder (3–14 Jahre) ¹	2003/06	2 µg/l
	Allgemeinbevölkerung, jedoch kein streng repräsentatives Referenzkollektiv ³	1995–2004	

^a Jahre, in denen die zu Grunde liegende Studie durchgeführt wurde;

^b Bei der Anwendung von Referenzwerten ist grundsätzlich die analytische Messunsicherheit zu berücksichtigen, d. h. bei der Bewertung von HBM-Messwerten ist sicherzustellen, dass die Analysen unter den Bedingungen der internen und externen Qualitätssicherung durchgeführt wurden;

^c kein Referenzwert i.S. der Definition, aber sollten Konzentrationen über diesem Wert auftreten, so muss eine spezifische Belastung angenommen werden;

¹ Datenquelle: Kinder-Umwelt-Survey 2003/06;

² Datenquelle: Gesundheitsamt Frankfurt am Main;

³ Datenquelle: basierend auf Angaben aus der Literatur

PCP: Pentachlorphenol; DMP: Dimethylphosphat, DMTP: Dimethylthiophosphat, DMDTP: Dimethyldithiophosphat, DEP: Diethylphosphat, DETP: Diethylthiophosphat; *cis*-Cl₂CA, *trans*-Cl₂CA: *cis*- und *trans*-3-(2,2-Dichlorvinyl)-2,2-dimethylcyclopropan-1-carbonsäure; 3-PBA: 3-Phenoxybenzoesäure

Tabelle 6: Referenzwerte für Metabolite von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen im Urin

Analyt	Personengruppe	Bezugsjahr ^a	Referenzwert ^b
1-OH-Pyren im Morgenurin [38, 50]	nicht aktiv rauchende Kinder (3–14 Jahre) ¹	2003/06	0,5 µg/l
	nicht aktiv rauchende Erwachsene (18–69 Jahre) ²	1997/99	
1-OH-Phen. im Morgenurin [50]	nicht aktiv rauchende Kinder (3–14 Jahre) ¹	2003/06	0,6 µg/l
2/9-OH-Phen. im Morgenurin [50]	nicht aktiv rauchende Kinder (3–14 Jahre) ¹	2003/06	0,4 µg/l
3-OH-Phen. im Morgenurin [50]	nicht aktiv rauchende Kinder (3–14 Jahre) ¹	2003/06	0,5 µg/l
4-OH-Phen. im Morgenurin [50]	nicht aktiv rauchende Kinder (3–14 Jahre) ¹	2003/06	0,2 µg/l
Σ-OH-Phen. im Morgenurin [50]	nicht aktiv rauchende Kinder (3–14 Jahre) ¹	2003/06	1,5 µg/l

^a Jahre, in denen die zu Grunde liegende Studie durchgeführt wurde;

^b Bei der Anwendung von Referenzwerten ist grundsätzlich die analytische Messunsicherheit zu berücksichtigen, d. h. bei der Bewertung von HBM-Messwerten ist sicherzustellen, dass die Analysen unter den Bedingungen der internen und externen Qualitätssicherung durchgeführt wurden;

¹ Datenquelle: Kinder-Umwelt-Survey 2003/06;

² Datenquelle: Umwelt-Survey 1997/99;

1-OH-Pyren: 1-Hydroxypyren, 1-OH-Phen.: 1-Hydroxyphenanthren, 2/9-OH-Phen.: 2/9-Hydroxyphenanthren, 3-OH-Phen.: 3-Hydroxyphenanthren; 4-OH-Phen.: 4-Hydroxyphenanthren; Σ-OH-Phen.: Summe aller Hydroxyphenanthrenen

Tabelle 7: Referenzwerte für Organochlorverbindungen im Vollblut – PCBs

Analyt	Personengruppe	Bezugsjahr ^a	Referenzwert ^b
PCB 138 [14, 15, 16, 26, 51]	7–14 Jahre ¹	2003/06	0,3 µg/l
	18–19 Jahre ²	1997/99	0,4 µg/l
	20–29 Jahre ²	1997/99	0,6 µg/l
	30–39 Jahre ²	1997/99	0,9 µg/l
	40–49 Jahre ²	1997/99	1,4 µg/l
	50–59 Jahre ²	1997/99	1,7 µg/l
	60–69 Jahre ²	1997/99	2,2 µg/l
PCB 153 [14, 15, 16, 26, 51]	7–14 Jahre ¹	2003/06	0,4 µg/l
	18–19 Jahre ²	1997/99	0,6 µg/l
	20–29 Jahre ²	1997/99	0,9 µg/l
	30–39 Jahre ²	1997/99	1,6 µg/l
	40–49 Jahre ²	1997/99	2,2 µg/l
	50–59 Jahre ²	1997/99	2,8 µg/l
	60–69 Jahre ²	1997/99	3,3 µg/l
PCB 180 [14, 15, 16, 26, 51]	7–14 Jahre ¹	2003/06	0,3 µg/l
	18–19 Jahre ²	1997/99	0,3 µg/l
	20–29 Jahre ²	1997/99	0,6 µg/l
	30–39 Jahre ²	1997/99	1,0 µg/l
	40–49 Jahre ²	1997/99	1,6 µg/l
	50–59 Jahre ²	1997/99	2,1 µg/l
	60–69 Jahre ²	1997/99	2,4 µg/l
Σ PCB (138 + 153 + 180) [14, 15, 16, 26, 51]	7–14 Jahre ¹	2003/06	1,0 µg/l
	18–19 Jahre ²	1997/99	1,1 µg/l
	20–29 Jahre ²	1997/99	2,0 µg/l
	30–39 Jahre ²	1997/99	3,2 µg/l
	40–49 Jahre ²	1997/99	5,1 µg/l
	50–59 Jahre ²	1997/99	6,4 µg/l
	60–69 Jahre ²	1997/99	7,8 µg/l

Anmerkungen: [Jahresangabe] siehe Publikationen: <http://www.uba.de/gesundheit/publikationen/index.htm#khhb>

^a Jahre, in denen die zu Grunde liegenden Daten erhoben wurden;

^b bei der Anwendung von Referenzwerten ist grundsätzlich die analytische Messunsicherheit zu berücksichtigen, d. h. bei der Bewertung von HBM-Messwerten ist sicherzustellen, dass die Analysen unter den Bedingungen der internen und externen Qualitätssicherung durchgeführt wurden;

¹ Datenquelle: Kinder-Umwelt-Survey 2003/06;

² Datenquelle: Umwelt-Survey 1998;

PCB: polychlorierte Biphenyle

Letzte Aktualisierung : 10.06.2009

Tabelle 8: Referenzwerte für Organochlorverbindungen im Vollblut – β -HCH, HCB, DDE

Analyt	Personengruppe	Bezugsjahr ^a	Referenzwert ^b	
β -HCH [51, 53]	7–14 Jahre ¹	2003/06	0,1 $\mu\text{g/l}$	
	18–19 Jahre ²	1997/99	0,3 $\mu\text{g/l}$	
	20–29 Jahre ²	1997/99	0,3 $\mu\text{g/l}$	
	30–39 Jahre ²	1997/99	0,3 $\mu\text{g/l}$	
	40–49 Jahre ²	1997/99	0,3 $\mu\text{g/l}$	
	50–59 Jahre ²	1997/99	0,5 $\mu\text{g/l}$	
	60–69 Jahre ²	1997/99	0,9 $\mu\text{g/l}$	
HCB [51, 53]	7–14 Jahre ¹	2003/06	0,2 $\mu\text{g/l}$	
	18–19 Jahre ²	1997/99	0,4 $\mu\text{g/l}$	
	20–29 Jahre ²	1997/99	0,5 $\mu\text{g/l}$	
	30–39 Jahre ²	1997/99	1,0 $\mu\text{g/l}$	
	40–49 Jahre ²	1997/99	2,5 $\mu\text{g/l}$	
	50–59 Jahre ²	1997/99	3,3 $\mu\text{g/l}$	
	60–69 Jahre ²	1997/99	5,8 $\mu\text{g/l}$	
DDE [51, 53]			Bundesländer	
			alte	neue
	7–14 Jahre ¹	2003/06	0,7 $\mu\text{g/l}$	1,4 $\mu\text{g/l}$
	18–19 Jahre ²	1997/99	1,5 $\mu\text{g/l}$	3 $\mu\text{g/l}$ **
	20–29 Jahre ²	1997/99	2 $\mu\text{g/l}$	5 $\mu\text{g/l}$
	30–39 Jahre ²	1997/99	4 $\mu\text{g/l}$	11 $\mu\text{g/l}$
	40–49 Jahre ²	1997/99	7 $\mu\text{g/l}$	18 $\mu\text{g/l}$
	50–59 Jahre ²	1997/99	8 $\mu\text{g/l}$	31 $\mu\text{g/l}$
	60–69 Jahre ²	1997/99	11 $\mu\text{g/l}$	31 $\mu\text{g/l}$

^a Jahre, in denen die zu Grunde liegenden Daten erhoben wurden;
^b bei der Anwendung von Referenzwerten ist grundsätzlich die analytische Messunsicherheit zu berücksichtigen, d. h. bei der Bewertung von HBM-Messwerten ist sicherzustellen, dass die Analysen unter den Bedingungen der internen und externen Qualitätssicherung durchgeführt wurden;
¹ Datenquelle: Kinder-Umwelt-Survey 2003/06;
² Datenquelle: Umwelt-Survey 1998
 ** basierend auf dem 95. Perzentil der Werte von 28 Probanden
 β -HCH Isomer des Hexachlorcyclohexans; HCB: Hexachlorbenzol; DDE: Dichlordiphenyldichlorethylen

Tabelle 9: Referenzwerte für Organochlorpestizide und PCB in Frauenmilch

Analyt	Bezugsjahr ^a	Referenzwert ^b [mg/kg Fett]
Gesamt-DDT ¹ [18, 46]	2003–2005	0,5
Gesamt-PCB ² [18, 46]	2003–2005	0,5
HCB [18, 46]	2004–2005	0,06
β -HCH [18, 46]	2004–2005	0,07

^a Jahre, in denen die zu Grunde liegenden Daten erhoben wurden;
^b bei der Anwendung von Referenzwerten ist grundsätzlich die analytische Messunsicherheit zu berücksichtigen, d. h. bei der Bewertung von HBM-Messwerten ist sicherzustellen, dass die Analysen unter den Bedingungen der internen und externen Qualitätssicherung durchgeführt wurden;
¹ gilt nur für die alten Bundesländer;
² Gesamt PCB = 1,64*(PCB 138 + PCB 153 + PCB 180)
 DDT: Dichlordiphenyltrichlorethan; PCB: polychlorierte Biphenyle; HCB: Hexachlorbenzol; β -HCH Isomer des Hexachlorcyclohexans

Tabelle 10: Human-Biomonitoring-(HBM)-Werte für Cd, Hg, PCP und DEHP-Metabolite in Urin und/oder Blut

Analyt und Probenmaterial	Personengruppen	HBM-I-Wert	HBM-II-Wert
Blei im Vollblut [8, 25, 53]	Kinder bis einschl. 12 Jahre und Frauen im gebärfähigen Alter Übrige Personen	ausgesetzt	ausgesetzt
Cadmium im Morgenurin [11]	Kinder, Jugendliche und junge Erwachsene < 25 Jahre Erwachsene > 25 Jahre	1 µg/g Crea. 2 µg/g Crea.	3 µg/g Crea. 5 µg/g Crea.
Quecksilber im Morgenurin [2, 17, 55]	Kinder und Erwachsene	5 µg/g Crea. 7 µg/l	20 µg/g Crea. 25 µg/l
Quecksilber im Vollblut [2, 17, 55]	Kinder und Erwachsene* * abgeleitet für Frauen im gebärfähigen Alter. Die Anwendung wird auch auf die anderen Gruppen empfohlen	5 µg/l	15 µg/l
Pentachlorphenol im Serum [1, 10]	Allgemeinbevölkerung	40 µg/l	70 µg/l
Pentachlorphenol im Morgenurin [1, 10]	Allgemeinbevölkerung	20 µg/g Crea. 25 µg/l	30 µg/g Crea. 40 µg/l
Summe der DEHP-Metaboliten: 5oxo- und 5OH-MEHP im Urin [43]	Kinder 6–13 Jahre Frauen im gebärfähigen Alter Männer ab 14 Jahre und restliche Allgemeinbevölkerung	500 µg/l 300 µg/l 750 µg/l	/ / /

- für die Organophosphat-Metabolite (DMP, DMTP, DEP) im Urin (Tab. 5) [31, 49],
- für die Pyrethroid-Metabolite: *cis*-Cl₂CA, *trans*-Cl₂CA und 3-PBA im Urin (Tab. 5) [37, 49],
- für die PAK-Metabolite 1-Hydroxypyren und Hydroxyphenanthrene im Urin (Tab. 6) [38, 50],
- für die Organochlorverbindungen im Vollblut: PCB-138, -153, -180 und deren Summe; β-HCH, HCB sowie für DDE (Tab. 7 und 8) [14, 15, 16, 26, 51],
- für Gesamt-PCB, β-HCH, HCB und Gesamt-DDT in Frauenmilch (Tab. 9) [14, 15, 16, 18, 26, 46, 51].

Die ausführlichen Begründungen für die Festlegungen und Ableitungen der Referenzwerte sind den jeweiligen Stoffmonografien bzw. Stellungnahmen zu entnehmen.

2.2 Human-Biomonitoring-(HBM)-Werte

Die Human-Biomonitoring-(HBM)-Werte (HBM-I und -II) werden dagegen auf der Grundlage von toxikologischen und epidemiologischen Untersuchungen abgeleitet. Bisher stützte sich die Ableitung von toxikologisch begründeten HBM-Werten üblicherweise auf Studien, in denen ein Zusammenhang zwischen der Konzentration eines Stoffes oder seiner Metaboliten in menschlichen Körperflüssigkeiten und dem Auftreten adverser Wirkungen nachgewiesen wurde. Für zahlreiche Substanzen fehlen jedoch Studien zu relevanten biologischen Wirkungen am Menschen. Vor diesem Hintergrund hat sich die Kommission

Gesundheitliche Beeinträchtigung	Handlungsbedarf
möglich	umweltmedizinische Betreuung akuter Handlungsbedarf zur Reduktion der Belastung
HBM-II	
nicht ausreichend sicher ausgeschlossen	Kontrolle der Werte (Analytik, zeitlicher Verlauf) Suche nach spezifischen Belastungsquellen ggf. Verminderung der Belastung unter vertretbarem Aufwand
HBM-I	
nach derzeitiger Bewertung unbedenklich	kein Handlungsbedarf

Abbildung 1: Bedeutung der HBM-Werte

entschieden, zur Ableitung von HBM-Werten künftig auch bereits toxikologisch begründete tolerable Aufnahmemengen mit heranzuziehen [41, 42]. Wohl wissend, dass bei dieser Ableitung und Abschätzung mit Unsicherheiten zu rechnen ist, sieht die Kommission in diesem Ansatz die Chance, dringend benötigte HBM-Werte für Stoffe verfügbar machen zu können, für die es noch keine ausreichenden Wirkungsuntersuchungen im umweltrelevanten Niedrigdosisbereich gibt. Die Kommission hat nach diesem Ableitungsweg erstmalig HBM-I-Werte abgeleitet und zwar für die Summe der DEHP-Metaboliten 5oxo- und 5OH-MEHP im Morgenurin ($\mu\text{g/l}$) zur Bewertung einer Belastung mit DEHP [43].

Der HBM-I-Wert ist quasi als Prüf- oder Kontrollwert anzusehen. Der HBM-II-Wert entspricht der Konzentration eines Stoffes in einem Körpermedium, bei dessen Überschreitung nach dem Stand der derzeitigen Bewertung durch die Kommission eine als relevant anzusehende gesundheitliche Beeinträchtigung möglich ist, sodass akuter Handlungsbedarf zur Reduktion der Belastung besteht und eine umweltmedizinische Betreuung (Beratung) zu veranlassen ist. Der HBM-II-Wert ist somit als Interventions- und Maßnahmenwert anzusehen.

Vorsorglich weist die Kommission darauf hin, dass die HBM-Werte kein Niveau angeben, bis zu dem „aufgefüllt“ werden kann. Bei der Anwendung der HBM-Werte sind ferner Anamnese, Symptomatik und zeitliche Zusammenhänge zu berücksichtigen, um u. a. Präventionsmaßnahmen nicht zu behindern.

Die Kommission hat bisher HBM-Werte für die folgenden Stoffe (Tab. 10) abgeleitet:

- Cadmium im Urin [11],
- Quecksilber im Vollblut und im Urin [2, 17, 55],
- Pentachlorphenol im Serum und im Urin [1, 10],
- DEHP-Metabolite in Urin [43] und
- Blei im Vollblut: In Anbetracht des Fehlens einer Wirkungsschwelle und auf Grund der Einstufung der MAK-Kommission von Blei in die Kat. 2 („als Krebs erzeugend für den Menschen anzusehen“) hat die Kommission die HBM-Werte (HBM-I und HBM-II) für Blei im Blut aller Personengruppen ausgesetzt [8, 25, 53].

Die ausführlichen Begründungen für die Festlegungen und Ableitungen der HBM-Werte sind den jeweiligen Stoffmonographien bzw. Stellungnahmen zu entnehmen.

Diese und weitere Informationen sind abrufbar unter: <http://www.uba.de/gesundheit/monitor/index.htm>.

3 Literatur

- [1] Gemeinsame Stellungnahme der Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes und des Arbeitskreises der Umweltmedizinischen Beratungsstellen/Ambulanzen (AK UMB/UMA) zum Thema „Stoffmonographie Pentachlorphenol“. Bundesgesundheitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitschutz 1999; 42 (12): 968.
- [2] German Human Biomonitoring Commission (2004) Commentary regarding the article by Drasch et al.: Scientific comment on the German human biological monitoring values (HBM values) for mercury. Int J Hyg Environm Health 2002; 207: 179–181. Int J Hyg Environm Health 2004; 207 179–181.
- [3] Kappos A. Ableitung von Grenzwerten (Umweltstandards) – Humanbiomonitoring. In: Wichmann, Schlipkötter, Füllgraf (Hrsg.) Handbuch der Umweltmedizin. 2000, 19. Erg. Lfg. 8/00, III-1-3-11.
- [4] Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes („HBM-Kommission“). Aufgaben, Beurteilungswerte, Stoffmonographien, Mitteilungen, Mitglieder und sonstige Mitwirkende. Umweltmed Forsch Prax 1996; 1 (2): 106.
- [5] Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes. Human-Biomonitoring: Definitionen, Möglichkeiten und Voraussetzungen. Berichte, Bundesgesundhbl 1996; 39 (6): 213–214.
- [6] Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes. Qualitätssicherung beim Human-Biomonitoring. Bundesgesundhbl 1996; 39 (6): 216–221.
- [7] Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes. Konzept der Referenz- und Human-Biomonitoring-Werte (HBM) in der Umweltmedizin. Bundesgesundhbl 1996; 39 (6): 221–224.
- [8] Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes. Stoffmonographie Blei – Referenz- und Human-Biomonitoring-Werte (HBM). Bundesgesundhbl 1996; 39 (6): 236–241.
- [9] Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes. „Speicheltest“ – Quecksilberbelastung durch Amalgamfüllungen. Bundesgesundhbl 1997; 40 (2): 76.
- [10] Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes. Stoffmonographie Pentachlorphenol – Referenz- und Human-Biomonitoring-Werte (HBM). Bundesgesundhbl 1997; 40 (6): 212–222.
- [11] Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes. (1998) Stoffmonographie Cadmium – Referenz- und Human-Biomonitoring-Werte (HBM). Bundesgesundhbl 1998; 41 (5): 218–222.
- [12] Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes. Quecksilber-Referenzwerte. Bundesgesundhbl 1998; 41 (6): 270.
- [13] Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes. Aluminium. Bundesgesundhbl 1998; 41 (6): 271.
- [14] Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes. Referenzwerte für die PCB-Kongener Nr. 138, 153, 180 und deren Summe im Humanblut. Bundesgesundhbl 1998; 41 (9): 416.
- [15] Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes. (1999) Statusbericht zur Hintergrundbelastung mit Organochlorverbindungen in Humanblut. Bundesgesundheitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitschutz 1999; 42 (5): 446–448.
- [16] Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes. Stoffmonographie PCB – Referenzwerte für Blut. Bundesgesundheitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitschutz 1999; 42 (6): 511–521.
- [17] Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes. Stoffmonographie Quecksilber – Referenz- und Human-Biomonitoring-Werte (HBM). Bundesgesundheitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitschutz 1999; 42 (6): 522–532.
- [18] Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes. Referenzwerte für HCB, beta-HCH, DDT und PCB in Frauenmilch. Bundesgesundheitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitschutz 1999; 42 (6): 533–539.
- [19] Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes. Aktualisierung der Referenzwerte für Pentachlorphenol im Serum und im Urin. Bundesgesundheitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitschutz 1999; 42 (7): 599–600.
- [20] Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes. Formaldehyd und Human-Biomonitoring. Bundesgesundheitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitschutz 1999; 42 (10): 820–822.
- [21] Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes. Einsatz von Chelatbildnern in der Umweltmedizin? Bundesgesund-

- heitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitsschutz 1999; 42 (10): 823–824.
- [22] Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes. Nickel. Bundesgesundheitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitsschutz 2001; 44 (12): 1243–1248.
- [23] Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes. Selen und Human-Biomonitoring. Bundesgesundheitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitsschutz 2002; 45 (2): 190–195.
- [24] Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes. Aktualisierung des Referenzwertes für Pentachlorphenol im Morgenurin. Bundesgesundheitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitsschutz 2002; 47 (5): 499–502.
- [25] Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes. Addendum zur „Stoffmonographie Blei – Referenz- und Human-Biomonitoring-Werte“ der Kommission „Human-Biomonitoring“. Bundesgesundheitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitsschutz 2002; 45 (9): 752–753.
- [26] Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes. Aktualisierung der Referenzwerte für PCB-138, -153, -180 im Vollblut sowie Referenzwerte für HCB, β -HCH und DDE im Vollblut. Bundesgesundheitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitsschutz 2003; 46 (2): 161–168.
- [27] Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes. Referenzwert für Platin im Urin. Bundesgesundheitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitsschutz 2003; 46 (5): 448–450.
- [28] Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes. Verwendung von Hämoglobinaddukten als Biomarker für das Monitoring von Belastungen und Beanspruchungen durch genotoxische Stoffe. Bundesgesundheitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitsschutz 2003; 46 (10): 918–922.
- [29] Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes. Abschätzung der zusätzlichen Aufnahme von PCB in Innenräumen durch die Bestimmung der PCB-Konzentrationen in Plasma bzw. Vollblut. Bundesgesundheitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitsschutz 2003; 46 (10): 923–927.
- [30] Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes. Stoffmonographie Arsen – Referenzwert für Urin. Bundesgesundheitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitsschutz 2003; 46 (12): 1098–1106.
- [31] Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes. Innere Belastung der Allgemeinbevölkerung in Deutschland mit Organophosphaten und Referenzwerte für die Organophosphat-Metabolite DMP, DMTP und DEP im Urin. Bundesgesundheitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitsschutz 2003; 46 (12): 1107–1111.
- [32] Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes. Aktualisierung der Referenzwerte für Blei, Cadmium, und Quecksilber im Blut und im Urin von Erwachsenen. Bundesgesundheitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitsschutz 2003; 46 (12): 1112–1113.
- [33] Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes. Haaranalyse in der Umweltmedizin. Bundesgesundheitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitsschutz 2005; 48 (2): 246–250.
- [34] Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes. Normierung von Stoffgehalten im Urin – Kreatinin. Bundesgesundheitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitsschutz 2005; 48 (5): 616–618.
- [35] Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes. Stoffmonographie Di(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP) – Referenzwerte für Soxo-MEHP und SOH-MEHP im Urin. Bundesgesundheitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitsschutz 2005; 48 (6): 706–722.
- [36] Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes. Uran und Human-Biomonitoring. Bundesgesundheitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitsschutz 2005; 48 (7): 822–827.
- [37] Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes. Innere Belastung der Allgemeinbevölkerung in Deutschland mit Pyrethroiden und Referenzwerte für Pyrethroid-Metabolite im Urin. Bundesgesundheitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitsschutz 2005; 48 (10): 1187–1193.
- [38] Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes. 1-Hydroxypyren im Urin als Indikator einer inneren Belastung mit polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) – Referenzwert für 1-Hydroxypyren im Urin. Bundesgesundheitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitsschutz 2005; 48 (10): 1194–1206.
- [39] Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes. Neue und aktualisierte Referenzwerte für Schadstoffgehalte in Blut und Urin von Kindern – Arsen, Blei, Cadmium und Quecksilber. Bundesgesundheitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitsschutz 2005; 48 (11): 1308–1312.
- [40] Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes. Empfehlungen zum Einsatz von Human-Biomonitoring bei einer stö- oder unfallbedingten Freisetzung von Chemikalien mit Exposition der Bevölkerung. Bundesgesundheitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitsschutz 2006; 49 (7): 704–712.
- [41] Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes. Ableitung von Human-Biomonitoring-(HBM)-Werten auf der Basis tolerabler Aufnahmemengen – Teil I: Einführung. Bundesgesundheitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitsschutz 2007; 50 (2): 249–250.
- [42] Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes. Ableitung von Human-Biomonitoring-(HBM)-Werten auf der Basis tolerabler Aufnahmemengen – Teil II: Grundlagen und Ableitungsweg. Bundesgesundheitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitsschutz 2007; 50 (2): 251–254.
- [43] Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes. Ableitung von Human-Biomonitoring-(HBM)-Werten auf der Basis tolerabler Aufnahmemengen – Teil III: HBM-Werte für Di(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP). Bundesgesundheitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitsschutz 2007; 50 (2): 255–259.
- [44] Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes. Naphthalin/Naphthole und Human-Biomonitoring. Bundesgesundheitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitsschutz 2007; 50 (10): 1357–1364.
- [45] Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes. Acrylamid und Human-Biomonitoring. Bundesgesundheitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitsschutz 2008; 51 (1): 98–108.
- [46] Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes. Aktualisierung der Referenzwerte für HCB, β -HCH, DDT und PCB in Frauenmilch. Bundesgesundheitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitsschutz 2008; 51 (10): 1239–1242.
- [47] Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes. Addendum zum Konzept der Referenz- und Human-Biomonitoring-Werte (HBM) in der Umweltmedizin. Bundesgesundheitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitsschutz 2009; 52 (8): 874–877.
- [48] Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes. Referenzwerte für Perfluorooctansäure (PFOA) und Perfluorooctansulfonsäure (PFOS) im Blutplasma. Bundesgesundheitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitsschutz 2009; 52 (8): 878–885.
- [49] Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes. Neue und aktualisierte Referenzwerte für Schädigungsbekämpfungsmittel: Organophosphat- und Pyrethroid-Metabolite im Urin von Kindern in Deutschland. Bundesgesundheitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitsschutz 2009; 52 (10): 964–968.
- [50] Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes. Neue und aktualisierte Referenzwerte für Metabolite von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) im Urin von Kindern in Deutschland. Bundesgesundheitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitsschutz 2009; 52 (10): 969–972.
- [51] Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes. Neue und aktualisierte Referenzwerte für Organochlorverbindungen (PCB 138, PCB 153, PCB 180, HCB, α -HCH und DDE) im Vollblut von Kindern in Deutschland. Bundesgesundheitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitsschutz 2009; 52 (10): 973–976.
- [52] Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes. Neue und aktualisierte Referenzwerte für Antimon, Arsen und Metalle (Blei, Cadmium, Nickel, Quecksilber, Thallium und Uran) im Urin und im Blut von Kindern in Deutschland. Bundesgesundheitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitsschutz 2009; 52 (10): 977–982.
- [53] Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes. 2. Addendum zur „Stoffmonographie Blei – Referenz- und Human-Biomonitoring-Werte“ der Kommission „Human-Biomonitoring“. Bundesgesundheitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitsschutz 2009; 52 (10): 983–986.
- [54] Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes. Stoffmonographie Chlorphenole – Referenzwerte. Bundesgesundheitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitsschutz 2009; 52 (10): 987–1001.
- [55] Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes. Addendum zur „Stoffmonographie Quecksilber – Referenz- und Hu-

- man-Biomonitoring-Werte“ der Kommission „Human-Biomonitoring“. Bundesgesundheitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitsschutz 2009; 52 (12): 1228–1234.
- [56] Poulsen OM, Holst E, Christensen JM. A supplement to the approved IFCC Recommendation on the theory of reference values. *Pure & Appl Chem* 1997;69 (7)1601–1611.
- [57] Schulz C, Angerer J, Ewers U, Kolossa-Gehring M. The German Human Biomonitoring Commission. *Int J Hyg Environm Health* 2007; (210/3–4): 373–382..
- [58] Schulz C, Conrad A, Becker K, Kolossa-Gehring M, Seiwert M, Seifert B. Twenty years of the German Environmental Survey (GerES), Human biomonitoring – Temporal and spatial (West Germany/East Germany) differences in population exposure. *Int J Hyg Environ Health* 2007; (210/3–4): 271–297.