

# Zinkexpositionen in der Metallbranche

D. Koppisch, S. Gabriel, J.-U. Hahn, U. Bagschik, A. Voßberg, M. Böckler

**Zusammenfassung** Zink und Zinkverbindungen werden in einer Fülle von Arbeitsverfahren eingesetzt. Zinkexpositionen treten bei der Herstellung und Verarbeitung in Form von Rauchen und Stäuben auf. Zum Schutz der Beschäftigten wurden schon in den 1960er-Jahren Grenzwerte festgelegt. Im Jahre 2009 hat die Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft (MAK-Kommission) Zink und seine anorganischen Verbindungen neu bewertet und zwei MAK-Werte veröffentlicht. Der MAK-Wert von  $2 \text{ mg/m}^3$  bezieht sich auf Zink und seine Verbindungen in der einatembaren Fraktion (E-Fraktion), der MAK-Wert von  $0,1 \text{ mg/m}^3$  auf Zink und seine Verbindungen in der alveolengängigen Fraktion (A-Fraktion). Diese Publikation stellt die aktuelle Situation der Zinkexpositionen in der A-Fraktion in der Metallbranche dar und umfasst die Beschreibung der Arbeitsbereiche, Tätigkeiten und Verfahrensschritte, in denen Zinkexpositionen auftreten. Aus der Analyse der Expositionsdaten ist ersichtlich, dass über alle Branchen hinweg fast 75 % der Messwerte unter dem MAK-Wert liegen. In einigen Branchen und Arbeitsbereichen kann der Wert von  $0,1 \text{ mg/m}^3$  für Zink und seine Verbindungen in der A-Fraktion nicht eingehalten werden. Hierzu gehören u. a. die Nicht-Eisen-Metallgießereien, Feuerverzinkereien sowie einige Schweißarbeitsplätze.

## Zinc exposure in the metal industry

**Abstract** Zinc and zinc compounds are used as materials in an abundance of work processes. In production and processing, workers are exposed to zinc in fumes and dusts. To protect employees, the first limit values were set in the 1960s. In 2009, the Senate Commission for the Inspection of Health Hazards of Chemical Compounds in the Work Area (MAK Commission) of the German Research Society (DFG) reassessed zinc and its inorganic compounds and published two MAK (maximum workplace concentration) values. The MAK value of  $2 \text{ mg/m}^3$  refers to zinc in the inhalable fraction, and the MAK value of  $0.1 \text{ mg/m}^3$  to zinc in the respirable fraction. This publication presents the current situation concerning exposure to zinc in the respirable fraction in the metal industry and comprises a description of the work areas, activities and process steps in which zinc exposure takes place. From the analysis of exposure data, the proposed value of  $0.1 \text{ mg/m}^3$  evidently cannot be complied with in all sectors of industry and work areas. These include nonferrous metal foundries, hot-dip galvanizing plants and welding workplaces.

## 1 Einleitung

Mit etwa 500 000 t Hüttenzink pro Jahr ist Deutschland der größte Zinkverbraucher in der Europäischen Union. Fast die

Dr. rer. nat. Dorothea Koppisch, Stefan Gabriel,  
Dr. rer. nat. Jens-Uwe Hahn,

Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen  
Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin.

Dipl.-Ing. Chem. Ute Bagschik,  
Dr. rer. nat. Andreas Voßberg,

Berufsgenossenschaft Holz und Metall, Köln und  
Hannover.

Dipl.-Ing. Chem. Margret Böckler,

Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medien-  
erzeugnisse, Köln.

Hälfte des produzierten Zinks wird zum Verzinken von Eisen- und Stahlteilen (Feuerverzinken) und zum kathodischen Rostschutz eingesetzt. Zinklegierungen finden Verwendung in der Automobilindustrie und im Maschinen- und Apparatebau. Des Weiteren werden daraus Beschläge aller Art, Teile für die Sanitärindustrie, für die Feingeräte- und Elektrotechnik, Metallspielwaren und viele Gebrauchsgegenstände für den Haushalt hergestellt. Zinkblech wird als Werkstoff im Bauwesen, z. B. in Form von Regenrinnen, verwendet. Zink wird zudem für Anoden (negative Elektroden) in nicht wieder aufladbaren Batterien eingesetzt. Zinkoxid ist ein Bestandteil von Korrosionsschutzpigmenten.

Zinkexpositionen treten bei der Herstellung und Verarbeitung in Form von Rauchen und Stäuben auf. Zum Schutz der Beschäftigten wurden schon in den 1960er-Jahren Grenzwerte festgelegt. Seit 2005 werden in der Technischen Regel für Gefahrstoffe (TRGS) 900 [1] keine Arbeitsplatzgrenzwerte für Zink und seine Verbindungen geführt. In der MAK-Werte-Liste der Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) bestand ein Grenzwert für Zinkoxidrauche von  $1 \text{ mg/m}^3$ . Im Jahre 2009 hat diese Kommission für Zink und seine anorganischen Verbindungen eine Neubewertung vorgenommen und zwei MAK-Werte veröffentlicht. Der MAK-Wert von  $2 \text{ mg/m}^3$  bezieht sich auf Zink und seine Verbindungen in der einatembaren Fraktion (E-Fraktion), der MAK-Wert von  $0,1 \text{ mg/m}^3$  auf Zink und seine Verbindungen in der alveolengängigen Fraktion (A-Fraktion) [2]. Diese Bewertungen dienen dem Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) als Grundlage für die Beratungen zur Festlegung von verbindlichen Arbeitsplatzgrenzwerten (AGW). Zink übt auf die Augenschleimhäute eine reizende Wirkung aus. Gleiches wird auch für die Haut angegeben. Reizerscheinungen auf die Schleimhäute nach inhalativer Aufnahme können sich durch Trockenheit und Kratzen im oberen Atemtrakt, Husten bzw. Hustenreiz äußern. Schwerwiegende akute gesundheitliche Wirkungen durch Zink sind nicht bekannt [3]. Die Inhalation von Zinkoxid in sehr feiner Verteilung, insbesondere von in der Luft oxidierten Zinkdämpfen, kann zu Metaldampf-Fieber („Zink- oder Gießerei-Fieber“) führen. Die Symptome, die im Allgemeinen erst einige Stunden nach der Exposition auftreten, sind Schüttelfrost, Fieber, meist begleitet von Muskel- und Gelenkschmerzen, Kreislaufstörungen, Übelkeit und Erbrechen. Husten, Atemstörungen und Brustschmerzen können hinzukommen. Nachhaltige Gesundheitsschäden sind aber kaum zu erwarten. Andererseits wird ein Übergang in eine Lungenschädigung (Bronchospasmus, Lungenödem und Pneumonie) für möglich gehalten. Eine Toleranz gegenüber der Zinkoxidrauchexposition wurde nicht beobachtet. Als ein wichtiger pathogenetischer Faktor für die oben angeführten Symptome werden Immunkomplexreaktionen angesehen [3].

Als Beitrag zur Diskussion im AGS und als Grundlage zur Lenkung präventiver Maßnahmen wurden die in der IFA-Expositionsdatenbank MEGA dokumentierten Messwerte zur Exposition gegenüber Zink und seinen Verbindungen ausgewertet [4].

Tabelle 1. Expositionsdaten mit Schichtbezug zu Zink und seinen Verbindungen in der A-Fraktion im Zeitraum von 2000 bis 2011.

Anzahl Messdaten	Anzahl Betriebe	Häufigkeit <-Werte Anzahl (%) <sup>1</sup>	größte Bestimmungsgrenze <sup>2</sup> in mg/m <sup>3</sup>	≤ GW % <sup>3</sup>	Konzentrationen in mg/m <sup>3</sup>		
					50-%-Wert	90-%-Wert	95-%-Wert
1 198	509	173 (14,4)	0,0273	74,8	0,0169 *	0,426	0,803

\* Der Verteilungswert liegt unterhalb der größten analytischen Bestimmungsgrenze (a. B.) im Datenkollektiv.

<sup>1</sup> Anzahl und Prozentsatz der Werte unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze (a. B.) des jeweiligen Messverfahrens.

<sup>2</sup> Angabe der größten analytischen Bestimmungsgrenze im Datenkollektiv. Diese kann innerhalb eines Kollektivs in Abhängigkeit von z. B. der Probenahmedauer oder dem Volumenstrom variieren.

<sup>3</sup> Prozentzahl der Messwerte unterhalb des jeweiligen Grenzwertes bezogen auf Zink und seine Verbindungen in der A-Fraktion. Zur Beurteilung wird der MAK-Wert der DFG von 0,1 mg Zn/m<sup>3</sup> (A-Fraktion) herangezogen.

Die vorliegende Publikation stellt für die Metallbranche die aktuelle Situation der Zinkexpositionen in der A-Fraktion dar. Exemplarisch wurden Branchen, Arbeitsbereiche, Tätigkeiten und Verfahrensschritte ausgewählt, bei denen zur Einhaltung des MAK-Wertes der DFG weitere Schutzmaßnahmen umgesetzt werden müssen.

## 2 Messverfahren für Zinkstäube

Die Messung von Zink und seinen Verbindungen erfolgte im Messsystem Gefährdungsermittlung der UV-Träger (MGU) mit stationären oder personengetragenen Probenahmesystemen. Zur messtechnischen Ermittlung von Zink und seinen Verbindungen in der A-Fraktion in der Luft am Arbeitsplatz dient seit dem Jahre 2000 überwiegend das Feinstaubprobenahmesystem (FSP). Dieses für die Expositionsbeurteilung verwendete Probenahmesystem entspricht den Anforderungen der DIN EN 481 [5]. Es ist in der IFA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen beschrieben [6]. Mithilfe einer Probenahmepumpe wird ein Volumenstrom von 2 l/min beim FSP-2 bzw. 10 l/min beim FSP-10 durch einen Partikelfilter gesaugt und das im Aerosol enthaltene Zink wird auf dem Filter abgeschieden. Als Filtermaterial werden Membranfilter mit einer Porenweite von 8 µm und einem Durchmesser von 37 mm eingesetzt.

Der mit Staub beaufschlagte Filter wird einem Aufschluss mit einem Gemisch aus konzentrierter hochreiner Salpetersäure und Salzsäure unterzogen, um die Probe für die nachfolgende analytische Bestimmung in eine gelöste Form zu überführen [7]. In der so vorbereiteten sauren Messlösung liegt das Zink in zweiwertiger ionischer Form (Zn<sup>2+</sup>) vor. Aus der Lösung lässt sich der Gesamtzinkgehalt mit verschiedenen Analysetechniken wie Atomabsorptionsspektrometrie (AAS), Röntgenfluoreszenzanalyse (TRFA) oder Induktiv gekoppeltem Plasma (ICP) quantifizieren. Die Methoden unterscheiden sich in ihrer Empfindlichkeit und damit auch in ihren Bestimmungsgrenzen für Zink und seine Verbindungen [4].

Eine Differenzierung nach Oxidationsstufen oder Verbindungen ist wie bei den meisten in der Metallanalytik zur Anwendung kommenden Verfahren nicht möglich. Die Messergebnisse werden daher als „Zink und seine Verbindungen“ beschrieben und als Zink ausgewiesen.

## 3 Expositionsdaten

### 3.1 Datenbestand und Grundlagen der Auswertung

Die Expositionsdaten und Messwerte zu Zink und seinen Verbindungen wurden im Rahmen des MGU branchen- und arbeitsbereichsspezifisch ermittelt und in der IFA-Exposi-

tionsdatenbank „Messdaten zur Exposition gegenüber Gefahrstoffen am Arbeitsplatz (MEGA)“ dokumentiert [8 bis 11]. Ausgewertet wurden Expositionsdaten im Zeitraum von 2000 bis 2011. Dabei wurden für Messungen mit Schichtbezug Proben mit einer Expositionsdauer von mindestens acht Stunden und einer Probenahmedauer von mindestens zwei Stunden berücksichtigt. Die Probenahmedauer ist repräsentativ für die gesamte Expositionsdauer, es lag eine übliche betriebliche Situation vor. Lagen Analysenergebnisse unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze (a. B.) des jeweiligen Messverfahrens vor, dann geht der Wert der halben analytischen Bestimmungsgrenze in die Statistik ein.

In dieser Publikation wird für die Beurteilung von Zink und seinen Verbindungen in der alveolengängigen Fraktion (A-Fraktion) der MAK-Wert der DFG von 0,1 mg Zn/m<sup>3</sup> herangezogen [2].

**Tabelle 1** gibt einen ersten Überblick zur Expositionshöhe von Zink und seinen Verbindungen in der A-Fraktion und zeigt, dass über alle Branchen hinweg fast 75 % der Messwerte unter dem MAK-Wert liegen.

### 3.2 Branchenbezogene Expositionsdaten

#### 3.2.1 Nicht-Eisen-Metallgießerei (NE-Metallgießerei)

In NE-Metallgießereien liegen insbesondere Expositionsdaten aus der Schmelzerei und aus dem Gießbereich (Schleuderguss, Strangguss und Zinkdruckguss) vor (**Tabelle 2**). Die Daten zeigen, dass bis zu 73 % der personengetragen gemessenen Werte über dem MAK-Wert liegen.

#### 3.2.2 Fahrzeugbau

Der Fahrzeugbau einschließlich der Zulieferung von Einzelkomponenten umfasst verschiedene Techniken zum Bau von Fahrzeugen und zugehörige Teilbereiche, wie der Fabrikautomation, Fertigungsoptimierung und Robotik. Zu Zinkexpositionen kommt es, wenn verzinkte Bleche bearbeitet werden.

Die Messungen an der Person wurden nach Erfassungsart und Schweißverfahren ausgewertet (**Tabelle 3**). Die Ergebnisse zeigen, dass der MAK-Wert für die A-Fraktion überschritten werden kann, vor allem in Arbeitsbereichen ohne Erfassungseinrichtung und beim Metall-Aktivgasschweißen (**Tabelle 3**).

#### 3.2.3 Feuerverzinken

Beim Feuerverzinken oder Stückverzinken stellt man Überzüge aus Zink oder Eisen-Zink-Legierungen durch Eintauchen vorbehandelter Werkstücke aus Stahl oder Guss in geschmolzenes Zink her [12] (**Bild 1**). Das Feuerverzinken

Tabelle 2. Expositionsdaten mit Schichtbezug zu Zink und seinen Verbindungen in Nicht-Eisen-Metallgießereien im Zeitraum von 2000 bis 2011 in der A-Fraktion.

Parameter		Anzahl Messdaten	Anzahl Betriebe	Häufigkeit <-Werte Anzahl (%)	größte Bestimmungsgrenze in mg/m <sup>3</sup>	≤ GW %	Konzentrationen in mg/m <sup>3</sup>		
							50-%-Wert	90-%-Wert	95-%-Wert
Probenahmeart	stationär	65	30	4 (6,2)	0,0005	56,9	0,0534	0,941	1,29
	an der Person	22	12	2 (9,1)	0,01	27,3	0,289	3,82	6,18
Arbeitsbereich	Schmelzerei	35	19	2 (5,7)	0,01	40	0,153	1,37	1,78
	Gießbetrieb, Gießhalle, Formerei	26	11	0	n. z.	34,6	0,153	1,19	4,87

n. z.: nicht zutreffend, weil alle Werte über der Bestimmungsgrenze liegen.

Weitere Erläuterungen zu den Spaltenüberschriften: siehe Tabelle 1

Tabelle 3. Expositionsdaten mit Schichtbezug zu Zink und seinen Verbindungen im Fahrzeugbau und in der Zulieferung im Zeitraum von 2000 bis 2011 in der A-Fraktion.

Parameter		Anzahl Messdaten	Anzahl Betriebe	Häufigkeit <-Werte Anzahl (%)	größte Bestimmungsgrenze in mg/m <sup>3</sup>	≤ GW %	Konzentrationen in mg/m <sup>3</sup>		
							50-%-Wert	90-%-Wert	95-%-Wert
Probenahmeart	stationär	52	22	9 (17,3)	0,0084	88,5	0,0059*	0,169	0,249
	an der Person	72	30	12 (16,7)	0,009	70,8	0,0161	0,406	1,22
Erfassungsart (an der Person)	ohne Erfassung	12	9	2 (16,7)	0,001	41,7	0,12	2,956	3,807
	mit Erfassung	55	23	10 (18,2)	0,009	78,2	0,0116	0,402	0,624
Arbeitsbereich (an der Person)	Metall-Aktivgas-schweißen (MAG)	25	13	4 (16)	0,009	48	0,0859	2,49	3,976
	Schweißen (außer MAG)	26	8	3 (11,5)	0,0009	76,9	0,027	0,334	0,382

\* Der Verteilungswert liegt unterhalb der größten analytischen Bestimmungsgrenze (a. B.) im Datenkollektiv.

Weitere Erläuterungen zu den Spaltenüberschriften: siehe Tabelle 1

umfasst die Prozessschritte Bauteilvorbehandlung, Schmelztauchverzinken und Bauteilnachbehandlung [4; 13]. Die im Folgenden betrachteten Zinkexpositionen finden im Wesentlichen beim Prozessschritt Feuerverzinken (Schmelztauchverzinken) statt. Weitere Expositionen gegenüber anderen Gefahrstoffen – z. B. Salzsäure bei der Vorbehandlung – können auftreten.

Tabelle 4 zeigt, dass die Expositionsdaten für Zink und seine Verbindungen in der A-Fraktion an der Person zu über 50 % oberhalb des MAK-Wertes liegen.

### 3.3 Arbeitsbereichsbezogene Expositionsdaten

#### 3.3.1 MAG-Schweißen

Das Metall-Aktivgasschweißen (MAG-Schweißen) wendet man für unlegierte und niedriglegierte Stähle an. Dabei dienen aktive reaktionsfähige Gase wie Kohlendioxid oder Mischgase als Schutzgas. Die Messungen an der Person wurden zusätzlich nach Erfassungsarten ausgewertet (Tabelle 5).

Aus den Messdaten zum MAG-Schweißen ist ersichtlich, dass der MAK-Wert von 0,1 mg/m<sup>3</sup> für die A-Fraktion überschritten werden kann. Liegen Erfassungseinrichtungen im Arbeitsbereich vor, können die Expositionen reduziert werden (Tabelle 5). Dies unterstreicht die Notwendigkeit, die

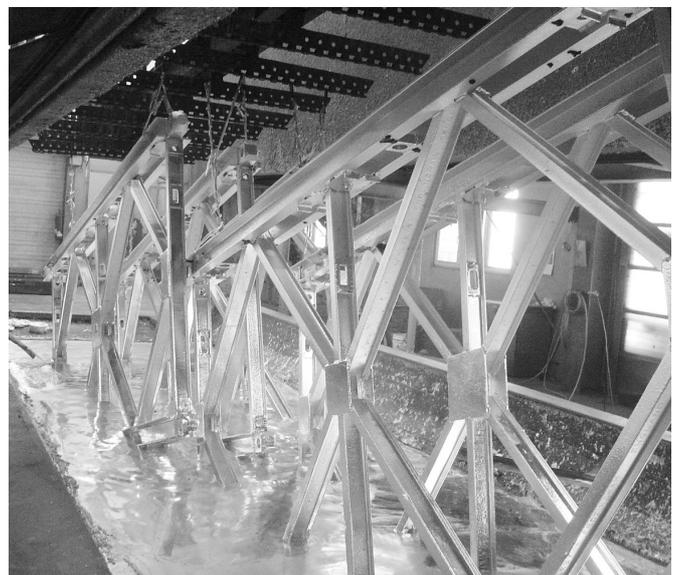


Bild 1. Entnahme verzinkter Werkstücke aus dem geschmolzenen Zink des Zinkessels.

Bild: Industrieverband Feuerverzinken e. V.

Tabelle 4. Expositionsdaten mit Schichtbezug zu Zink und seinen Verbindungen in Feuerverzinkereien im Zeitraum von 2000 bis 2011 in der A-Fraktion.

Probenahmeart	Anzahl Messdaten	Anzahl Betriebe	Häufigkeit <-Werte Anzahl (%)	größte Bestimmungsgrenze in mg/m <sup>3</sup>	≤ GW %	Konzentrationen in mg/m <sup>3</sup>		
						50-%-Wert	90-%-Wert	95-%-Wert
stationär	27	16	0	n. z.	88,9	0,0201	0,137	0,238
an der Person	36	21	0	n. z.	44,4	0,104	0,349	0,506

n. z.: nicht zutreffend, weil alle Werte über der Bestimmungsgrenze liegen.

Weitere Erläuterungen zu den Spaltenüberschriften: siehe Tabelle 1

Tabelle 5. Expositionsdaten mit Schichtbezug zu Zink und seinen Verbindungen beim MAG-Schweißen im Zeitraum von 2000 bis 2011 in der A-Fraktion.

Parameter		Anzahl Messdaten	Anzahl Betriebe	Häufigkeit <-Werte Anzahl (%)	größte Bestimmungsgrenze in mg/m <sup>3</sup>	≤ GW %	Konzentrationen in mg/m <sup>3</sup>		
							50-%-Wert	90-%-Wert	95-%-Wert
Probe-nahmeart	stationär	67	34	4 (6)	0,003	92,5	0,0083	0,0579	0,208
	an der Person	167	79	11 (6,6)	0,01	53,9	0,0606	1,0325	1,578
Erfassungs-art (an der Person)	keine Erfassung	39	22	0	n. z.	33,3	0,205	1,2	2,841
	bewegliche Absaughaube mit Nachführung von Hand	26	16	1 (3,8)	0,004	46,2	0,12	0,692	0,831
	Erfassungseinrichtung mit stationärer Punktabsaugung	12	8	0	n. z.	58,3	0,0273	0,882	1,0498
	Erfassungseinrichtung, stationär offen	42	16	3 (7,1)	0,009	73,8	0,0112	0,469	0,694
	Erfassungseinrichtung, stationär geschlossen	15	4**	1 (6,7)	0,0088	73,3	0,0406	0,289	0,329
	Erfassungseinrichtung ohne Nachführung	10	5	3 (30)	0,01	80	0,0052*	0,12	0,663

n. z.: nicht zutreffend, weil alle Werte über der Bestimmungsgrenze liegen.

\* Der Verteilungswert liegt unterhalb der größten analytischen Bestimmungsgrenze (a. B.) im Datenkollektiv.

\*\* Es sind weniger als fünf Betriebe im Kollektiv enthalten. Die Daten von weniger als fünf Betrieben sind möglicherweise nicht geeignet, eine gesamte Branche oder einen gesamten Bereich zu repräsentieren.

Weitere Erläuterungen zu den Spaltenüberschriften: siehe Tabelle 1

Tabelle 6. Expositionsdaten mit Schichtbezug zu Zink und seinen Verbindungen beim Widerstandspunktschweißen im Zeitraum von 2000 bis 2011 in der A-Fraktion.

Parameter		Anzahl Messdaten	Anzahl Betriebe	Häufigkeit <-Werte Anzahl (%)	größte Bestimmungsgrenze in mg/m <sup>3</sup>	≤ GW %	Konzentrationen in mg/m <sup>3</sup>		
							50-%-Wert	90-%-Wert	95-%-Wert
Probe-nahmeart	stationär	23	13	2 (8,7)	0,027	78,3	0,0298	0,247	0,276
	an der Person	71	26	5 (7)	0,01	77,5	0,0389	0,286	0,451
Erfassungs-art (an der Person)	keine Erfassung	14	10	0	n. z.	85,7	0,0249	0,108	0,181
	Erfassungseinrichtung mit stationärer Punktabsaugung	19	6	3 (15,8)	0,003	84,2	0,0433	0,213	0,335
	Erfassungseinrichtung, stationär offen	17	7	1 (5,9)	0,01	94,1	0,0257	0,07	0,121

n. z.: nicht zutreffend, weil alle Werte über der Bestimmungsgrenze liegen.

Weitere Erläuterungen zu den Spaltenüberschriften: siehe Tabelle 1

Schutzmaßnahmen nach TRGS 528 [14] beim MAG-Schweißen umzusetzen.

### 3.3.2 Widerstandspunktschweißen

Widerstandspunktschweißen (Punktschweißen) wird primär zur Verbindung beschichteter, galvanisierter oder verzinkter Stahlbleche eingesetzt. Anwendungsbereiche sind die Automobilindustrie, der Karosserie- und Fahrzeugbau sowie allgemein die Blech verarbeitende Fertigung. Die Messungen an der Person wurden zusätzlich nach Erfassungsarten ausgewertet (Tabelle 6).

Die Messdaten zeigen, dass der MAK-Wert von  $0,1 \text{ mg/m}^3$  für die A-Fraktion überschritten werden kann. Beim Punktschweißen ist eine Verminderung der Emissionen durch eine stationäre Punktabsaugung anhand der Messdaten nicht zu erkennen (Tabelle 6). Hingegen zeigen die Messdaten zu stationären offenen Erfassungseinrichtungen einen höheren Prozentsatz an Grenzwerteinhaltungen.

### 3.3.3 Löten

Löten ist das Herstellen einer nicht lösbaren Verbindung metallischer Werkstücke mithilfe eines geschmolzenen Zusatzmetalls, des Lots. Es wird durch die erwärmte Lötspitze des LötKolbens beim Weichlöten (Bild 2) bzw. mit einem Brenner beim Hartlöten geschmolzen [4]. Am weitesten verbreitet ist das Löten in der Elektrotechnik und Elektronik. Die Lötungen werden dort überwiegend mit Weichlot ausgeführt.

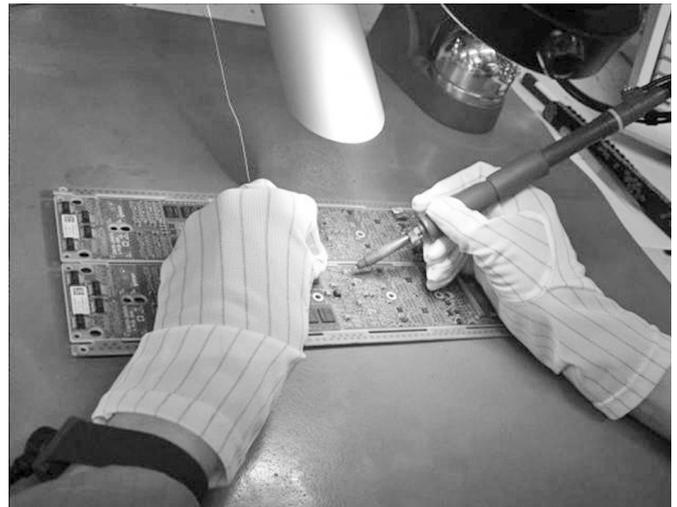


Bild 2. Weichlöten (Kolbenlöten) mit Absaugung.

Das Hartlöten wird bei erhöhten Anforderungen an Festigkeit und Wärmebeständigkeit der Lötstellen in der Elektroindustrie, im Anlagenbau und bei der Montage von Kleinteilen angewendet. Hier unterscheidet man Flamm-, Induktions- und Ofenlöten.

Die bei den verschiedenen Lötverfahren entstehenden Löt- rauche können je nach Zusammensetzung der eingesetzten Lote und Flussmittel sowie nach den verfahrenstechnischen Kenngrößen variieren.

Tabelle 7. Expositionsdaten mit Schichtbezug zu Zink und seinen Verbindungen beim Weichlöten im Zeitraum von 2000 bis 2011 in der A-Fraktion.

Probenahmeart	Anzahl Messdaten	Anzahl Betriebe	Häufigkeit <-Werte Anzahl (%)	größte Bestimmungsgrenze in $\text{mg/m}^3$	$\leq$ GW %	Konzentrationen in $\text{mg/m}^3$		
						50-%-Wert	90-%-Wert	95-%-Wert
stationär	12	10	6 (50)	0,0031	100	0,0015*	0,019	0,0286
an der Person	11	10	5 (45,5)	0,0051	90,9	0,0022*	0,0464	0,117

\* Der Verteilungswert liegt unterhalb der größten analytischen Bestimmungsgrenze (a. B.) im Datenkollektiv.

Weitere Erläuterungen zu den Spaltenüberschriften: siehe Tabelle 1

Tabelle 8. Expositionsdaten mit Schichtbezug zu Zink und seinen Verbindungen beim Hartlöten im Zeitraum von 2000 bis 2011 in der A-Fraktion.

Parameter		Anzahl Messdaten	Anzahl Betriebe	Häufigkeit <-Werte Anzahl (%)	größte Bestimmungsgrenze in $\text{mg/m}^3$	$\leq$ GW %	Konzentrationen in $\text{mg/m}^3$		
							50-%-Wert	90-%-Wert	95-%-Wert
Probenahmeart	stationär	33	29	6 (18,2)	0,0036	93,9	0,0071	0,0426	0,709
	an der Person	34	23	7 (20,6)	0,01	85,3	0,0169	0,174	0,39
Lötverfahren	Hartlöten, Flammlöten	55	34	10 (18,2)	0,0036	87,3	0,0143	0,17	0,689
	Hartlöten, ohne Flammlöten	12	10	3 (25)	0,01	100	0,0026*	0,0135	0,0467
Erfassungsart (beim Hartlöten, Flammlöten)	keine Erfassung	12	6	1 (8,3)	0,0006	75	0,0386	0,182	0,5326
	bewegliche Absaughaube mit Nachführung von Hand	13	9	2 (15,4)	0,0024	84,6	0,0197	0,428	1,0173
	mit Erfassung, unterschiedliche Verfahren	26	18	5 (19,2)	0,0036	92,3	0,0080	0,0495	0,236

\* Der Verteilungswert liegt unterhalb der größten analytischen Bestimmungsgrenze (a. B.) im Datenkollektiv.

Weitere Erläuterungen zu den Spaltenüberschriften: siehe Tabelle 1

Aus den Messdaten zum Weichlöten (**Tabelle 7**) ist ersichtlich, dass der MAK-Wert von  $0,1 \text{ mg/m}^3$  für die A-Fraktion in der Regel eingehalten wird. Die Daten zum Hartlöten zeigen, dass es beim Flammlöten zu Überschreitungen des MAK-Wertes kommen kann (**Tabelle 8**). Beim Hartlöten ist die Verminderung der Emissionen durch eine Erfassung möglich. Verwendet man handgeführte Absaughauben, ist deren exaktes Nachführen entscheidend für eine effektive Erfassung der Emissionen.

#### 4 Schutzmaßnahmen

Die hier ausgewerteten Messdaten zeigen, dass Expositionen oberhalb des MAK-Wertes auftreten. Um die Expositionen zu reduzieren, sind Schutzmaßnahmen notwendig. Umfassende, für alle Branchen gültige Hinweise zu Schutzmaßnahmen sind der TRGS 500 [15] und der BGR 121 [16] zu entnehmen.

Schutzmaßnahmen für den Bau und die Ausrüstung von Anlagen zum Feuerverzinken führt die europäische Norm DIN EN 746 „Thermoprozessanlagen“ auf. So wird im Teil 4 „Besondere Sicherheitsanforderungen an Feuerverzinkungsanlagen“ [17] und im Abschnitt 5.5 „Gefährdung durch chemische Stoffe“ auf Schutzmaßnahmen bei Expositionen gegenüber Gefahrstoffen eingegangen. Detaillierte Angaben dazu finden sich auch im IFA Report 6/2013 [4].

Schutzmaßnahmen beim Schweißen und Löten werden in der TRGS 528 [14], der BGI 593 [18], der BGI 790-014 [19] und der BGI 790-025 [20] beschrieben.

Als weitere oder zusätzliche Maßnahme kann eine technische Raumlüftung die Exposition minimieren.

#### 5 Diskussion

Die Auswertungen der Ergebnisse von Arbeitsplatzmessungen zeigen, dass eine Übernahme des MAK-Wertes der DFG für Zink und seine Verbindungen in der A-Fraktion von  $0,1 \text{ mg/m}^3$  in die TRGS 900 in einigen Branchen und Arbeitsbereichen zu Problemen führen kann. In der Nicht-Eisenmetall-Gießerei, der Feuerverzinkerei und beim MAG-Schweißen wurden Überschreitungen dieses Wertes festgestellt. In anderen Bereichen wie beim Weichlöten oder beim Verzinken in der Galvanotechnik [4] kann der MAK-Wert mit dem dort angetroffenen technischen Stand weitgehend eingehalten werden.

Industriebereiche mit Zinkkonzentrationen größer als  $0,1 \text{ mg/m}^3$  müssten sich darauf einrichten, weitergehende Schutzmaßnahmen vorzusehen. Ferner ist nicht auszuschließen, dass in den Bereichen mit Zinkexposition auch weitere Gefahrstoffe auftreten, deren Expositionen durch diese Maßnahmen ebenfalls minimiert würden.

Einen umfassenderen Überblick zu Zink und seinen Verbindungen gibt der IFA Report 6/2013 „Zinkexpositionen in der Metallindustrie“ [4]. Hier sind in Ergänzung zu den Messwerten für Zink und seine Verbindungen in der A-Fraktion auch Messwerte in der E-Fraktion dargestellt. Der Report bietet auch Stoffinformationen sowie Hinweise zu Gesundheitsgefahren und zur Einstufung und Kennzeichnung. Mit dieser Zusammenstellung erhält der Arbeitsschutz Aussagen zur Expositionssituation am Arbeitsplatz und Hilfen für ein gezieltes Vorgehen zur Minimierung der Exposition. Darüber hinaus soll der Grenzwert der MAK-Kommission mit einer angepassten humanen Inhalationsstudie überprüft

werden. Das Institut für Prävention und Arbeitsmedizin der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, Institut der Ruhr-Universität Bochum (IPA) bereitet im Expositionslabor Untersuchungen zu gesundheitlichen Effekten von Zinkoxidpartikeln vor [21]. Die Ergebnisse könnten weitere Hinweise zur Bewertung von Zinkexpositionen und einer möglichen Festlegung eines AGW geben.

#### Literatur

- [1] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Arbeitsplatzgrenzwerte (TRGS 900). Ausg. 1/2006. BArbBl. (2006) Nr. 1, S. 41-55; zul. geänd. GMBL. (2013) Nr. 17, S. 363-364.
- [2] MAK- und BAT-Werte-Liste 2009: Maximale Arbeitsplatzkonzentrationen und Biologische Arbeitsstofftoleranzwerte. Hrsg.: Senatskommission zur Prüfung gesundheitsgefährdender Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Weinheim: Wiley-VCH 2009.
- [3] GESTIS-Stoffdatenbank (Gesundheitsgefahren, Einstufung, Kennzeichnung). Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin. [www.dguv.de/ifa/stoffdatenbank](http://www.dguv.de/ifa/stoffdatenbank)
- [4] *Bagschik, U.; Böckler, M.; Gabriel, S.; Hahn, J.-U.; Koppisch, D.; Pflaumbaum, W.; Smola, T.; Voßberg, A.*: Zinkexpositionen in der Metallbranche (IFA Report 6/2013). Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV). Berlin 2013.
- [5] DIN EN 481: Arbeitsplatzatmosphäre; Festlegung der Teilchengrößenverteilung zur Messung luftgetragener Partikel. Berlin: Beuth 1993.
- [6] IFA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV). Berlin 2013. Berlin: Erich Schmidt 1989 – Losebl.-Ausg.
- [7] *Hebisch, R.; Fricke, H.-H.; Hahn, J.-U.; Lahaniatis, M.; Maschmeier, C. P.; Mattenklott, M.*: Probenahme und Bestimmung von Aerosolen und deren Inhaltsstoffen. In: Deutsche Forschungsgemeinschaft (Hrsg.): Analytische Methoden zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe – Luftanalysen. Bd. 1, 14. Lfg. Spezielle Vorbemerkungen, Abschn. 4.7.2. Weinheim: Wiley-VCH 2005.
- [8] *Gabriel, S.; Koppisch, D.; Range, D.*: The MGU – a monitoring system for the collection and documentation of valid workplace exposure data. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 70 (2010) Nr. 1/2, S. 43-49.
- [9] *Gabriel, S.; Koch, U.; Koppisch, D.; Stamm, R.; Steinhausen, M.*: Neue Herausforderungen an die Ermittlung, Dokumentation und Auswertung von Expositionsdaten zu Gefahrstoffen. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 72 (2012) Nr. 1/2, S. 12-20.
- [10] *Van Gelder, R.*: BIA-Expositionsdatenbank DOK-MEGA. Aus der Arbeit des IFA, Nr. 0207. Hrsg.: Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA). Sankt Augustin 2010.
- [11] Das Messsystem der UV-Träger zur Gefährdungsermittlung (MGU). 7. Aufl. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV). Berlin 2013.
- [12] DIN EN ISO 1461: Durch Feuerverzinken auf Stahl aufgebrauchte Zinküberzüge (Stückverzinken) – Anforderungen und Prüfungen. Berlin: Beuth 2009.
- [13] *Maaß, P.; Beißker, P.*: Handbuch Feuerverzinken. 3. Aufl. Weinheim: Wiley-VCH 2007.

- 
- [14] Technische Regel für Gefahrstoffe (TRGS 528): Schweißtechnische Arbeiten. Ausg. 2/2009. GMBI. (2009) Nr. 12-14, S. 236-253.
- [15] Technische Regel für Gefahrstoffe (TRGS 500): Schutzmaßnahmen. Ausg. 1/2008. GMBI. (2008) Nr. 11/12, S. 224-258; zul. geänd. GMBI. (2008) Nr. 26, S. 528.
- [16] Berufsgenossenschaftliche Regel: Arbeitsplatzlüftung – Lufttechnische Maßnahmen (BGR 121). Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG). Sankt Augustin 2004.
- [17] DIN EN 746-4: Industrielle Thermoprozessanlagen – Teil 4: Besondere Sicherheitsanforderungen an Feuerverzinkungsanlagen. Berlin: Beuth 2000.
- [18] Berufsgenossenschaftliche Information: Schadstoffe beim Schweißen und bei verwandten Verfahren (BGI 593). Ausg. 11/2012. Hrsg.: Berufsgenossenschaft Holz und Metall, Mainz 2012.
- [19] BG-Information: BG/BGIA-Empfehlung für die Gefährdungsbeurteilung nach der Gefahrstoffverordnung – Weichlöten mit dem LötKolben an elektrischen und elektronischen Baugruppen oder deren Einzelkomponenten (Kolbenlöten) (BGI 790-014). Ausg. 6/2008. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV). Berlin 2008.
- [20] Information: Manuelles Kolbenlöten mit bleifreien Lotlegierungen in der Elektro- und Elektronikindustrie (BGI/GUV-I 790-025). Ausg. 1/2012. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV). Berlin 2012.
- [21] *Monsé, C.; Monz, C.; Dahmann, D.; Asbach, C.; Stahlmecke, B.; Lichtenstein, N.; Buchwald, K.-E.; Merget, R.; Bünger, J.; Brüning, T.*: Vorbereitungen zur Untersuchung gesundheitlicher Effekte von Zinkoxidpartikeln. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 73 (2013) Nr. 4, S. 144-148.