

# Biologisches Monitoring Human-Biomonitoring

## - Nutzen, Limitierungen und Fallstricke –

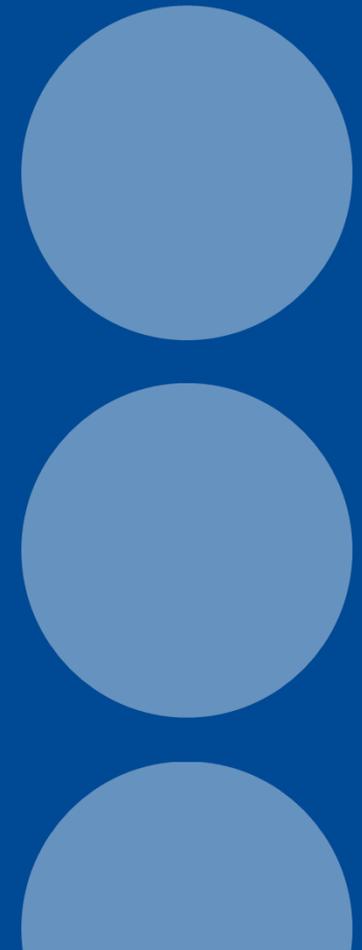
### 4. Schweißrauchkolloquium

#### BG Holz und Metall

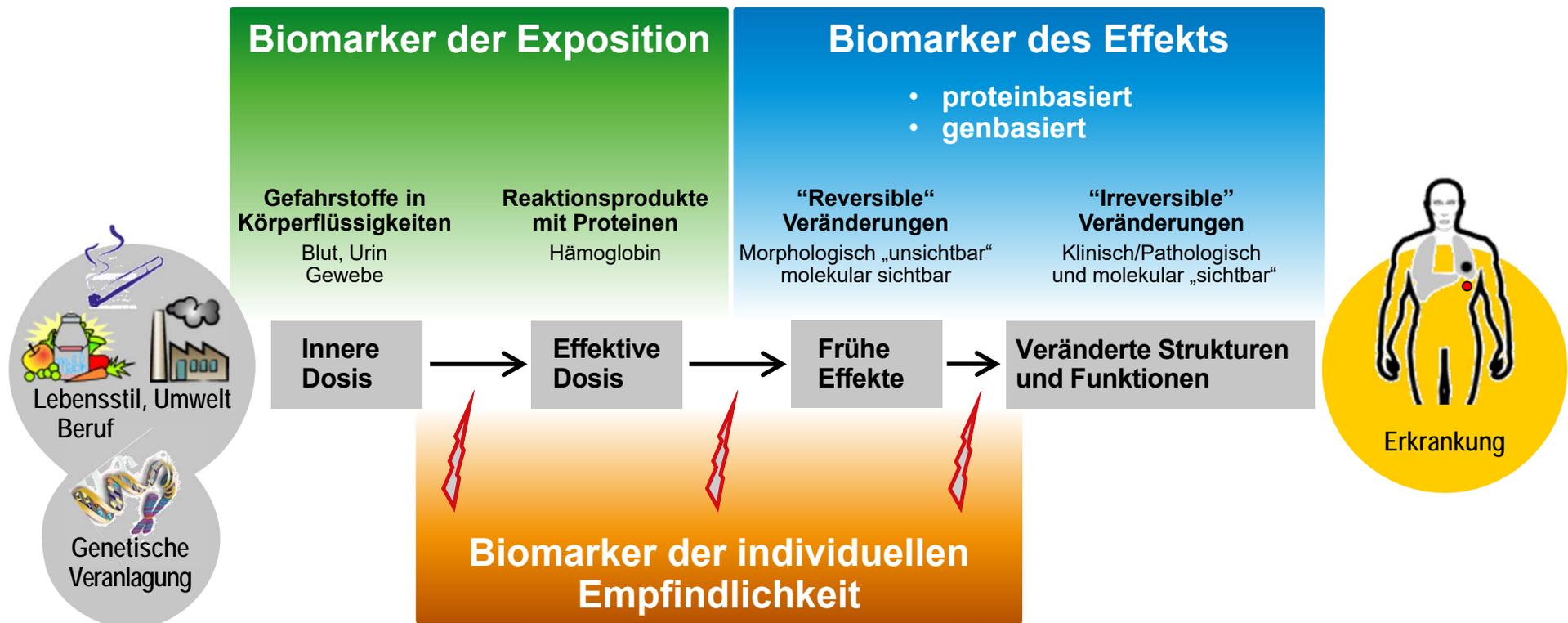
#### Arbeitspaket 5 „Arbeitsmedizinisches Regelwerk und Erkenntnisse“

Priv.-Doz. Dr. Wolfgang Zschiesche

23. November 2021



# Biologisches Monitoring – Human-Biomonitoring (BM)



## Expositionsmarker – geeignete Untersuchungsmedien

Für schweißtechnische Tätigkeiten zur Expositionseinschätzung gegenüber Metallen:

Urin: i. d. R. Spontanurinproben

Blut: Vollblut; Serum/Plasma; rote Blutkörperchen (Erythrozyten)

*Kopfhaar: historisch; heute i. d. R. obsolet*

*Ausatemluft (Atemexhalat): Für Metall-Expositionen in der Routine nicht geeignet*

## BM am Arbeitsplatz

Ist nicht für alle Gefahrstoffe geeignet

**Bei schweißtechnischen Arbeiten:** gute Einsatzmöglichkeit

Wichtige Einsatzbereiche für Expositionen gegenüber folgenden Metallen und deren Verbindungen:

**Chrom / Nickel / Aluminium / Mangan / Blei / Cadmium**

**Untersuchungsmedien:**

**Urin** (i. d. R. Spontanurin-Proben)

**Blut**

Gesamt (Vollblut) / (*Serum, Plasma*) / *rote Blutkörperchen (Erythrozyten)*

## Vorteile

**Erfasst alle Aufnahmepfade und somit die entscheidende Gesamtbelastung des Organismus bei toxischen / krebserzeugenden Arbeitsstoffen**

### Atemwege / inhalativ

*Erfasst indirekt auch die Arbeitsschwere – erhöhtes Atem-Minuten-Volumen – erhöhte Schweißrauchaufnahme - Erhöhte Metall-Resorption*

Haut / perkutan

Magen-Darm-Trakt / gastrointestinal

### **Für Schweißrauche relevant:**

#### Aufnahme über den Atemtrakt

In Ausnahmen: Aufnahme über den Magen-Darm-Trakt (z. B. Blei)

## Limitierungen - Störfaktoren

**Lässt i. d. Regel keine Aussagen über kurzzeitige Spitzen-Expositionen am Arbeitsplatz zu (z. B. zur Abschätzung chemisch-irritativer Wirkungen auf die Atemwege, z. B. durch Cr (VI))**

*Erfasst nicht notwendigerweise die konkrete Expositions-Situation an einem Zielorgan (z. B. Lunge, Niere etc.) – Diese Aussage ist für die Beurteilung beim Schweißen jedoch irrelevant*

### **Erfasst auch außerberufliche Expositionen**

Durch Wohnregion / Atemluft (Innen-/Außenräume)

Trinkwasser / Nahrungsmittel (einschl. Geschirr – z. B. Bleiglasur)

Genussmittel (einschl. Tabakrauchen)

## Limitierungen - Störfaktoren

### Präanalytische Phase: Auswahl der richtigen Sammelgefäße

Wichtig bei **Aluminium-Untersuchungen** im Urin:

geprüfte, Al-freie Gefäße, keine Kontamination mit Pipettiervorgängen etc., da Al ubiquitär vorkommend – ggf. zuvor Kontakt mit analysierendem Labor aufnehmen!

Für andere Metalle unkritisch

### Richtiger Probenahmezeitpunkt!

**Für schweißtechnische Arbeiten:** Optimal nach Schicht gegen Ende einer durchgehenden Arbeitswoche (z. B. Donnerstag) nach längerer (mindestens mehrtägiger) fortlaufender Tätigkeit unter durchschnittlichen repräsentativen Arbeitsbedingungen

### Kontaminationsfreiheit bei Probenahme sicherstellen!

Uringewinnung idealerweise nach der Arbeit, nach dem Duschen in sauberer Straßenkleidung

### Analyse durch geeignetes Labor!

Das beauftragte Labor sollte ein aktuelles Zertifikat über die **erfolgreiche Teilnahme an den Ringversuchen** der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin (DGAUM) für die zu analysierenden Stoffe (Metalle) in den entsprechenden Körperflüssigkeiten nachweisen können!

## Limitierungen - Störfaktoren

### Probenlagerung - Dauer

**Dauer:** nicht kritisch, da bei den zu bestimmenden Metallen keine Veränderungen eintreten.

**Lagerung** im Kühlschrank.

### Versand:

**Auslaufsicheres Probegefäß** mit Hüll-Gefäß geeignet für infektiöses Material.

**Temperatur, Dauer:** unkritisch.

## Haar-Analysen – historisch, heute i. d. R. obsolet

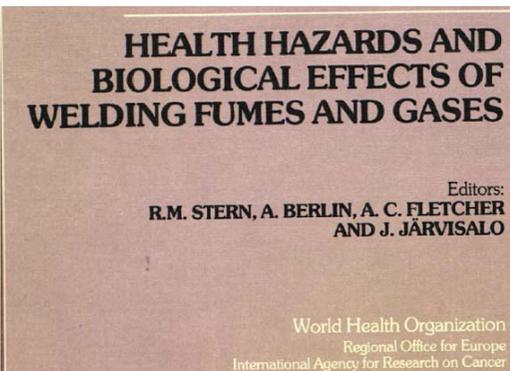
EXPOSURE AND STATE OF HEALTH IN ELECTRIC ARC WELDERS USING  
DIFFERENT TECHNOLOGIES

W. D. SCHNEIDER, R. LIEBICH, G. MAINTZ, G. SCHMIDT, W. WIESENER

Central Institute of Occupational Medicine of the GDR,  
DDR - 1134 BERLIN, NÜLDNERSTR. 40 - 42

these values. Geometric means of manganese in scalp hair were  $1,4 \times 2,1$  ppm in controls and  $6,96 \times 2,34$  ppm in welders. Mean duration of exposure in welders revealed to  $18,7 \pm 7,3$  years.

were much lower (3,86 resp. 2,17 mg/cu.m). Whereas chromium in hair revealed clear differences between welders and controls aluminium did not seem to be a useful parameter of exposure (2).



# Urinalanalysen auf Chrom, Nickel – Bezug zur Luftkonzentration

## Deckblatt zu Alkalichromate (Chrom(VI)-Verbindungen)

EKA (1988)

Es ergeben sich folgende Korrelationen zwischen innerer und äußerer Belastung:

Luft CrO <sub>3</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	Erythrozyten* Chrom (µg/L Blut)	Urin** Chrom (µg/L)
0,03	15 µg Cr VI / m <sup>3</sup>	9
0,05	17	20
0,08	25	30
0,10	35	40

\* Probenahmezeitpunkt: bei Langzeitexposition: nach mehreren vorangegangenen Schichten; gilt *nicht* für Schweißrauch-Exposition

\*\* Probenahmezeitpunkt: Expositions- bzw. Schichtende; gilt *auch* für Schweißrauch-Exposition

Veröffentlichung in der  
MAK- und BAT-Werte-Liste:

1988

Festlegung der o. a. EKA-Korrelation

Grenzwerte in biologischem Material Nickel  
Bd. I, Seite 1

## Nickel (Nickelmetall, -oxid, -carbonat, -sulfid und vergleichbare Verbindungen, sulfidische Erze)

EKA für Exposition gegen Nickel und schwerlösliche Nickelverbindungen

Es ergibt sich folgende Korrelation zwischen äußerer und innerer Belastung:

Luft µg Nickel/m <sup>3</sup>	Harn µg Nickel/l
100	15
300	30
500	45

Probenahmezeitpunkt: Schichtende nach mehreren vorausgegangenen Schichten

Datum der Festsetzung

1990



## Wertigkeit des BM in der Vorsorge

### Chrom VI-Verbindungen:

Biologischer Arbeitsstoffreferenzwert (MAK-Kommission) = 0,6 µg/l Urin;  
Laborseitige Referenzwerte z. T. höher

**Expositions-Äquivalent für 1 µg/m<sup>3</sup>** (Beurteilungsmaßstab) (als Cr VI)  
**= 0,8 µg/l Urin**

(Aus EKA der BAT-Kommission linear nach unten extrapoliert – *nicht zulässig*)

### Nickelverbindungen:

Biologischer Arbeitsstoffreferenzwert (BAT-Kommission) = 3 µg/l Urin

**Expositions-Äquivalent für 6 µg/m<sup>3</sup>** (Akzeptanzkonzentration)  
**= 0,5 – 0,9 µg/l Urin**

(Aus EKA der BAT-Kommission linear nach unten extrapoliert – *nicht zulässig*)

## Wertigkeit des BM in der Vorsorge

Aus Einhaltung des BAR kann nicht zwingend auf die Einhaltung auch der derzeit relevanten Luftwerte (Beurteilungsmaßstab / Akzeptanzkonzentration) geschlossen werden.

Gleichwohl: **BM ist ein wertvolles Instrument**, um eine Orientierung zur internen Exposition zu geben und ggf. aus dem Sollzustand geratene Arbeitsprozesse / Schutzmaßnahmen aufzudecken!

Gut geeignet auch zur Überprüfung der Wirksamkeit von Interventionsmaßnahmen!

Nach der Arbeitsmedizinischen Vorsorgeverordnung (ArbMedVV) ist BM in der **Vorsorge anzubieten.**

Zur Begründung einer Ausnahmeregelung von der Pflichtvorsorge nach AMR 11.1 ist **BM obligat.**

## Wertigkeit des BM in der Vorsorge: Chrom / Cr (VI)

Kollektiv	Anzahl der Messun- gen N	<i>Schweißrauch</i>	<b>Cr gesamt</b>	<b>Cr (VI)</b>	<b>Cr (VI) / Cr gesamt</b>
		( <i>mg/m<sup>3</sup></i> )	( <b>µg/m<sup>3</sup></b> )	( <b>µg/m<sup>3</sup></b> )	( <b>%</b> )
		Median 68 %-Bereich	Median 68 %-Bereich	Median 68 %-Bereich	Median 68 %-Bereich
<b>Lichtbogenhand- schweißen (LBH)</b>	61	2,70 1,40 – 9,20	<b>59,3</b> <b>15,5 – 228,1</b>	<b>17,3</b> <b>2,2 – 179,4</b>	<b>48</b> <b>15 – 88</b>
<b>Metallschutzgas- schweißen (MAG)</b>	46	5,34 1,61 – 8,17	<b>179,5</b> <b>41,8 – 630,2</b>	<b>8,0</b> <b>0,8 – 31,3</b>	<b>5</b> <b>2 – 17</b>
Wolframinertgas- schweißen (WIG)	16	1.50 0,67 – 2,44	13.3 3,4 – 30,8	1,5 n.n. – 5,8	19 7 – 40

Luftkonzentrationen (personengetragene Messungen hinter der Schweißerschutzhaube) von Gesamtschweißrauch und Chrom-Verbindungen in einem Kollektiv von Edelstahlschweißern, die am Untersuchungstag ausschließlich ein einziges Schweißverfahren angewandt haben. nn: unterhalb der Bestimmungsgrenze.

Quelle: Emmerling, Zschiesche et al. 1990

## Wertigkeit des BM in der Vorsorge: Chrom / Cr (VI)

Kollektiv	Anzahl der Werte N	Cr– Urin (µg/g Kreatinin)		Anzahl der Werte N	Cr – Erythrozyten (µg/l Blut)	
		Median 68 % - Bereich vor nach Schicht	Median 68 % - Bereich vor nach Schicht		Median 68 % - Bereich vor nach Schicht	Median 68 % - Bereich vor nach Schicht
<b>Lichtbogenhandschweißen (LBH)</b>	61	<b>8,1</b> <b>2,9 – 19,0</b>	<b>15,3</b> <b>7,0 – 52,9</b>	37	<b>2,6</b> <b>0,7 – 10,3</b>	<b>2,8</b> <b>0,8 – 13,4</b>
<b>Metallschutzgasschweißen (MAG)</b>	46	<b>6,9</b> <b>2,5 – 16,0</b>	<b>9,0</b> <b>4,2 – 17,9</b>	33	<b>1,0</b> <b>0,5 – 1,9</b>	<b>0,9</b> <b>0,5 – 1,9</b>
<b>Wolframinertgasschweißen (WIG)</b>	18	<b>4,2</b> <b>2,1 – 7,7</b>	<b>5,7</b> <b>2,5 – 10,1</b>	6	<b>0,8</b> <b>0,3 – 1,0</b>	<b>0,8</b> <b>0,3 – 2,5</b>
Vergleichspersonen	203	1,6 0,5 – 4,3	1,7 0,6 – 5,1	202	0,5 0,2 – 1,0	0,5 0,2 – 1,1

Chromkonzentrationen in Urin und Erythrozyten in einem Kollektiv von Edelschweißern, die am Untersuchungstag (Erythrozyten: in der Untersuchungswoche)

ausschließlich ein einziges Schweißverfahren angewandt haben.

Quelle: Emmerling, Zschiesche et al. 1990

## Wertigkeit des BM in der Vorsorge: Nickel

Kollektiv	N	Ni – Luft ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Ni – Urin ( $\mu\text{g}/\text{g}$ Kreatinin)	
		Median 68 % - Bereich	vor	nach Schicht
LBH umhüllte Stabelektroden	61	6.1 1.9 – 16.6	4.7 2.1 – 10.6	5.4 2.1 – 13.1
MAG	46	16.3 5.2 – 28.7	9.6 3.6 – 20.4	11.2 3.7 – 26.6
WIG	18	5.9 1.7 – 14.6	3.2 1.6 – 8.3	4.3 1.3 – 9.5
Vergleichs- personen	198	2.3 0.8 – 6.1	1.6 0.8 – 4.8	1.8 0.7 – 5.4

Nickelkonzentrationen in Urin in einem Kollektiv von Edelstahlschweißern, die am Untersuchungstag ausschließlich ein einziges Schweißverfahren angewandt haben.

*Quelle: Emmerling, Zschiesche et al. 1990*

## Interpretation des BM in der Vorsorge

**Nickel:** Im Urin (Blut):

Aus **Schweißprozessen** Inhalation von Nickel-oxidischen Verbindungen:  
sind grundsätzlich humankanzerogen (K1).

Beurteilung der BM-Ergebnisse vergleichsweise einfach und eindeutig.

Bei **Schleifarbeiten** Inhalation von metallischen Partikeln, die fast ausschließlich elementares Nickel (Ni<sup>0</sup>) enthalten, das nicht krebserzeugend ist.

Nur bei Funkenflug wird Ni dann wegen der Bildung einer dünnen Ni-Oxid-Schicht an der Partikeloberfläche unter Präventionsgesichtspunkten auch als kanzerogen eingestuft (Vgl. TGS 561).

## Interpretation des BM in der Vorsorge

**Chrom:** Im Urin:

**Keine Unterscheidung nach Oxidationsstufen zum Zeitpunkt der Inhalation möglich! (Cr VI kanzerogen / vs. Cr III, Cr 0 nicht kanzerogen).**

Hintergrund: Cr VI wird nach Passage der Atemwege/der Lunge im Organismus zu Cr III reduziert. An der Niere und im Urin liegt Chrom in dreiwertiger Form vor.

Zur Beurteilung der Werte im Urin ist deshalb eine sorgfältige **Expositionsanamnese (welche Schweißverfahren; Gehalt an Cr VI vs Cr III/0 im Schweißrauch / Staub) erforderlich!**

Cr-Bestimmung in roten Blutkörperchen (nur Cr VI dringt in Zellen ein):

i. d. R. nur auf Gruppenbasis aussagekräftig; individuelle Bestimmung nur in besonderen Einzelfällen sinnvoll.

## Wertigkeit des BM in der Vorsorge: Mangan

Ausscheidung überwiegend über die Galle und den Stuhl;  
Urinuntersuchungen somit nicht geeignet

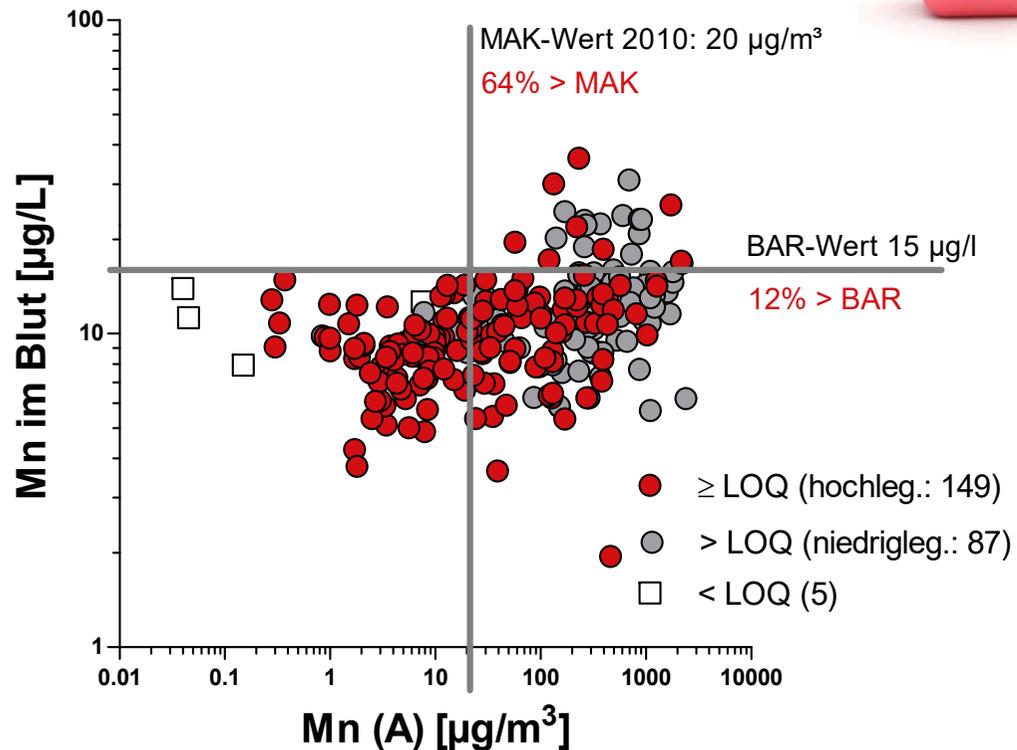
Geeignetes Untersuchungsmedium: **Blut**

Aussagekräftig erst bei hohen externen Expositionen oberhalb ca. 50 - 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

*(wegen Stabilhaltung des Wertes im Organismus in Kombination mit dem Eisenhaushalt – Homöostase)*

## Mangan im Blut

- » Median: 10,3 µg/L Blut
- » 12% Überschreitungen des BAR von 15 µg/L
- » Mangan ist als essentielles Metall physiologisch reguliert
- » Anstieg erst ab ca. 50 µg/m<sup>3</sup>



Quelle: Weiß T, Lehnert M et al.  
Weldox-Studie

## Wertigkeit des BM in der Vorsorge: Aluminium

Ergebnisse aus dem Waggon-, Behälter- und Sonderfahrzeugbau: Ausschließlich Aluminium-Legierungen

### Schweißrauchkonzentrationen im Atembereich

(ganzschichtige Messungen)

(N = 44)

mg / m<sup>3</sup>

**Median** 6,0

**Mittelwert** 7,2

Standardabweichung 6,26

Minimum nicht wägbare

Maximum 31,5

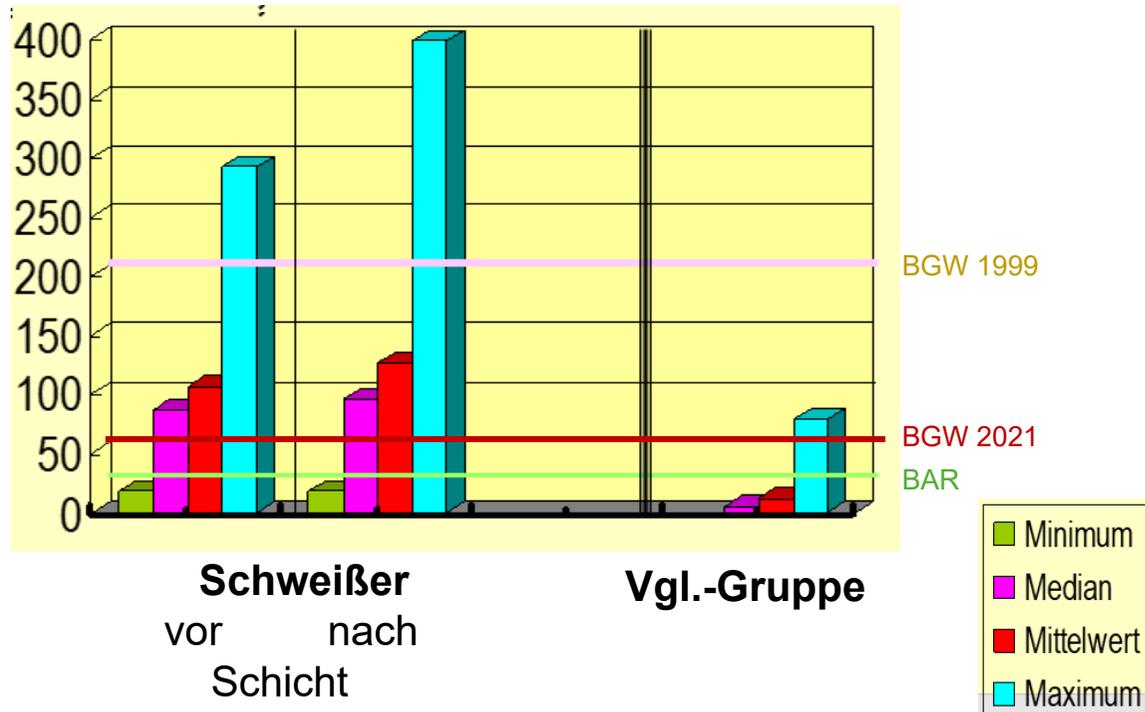


Zeitraum: 1999

Quelle: Zschesche W, Letzel S., Kraus T et al.  
Forschungsbericht für DGUV und AG Metall-BGen

# Wertigkeit des BM in der Vorsorge: Aluminium

Ergebnisse aus dem Waggon-, Behälter- und Sonderfahrzeugbau: Ausschließlich Aluminium-Legierungen Al im Urin ( $\mu\text{g} / \text{g}$  Kreatinin)



Zeitraum: 1999

Quelle: Zschesche W, Letzel S., Kraus T et al. Forschungsbericht für DGUV und AG Metall-BGM

# Wertigkeit des BM in der Vorsorge: Aluminium

Ergebnisse aus dem Waggon-, Behälter- und Sonderfahrzeugbau: Ausschließlich Aluminium-Legierungen

Proband	Tätigkeit					Atemschutz/Absaugung				
	1999	2000	2001	2002	2003	1999	2000	2001	2002	2003
304	Auflieger- bau Schlosser- und Schleifar- beiten	Auflieger- bau Unterge- stell Schwei- ßer- helfer Bei MIG- Schwei- ßen	Dito, viel Schleifen	dito, viel Schlei- fen+ Sägen	dito	nein	nein	nein	nein	nein
<b>Staubkonzentration zeitgewichteter Mittelwert (mg/m<sup>3</sup>)</b>					<b>Al-Urin/nach Schicht µg/gKreatinin</b>					
2,1    7,8    15,6    6,6    2,8					140    152    160    124    74					

Gute Konstanz der BM-Ergebnisse im Unterschied zu punktuellen Luftmessungen.

BM kann hier der aussagekräftigere Indikator der Langzeitexposition sein im Vgl. zu Luftmessungen

Zeitraum: 1999 - 2003

Quelle: Zschiesche W, Letzel S., Kraus T et al. Forschungsbericht für DGUV und AG Metall-BGEM

## Wertigkeit des BM in der Vorsorge: Aluminium

Ergebnisse aus dem Waggon-, Behälter- und Sonderfahrzeugbau: Ausschließlich Aluminium-Legierungen

Prob.	Staubkonzentration mg/m <sup>3</sup>					Al-Urin nach Schicht µg / g Kreatinin				
	1999	2000	2001	2002	2003	1999	2000	2001	2002	2003
355	7,1	--	--	--	--	164	--	178	--	96

↑  
Berentung

↑  
Berentung

**Hoher Speichereffekt von Al im Organismus  
nach langjähriger hoher Exposition**

Zeitraum: 1999 - 2003

Quelle: Zschiesche W, Letzel S., Kraus T et al.  
Forschungsbericht für DGUV und AG Metall-BGGen

## Wertigkeit des BM in der Vorsorge

### Blei

Geeignetes Untersuchungsmedium: **Blut**

Anreicherung in den roten Blutkörperchen (mittlere Lebensdauer 3 Monate).

Expositionsnachweis auch noch einige Wochen nach letzter Exposition nachweisbar.

Gute Aufnahme über Magen-Darmtrakt: Erfasst auch Expositionen durch Verschlucken von Staub (z. B. Essen, Trinken, Rauchen am Arbeitsplatz; fehlende Handreinigung vor Essen/Trinken).

### Cadmium

Geeignetes Untersuchungsmedium: **Urin, Blut**

Langjährige Speicherung in den Nieren, z. T. auch Knochen.

Expositionsnachweis noch Jahre nach letzter Exposition nachweisbar.

### **Kohlenmonoxid (CO)**

*Durch Schweißen mit reinem CO<sub>2</sub> als Schutzgas unter ungünstigen Bedingungen.*

*Geeignetes Untersuchungsmedium: CO-Hämoglobin im Blut.*

*Störfaktor: Tabakrauchen*

**Vielen Dank  
für Ihre Aufmerksamkeit.**

**Noch Fragen?  
[zschiesche@ipa-dguv.de](mailto:zschiesche@ipa-dguv.de)  
Tel. 030-13001-4106**

