

The MAK Collection for Occupational Health and Safety

Addendum zu Aluminium

Beurteilungswerte in biologischem Material

K. Klotz¹, H. Drexler^{2,*}, A. Hartwig^{3,*}, MAK Commission^{4,*}

¹ Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Institut und Poliklinik für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin, Henkestraße 9–11, 91054 Erlangen

² Leitung der Arbeitsgruppe „Beurteilungswerte in biologischem Material“ der Ständigen Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe, Deutsche Forschungsgemeinschaft, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Institut und Poliklinik für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin, Henkestraße 9–11, 91054 Erlangen

³ Vorsitz der Ständigen Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe, Deutsche Forschungsgemeinschaft, Institut für Angewandte Biowissenschaften, Abteilung Lebensmittelchemie und Toxikologie, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Adenauerring 20a, Geb. 50.41, 76131 Karlsruhe

⁴ Ständige Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe, Deutsche Forschungsgemeinschaft, Kennedyallee 40, 53175 Bonn

* E-Mail: H. Drexler (hans.drexler@fau.de), A. Hartwig (andrea.hartwig@kit.edu), MAK Commission (arbeitsstoffkommission@dfg.de)

Keywords: Aluminium; Biologischer Arbeitsstoff-Referenzwert; BAR; Hintergrundbelastung

Citation Note: Klotz K, Drexler H, Hartwig A, MAK Commission. Addendum zu Aluminium. Beurteilungswerte in biologischem Material. MAK Collect Occup Health Saf [Original-Ausgabe. Weinheim: Wiley-VCH; 2019 Jan;4(1):233–242]. Korrigierte Neuveröffentlichung ohne inhaltliche Bearbeitung. Düsseldorf: German Medical Science; 2025. https://doi.org/10.34865/bb742990verd0024_w

Neuveröffentlichung (Online): 30 Apr 2025

Vormals erschienen bei Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA; <https://doi.org/10.1002/3527600418.bb742990verd0024>

Addendum abgeschlossen: 16 Mrz 2018

Erstveröffentlichung (Online): 30 Jan 2019

Zur Vermeidung von Interessenkonflikten hat die Kommission *Regelungen und Maßnahmen* etabliert.



Dieses Werk ist lizenziert unter einer
Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz.

Addendum zu Aluminium

[Aluminium]

BAT Value Documentation in German language

K. Klotz¹, H. Drexler^{2,*}, A. Hartwig^{3,*}, MAK Commission^{4,*}

DOI: 10.1002/3527600418.bb742990verd0024

Abstract

The German Commission for the Investigation of Health Hazards of Chemical Compounds in the Work Area has evaluated a biological reference value (BAR) for aluminium [CAS No. 7429-90-5] in 2018. Available publications are summarised.

Considering the available studies analysing aluminium in urine, a BAR of 15 µg aluminium/g creatinine was established. Sampling time is for long-term exposures: at the end of the shift after several shifts. For aluminium in blood, the data base is not sufficient for the evaluation of a BAR.

Keywords

Aluminium; BAR; Biologischer Arbeitsstoff-Referenzwert; BAT-Wert; biologischer Toleranzwert; Arbeitsstoff; Toxizität

Author Information

¹ Institut und Poliklinik für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Henkestr. 9–11, 91054 Erlangen

² Leiter der Arbeitsgruppe „Aufstellung von Grenzwerten in biologischem Material“, Deutsche Forschungsgemeinschaft, Institut und Poliklinik für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Henkestr. 9–11, 91054 Erlangen

³ Vorsitzende der Ständigen Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe, Deutsche Forschungsgemeinschaft, Institut für angewandte Biowissenschaften, Abteilung Lebensmittelchemie und Toxikologie, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Adenauererring 20a, Geb. 50.41, 76131 Karlsruhe

⁴ Ständige Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe, Deutsche Forschungsgemeinschaft, Kennedyallee 40, 53175 Bonn

* Email: H. Drexler (hans.drexler@fau.de), A. Hartwig (andrea.hartwig@kit.edu), MAK Commission (arbeitsstoffkommission@dfg.de)

Addendum zu Aluminium

BAR (2018)

15 µg Aluminium/g Kreatinin

Probenahmezeitpunkt: bei Langzeitexposition:
am Schichtende nach mehreren voran-
gegangenen Schichten

BAT (2017)

50 µg Aluminium/g Kreatinin

Probenahmezeitpunkt: bei Langzeitexposition:
am Schichtende nach mehreren voran-
gegangenen Schichten

MAK-Wert

1,5 mg/m³ A (1997)

4 mg/m³ E (2006)

Hautresorption

–

Krebserzeugende Wirkung

–

11 Reevaluierung

Im Jahr 2017 wurde ein BAT-Wert für Aluminium von 50 µg/g Kreatinin festgelegt, der sich an der Beanspruchung orientiert (Drexler und Hartwig 2018). Als kritischer Endpunkt wurde die Neurotoxizität berücksichtigt. Im vorliegenden Addendum wird die Möglichkeit der Ableitung eines Biologischen-Arbeitsstoff-Referenzwertes (BAR) geprüft. Aufgrund der umfassenden Debatte über die Risiken einer Aluminiumexposition in der Allgemeinbevölkerung sowie nach beruflicher Exposition erscheint es der Kommission sinnvoll, zusätzlich zum BAT-Wert einen Biologischen Arbeitsstoff-Referenzwert zu evaluieren, der sich an der Hintergrundbelastung der Allgemeinbevölkerung orientiert.

11.1 Hintergrundbelastung

Eine Übersicht der vorliegenden Studien, in denen die Aluminiumkonzentration im Urin oder im Plasma von Personen ohne berufliche Aluminiumbelastung gemessen wurde, zeigt Tabelle 1.

Bei der Bewertung der vorliegenden Daten ist zu berücksichtigen, dass die analytische Bestimmung von Aluminium mit besonderer Sorgfalt durchgeführt werden muss. Aufgrund des ubiquitären Vorkommens von Aluminium besteht eine hohe Kontaminationsgefahr. Sowohl in der präanalytischen Phase (durch die extrem hohe Hintergrundbelastung) als auch in der analytischen Phase (z. B. spektrale Störungen in Atomabsorptionsspektroskopie und induktiv-gekoppelter Plasma-Massenspektrometrie) können Störungen auftreten.

Tab. 1: Studien zu Gehalten von Aluminium im Urin und im Plasma bei Personen ohne berufliche Aluminiumexposition

Literatur	Land	Kollektiv (Alter)	Aluminium		Bemerkungen
			im Urin	im Blut	
Hoet et al. 2013	Belgien	460 ♂, 541 ♀ (40,1 ± 12,3; 18–80 J)	Med: 2,2 µg/L p95: 9,3 µg/L Med: 2,0 µg/g p95: 7,5 µg/g		ICP-MS; LOD: 1,57 µg/L; Spoturine, nicht nüchtern
Morton et al. 2014	Großbritannien	132 (50 ♀, 82 ♂) Mitarbeiter des HSL ohne Al-Exposition	Med: 3,8 µg/L p95: 25,7 µg/L		ICP-MS; LOQ: 1,3 µg/L
Sieniawska et al. 2012	Großbritannien	111 gesunde Erwachsene, 77 ♂, 34 ♀, 24h-Urin (21–85 J)	Med: 5,4 µg/24 h 95 % KI: < LOD– 22 µg/24 h Med: 3,9 µg/g Krea 95 % KI: < LOD–13,9 µg/g Krea		ICP-MS; LOD: 0,8 µg/L
Goulle et al. 2005	Frankreich	100 gesunde Freiwillige	Med: 1,9 µg/L p95: 11,2 µg/L	Med: 1,3 µg/L B p95: 6,4 µg/L B Med: 3,1 µg/L P p95: 17,3 µg/L P	ICP-MS; LOQ: 1,1 µg/L (Urin), 8,1 µg/L (Blut), 7,7 µg/L (Plasma)

Tab. 1 (Fortsetzung)

Literatur	Land	Kollektiv (Alter)	Aluminium		Bemerkungen
			im Urin	im Blut	
Deschamps et al. 2009	Frankreich	60 ♂ Arbeiter ohne Al-Exposition (35,8 ± 8,15 J)	MW: 4,4 ± 3,7 µg/L (Bereich 0,2–17,5 µg/L)	MW: 3,3 ± 3,4 µg/L (Bereich 0,1–24,1 µg/L P)	ET-AAS; LOD: 2 µg/L; Morgenurin nüchtern
Dereumeaux et al. 2016	Frankreich	990 Schwangere (18–47 J)			ICP-MS; LOQ: 1 µg/L; keine Messwerte, Kontamination des Blindwertes
Cabral Pinto et al. 2017	Portugal	103 Einwohner der portugiesischen Stadt Estarreja (> 55 J)	Med: 18 µg/g Krea MW: 4299 ± 16 500 µg/g Krea		ICP-MS; Anwohner eines Industriegebietes mit früherer starker Umweltkontamination
Nisse et al. 2017	Frankreich	1016 ♂, 976 ♀ (20–59 J), früher stark industriell belastetes Gebiet	n = 1910 Med: 3,1 µg/L P95: 11,5 µg/L ♀ P95: 12,7 µg/L ♂ P95: 9,9 µg/L Med: 2,4 µg/g Krea P95: 13,3 µg/g Krea ♀ P95: 14,8 µg/g Krea ♂ P95: 10,2 µg/g Krea	n = 1992 Med: 3,1 µg/L P95: 11,2 µg/L ♀ P95: 11,2 µg/L ♂ P95: 11,3 µg/L	ICP-MS; LOD: 0,3 µg/L; (Blutwerte gemessen in B&D-Probenröhrchen und Sarstedt-Monovetten; bei den Messungen aus Sarstedt-Monovetten (n = 121) waren Al-Gehalte niedriger (Median: 0,6 µg/L Blut; P95: 6,7 µg/L Blut)

Tab. 1 (Fortsetzung)

Literatur	Land	Kollektiv (Alter)	Aluminium		Bemerkungen
			im Urin	im Blut	
Minoia et al. 1990	Italien (Lombardei)	k. A.	n = 766 MW: 10,9 µg/L (Bereich: 1–31 µg/L)	n = 916 MW: 6 ± 0,4 µg/L S (Bereich: 1–10,9 µg/L S)	Flammen-AAS, ET-AAS, ICP-AES
Alimonti et al. 2005	Italien	110 gesunde Freiwillige aus Rom (20–61 J)	k. A.	Med: 2,0 µg/L S P95: 5,3 µg/L S Med: 15,3 µg/L B P95: 33,3 µg/L B	ICP-MS
Bonforte et al. 1998	Italien	20 Personen	k. A.	6 ± 0,4 µg/L P	GF-AAS
Forrer et al. 2001	Schweiz	110 Freiwillige		Med: 10,0 µg/L S P95: 18,7 µg/L S MW: 11,0 ± 9,0 µg/L S	ICP-MS; LOD: 0,03 µg/L
Valkonen und Aitio 1997	Finnland	44 Personen	n = 44 MW: 8,9 ± 4,9 µg/L (Bereich: 1,9–22,1 µg/L) P95: 17,0 µg/L	n = 21 MW: 1,6 ± 0,8 µg/L (Bereich: 0,5–3,5 µg/L S) P95: 2,4 µg/L S	GF-AAS; LOD: 0,5 µg/L (Serum), LOD: 1,9 µg/L (Urin)

Tab. 1 (Fortsetzung)

Literatur	Land	Kollektiv (Alter)	Aluminium		Bemerkungen
			im Urin	im Blut	
Zeiner et al. 2004	Ungarn	100 Personen der All- gemeinbevölkerung (24–59 J)	Med: 9,9 µg/g Krea MW: 22,5 ± 45,8 µg/g Krea (Bereich: < LOD – 308,7 µg/g Krea)	k. A.	ICP-MS; LOD: 0,1–0,5 µg/L für alle untersuchten Elemente
Wilson et al. 2011	Südafrika	45 ♂, 62 ♀ Freiwillige (18–73 J)	n = 94 MW: 23,7 µg/g Krea Med: 17,7 µg/g Krea (Bereich: 7,2–66,7 µg/g Krea)	n = 92 MW: 8,0 µg/L	ET-AAS; als Ursache für höhere Al-Gehalte als in anderen Studien diskutiert: Kontamination oder Al im Alltag
Henriquez- Hernandez et al. 2017	Spanien	245 seit kurzem in Spanien lebende Afrikaner	k. A.	Med: 60 µg/L MW: 144,4 ± 641,3 (Bereich: 0,4–9323 µg/L)	ICP-MS
Kim et al. 2017	Korea	119 ♂, 139 ♀ (12–78 J)	k. A.	GM: 10,6 µg/L B p95: 18,6 µg/L B	ICP-MS
Wang et al. 1991	Kanada	63 gesunde Erwachsene (24–62 J)	MW: 6,5 ± 3,5 µg/L p97,5: 13,5 µg/L	MW: 1,6 ± 1,4 µg/L S p97,5: 5 µg/L S	GF-AAS; LOD: 0,8 µg/L (Serum), LOD: 0,5 µg/L (Urin)

Tab. 1 (Fortsetzung)

Literatur	Land	Kollektiv (Alter)	Aluminium		Bemerkungen
			im Urin	im Blut	
Komaromy-Hiller et al. 2000	USA	1914 Proben	MW: 13,4 ± 11,4 µg/L Med: 11,0 µg/L p95 ber: 36,1 µg/L		ICP-MS; LOD: 1 µg/L
		1913 Proben	MW: 17,5 ± 15,9 µg/g Krea Med: 13,2 µg/g Krea p95 ber: 49,3 µg/g Krea		

Aluminium: 1 µmol/L = 26,98 µg/L

HSL = Health and Safety Laboratory; AAS = Atomabsorptionsspektrometrie; ET = elektrothermisch; GF = Graphitrohr; ICP-MS = induktiv gekoppelte Plasma-Massenspektrometrie; KI = Konfidenzintervall; LOD = Detektionslimit (limit of detection); LOQ = Bestimmungsgrenze (limit of quantification); J = Jahre; () = Bereich; Med = Median; MW = Mittelwert; Gm = geometrisches Mittel, p95 = 95. Perzentil; ber = bereinigt; B = Blut; P = Plasma; S = Serum; U = Urin; k. A. = keine Angaben

Die Kontamination in der präanalytischen Phase kann durch die Verwendung von geeigneten Urinbechern, die erst direkt vor der Probenahme geöffnet werden, und das Versenden der Urinprobe in diesem Becher ohne nochmaliges Umfüllen weitgehend verhindert werden.

11.2 Evaluierung des Biologischen Arbeitsstoff-Referenzwertes (BAR)

Bei der Ableitung eines Biologischen Arbeitsstoff-Referenzwertes wird die Hintergrundbelastung von beruflich nicht gegen Aluminium exponierten Personen im erwerbsfähigen Alter angegeben, wobei sich dieser Wert am 95. Perzentil orientiert. Daten zur Hintergrundbelastung aus Deutschland liegen derzeit nicht vor. Tabelle 2 zeigt eine Übersicht der Studien, in denen die 95. Perzentile der Aluminiumkonzentration in Urin, Blut, Plasma und Serum aufgeführt sind.

Zur Bestimmung von Aluminium im Urin liegen einige Studien mit einer hohen Zahl an untersuchten Personen (bis n = 1910) vor (Tabelle 1). In 5 dieser Studien werden 95. Perzentile der Aluminiумаusscheidung im Urin angegeben, die zwischen 7,5 und 21,4 µg/g Kreatinin liegen. Anhand dieser Daten wird ein

Biologischer Arbeitsstoff-Referenzwert von 15 µg/g Kreatinin

abgeleitet.

Zur Aluminiumkonzentration in Blut, Plasma und Serum liegen nur vergleichsweise wenige Studien vor und die Ergebnisse für die 95. Perzentile streuen über einen weiten Bereich. Zur Evaluierung eines BAR für Aluminium in Blut, Plasma oder Serum sind daher weitere Studien erforderlich.

Tab. 2: Bewertungsrelevante Studien mit Angabe des 95. Perzentils zur Ableitung des BAR

Studie	n	Urin	Blut	Plasma	Serum
		P95 Al [µg/g Krea]	P95 Al [µg/L]		
Hoet et al. 2013 [#]	1022	7,5			
Morton et al. 2014	132	21,4 [*]			
Goulle et al. 2005	100	9,3 [*]	6,4	17,3	
Nisse et al. 2017	1910	13,3	11,2		
Alimonti et al. 2005	110		33,3		5,3
Forrer et al. 2001	110				18,7
Valkonen und Aitio 1997	44	14,2 [*]			2,4
Kim et al. 2017 ^{##}	258		18,6		

^{*} aus µg/L-Angabe berechneter Wert: 1,2 µg Al/L = 1 µg Al/g Kreatinin

[#] Alter der untersuchten Personen: 18–80 Jahre

^{##} Alter der untersuchten Personen: 12–78 Jahre

12 Literatur

- Alimonti A, Bocca B, Mannella E, Petrucci F, Zennaro F, Cotichini R, D'Ippolito C, Agresti A, Caimi S, Forte G (2005) Assessment of reference values for selected elements in a healthy urban population. *Annali dell'Istituto superiore di sanita* 41: 181–187
- Bonforte G, Surian M, Dozio B, Scanziani R, Baj A, Colombo S, Toffoletto F (1998) Plasma or whole blood concentrations of trace elements in patients treated by haemodiafiltration with on-line prepared substitution fluid. *Nephrology, dialysis, transplantation: official publication of the European Dialysis and Transplant Association – European Renal Association* 13, Suppl 5: 29–33
- Cabral Pinto MM, Marinho-Reis AP, Almeida A, Ordens CM, Silva MM, Freitas S, Simoes MR, Moreira PI, Dinis PA, Diniz ML, Ferreira Da Silva EA, Condesso De Melo MT (2017) Human predisposition to cognitive impairment and its relation with environmental exposure to potentially toxic elements. *Environ Geochem Health* 2017 Mar 9. <https://doi.org/10.1007/s10653-017-9928-3>. [Epub ahead of print]
- Dereumeaux C, Saoudi A, Pecheux M, Berat B, De Crouy-Chanel P, Zaros C, Brunel S, Delamaire C, Le Tertre A, Lefranc A, Vandentorren S, Guldner L (2016) Biomarkers of exposure to environmental contaminants in French pregnant women from the Elf cohort in 2011. *Environ Int* 97: 56–67
- Deschamps FJ, Lesage FX, Chobriat J, Py N, Novella JL (2009) Exposure risk assessment in an aluminium salvage plant. *J Occup Environ Med* 51: 1267–1274
- Drexler H, Hartwig A (Hrsg.) (2018) Addendum zu Aluminium. Biologische Arbeitsstoff-Toleranz-Werte (BAT-Werte), Expositionäquivalente für krebserzeugende Arbeitsstoffe (EKA), Biologische Leitwerte (BLW) und Biologische Arbeitsstoff-Referenzwerte (BAR), 23. Lieferung, Wiley-VCH, Weinheim
- Forrer R, Gautschi K, Lutz H (2001) Simultaneous measurement of the trace elements Al, As, B, Be, Cd, Co, Cu, Fe, Li, Mn, Mo, Ni, Rb, Se, Sr, and Zn in human serum and their reference ranges by ICP-MS. *Biol Trace Elem Res* 80: 77–93
- Goulle JP, Mahieu L, Castermant J, Neveu N, Bonneau L, Laine G, Bouige D, Lacroix C (2005) Metal and metalloid multi-elementary ICP-MS validation in whole blood, plasma, urine and hair. Reference values. *Forensic Sci Int* 153: 39–44
- Henriquez-Hernandez LA, Luzardo OP, Boada LD, Carranza C, Perez Arellano JL, Gonzalez-Antuna A, Almeida-Gonzalez M, Barry-Rodriguez C, Zumbado M, Camacho M (2017) Study of the influencing factors of the blood levels of toxic elements in Africans from 16 countries. *Environ Pollut* 230: 817–828
- Hoet P, Jacquerye C, Deumer G, Lison D, Haufroid V (2013) Reference values and upper reference limits for 26 trace elements in the urine of adults living in Belgium. *Clin Chem Lab Med* 51: 839–849
- Kim HJ, Lim HS, Lee KR, Choi MH, Kang NM, Lee CH, Oh EJ, Park HK (2017) Determination of Trace Metal Levels in the General Population of Korea. *Int J Environ Res Public Health* 14
- Komaromy-Hiller G, Ash KO, Costa R, Howerton K (2000) Comparison of representative ranges based on U.S. patient population and literature reference intervals for urinary trace elements. *Clin Chim Acta* 296: 71–90
- Minoia C, Sabbioni E, Apostoli P, Pietra R, Pozzoli L, Gallorini M, Nicolaou G, Alessio L, Capodaglio E (1990) Trace-Element Reference Values in Tissues from Inhabitants of the European Community .1. A Study of 46 Elements in Urine, Blood and Serum of Italian Subjects. *Sci Total Environ* 95: 89–105

- Morton J, Tan E, Leese E, Cocker J (2014) Determination of 61 elements in urine samples collected from a non-occupationally exposed UK adult population. *Toxicol Lett* 231: 179–193
- Nisse C, Tagne-Fotso R, Howsam M, Members of Health Examination Centres of the Nord - Pas-de-Calais region network, 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. *Int J Hyg Envir Heal* 220: 341–363
- Sieniawska CE, Jung LC, Olufadi R, Walker V (2012) Twenty-four-hour urinary trace element excretion: reference intervals and interpretive issues. *Ann Clin Biochem* 49: 341–351
- Valkonen S, Aitio A (1997) Analysis of aluminium in serum and urine for the biomonitoring of occupational exposure. *Sci Total Environ* 199: 103–110
- Wang ST, Pizzolato S, Demshar HP (1991) Aluminum Levels in Normal Human Serum and Urine as Determined by Zeeman Atomic-Absorption Spectrometry. *J Anal Toxicol* 15: 66–70
- Wilson K, Kielkowski D, Theodoru P, Naik I (2011) A Trace Metal Survey of Non-Occupationally Exposed Gauteng Residents. *Biol Trace Elem Res* 143: 66–78
- Zeiner M, Ovari M, Zaray G, Steffan I (2004) Reference concentrations of trace elements in urine of the Budapestian population. *Biol Trace Elem Res* 101: 107–115

Autoren: K. Klotz, H. Drexler (Leiter der Arbeitsgruppe „Aufstellung von Grenzwerten in biologischem Material“, Deutsche Forschungsgemeinschaft), A. Hartwig (Vorsitzende der Ständigen Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe, Deutsche Forschungsgemeinschaft), MAK Commission (Ständige Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe, Deutsche Forschungsgemeinschaft)

Von der Arbeitsgruppe verabschiedet: 16.03.2018