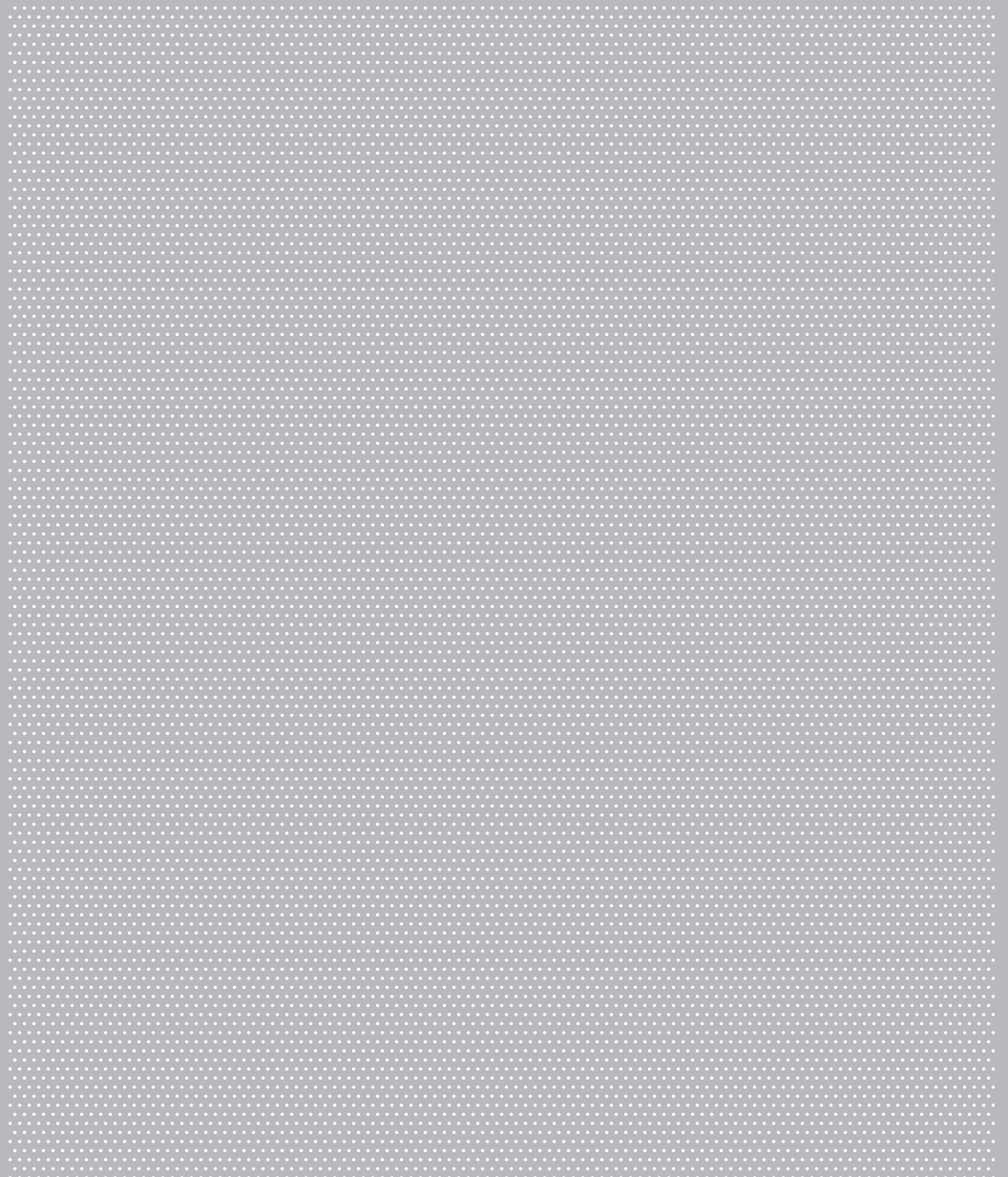


6/2013

IFA Report

Zinkexpositionen in der Metallbranche



Verfasser: Ute Bagschik,
Berufsgenossenschaft Holz und Metall, Köln

Margret Böckler,
Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse, Köln

Stefan Gabriel, Jens-Uwe Hahn, Dorothea Koppisch, Wolfgang Pflaumbaum, Thomas Smola,
Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin

Andreas Voßberg,
Berufsgenossenschaft Holz und Metall, Hannover

Herausgeber: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV)
Mittelstraße 51
10117 Berlin
Germany
Telefon: +49 30 288 7638 00
Telefax: +49 30 288 76 38 08
Internet: www.dguv.de
E-Mail: info@dguv.de
— Mai 2013 —

Publikationsdatenbank: www.dguv.de/publikationen

Satz und Layout: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V., Berlin

ISBN: 978-3-86423-086-8

ISSN: 2190-7994

Kurzfassung

Zinnoxpositionen in der Metallbranche

Mit diesem Report werden Daten zur Exposition gegenüber Zink in der Metallindustrie vorgelegt. Vorangestellt sind Stoffinformationen und eine Darstellung der Gesundheitsgefahren zu Zink und Zinkoxid sowie Probenahme- und Analysenverfahren für Zink und seine Verbindungen. Als Schwerpunkt enthält der Report statistische Auswertungen zu Expositionsdaten, die im Messsystem Gefährdungsermittlung der UV-Träger (MGU) ermittelt und in der IFA-Expositionsdatenbank MEGA dokumentiert sind. Die Messergebnisse zu Zink und seinen Verbindungen wurden sowohl nach der A- und E-Fraktion als auch nach

Branchen und Arbeitsbereichen selektiert. Sofern eine ausreichende Anzahl von Messergebnissen vorliegt, wurden Selektionen nach der Probenahmeart (personengetragen, stationär) und nach der Erfassung (Absaugung) vorgenommen. Die Beurteilung schließt den Vergleich der Messergebnisse mit den im Jahr 2009 veröffentlichten MAK-Werten von 2 mg/m^3 bezogen auf Zink in der E-Fraktion und von $0,1 \text{ mg/m}^3$ auf Zink in der A-Fraktion ein. Des Weiteren werden Schutzmaßnahmen benannt, die Expositionen mindern helfen.

Abstract

Zinc exposure in the metals industry

This report presents data on exposure to zinc in the metals industry. The data are preceded by information on substances and health hazards associated with zinc and zinc oxide and on sampling and analysis methods for zinc and its compounds. The focus of the report lies upon statistical evaluations of exposure data obtained from the MGU measurement system for exposure assessment of the German social accident insurance institutions and the IFA's MEGA exposure database. The measurement results for zinc and its compounds were selected both according

to the respirable and inhalable fractions and according to sector and working area. Where sufficient measurement results were available, selection was made according to the form of sampling (personal, static) and local exhaust ventilation. Evaluation includes comparison of the measurement results with the MAK occupational exposure limits for zinc published in 2009 of 2 mg/m^3 for the inhalable fraction and 0.1 mg/m^3 for the respirable fraction. Protective measures are also stated which assist in reducing exposure.

Résumé

Exposition au zinc dans la métallurgie

Ce rapport contient des données relatives à l'exposition au zinc dans l'industrie métallurgique. Il est précédé d'informations sur le zinc et l'oxyde de zinc, sur les risques pour la santé liés à ces substances ainsi que sur les méthodes de prélèvement et d'analyse mises en œuvre pour le zinc et ses composés. Dans ce rapport, l'accent est mis sur les évaluations statistiques de données d'exposition qui ont été déterminées à l'aide du système de mesure Détermination des risques des organismes d'assurance sociale allemande des accidents du travail et des maladies professionnelles (MGU), et sont contenues dans la base de données d'exposition MEGA de l'IFA. Les résultats des

mesures relatives au zinc et à ses composés ont été sélectionnés aussi bien en fonction de la fraction alvéolaire et de la fraction inhalable qu'en fonction de la branche et du secteur d'activité. Dans la mesure où le nombre de résultats de mesure était suffisant, des sélections ont été effectuées en fonction du dispositif de prélèvement (portatif, fixe) et de la collecte (aspiration). Les résultats de mesure sont également comparés aux valeurs limites d'exposition professionnelle publiées en 2009 (2 mg/m³ pour le zinc dans la fraction inhalable et 0,1 mg/m³ pour le zinc dans la fraction alvéolaire). Enfin, des mesures de protection permettant de réduire les expositions sont citées.

Resumen

Exposiciones al zinc en el sector metalúrgico

Con este informe se presentan datos sobre la exposición al zinc en la industria metalúrgica. Se antepone información sobre la sustancia y los peligros para la salud que conllevan el zinc y el óxido de zinc, y procesos de toma de muestras y análisis para el zinc y sus compuestos. Como punto esencial, el informe contiene las evaluaciones estadísticas sobre los datos de exposición, calculados en el sistema de medición de la determinación del riesgo de las entidades de seguros contra accidentes (MGU, en alemán) y documentados en el banco de datos de exposición MEGA de la IFA. Los resultados de las mediciones relativas al zinc y a sus compuestos se seleccionan conforme a la fracción A y la fracción E, así como en función de los sectores y las áreas de

trabajo. Siempre que hay un número suficiente de resultados de las mediciones, se han realizado selecciones en función del tipo de toma de muestras (en personas, estacionario) y en función de la obtención (aspiración). La evaluación incluye la comparación de los resultados de las mediciones con los valores del límite de exposición profesional publicados en el año 2009 de 2 mg/m^3 con respecto al zinc en la fracción de E y de $0,1 \text{ mg/m}^3$ en relación con el zinc en la fracción de A. Después, se mencionan medidas de protección que ayudan a disminuir las exposiciones.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	9
2	Stoffinformationen	11
2.1	Zink, Zinkstaub	11
2.2	Zinkoxid	12
3	Gesundheitsgefahren	15
3.1	Zink, Zinkstaub	15
3.2	Zinkoxid	15
4	Einstufung und Kennzeichnung	17
4.1	Zink, Zinkstaub	17
4.2	Zinkoxid	17
5	Grenzwerte	19
5.1	Zeitliche Entwicklung der Grenzwerte	19
5.2	Beurteilungsmaßstäbe	19
6	Messverfahren	21
6.1	Probenahme	21
6.2	Probenaufbereitung	21
6.3	Analytische Bestimmung	21
6.4	Bestimmungsgrenzen	21
7	Expositionsdaten	23
7.1	Datenbestand und Grundlagen der Auswertung	23
7.2	Branchenbezogene Expositionsdaten	25
7.2.1	Stahlwerke	25
7.2.2	Nicht-Eisen-Metallgießerei (NE-Metallgießerei)	26
7.2.3	Eisen- und Stahlgießerei	26
7.2.4	Fahrzeugbau	27
7.2.5	Feuerverzinken	28
7.2.6	Galvanik	30
7.2.7	Elektronikschrott-Recycling	32
7.3	Arbeitsbereichsbezogene Expositionsdaten	33
7.3.1	MAG-Schweißen	33
7.3.2	Widerstandspunktschweißen	35
7.3.3	Weitere Schweißverfahren	36
7.3.4	Löten	38
7.3.5	Schleifen und Polieren	40
7.3.6	Pulverbeschichten, Flüssiglackbeschichtung	41
8	Literatur	43
9	Stichwortverzeichnis	45

1 Einleitung

Zink und Zinkverbindungen werden in einer Fülle von Arbeitsverfahren als Werkstoff eingesetzt, unter anderem zum Verzinken von Eisen und Stahlteilen (Feuerverzinken) und zum kathodischen Rostschutz. Zinklegierungen finden Verwendung in der Automobilindustrie und im Maschinen- und Apparatebau. Des Weiteren werden Beschläge aller Art, Teile für die Sanitärindustrie, für die Feingeräte- und Elektrotechnik, Metallspielwaren und viele Gebrauchsgegenstände im Haushalt daraus hergestellt. Zinkblech dient als Werkstoff im Bauwesen. In großtechnischem Maßstab wird Zink für Anoden (negative Elektroden) in nicht wiederaufladbaren 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. Im Jahre 2009 hat die Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) Zink und seine anorganischen Verbindungen neu bewertet und zwei MAK-Werte veröffentlicht. Der MAK-Wert von 2 mg/m^3 bezieht sich auf Zink in der einatembaren Fraktion (E-Fraktion), der MAK-Wert von $0,1 \text{ mg/m}^3$ auf Zink in der alveolengängigen Fraktion (A-Fraktion). Diese Werte dienen dem Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) als Grundlage für die Beratungen zur Festlegung von Arbeitsplatzgrenzwerten (AGW). AGW werden durch Aufnahme in die Technische Regel für Gefahrstoffe (TRGS) 900 verbindlich.

Dieser Report stellt die aktuelle Situation der Zinkexpositionen in der Metallbranche dar. Er liefert damit einen Beitrag zur Diskussion in Fachgremien im Rahmen der Weiterentwicklung des technischen Regelwerks zu Gefahrstoffen. Zudem kann er als Grundlage zur Lenkung präventiver Maßnahmen und zur Expositionsüberwachung herangezogen werden. Der Report umfasst die Beschreibung der Arbeitsbereiche, Tätigkeiten und Verfahrensschritte, insbesondere die Expositionsdaten zu Zink und seinen Verbindungen sowie Hinweise zu Schutzmaßnahmen und zum technischen Stand.

2 Stoffinformationen

2.1 Zink, Zinkstaub

Identifikation [1]

ZVG-Nummer (GESTIS-Stoffdatenbank): 008250 Zink, Pulver oder Staub, nicht stabilisiert

ZVG-Nummer (GESTIS-Stoffdatenbank): 500052 Zink, Pulver oder Staub, stabilisiert

CAS-Nummer: 7440-66-6

INDEX-Nummer: 030-001-00-1

EG-Nummer: 231-175-3

Chemisches Symbol: Zn

Ordnungszahl: 30

Atommasse: 65,39 g/mol

Eigenschaften [2 bis 4]

Das chemische Element Zink zählt zu den Übergangsmetallen, nimmt aber eine Sonderstellung ein, da seine Eigenschaften eher den Erdalkalimetallen ähneln.

Zink ist ein bläulich-weißes, unedles, luft- und feuchtigkeitsempfindliches, an blanken Oberflächen stark glänzendes Metall, das bei Zimmertemperatur ziemlich spröde ist. Zwischen 100 und 150 °C ist es jedoch leicht verformbar, sodass es zu Blechen ausgewalzt und zu Drähten gezogen werden kann. Ab 200 °C wird es wieder so spröde, dass es sich zu einem blaugrauen Pulver mahlen lässt.

Zink ist nach Silber, Kupfer, Gold und Aluminium der fünftbeste Elektrizitätsleiter. Entsprechend seiner hohen Dichte von 7,13 g/cm³ gehört Zink zu den Schwermetallen. Bei Erhitzen unter Luftausschluss schmilzt es bei 419,5 °C und siedet bei 907 °C. Erhitzt man Zink an der Luft, findet ab 225 °C eine stärkere Oxidation statt. Bei Temperaturen über 500 °C verbrennt Zink mit bläulich-grüner Flamme zu einem weißen Rauch von Zinkoxid.

Zinkpulver bildet bei Aufwirbelung explosionsfähige Gemische mit Luft – diese Gemische können sich elektrostatisch aufladen. Entzündung kann durch statische Elektrizität, Funken, heiße Oberflächen oder offene Flammen erfolgen. Größere Mengen Zinkstaub können sich in feuchtem Zustand spontan erhitzen und bei Kontakt mit der Luft entzünden.

Auf kompaktem Zink entsteht an der Luft und in Gegenwart von Kohlendioxid eine schwer wasserlösliche Schutzschicht von basischem Zinkcarbonat, die auch bei Temperaturschwankungen nicht abblättert. Daher kann man z. B. Eisen durch Verzinken korrosionsbeständig machen, obwohl Zink unedler

ist als Eisen. Säuren und starke Laugen lösen die Schutzschicht schnell auf oder verhindern ihre Bildung.

Heißes Wasser und Dampf greifen Zink stark an. In Pulverform ist das Metall sehr reaktionsfähig. Es reagiert z. B. mit Wasser schon bei 20 °C; dabei entsteht Wasserstoff. Die Reaktionswärme reicht aus, um den Wasserstoff zu entzünden.

In Verbindungen ist Zink zweiwertig. Zinkverbindungen sind in der Regel farblos.

Vorkommen [2; 3]

Zink ist ein relativ häufiges Element der Erdkruste – häufiger als Kupfer oder Blei. Als unedles Metall kommt Zink nur selten gediegen vor. Überwiegend findet es sich in Form von Verbindungen, meist mit Blei und Cadmium vergesellschaftet. Die häufigsten und für die Zinkgewinnung wichtigsten Erze sind Zinksulfiderze (Sphalerit, Wurtzit). Weitere wichtige Zinkerze sind Smithsonit (Zinkspat), Galmei, Zinkblende, Hemimorphit (Kieselzinkerz), Franklinit, Willemit und Zinkit (Rotzinkerz).

Zinkerze werden hauptsächlich in China, Australien, Peru, den Vereinigten Staaten, Kanada, Kasachstan, Irland, Mexiko und Indien abgebaut.

Verwendung [2; 3]

Zink kommt in verschiedenen Reinheitsgraden als „Umschmelz-zink“ (≥ 96 % Zink), als „Hüttenzink“ (97,5 bis 99,5 % Zink) oder als „Feinzink“ (99,9 bis 99,995 % Zink) in den Handel.

Die Hauptmenge des erzeugten Zinks wird zum Verzinken von Eisen und Stahlteilen verwendet (Feuerverzinken). Unter Feuerverzinken versteht man das Aufbringen eines metallischen Zinküberzugs auf Eisen oder Stahl durch Eintauchen in geschmolzenes Zink (bei ca. 450 °C). Dabei bildet sich an der Berührungsfläche eine widerstandsfähige Legierungsschicht aus Eisen und Zink und darüber eine sehr fest haftende reine Zinkschicht. Durch die Feuerverzinkung entstehen relativ dicke Zinkschichten, die alle Stellen des Werkstückes umfassen. Feuerverzinkte Werkstücke sind je nach Bedingungen über Jahrzehnte vor Korrosion geschützt.

Zink wird weiterhin zum kathodischen Rostschutz verwendet. Bei diesem galvanischen Verfahren wird die Zinkschicht elektrolytisch aufgebracht. Dazu taucht man das Werkstück als Kathode und ein Stück reines Zink als Anode in eine Zinksalzlösung. Am Werkstück bildet sich durch Reduktion von Zinkionen metallisches Zink. Gleichzeitig oxidiert das reine Zink der Anode, sie löst sich dabei auf. Es entsteht eine dichte Zinkschicht, die allerdings nicht so dick ist wie diejenige, die beim Feuerverzinken entsteht. Diese Zinkschicht schützt das Bauteil (Eisen, Stahl) und fungiert dabei als Opfer- oder Schutzanode – die Schicht löst sich bevorzugt auf und erhält somit möglichst lange die Funktion des Bauteils. Auch die im Karosseriebau verwendeten Stahlbleche sind heute meist verzinkt. Einige Hersteller sind

jedoch wieder dazu übergegangen, den aufwendigen und teuren Prozess der galvanischen Vollverzinkung durch eine Teilverzinkung mit verbesserter (Wachs-)Konservierung zu ersetzen.

Große Mengen Zink dienen der Herstellung von Zinklegierungen wie z. B. Messing, Tombak, Rotguss und Neusilber. Von den weiteren Zinklegierungen hat insbesondere die Feinzinkgusslegierung (3,5 bis 6 % Aluminium, maximal 2,8 % Kupfer, etwas Magnesium) Bedeutung erlangt. Ihre Anwendung umfasst Automobilzubehörteile, Teile im Maschinen- und Apparatebau, Beschläge aller Art, Teile für die Sanitärindustrie, für die Feingeräte- und Elektrotechnik, für Metallspielwaren und viele Gebrauchsgegenstände im Haushalt. Zinklegierungen mit 30 % Aluminium und 5 % Kupfer werden als Lagerwerkstoffe verwendet. 22 % Aluminium enthaltende Legierungen haben superplastische Eigenschaften. Neuerdings werden auch aluminiumhaltige Zinküberzüge auf Stahlbändern und Blechen hergestellt.

Zinkblech wird als Werkstoff im Bauwesen verwendet, heute überwiegend in Form des korrosionsfesteren, weniger spröden und mechanisch deutlich belastbareren Titanzinks. Auch hierbei handelt es sich um eine Legierung des Zinks mit 0,1 bis 0,2 % Titan und 0,2 bis 1 % Kupfer. Es wird hauptsächlich zur Dacheindeckung, als Fassadenbehang, für Regenrinnen und Fallrohre, für Abdeckungen von Gesimsen und Außenfensterbänken oder für Anschlüsse und Dachkehlen eingesetzt, hält bis zu 100 Jahre und muss nach fachgerechter Verarbeitung weder gewartet noch repariert werden.

Zink wird in großtechnischem Maßstab für negative Elektroden (Anoden) in nicht wiederaufladbaren Batterien verwendet. Es dient ferner zur Herstellung von Druckplatten, als Ätzmittel im Textildruck (Zinkstaub) und als Reduktionsmittel in der Metallurgie zur Gewinnung von Silber oder Gold sowie zur Herstellung von Zinkverbindungen, z. B. in Pigmenten und Metallseifen.

Anstrichstoffe mit hochpigmentierten Zinkstaubfarben und neutralen Bindemitteln (z. B. Polyester, Chlorkautschuk) wirken korrosionsschützend (siehe Zinkoxid).

Medizinisch wird Zink in speziellen Zinkpräparaten verwendet (siehe Zinkoxid).

Physiologie [1]

Zink ist für Menschen, Tiere, Pflanzen und Mikroorganismen lebensnotwendig. Nach Eisen ist es das zweithäufigste Spurenelement. Zink ist Bestandteil von mehreren hundert Enzymen und aktiviert Enzyme. Es hat antioxidative Eigenschaften. Darüber hinaus ist eine ausreichende Zinkversorgung wichtig für eine optimale Funktion des Immunsystems. Zink spielt eine wichtige Rolle in der Wundheilung.

Tierische Lebensmittel weisen oft recht hohe Zinkgehalte mit hoher Bioverfügbarkeit auf. Besonders zinkreich sind Austern (> 50 mg/kg), gefolgt von Muskelfleisch (Rind, Kalb, Schwein) und Innereien (Leber, Nieren, Herz) mit 20 bis 50 mg/kg. Bemerkenswert ist auch der hohe Zinkgehalt in einigen Käsesorten. Bei den pflanzlichen Lebensmitteln haben insbesondere Weizenkeime, Sojamehl (> 50 mg/kg), Haferflocken, Wal- und Paranüsse einen hohen Zinkgehalt.

2.2 Zinkoxid

Identifikation [1]

Name: Zinkoxid, Zinkweiß

ZVG-Nummer (GESTIS-Stoffdatenbank): 002090

CAS-Nummer: 1314-13-2

INDEX-Nummer: 030-013-00-7

EG-Nummer: 215-222-5

Formel: ZnO

Molmasse: 81,39 g/mol

Eigenschaften [2 bis 4]

Zinkoxid bildet farblose, hexagonale Kristalle oder liegt als weißes, lockeres, geruchloses Pulver vor. Zinkoxide mit kleinen Mengen von Fremdbestandteilen können auch farbig sein. Mit nur 1,6 mg/l bei 29 °C ist Zinkoxid in Wasser praktisch unlöslich. Die Dichte von Zinkoxid beträgt 5,61 g/cm³ und seine Schüttdichte liegt je nach vorliegender Form im Bereich von 200 bis 700 kg/m³.

Zinkoxid verdunstet ab ca. 1300 °C. Es hat bei Normaldruck keinen Schmelzpunkt, sondern sublimiert bei etwa 1800 °C. Erst unter erhöhtem Druck kann es bei 1975 °C auch schmelzen. Beim Erhitzen färbt sich Zinkoxid zitronengelb, nach dem Abkühlen ist es wieder weiß. Im Dunkeln ist anschließend ein schwaches Nachleuchten zu beobachten.

Zinkoxid ist ein direkter Halbleiter. Es absorbiert UV-Licht und ist für sichtbares Licht transparent. Die elektrische Leitfähigkeit von Zinkoxid kann durch Dotierung mit geeigneten Elementen (z. B. Aluminium, Indium, Gallium) erhöht werden.

Durch Verbrennen von Zink kann sich Zinkoxid in feinfilziger, wollartiger Form (*Lana philosophica*) bilden. Technische Zinkoxidpigmente sind häufig bleihaltig.

Zinkoxid entsteht auch als unerwünschtes Nebenprodukt beim Schweißen von verzinkten Stahlteilen und bei artverwandten Verfahren. Dabei verbrennt die Zinkbeschichtung zu beiden Seiten der Schweißnaht und es entstehen grauweiße Zinkoxidrauche.

Vorkommen [2; 3]

In der Natur tritt Zinkoxid als Mineral in Form von grobkörnigem Rotzinkerz (Zinkit) auf.

Verwendung [2; 3]

Zinkoxid dient als Bestandteil von Korrosionsschutzpigmenten. Als Weißpigment (Zinkweiß; Zinkoxid mit 45 bis 50 % Öl) hat es seit dem Aufkommen von Titandioxidpigmenten stark an Bedeutung verloren. In der Kunstmalerei wird Zinkweiß mit Mohnöl

verwendet, auch in der Tempera- und Aquarelltechnik ist es verwendbar. Weiterhin wird Zinkoxid in Außenfarben zum Holzschutz, als Antifouling-Wirkstoff und als Biozid gegen Schimmelfeuchigkeit eingesetzt. Es verbessert die Filmhärtung und Beständigkeit, da es saure Oxidationsprodukte als Zinkseifen abfängt und UV-Strahlung absorbiert.

Umsatzstärkstes Einsatzgebiet ist die Gummiindustrie; hier dient Zinkoxid als Aktivator für den Vulkanisationsprozess. Zinkoxid verwendet man weiterhin als Katalysator bei der Methanol-Synthese, zur Fettsäurespaltung, bei Hydrierungen und Isomerisierungen, zur Herstellung von Fotokopierpapieren, in der Färberei in Dithionit-Ätzen, als Reserve für Anilinschwarz, zur Herstellung

von Lacken, Grundierungen, Spachtelmassen, Sikkativen, Kit-ten, Klebstoffen, Emails, keramischen Erzeugnissen, Pudern, Schminken und anderen kosmetischen Erzeugnissen (z. B. als Weißpigment in Make-up-Präparaten) sowie als Düngemittel- und Futtermittelzusatz bei Zinkmangel. Zinkoxid kann auch in Sonnenschutzpräparaten als anorganischer UV-Filter eingesetzt werden.

Medizinische Präparate zur Haut- und Wundbehandlung (Zinköl, Zinkleim, Zinkpaste, Zinksalbe) enthalten oft Zinkoxid wegen dessen adstringierender und antiseptischer Wirkung. Es wird auch häufig in der Zahnheilkunde (z. B. bei Wurzelkanalbehandlungen) eingesetzt und gilt als Biomaterial.

3 Gesundheitsgefahren

Die folgenden Informationen sind der GESTIS-Stoffdatenbank [1] entnommen.

3.1 Zink, Zinkstaub

Hauptwirkungsweisen

Akut: reizende Wirkung auf Schleimhäute, Störungen der Atemfunktion

Chronisch: keine ausreichenden Angaben

Akute Toxizität

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 oder Hustenreiz äußern. Schwerwiegende akute gesundheitliche Wirkungen durch Zink sind nicht bekannt.

Chronische Toxizität

Es wurde berichtet, dass Zinkoxidstaub die Ausgänge der Talgdrüsen verstopfen kann, was beim Menschen Hautekzeme auslöste. Es ist nicht auszuschließen, dass Zinkstaub bei häufiger und langzeitiger Einwirkung ähnliche Wirkungen hervorrufen kann. Schwerwiegende chronische gesundheitliche Wirkungen durch Zink sind nicht bekannt.

Stoffwechsel und Ausscheidung

Zink ist ein essenzielles Element, das in viele physiologische Funktionen involviert ist. Eine Defizienz macht sich physiologisch unter normalen Umständen stärker nachteilig bemerkbar als ein geringer Überschuss. Der Hauptteil von oral aufgenommenem Zink wird über die Faeces ausgeschieden (70 bis 80 %).

3.2 Zinkoxid

Hauptwirkungsweisen

Akut: „Metалldampf-Fieber“ nach inhalativer Exposition

Chronisch: Hautveränderungen

Akute Toxizität

Exposition gegenüber Zinkoxidrauchen oder -aerosolen kann zu Reizerscheinungen an den Schleimhäuten führen. Erfahrungsberichte über Augenschädigungen sind jedoch nicht verfügbar. Über lokale Hautirritationen nach Intoxikationen sind die Angaben widersprüchlich. Als Bestandteil von Salben hat Zinkoxid keine Reizwirkung (Anwendung als Therapeutikum in z. T. hoher Konzentration).

Inhalation von Zinkoxid in sehr feiner Verteilung – insbesondere von an der Luft momentan oxidierten Zinkdämpfen – kann zu Metалldampf-Fieber („Zink-“ oder „Gießerei-Fieber“) führen. Der Symptomkomplex, der im Allgemeinen erst einige Stunden nach der Exposition auftritt und bis maximal 48 h, meist aber kürzer, anhält, ist gekennzeichnet durch Schüttelfrost, dann Fieber, meist begleitet von Muskel- und Gelenkschmerzen, Kreislaufstörungen, Übelkeit und Erbrechen. Husten, Atemstörungen und Brustschmerzen können hinzukommen. Dauerschäden sind 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.

Die orale Aufnahme hoher Dosen nicht ätzend wirkender Zinkverbindungen führt zu Störungen im Magen-Darm-Trakt (metallischer Geschmack, Übelkeit, Erbrechen, Durchfall und Fieber). Angaben über eine toxisch wirkende orale Zinkoxiddosis für den Menschen sind nicht verfügbar.

Chronische Toxizität

Es wurde berichtet, dass Zinkoxid die Ausgänge der Talgdrüsen verstopfen kann, was beim Menschen papuläre und pustuläre Hautekzeme auslöste.

Nach inhalativer beruflicher Exposition gegenüber Zinkoxid und Zinksulfat wurden Störungen im Magen-Darm-Trakt, Magengeschwüre und neurotische Störungen häufiger beobachtet als bei einer Kontrollgruppe.

Stoffwechsel und Ausscheidung

Zink ist ein essenzielles Element, das in viele physiologische Funktionen involviert ist. Eine Defizienz macht sich physiologisch unter normalen Umständen stärker nachteilig bemerkbar als ein geringer Überschuss.

4 Einstufung und Kennzeichnung

Die folgenden Informationen sind der GESTIS-Stoffdatenbank [1] entnommen.

4.1 Zink, Zinkstaub

Einstufung

Pyrophore Feststoffe, Kategorie 1; H250

Stoffe, die bei Berührung mit Wasser entzündbare Gase abgeben, Kategorie 1; H260

Gewässergefährdend, Akut Kategorie 1; H400

Gewässergefährdend, Chronisch Kategorie 1; H410

Kennzeichnung

Signalwort „Gefahr“

Gefahrenhinweise – H-Sätze

- H250: Entzündet sich in Berührung mit Luft von selbst.
- H260: In Berührung mit Wasser entstehen entzündbare Gase, die sich spontan entzünden können.
- H410: Sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung.

Sicherheitshinweise – P-Sätze

- P222: Kontakt mit Luft nicht zulassen.
- P223: Kontakt mit Wasser wegen heftiger Reaktion und möglichem Aufflammen unbedingt verhindern.
- P231+P232: Unter inertem Gas handhaben. Vor Feuchtigkeit schützen.
- P273: Freisetzung in die Umwelt vermeiden.
- P370+P378: Bei Brand: Trockensand, Trockenlöschmittel oder alkoholbeständigen Schaum zum Löschen verwenden.
- P422: Inhalt unter inertem Gas aufbewahren.

Herstellerangabe der Sigma-Aldrich-Gruppe

4.2 Zinkoxid

Einstufung

Gewässergefährdend, Akut, Kategorie 1; H400

Gewässergefährdend, Chronisch, Kategorie 1; H410

Kennzeichnung

Signalwort „Achtung“

Gefahrenhinweise – H-Sätze

- H410: Sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung.

Sicherheitshinweise – P-Sätze

- P273: Freisetzung in die Umwelt vermeiden.

Herstellerangabe der Firma Merck

5 Grenzwerte

5.1 Zeitliche Entwicklung der Grenzwerte

In Tabelle 1 ist die zeitliche Entwicklung der Grenzwerte in Deutschland dargestellt. Diese wurden in den Bekanntmachungen „MAK-Werte“, TRGA 900 und TRGS 900 veröffentlicht.

Seit 2005 werden in der TRGS 900 [8] keine AGW für Zink und seine Verbindungen geführt.

5.2 Beurteilungsmaßstäbe

Sofern für Gefahrstoffe keine AGW nach TRGS 900 [8] vorliegen, können nach TRGS 400 [9] und Nr. 5.3 der TRGS [10] 402 andere Beurteilungsmaßstäbe wie z. B. die MAK-Werte aus der MAK-

und BAT-Werte-Liste der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die Beurteilung herangezogen werden.

Für Zink und seine anorganischen Verbindungen veröffentlichte die Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der DFG im Jahr 2009 zwei MAK-Werte (Tabelle 2). Der MAK-Wert von 2 mg/m³ bezieht sich auf Zink in der E-Fraktion, der MAK-Wert von 0,1 mg/m³ auf Zink in der A-Fraktion.

Die MAK-Werte dienen dem Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) als Grundlage für die Beratungen zur Festlegung von AGW. Vom AGS verabschiedete Grenzwerte werden durch Aufnahme in die TRGS 900 zu verbindlichen AGW.

Tabelle 1:
Zeitliche Entwicklung der Grenzwerte

Bezeichnung	Grenzwert (mg ZnO/m ³)	Überschreitungsfaktor	Jahr
Zinkoxid-Rauch	15		1958 [5]
Zinkoxid-Rauch	5	4	1963 [6]
Zinkhaltige Rauche ¹⁾ (berechnet als Zinkoxid)			2004 ²⁾ [7]
Verfahren mit einer Arbeitstemperatur > 850 °C ³⁾			
– Gießverfahren, Flammlöten, Flamm-spritzen, Hartlöten, Schweiß- und Schneid- verfahren	2 A	2	
– im Übrigen	1 A	2	
A = alveolengängige Fraktion			

¹⁾ Der Begriff „zinkhaltige Rauche“ beschreibt die bei der Verdampfung von zinkhaltigen Materialien (Zinkmetall, -legierungen oder Zinkoxid) freigesetzten Rauche. Die im Rauch enthaltenen Zinkverbindungen sowie vorhandenes metallisches Zink werden analytisch als Zink in der A-Fraktion bestimmt und die Gesamtzinkkonzentration wurde bis 2010 als Zinkoxid berechnet.

²⁾ Grenzwert galt nur von Mai bis Dezember 2004 und wurde durch die Gefahrstoffverordnung 2005 aufgehoben.

³⁾ Für zinkhaltige Emissionen aus Zinkschmelzbädern (Verfahren mit einer Badtemperatur von ≤ 850 °C) gilt seit 2001 der allgemeine Staubgrenzwert von 3 mg/m³ (A-Fraktion) bzw. 10 mg/m³ (E-Fraktion) als Obergrenze.

Tabelle 2:
MAK-Werte aus der MAK- und BAT-Werte-Liste der Deutschen Forschungsgemeinschaft [11]

Bezeichnung	Grenzwert (mg Zn/m ³)	Überschreitungsfaktor	Jahr
Zink und seine anorganischen Verbindungen in der A-Fraktion	0,1 mg/m ³	4	2009
Zink und seine anorganischen Verbindungen in der E-Fraktion	2 mg/m ³	2	2009

6 Messverfahren

Für die Quantifizierung von Expositionen gegenüber Zink und seinen Verbindungen stehen diverse Messverfahren zur Verfügung, mithilfe derer der Zinkgehalt in luftgetragenen Stäuben sicher und in kleinen Konzentrationen bestimmt werden kann. Eine Differenzierung nach Oxidationsstufen oder Verbindungen ist wie bei den meisten in der Metallanalytik zur Anwendung kommenden Verfahren nicht möglich. So wurde zur Überprüfung des damaligen AGW für Zinkoxidrauch von 1 mg/m^3 der Zinkgehalt in der alveolengängigen Fraktion (A-Fraktion) bestimmt und in Zinkoxid umgerechnet. Wie im Kapitel 5 beschrieben, gibt es für Zink derzeit keinen AGW in der TRGS 900. Die von der DFG publizierten MAK-Werte von 2 mg/m^3 für Zink in der einatembaren Fraktion (E-Fraktion) und von $0,1 \text{ mg/m}^3$ für Zink in der A-Fraktion werden nur noch als Zink berechnet. Eine Umrechnung in Zinkoxid muss nicht mehr erfolgen.

Bei einem Vergleich von Messwerten muss also darauf geachtet werden, ob es sich um „alte“ Messwerte für „Zinkhaltige Rauche“ – berechnet als Zinkoxid – handelt oder um Messwerte, die im Sinne der aktuellen MAK-Werte nur noch als „Zink“ ausgewiesen wurden. Im letzteren Fall müssen die „Zink“-Werte mit einem stöchiometrischen Faktor von 1,245 multipliziert werden, um sie mit Angaben zu Zinkoxid vergleichen zu können.

6.1 Probenahme

Die Probenahme kann mit stationären oder personengetragenen Probenahmesystemen erfolgen, die entweder die E- oder die A-Fraktion erfassen.

Mithilfe einer geeigneten Probenahmepumpe (PAS-Pumpen mit einem Volumenstrom von $3,5 \text{ l/min}$ (GSP 3,5) bzw. 10 l/min (GSP 10)) wird ein definiertes Luftvolumen durch ein Partikelfilter gesaugt und das im Aerosol enthaltene Zink auf dem Filter abgeschieden. Als Filtermaterial setzt man in der Regel Membranfilter mit einer Porenweite von $8 \mu\text{m}$ und einem Durchmesser von 37 mm ein. In Ausnahmefällen (hohe Staubfracht oder Funkenflug) kann für E-Staub-Messungen auf Quarzfaserfilter ausgewichen werden. Glasfaserfilter sind wegen hoher und stark schwankender Blindwerte im Filtermaterial für Zinkbestimmungen völlig ungeeignet.

Für die messtechnische Ermittlung von Zink und seinen Verbindungen in der Luft am Arbeitsplatz wird seit dem Jahre 2000 überwiegend das PGP-System eingesetzt; das GSP für die Messung in der E-Fraktion und das FSP für die Messung in der A-Fraktion. Diese für die Expositionsbeurteilung verwendeten Probenahmesysteme entsprechen den Anforderungen der

DIN EN 481 [12]. Sie sind in der IFA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen beschrieben [13].

6.2 Probenaufbereitung

Für die Analyse wird das beaufschlagte Filter bzw. der gesammelte Staub einem Aufschluss mit einem Gemisch aus konzentrierter hochreiner Salpetersäure und Salzsäure unterzogen, da die Probe für die nachfolgende analytische Bestimmung in eine gelöste Form überführt werden muss [14]. In der so vorbereiteten sauren Messlösung liegt das Zink in zweiwertiger ionischer Form (Zn^{2+}) vor. Aus der Lösung lässt sich mit verschiedenen Analysetechniken der Gesamtzinkgehalt quantifizieren.

6.3 Analytische Bestimmung

Zur Bestimmung von Zink stehen atomabsorptionsspektrometrische Verfahren (z. B. die Flammen-AAS) oder Verfahren wie die optische Emissionsspektroskopie (OES) mittels induktiv gekoppeltem Plasma (ICP) als simultanes Multielementverfahren zur Verfügung. Mit den atomabsorptionsspektrometrischen Verfahren lässt sich Zink bei einer Wellenlänge von $213,9 \text{ nm}$ weitgehend störungsfrei detektieren. Bei der ICP-OES greift man auf die Wellenlängen $202,548 \text{ nm}$, $206,200 \text{ nm}$ und $213,857 \text{ nm}$ zurück. Die ICP-MS (MS = Massenspektrometrie) ist eine besonders empfindliche Nachweismethode. Aber auch die Totalreflektionsröntgenfluoreszenzanalyse (TRFA), eine Variante der energiedispersiven Röntgenfluoreszenz (EDRFA), kann angewendet werden. Im Gegensatz zu den zuvor beschriebenen Analysenverfahren ist bei der TRFA das Vorliegen einer partikelfreien Messlösung nicht zwingend erforderlich. So können auch schwer lösliche Komponenten der Probe, z. B. in Form von Filterdispersionen auf einen Probenträger aufgebracht, mitbestimmt werden. Die Identifizierung des Zinks erfolgt über die K-Linien, $K_{\alpha} = 8,631 \text{ keV}$ und $K_{\beta} = 9,572 \text{ keV}$.

6.4 Bestimmungsgrenzen

Die erwähnten Methoden unterscheiden sich in ihrer Empfindlichkeit und damit auch in ihren Bestimmungsgrenzen für Zink. Die Bestimmungsgrenze bzw. die aktuelle Blindwertstreuung wird von vielen weiteren Einflussparametern, wie dem Filtermaterial oder den laborinternen Arbeitsbedingungen, beeinflusst. Je nach geforderter Empfindlichkeit und in Abhängigkeit vom Probeluftvolumen ergeben sich die in Tabelle 3 angegebenen relativen Bestimmungsgrenzen. Zur Berechnung der Bestimmungsgrenzen wurde die in DIN 32645 [15] beschriebene Schnellschätzung aus der Blindwertstreuung zugrunde gelegt.

Tabelle 3:
Relative Bestimmungsgrenzen für Zink in Abhängigkeit von Probenahmesystem und Analysenmethode

Probenahmesystem	VC 25-F/G	PM4-F/G	GSP-10/FSP-10	GSP	FSP-2
Probeluftvolumen in m ³	45	8	1,2	0,42	0,24
Volumenstrom	22,5 m ³ /h	4 m ³ /h	10 l/min	3,5 l/min	2,0 l/min
Filterdurchmesser in mm	150	70	37	37	37
Analysemethode	relative Bestimmungsgrenze in µg/m ³ Zn				
F-AAS	0,07	0,20	0,67	1,9	3,4
ICP-OES	0,13/0,16	0,35	./.	./.	./.
ICP-MS	./.	./.	0,5	1,5	2,5
TRFA	0,23	0,63	0,84	2,4	4,2
TRFA*	0,18/0,23	0,38	0,59	1,7	3,0

* Filterdispergierung mit Aceton

7 Expositionsdaten

7.1 Datenbestand und Grundlagen der Auswertung

Die in diesem Report aufgeführten Messwerte zu Zink und seinen Verbindungen wurden im Rahmen des qualitätsgesicherten Messsystems Gefährdungsermittlung der UV-Träger (MGU) branchen- und arbeitsbereichsspezifisch ermittelt und in der IFA-Expositionsdatenbank „Messdaten zur Exposition gegenüber Gefahrstoffen am Arbeitsplatz (MEGA)“ gespeichert [16 bis 19].

Die Messungen von Zink und seinen Verbindungen erfolgten nach der Messstrategie der TRGS 402 [10]. Dabei kamen die in Kapitel 6 genannten Verfahren zum Einsatz.

Für den Report wurden Expositionsdaten im Datenzeitraum von 2000 bis 2011 ausgewertet. Für Messungen mit Schichtbezug wurden Proben mit einer Expositionsdauer von mindestens acht Stunden und einer Probenahmedauer von mindestens zwei Stunden berücksichtigt. Eine Differenzierung nach stationären Messungen und Messungen an der Person erfolgte bei ausreichend großen Datenkollektiven. Bei den ausgewerteten Daten ist die Probenahmedauer repräsentativ für die gesamte Expositionsdauer und es lag eine übliche betriebliche Situation vor.

Da zurzeit für Zink und seine Verbindungen keine AGW nach der TRGS 900 vorliegen, werden in diesem Report entsprechend der MAK-Werte-Liste der DFG für die Beurteilung von Zink und seinen Verbindungen in der einatembaren Fraktion (E-Fraktion) ein Grenzwert von 2 mg Zn/m³ und für Zink und seine Verbindungen in der alveolengängigen Fraktion (A-Fraktion) von 0,1 mg Zn/m³ herangezogen [11].

Die statistische Auswertung des MEGA-Datenbestandes erfolgte mit der im Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) entwickelten Auswertesoftware MEGA^{Pro}. Die Datenkollektive wurden nach Branchenzugehörigkeit und Arbeitsbereichen selektiert. Das für die Branchen verwendete Schlüsselverzeichnis basiert auf dem Verzeichnis „Systematik der Wirtschaftszweige mit Betriebs- und ähnlichen Benennungen“, herausgegeben vom Statistischen Bundesamt in Wiesbaden [20]. Auf diese Weise wurden Schichtmittelwerte zu vergleichbaren Branchen und Arbeitsbereichen zusammengefasst.

In Tabelle 4 sind Branchen genannt, in denen Zinkexpositionen auftreten. Im Abschnitt 7.2 werden diese differenziert nach Branchen dargestellt. Neben dieser Auswertung erfolgt bei hinreichend großen Datenkollektiven in Abschnitt 7.3 eine branchenübergreifende Auswertung der in Tabelle 4 genannten Arbeitsbereiche. Dabei wurden Daten aus weiteren Branchen der Metallverarbeitung einbezogen.

Das Gesamtkollektiv in Tabelle 5 gibt einen ersten Überblick zur Expositionshöhe von Zink und seinen Verbindungen in der A-Fraktion bzw. der E-Fraktion. Bei den Messwerten in Tabelle 5 handelt es sich um jeweils unabhängige Messungen der beiden Staubfraktionen und nicht um Parallelmessungen. Das ist aus der unterschiedlichen Anzahl Messwerte ersichtlich und erklärt, warum die Perzentile für die Expositionshöhe der A-Fraktion höher liegen als die entsprechenden Perzentile der E-Fraktion.

Um einen Vergleich der statistischen Parameter zu ermöglichen, wurden diese in allen Tabellen standardisiert (Tabelle 6).

Tabelle 4:
Expositionsdaten mit Schichtbezug zu Zink und seinen Verbindungen in ausgewählten Branchen und in ausgewählten Arbeitsbereichen im Datenzeitraum von 2000 bis 2011

Branche/Arbeitsbereich	Anzahl Messwerte für Zink und seine Verbindungen	
	in der A-Fraktion	in der E-Fraktion
Branchen		
Stahlwerke	12	32
Nicht-Eisen-Metallgießerei	103	165
Eisen- und Stahlgießerei	18	76
Fahrzeugbau, Zulieferung	124	101
Feuerverzinkerei	63	50
Galvanik	24	92
Elektronikschrott-Recycling	12	93
Arbeitsbereiche		
MAG-Schweißen	235	354
Schweißverfahren, andere außer MAG	263	242
Weichlöten	23	33
Hartlöten	68	68
Schleifen, Polieren	55	227
Pulverbeschichten, Flüssiglackbeschichten	5	43

Tabelle 5:
Expositionsdaten mit Schichtbezug zu Zink und seinen Verbindungen in der A- und E-Fraktion im Datenzeitraum von 2000 bis 2011

Zink und seine Verbindungen in der Staubfraktion	Anzahl Messdaten	Anzahl Betriebe	Häufigkeit <-Werte Anzahl/%	größte Bestimmungsgrenze in mg/m ³	≤ GW %	Konzentrationen in mg/m ³		
						50%-Wert	90%-Wert	95%-Wert
A	1 198	509	173/14,4	0,0273	74,8	0,0169 *	0,426	0,803
E	2 467	1 002	479/19,4	0,081	98,1	0,011 *	0,313	0,753

Erläuterung zu den Spalten siehe Tabelle 6.

Tabelle 6:
Standardisierte Tabelle

Spalte 1 Beschreibung	Spalte 2 Anzahl Messdaten	Spalte 3 Anzahl Betriebe	Spalte 4 Häufigkeit <-Werte Anzahl/%	Spalte 5 größte Bestimmungsgrenze in mg/m ³	Spalte 6 ≤ GW %	Spalte 7 Konzentrationen in mg/m ³ 50%-Wert	Spalte 8 Konzentrationen in mg/m ³ 90%-Wert	Spalte 9 Konzentrationen in mg/m ³ 95%-Wert
--------------------------	------------------------------	-----------------------------	---	---	--------------------	--	--	--

Erläuterungen zu den in Tabelle 6 dargestellten Spalten:

Spalte 1: Beschreibung

Branche oder Arbeitsbereich und Bezeichnung der Gefahrstoffe „Zink und seine Verbindungen in der E-Fraktion“ und „Zink und seine Verbindungen in der A-Fraktion“

Spalte 2: Anzahl Messdaten

Anzahl der Messdaten bezogen auf Zink und seine Verbindungen in der E-Fraktion oder auf Zink und seine Verbindungen in der A-Fraktion.

Spalte 3: Anzahl Betriebe

Anzahl der Betriebe bezogen auf Zink und seine Verbindungen in der E-Fraktion oder auf Zink und seine Verbindungen in der A-Fraktion.

** 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.

Spalte 4: Häufigkeit <-Werte (Anzahl, %)

Anzahl und Prozentsatz der Werte unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze (a. B.) des jeweiligen Messverfahrens.

Liegen Analysenergebnisse unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze des jeweiligen Messverfahrens vor, dann geht der Wert der halben a. B. in die Statistik ein.

Spalte 5: größte Bestimmungsgrenze in mg/m³

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

Spalte 6: ≤ GW %

Prozentzahl der Messwerte unterhalb des jeweiligen Grenzwertes bezogen auf Zink und seine Verbindungen in der E-Fraktion oder auf Zink und seine Verbindungen in der A-Fraktion. Zur Beurteilung werden in diesem Report die MAK-Werte der DFG von 2 mg Zn/m³ (E-Fraktion) und 0,1 mg Zn/m³ (A-Fraktion) herangezogen [11].

Spalte 7: 50%-Wert in mg/m³

Für diesen Wert (50-Perzentil) gilt, dass 50 % der vorhandenen Konzentrationswerte unterhalb, die restlichen 50 % oberhalb dieses Wertes liegen. Liegt der Verteilungswert unterhalb der größten analytischen Bestimmungsgrenze (a. B.) im Datenkollektiv, wird der Wert mit einem Stern (*) gekennzeichnet. Die Bestimmungsgrenze kann in Abhängigkeit von z. B. der Probenahmedauer oder dem Volumenstrom variieren.

Spalte 8: 90%-Wert in mg/m³

Für diesen Wert (90-Perzentil) gilt, dass 90 % der vorhandenen Konzentrationswerte unterhalb, die restlichen 10 % oberhalb dieses Wertes liegen. Liegt der Verteilungswert unterhalb der größten analytischen Bestimmungsgrenze (a. B.) im Datenkollektiv, wird der Wert mit einem Stern (*) gekennzeichnet. Die Bestimmungsgrenze kann in Abhängigkeit von z. B. der Probenahmedauer oder dem Volumenstrom variieren.

Spalte 9: 95%-Wert in mg/m³

Für diesen Wert (95-Perzentil) gilt, dass 95 % der vorhandenen Konzentrationswerte unterhalb, die restlichen 5 % oberhalb dieses Wertes liegen. Liegt der Verteilungswert unterhalb der größten analytischen Bestimmungsgrenze (a. B.) im Datenkollektiv, wird der Wert mit einem Stern (*) gekennzeichnet. Die Bestimmungsgrenze kann in Abhängigkeit von z. B. der Probenahmedauer oder dem Volumenstrom variieren.

7.2 Branchenbezogene Expositionsdaten

7.2.1 Stahlwerke

Aufbereitetes Eisenerz wird mit Zuschlägen und Reduktionsmitteln wie Koks, Öl, Gas oder aufbereiteten Altkunststoffen im Hochofen zu Roheisen umgewandelt. Roheisen ist ein Zwischenprodukt und enthält neben 3 bis 5 % Kohlenstoff unerwünschte oder zu hohe Mengen der Eisenbegleiter Silicium, Mangan, Schwefel und Phosphor. Bei der Umwandlung von Roheisen in Rohstahl müssen vor dem Gießen (Abbildung 1) die unerwünschten Bestandteile und der Kohlenstoffgehalt durch Frischen herabgesetzt werden. Die wichtigsten Frischverfahren sind die Sauerstoff-Blasverfahren und Elektrostahl-Verfahren.

Beim Sauerstoff-Blasverfahren wird Sauerstoff auf oder durch die Schmelze aus flüssigem Roheisen geblasen. Beim Elektrostahl-Verfahren wird die zum Schmelzen erforderliche Wärme durch einen Lichtbogen oder durch Induktion erzeugt. Aus Gründen einer optimalen Rohstoffnutzung sowie des Umweltschutzes kommt einer Wiederverarbeitung von Schrott steigende Bedeutung zu. Der Lichtbogenofen wird neben Roheisen mit Eisenschwamm und Schrott beschickt. Diese Zugaben an Schrott (Abbildung 2) führen zu Beimengungen von Zink.

Der Stahl wird zur Qualitätsverbesserung mit unterschiedlichen Verfahren nachbehandelt. Bei der Desoxidation wird der Stahlschmelze Ferrosilicium oder Aluminium zugesetzt, damit der freiwerdende Sauerstoff beim Erstarren gebunden wird und keine Gasblasen entstehen. Nach dem Grad der Desoxidation wird unterschieden zwischen beruhigtem (R) und besonders beruhigtem (RR) Stahl.

Bei der Vakuumbehandlung werden die in der Stahlschmelze gelösten Gase unter Vakuum vollständig abgesaugt. Die in der Schmelze gelösten Gase bewirken starke Spannungen und Risse im Gefüge des Stahls.

Bei den Messdaten für die A-Fraktion in Tabelle 7 handelt es sich um neun stationäre Messungen und drei Messungen an der Person. Zwei stationäre Messungen liegen über dem MAK-Wert. Sie wurden im Arbeitsbereich „Ofenhalle, Ofenbühne, allgemein“ ermittelt.

Tabelle 7:

Expositionsdaten mit Schichtbezug zu Zink und seinen Verbindungen in Stahlwerken im Datenzeitraum von 2000 bis 2011

Probenahmeart	Anzahl Messdaten	Anzahl Betriebe	Häufigkeit <-Werte Anzahl/%	größte Bestimmungsgrenze in mg/m ³	≤ GW %	Konzentrationen in mg/m ³		
						50%-Wert	90%-Wert	95%-Wert
A-Fraktion								
an der Person und stationär	12	3 **	0/0	n. z.	83,3	0,0426	0,131	0,238
E-Fraktion								
an der Person und stationär	32	6	0/0	n. z.	100	0,059	0,204	0,232

Erläuterung zu den Spalten siehe Abschnitt 7.1, n. z.: nicht zutreffend, weil alle Werte über der Bestimmungsgrenze liegen

Beurteilung der Exposition

Aus den Messdaten zur Zinkexposition in Stahlwerken ist ersichtlich, dass es zu Überschreitungen des MAK-Wertes von

Abbildung 1:
Stahlgießerei



Abbildung 2:
Zuführung von Schrott in der Stahlgießerei



0,1 mg/m³ für die A-Fraktion kommen kann. Für die E-Fraktion wird der MAK- Wert von 2 mg/m³ in allen Fällen eingehalten.

Schutzmaßnahmen

Hinweise zu Schutzmaßnahmen enthalten die TRGS 500 [21] und die BGR 121 [22].

7.2.2 Nicht-Eisen-Metallgießerei (NE-Metallgießerei)

Zu den Nichteisenmetallen gehören alle reinen Metalle mit Ausnahme von Eisen und allen Legierungen, in denen Eisen nicht den größten Anteil aufweist. Nichteisenmetalle werden nach ihrer Dichte in Schwermetalle und Leichtmetalle unterteilt. Man unterscheidet bei der Nicht-Eisen-Metallgießerei zwischen Schleuderguss, Strangguss und Zinkdruckguss.

Schleuderguss lässt sich als ein Verfahren beschreiben, bei dem über einen Gießtrichter flüssiges Metall in eine rotierende, meist zylindrische Dauerform gebracht wird und das Metall noch während der Rotation in der Kokille erstarrt.

Beim Strangguss wird in einem Stück (Strang) gegossen. Dabei werden sehr kurz gehaltene, meist wassergekühlte Kokillen aus

Kupfer oder Grafit mit flüssigem Metall beschickt und der Strang mit einer Geschwindigkeit, die der Erstarrungsgeschwindigkeit entspricht, abgezogen.

Beim Zinkdruckguss wird die Metallschmelze unter Druck und großer Geschwindigkeit in eine zwei- oder mehrteilige Form gepresst.

Beurteilung der Exposition

Die Messdaten in den Tabellen 8 und 9 zeigen, dass in Nicht-Eisen-Metallgießereien bis zu 73 % der Messwerte über den MAK-Werten liegen. Das Heranziehen der aktuellen MAK-Werte für Zink und seine anorganischen Verbindungen hat eine erhebliche Auswirkung auf die Bewertung der Expositionsmessungen in Bereichen von Nicht-Eisen-Metallgießereien.

Schutzmaßnahmen

Hinweise zu Schutzmaßnahmen enthalten die TRGS 500 [21] und die BGR 121 [22].

Tabelle 8:

Expositionsdaten mit Schichtbezug zu Zink und seinen Verbindungen in Nicht-Eisen-Metallgießereien im Datenzeitraum von 2000 bis 2011

Probenahmeart	Anzahl Messdaten	Anzahl Betriebe	Häufigkeit <-Werte Anzahl/%	größte Bestimmungsgrenze in mg/m ³	≤ GW %	Konzentrationen in mg/m ³		
						50%-Wert	90%-Wert	95%-Wert
A-Fraktion								
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
E-Fraktion								
stationär	79	35	6/7,6	0,0096	94,9	0,068	0,78	1,82
an der Person	48	22	3/6,3	0,0077	91,7	0,18	1,71	4,14

Erläuterung zu den Spalten siehe Abschnitt 7.1

Tabelle 9:

Expositionsdaten mit Schichtbezug zu Zink und seinen Verbindungen in Nicht-Eisen-Metallgießereien im Datenzeitraum von 2000 bis 2011, gemeinsame Auswertung von stationären Messungen und Messungen an der Person

Arbeitsbereich	Anzahl Messdaten	Anzahl Betriebe	Häufigkeit <-Werte Anzahl/%	größte Bestimmungsgrenze in mg/m ³	≤ GW %	Konzentrationen in mg/m ³		
						50%-Wert	90%-Wert	95%-Wert
A-Fraktion								
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
E-Fraktion								
Schmelzerei	11	8	0	n. z.	100	0,0605	0,985	1,18
Gießbetrieb, Gießhalle, Formerei	26	12	1/3,8	0,0077	92,3	0,3	1,71	5,00

Erläuterung zu den Spalten siehe Abschnitt 7.1, n. z.: nicht zutreffend, weil alle Werte über der Bestimmungsgrenze liegen

7.2.3 Eisen- und Stahlgießerei

Als Stahl bezeichnet man alle Eisenwerkstoffe, die für die Warmformgebung geeignet sind und nicht mehr als 2,05 % Kohlenstoff enthalten. Beim Vergießen von Stahl werden Stranggießen und Blockgießen angewendet.

Beurteilung der Exposition

Die Messdaten in Tabelle 10 zeigen, dass in Eisen- und Stahlgießereien bis zu 87 % der Messwerte in der A-Fraktion über dem MAK-Wert von 0,1 mg/m³ liegen. Ursächlich für die hohen Messwerte ist das Einschmelzen verzinkter Bleche. In der

E-Fraktion liegen alle Konzentrationen unter dem MAK-Wert von 2 mg/m³ (Tabelle 10 bis 11).

Das Heranziehen der aktuellen MAK-Werte für Zink und seine anorganischen Verbindungen hat eine erhebliche Auswirkung auf die Bewertung der Expositionsmessungen in Bereichen von Eisen- und Stahlgießereien.

Schutzmaßnahmen

Hinweise zu Schutzmaßnahmen enthalten die TRGS 500 [21] und die BGR 121 [22].

Tabelle 10:

Expositionsdaten mit Schichtbezug zu Zink und seinen Verbindungen in Eisen- und Stahlgießereien im Datenzeitraum von 2000 bis 2011

Probenahmeort	Anzahl Messdaten	Anzahl Betriebe	Häufigkeit <-Werte Anzahl/%	größte Bestimmungsgrenze in mg/m ³	≤ GW %	Konzentrationen in mg/m ³		
						50%-Wert	90%-Wert	95%-Wert
A-Fraktion								
stationär und an der Person	15	5	0	n. z.	13,3	0,233	1,647	2,309
E-Fraktion								
stationär	39	16	9/23,1	0,006	100	0,0053 *	0,0941	0,14
an der Person	26	12	1/3,8	0,0048	100	0,032	0,458	0,67

Erläuterung zu den Spalten siehe Abschnitt 7.1, n. z.: nicht zutreffend, weil alle Werte über der Bestimmungsgrenze liegen

Tabelle 11:

Expositionsdaten mit Schichtbezug zu Zink und seinen Verbindungen in Eisen- und Stahlgießereien im Datenzeitraum von 2000 bis 2011 in der E-Fraktion, gemeinsame Auswertung von stationären Messungen und Messungen an der Person

Arbeitsbereich	Anzahl Messdaten	Anzahl Betriebe	Häufigkeit <-Werte Anzahl/%	größte Bestimmungsgrenze in mg/m ³	≤ GW %	Konzentrationen in mg/m ³		
						50%-Wert	90%-Wert	95%-Wert
Schmelzerei	16	8	0	n. z.	100	0,067	0,61	0,732
Gießbetrieb, Gießhalle, Formerei	15	7	1/6,7	0,006	100	0,0205	0,189	0,313

Erläuterung zu den Spalten siehe Abschnitt 7.1, n. z.: nicht zutreffend, weil alle Werte über der Bestimmungsgrenze liegen

7.2.4 Fahrzeugbau

Fahrzeugbau – einschließlich der Zulieferung notwendiger Einzelkomponenten – ist ein Fachgebiet des Maschinenbaus, dessen Schwerpunkt auf der Produktion von Fahrzeugen und den dazu verwendeten Techniken liegt. Dazu gehören die verschiedenen Techniken zum Bau von Fahrzeugen und den zugehörigen Teilbereichen der Technik, z. B. die Fabrikautomation und Fertigungsoptimierung sowie die Robotik.

Fahrzeuge sind mobile Verkehrsmittel, die dem Transport von Gütern (Güterverkehr), Werkzeugen (Maschinen oder Hilfsmittel) oder Personen (Personenverkehr) dienen. Im Rahmen dieses Reports stehen die unterschiedlichen Schweißverfahren im Vordergrund.

Beurteilung der Exposition

Die Messdaten im Fahrzeugbau (siehe Tabellen 12 bis 14) zeigen, dass der MAK-Wert von 0,1 mg/m³ für die A-Fraktion überschritten werden kann. Für die E-Fraktion wird der MAK-Wert von 2 mg/m³ in der Regel eingehalten. Beim MAG-Schweißen kann es zu Überschreitungen des MAK-Wertes kommen. Dies ist unter anderem darauf zurückzuführen, dass die Schweißarbeiten überwiegend an verzinkten Blechen erfolgen.

Weitere Expositionsdaten zum Schweißen sind in den Abschnitten 7.3.1 bis 7.3.3 zu finden.

Schutzmaßnahmen

Hinweise zu Schutzmaßnahmen enthalten die TRGS 500 [21] und die BGR 121 [22].

Tabelle 12:

Expositionsdaten mit Schichtbezug zu Zink und seinen Verbindungen im Fahrzeugbau und in der Zulieferung im Datenzeitraum von 2000 bis 2011

Probenahmeart	Anzahl Messdaten	Anzahl Betriebe	Häufigkeit <-Werte Anzahl/%	größte Bestimmungsgrenze in mg/m ³	≤ GW %	Konzentrationen in mg/m ³		
						50%-Wert	90%-Wert	95%-Wert
A-Fraktion								
stationär	52	22	9/17,3	0,0084	88,5	0,00594 *	0,169	0,249
an der Person	72	30	12/16,7	0,009	70,8	0,0161	0,406	1,22
E-Fraktion								
stationär	31	21	7/22,6	0,007	100	0,00455 *	0,0909	0,25
an der Person	70	33	14/20	0,013	97,1	0,023	0,21	0,525

Erläuterung zu den Spalten siehe Abschnitt 7.1

Tabelle 13:

Expositionsdaten mit Schichtbezug zu Zink und seinen Verbindungen im Fahrzeugbau und in der Zulieferung im Datenzeitraum von 2000 bis 2011 in der A-Fraktion, Messungen an der Person

Erfassungseinrichtung an der Emissionsquelle	Anzahl Messdaten	Anzahl Betriebe	Häufigkeit <-Werte Anzahl/%	größte Bestimmungsgrenze in mg/m ³	≤ GW %	Konzentrationen in mg/m ³		
						50%-Wert	90%-Wert	95%-Wert
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

Erläuterung zu den Spalten siehe Abschnitt 7.1

Tabelle 14:

Expositionsdaten mit Schichtbezug zu Zink und seinen Verbindungen im Fahrzeugbau und in der Zulieferung im Datenzeitraum von 2000 bis 2011, Messungen an der Person

Arbeitsbereich	Anzahl Messdaten	Anzahl Betriebe	Häufigkeit <-Werte Anzahl/%	größte Bestimmungsgrenze in mg/m ³	≤ GW %	Konzentrationen in mg/m ³		
						50%-Wert	90%-Wert	95%-Wert
A-Fraktion								
Metall-Aktivgasschweißen (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
E-Fraktion								
Metall-Aktivgasschweißen (MAG)	23	14	4/17,4	0,007	91,3	0,0495	0,475	3,389
Schweißen (außer MAG)	18	8	4/22,2	0,013	100	0,0065 *	0,077	0,105
Werkstatt- und weitere Arbeiten	15	9	4/26,7	0,007	100	0,0096	0,0415	0,078

Erläuterung zu den Spalten siehe Abschnitt 7.1

7.2.5 Feuerverzinken

Beim Feuerverzinken oder Stückverzinken handelt es sich um ein Verfahren, bei dem Überzüge aus Zink bzw. Eisen-Zink-Legierungen durch Eintauchen von vorbehandelten Werkstücken aus Stahl oder Guss in geschmolzenes Zink hergestellt werden (siehe auch DIN EN ISO 1461 [23]).

Das Feuerverzinken umfasst folgende Prozessschritte:

- Bauteil-Vorbehandlung
 - Entfetten (alkalisch, im Allgemeinen mit Natronlauge, NaOH; sauer, im Allgemeinen mit Phosphorsäure (H₃PO₄)),
 - Beizen (im Allgemeinen mit Salzsäure, HCl),

– Fluxen (Flussmittelbad, im Allgemeinen Ammoniumchlorid, NH₄Cl),

– Spülen,

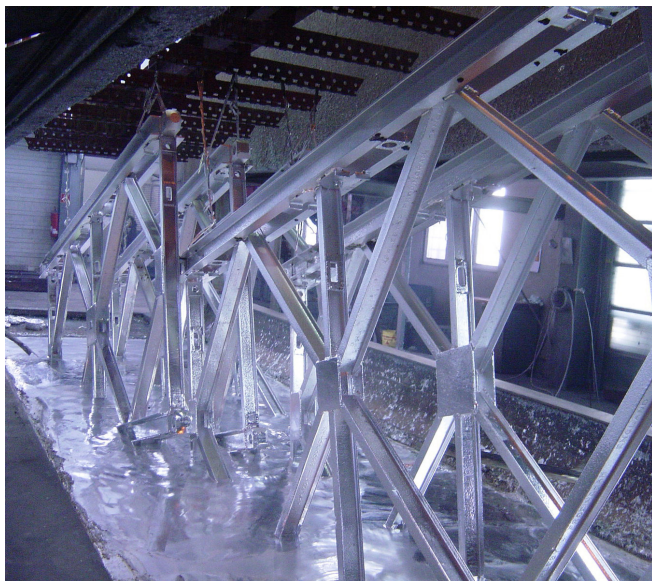
– Trocknen.

Diese Prozessschritte dienen der Vorbereitung der Werkstückoberfläche auf den eigentlichen Beschichtungsprozess, bei dem der Überzug aus Zink bzw. Schichten aus Zink und Eisen-Zink-Legierung hergestellt werden. Die Werkstoffoberflächen werden von Fetten, Ölen, Wachsen und anderen Schmutzschichten befreit (Entfetten) und/oder es werden Oxide und andere Metallverbindungen von der Werkstoffoberfläche entfernt (Beizen, Fluxen).

- Feuerverzinken (Schmelztauchverzinken, Abbildung 3)

Das vorbehandelte Stahl- oder Gussbauteil wird beim Chargieren im Zinkkessel in eine flüssige Zinkschmelze von ca. 450 °C getaucht. Die Bauteiloberfläche wird dabei mit einer zusammenhängenden Zinkschicht als Deckschicht überzogen, weiterhin bilden sich im Gefüge zwischen Werkstoffgrundkörper und Zinkdeckschicht Eisen-Zink-Legierungen als Übergangsschichten aus. Das gesamte Bauteil ist durch die Deck- und Übergangsschicht gegen Korrosion geschützt.

Abbildung 3:
Entnahme der verzinkten Werkstücke aus dem geschmolzenen Zink des Zinkkessels; Bild: Industrieverband Feuerverzinken e.V.



- Bauteil-Nachbehandlung (selten)

- Lackieren,
- chemisches Passivieren (im allgemeinen Chromatieren, Phosphatieren).

Die im Rahmen der Nachbehandlung vorgesehenen Prozessschritte finden selten, d. h. nur bei bestimmten Anforderungen an die verzinkten Oberflächen, Anwendung. Sie schützen die Werkstoffoberflächen vor erneuter Oxidierung, z. B. vor Weißrost. Üblich sind das Einölen, das Beschichten mit Klarlacken sowie das chemische Passivieren mit chromathaltigen Lösungen oder mittels Phosphatieren [24].

Die im Folgenden betrachteten Zinkexpositionen finden im Wesentlichen beim Prozessschritt Feuerverzinken (Arbeitsbereich Zinkkessel) statt, können aber bei Betrachtung der E-Fraktion als höhere Werte auch bei anderen Prozessschritten wie dem Schleifen der Werkstücke im Zuge der Nachbehandlung (Arbeitsbereich Verputzen) auftreten. Expositionen gegenüber anderen Gefahrstoffen – z. B. Salzsäure bei der Vorbehandlung – können auftreten, werden hier aber nicht betrachtet.

Expositionsdaten

In Tabelle 15 sind die Ergebnisse für den Bereich des Feuerverzinkens dargestellt.

Tabelle 15:
Expositionsdaten mit Schichtbezug zu Zink und seinen Verbindungen in Feuerverzinkereien im Datenzeitraum von 2000 bis 2011

Probenahmeart	Anzahl Messdaten	Anzahl Betriebe	Häufigkeit ←-Werte Anzahl/%	größte Bestimmungsgrenze in mg/m ³	≤ GW %	Konzentrationen in mg/m ³		
						50%-Wert	90%-Wert	95%-Wert
A-Fraktion								
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
E-Fraktion								
stationär	22	14	0	n. z.	100	0,079	0,732	0,955
an der Person	28	18	0	n. z.	96,4	0,092	0,458	0,634

Erläuterung zu den Spalten siehe Abschnitt 7.1, n. z.: nicht zutreffend, weil alle Werte über der Bestimmungsgrenze liegen

Beurteilung der Exposition

Tabelle 15 zeigt, dass die Expositionsdaten von Zink in der A-Fraktion sowohl bei den stationären als auch bei den personengetragenen Messungen zu einem erheblichen Teil über dem MAK-Wert von 0,1 mg/m³ (siehe Kapitel 5) liegen. Bei den stationären Messungen liegen 88,9 % der Messdaten unterhalb dieses Grenzwertes, bei den Messungen an der Person nur 44,4 %, d. h. bei den Messungen der A-Fraktion an der Person liegen über 50 % der Werte über dem MAK-Wert von 0,1 mg/m³ Zink.

Demgegenüber geht aus Tabelle 15 hervor, dass die Expositionsdaten von Zink in der E-Fraktion bei den stationären Messungen vollständig unter dem Grenzwert von 2 mg/m³ (siehe Kapitel 5) liegen, bei den Messungen an der Person zu 96,4 %.

Zusammengefasst liegen die Messdaten aus den Expositionsdaten in Feuerverzinkereien zu einem erheblichen Teil über den MAK-Werten aus dem Jahr 2009; bei Messungen der A-Fraktion von Zink und seinen anorganischen Verbindungen an der Person liegen über 50 % dieser Daten über dem MAK-Wert von 0,1 mg/m³ Zink.

Der Vergleich mit dem (ehemaligen) AGW für Zinkoxidrauch von 1 mg/m^3 in der A-Fraktion ($0,80 \text{ mg Zink/m}^3$) zeigt, dass durch die Einführung des MAK-Werts von $0,1 \text{ mg/m}^3$ für Zink und seine anorganischen Verbindungen in der A-Fraktion im Jahre 2009 dieser (neue) MAK-Wert bei gleicher Faktenlage (Datenzeitraum: 2000 bis 2011) nun häufig, nämlich in über 50 % der personenbezogenen Messungen, überschritten wird. Das Heranziehen der oben genannten MAK-Werte für Zink und seine anorganischen Verbindungen hat eine erhebliche Auswirkung auf die Bewertung der Expositionsmessungen im Bereich Feuerverzinkereien.

Schutzmaßnahmen

Für den Bau und die Ausrüstung von Anlagen zum Feuerverzinken gibt es die achteilige europäische Norm DIN EN 746 „Thermoprozessanlagen“. Je nach Ausführung der Anlage sind mehrere Normteile zu berücksichtigen. In DIN EN 746 Teil 4 „Besondere Sicherheitsanforderungen an Feuerverzinkungsanlagen“ [25] wird im Abschnitt 5.5 „Gefährdung durch chemische Stoffe“ auf die Schutzmaßnahmen gegen Gefahrstoffexposition eingegangen.

Die Konstruktion des Zinkessels muss ein wirksames Absaugsystem der Dämpfe der Feuerverzinkungsanlage (z. B. Hauben, Einhausungen, Kapselungen, Absaugleitungen) vorsehen, regelmäßig getestet (Inspektion, z. B. durch einen künstlich erzeugten Rauchvorgang) und geprüft werden (z. B. jährliche Funktionsprüfung der Randabsaugungen). Der Hersteller muss die damit verbundenen Gefährdungen und die Art der Gefahrstoffexposition, auch von Zinkoxid bzw. von Zink und seinen anorganischen Verbindungen, angeben. Dabei ist auf DIN EN 1093-4 [26] Bezug zu nehmen. Da die Anforderungen an Absaugsysteme in DIN EN 746-4 [25] in Abhängigkeit von den Anlageneigenschaften differieren, ist es nicht möglich, hier normativ Einzelheiten festzulegen.

7.2.6 Galvanik

Die Beschichtung von Werkstücken – sei es zu dekorativen Zwecken (Glanzüberzüge) oder um die Funktion zu verbessern (Korrosionsschutz) – erfolgt in Betrieben der Oberflächenveredelung (Galvanik). Heute können fast alle denkbaren Werkstücke beschichtet werden. Beim Verzinken finden galvanische Verfahren (Galvanisieren) Anwendung. Das Galvanisieren ist die elektrolytische Metallabscheidung auf Metallen oder leitend gemachten Nichtleitern (z. B. Kunststoffen) durch Anlegen einer Fremdspannung. Galvanisiert wird mit Gleichstrom niedriger Spannung, wobei das zu beschichtende Werkstück als Kathode geschaltet wird. An der Kathode wird das Metall abgeschieden. Das abgeschiedene Metall wird entweder durch Lösen einer Anode oder durch Einbringen von Metallsalzen in den Elektrolyten ergänzt.

Verzinken – sauer

Klassische saure Zinkelektrolyte beruhen auf Sulfat- oder Chloridbasis. Stark saure Elektrolyte ($\text{pH} < 3$) setzt man vor allem für einfache Geometrien (Draht, Rohr, Band) ein. Schwach saure Elektrolyte ($\text{pH} > 3$) enthalten zur Verbesserung von Streuung und Leitfähigkeit häufig Ammoniumsalze. Die Stromausbeute liegt

bei 98 bis 100 %, eine Gasentwicklung ist nicht zu erkennen. Die Zinkkonzentrationen liegen in stark sauren Elektrolyten bei 140 bis 190 g/l, in schwach sauren bei 15 bis 45 g/l. Die Elektrolyttemperatur beträgt ca. 30 bis 35 °C. Eine Aerosolbildung findet nicht statt, außer beim Betrieb von luftbewegten Elektrolyten.

Verzinken – alkalisch

Die alkalischen, cyanidfreien Verfahren gewinnen immer mehr an Bedeutung. Diese basieren auf der Bildung des Zinkhydroxokomplexes und können praktisch ohne weitere Zugabe von Komplexbildnern bei Raumtemperatur betrieben werden. Der Wirkungsgrad dieser Verfahren liegt deutlich unter 100 % (teilweise < 60 %). Hier muss mit der Bildung von Aerosolen gerechnet werden. In größerem Umfang werden auch sogenannte Legierungsverfahren eingesetzt. In den dabei verwendeten Lösungen liegt das Zink ebenfalls als Hydroxokomplex vor. Für die weiteren abzuschheidenden Metalle werden spezielle organische Komplexbildner den Elektrolyten zugegeben.

Aufgrund der Wasserstoffentwicklung ist die Entstehung einer gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre möglich.

Verzinken – cyanidisch

Beim cyanidischen Verzinken wird Zink galvanisch aus einem Elektrolyten abgeschieden. Dieser besteht aus Zinkoxid (8 bis 13 g/l), Kaliumcyanid (65 g/l) und Natriumhydroxid (70 bis 75 g/l). Die Elektrolyttemperatur beträgt ca. 20 °C. Die Aerosolbildung ist verfahrensbedingt gering. Die Stromausbeute ist aber, anders als beim Verzinken – sauer, kleiner als 100 %. Sie variiert mit der Temperatur, dem Cyanidgehalt und der Stromdichte. Mit steigender Stromdichte verringert sich die Stromausbeute. Diese beträgt z. B. bei einer Stromdichte von 6 A/dm^2 nur noch 50 %. Die Abnahme ist durch eine erhöhte Wasserstoffabscheidung bedingt, die eine gesteigerte Aerosolbildung bewirkt.

Aufgrund der Wasserstoffentwicklung kann es hierbei zu Explosionen kommen, wenn ein Zündfunke (Abreißfunke) entsteht.

Anlagentechnik

Galvanisieranlagen bestehen aus nacheinander angeordneten Tauchbecken, in denen sich die unterschiedlichen Lösungen befinden. Im Rahmen des Beschichtungsprozesses werden chemische und mechanische Vor-, Zwischen- und Nachbehandlungsverfahren eingesetzt. Das Verzinken geschieht entweder manuell, mit einem Hebezeug, Kran oder Beschickungsgerät, sowie automatisch.

Manuell bediente Anlagen

Die Werkstücke werden von Hand in das Bad eingehängt. Kleinere Werkstücke werden zunächst an spezielle Gestelle gehängt und anschließend eingetaucht.

Bedienung mit Hebezeug, Kran oder von Hand betätigtem Beschickungsgerät

Die Bedienperson führt das Werkstück mit dem Beschickungsgerät, Hebezeug oder Kran zum Behandlungsbad.

Automatische Anlage

Die Badbeschichtung wird automatisch gesteuert, d. h. programmiert. Die Bedienpersonen arbeiten nicht direkt am Behälter. Die Werkstücke werden außerhalb der Anlage auf spezielle Warenträger (Gestelle) aufgesteckt. Das Gestell wird vom Beschickungsgerät der Anlage aufgenommen und programmgesteuert von Behälter zu Behälter geführt (z. B. Gestellverzinkung). Bei Massenartikeln und je nach Oberflächenbehandlung kann dies auch mit Einhängetrommeln geschehen (z. B. Trommelverzinkung).

Damit die geforderten Oberflächenqualitäten erreicht werden, kann es notwendig sein, die im Beschichtungsbad eingehängten Werkstücke zu bewegen. Dies erfolgt durch eine Vorrichtung an der Kathodenschiene oder bei großflächigen Teilen durch Bewegen der Anode. Um mit höheren Stromdichten arbeiten zu können, kann auch eine Elektrolytbewegung angewandt werden. Dies erfolgt durch Umpumpen oder durch Einblasen gereinigter Druckluft.

Aufsteck- und Abnahmestation

An diesen Arbeitsplätzen werden die zu veredelnden Teile auf Gestelle oder Warenträger aufgesteckt und die fertige Ware abgenommen. Die Arbeitsplätze befinden sich entweder direkt vor der Anlage oder sind in einem separaten Raum eingerichtet. Mitarbeiter, die ausschließlich in diesen Arbeitsbereichen tätig sind, haben keinen direkten Kontakt zu den im Prozess eingesetzten Elektrolyten.

Gefahrstoffexposition

Die Gefahrstoffexposition der Beschäftigten in den Arbeitsbereichen ist im Wesentlichen abhängig von den als Elektrolyt eingesetzten Stoffen/Gemischen, der Konzentration der Einsatzstoffe im Elektrolyt, der eingesetzten Anlagentechnik, den Verfahrensparametern wie Temperatur, Lufteinblasung, Stromdichte und Wirkungsgrad, den Lüftungstechnischen Verhältnissen, z. B. Behälterabsaugung, Raumlüftung und der Aufenthaltsdauer/Expositionsdauer. In Tabelle 16 und 17 sind die Expositionsdaten für den Bereich der Galvanik zusammengestellt.

Beurteilung der Exposition

Beim Bedienen von Verzinkungsanlagen, sowohl beim sauren, alkalischen als auch beim cyanidischen Verzinken, liegen 17 % der Messwerte für die A-Fraktion oberhalb des MAK-Wertes von 0,1 mg/m³. Für die E-Fraktion wird der MAK-Wert von 2 mg/m³ eingehalten. Circa 30 % der Messwerte liegen unterhalb der Bestimmungsgrenze des angewandten Analyseverfahrens.

Schutzmaßnahmen

Liegen ungewöhnlich hohe Stromdichten (ab 6 A/dm²) z. B. beim cyanidischen Verzinken vor, können Zinkexpositionen oberhalb der Bestimmungsgrenze auftreten. Um Expositionen zu verringern, sollten vorsorglich an Elektrolyten zum cyanidischen Verzinken, unabhängig von der Stromdichte, Absaugmaßnahmen getroffen werden.

Hinweise zu Schutzmaßnahmen enthalten die TRGS 500 [21], die BGR 121 [22] und die BGI 790-016 [27].

Tabelle 16:

Expositionsdaten mit Schichtbezug zu Zink und seinen Verbindungen in der Galvanik im Datenzeitraum von 2000 bis 2011

Probenahmeart	Anzahl Messdaten	Anzahl Betriebe	Häufigkeit <-Werte Anzahl/%	größte Bestimmungsgrenze in mg/m ³	≤ GW %	Konzentrationen in mg/m ³		
						50%-Wert	90%-Wert	95%-Wert
A-Fraktion								
stationär und an der Person	12	9	6/50	0,0035	83,3	0,00175 *	0,123	0,188
E-Fraktion								
stationär	43	23	12/27,9	0,031	100	0,00335 *	0,0147 *	0,0316
an der Person	34	24	12/35,3	0,03	100	0,0036 *	0,0192 *	0,022 *

Erläuterung zu den Spalten siehe Abschnitt 7.1

Tabelle 17:

Expositionsdaten mit Schichtbezug zu Zink in der Galvanik im Datenzeitraum von 2000 bis 2011 in der E-Fraktion, gemeinsame Auswertung von stationären Messungen und Messungen an der Person

Arbeitsbereich	Anzahl Messdaten	Anzahl Betriebe	Häufigkeit <-Werte Anzahl/%	größte Bestimmungsgrenze in mg/m ³	≤ GW %	Konzentrationen in mg/m ³		
						50%-Wert	90%-Wert	95%-Wert
Verzinken, sauer	26	19	7/26,9	0,0019	100	0,0034	0,0364	0,0512
Verzinken, alkalisch	11	8	4/36,4	0,0062	100	0,003 *	0,00558 *	0,00853
Verzinken, cyanidisch	7	5	3/42,9	0,003	100	-	-	-

Erläuterung zu den Spalten siehe Abschnitt 7.1

7.2.7 Elektronikschrott-Recycling

In der Bundesrepublik Deutschland fallen jährlich mehrere Millionen Tonnen Elektro- und Elektronikschrott an. Nach dem Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz existiert ein Verwertungsgebot, sodass Altgeräte zerlegt und in Wertstofffraktionen getrennt recycelt werden.

Bei den Tätigkeiten handelt es sich in der Regel um manuelle Zerlegearbeiten an Arbeitsplätzen, an denen

- Bildschirmgeräte (Fernseher, Computermonitore und Ähnliches) und andere Elektrogeräte bereitgestellt und unter Verwendung von Handwerkzeugen demontiert werden
- und/oder Bildröhren beliefert werden
- und/oder eine Entfernung schadstoffhaltiger Bestandteile stattfindet.

Arbeitnehmer können bei diesen Tätigkeiten mit einer Vielzahl von Gefahrstoffen u. a. Schwermetallen, Stäuben, Fasern, Löse-

mitteln, aber auch Zink und seinen Verbindungen in Berührung kommen.

In den Tabellen 18 und 19 sind die Messwerte für Zink zusammengestellt, die an Arbeitsplätzen beim Elektronikschrott-Recycling ermittelt wurden. Es ist davon auszugehen, dass im Rahmen dieser Auswertung das Recycling von Flachbildschirmen noch nicht berücksichtigt wurde.

Beurteilung der Exposition

Aus den Expositionsdaten beim Elektronikschrott-Recycling geht hervor, dass der MAK-Wert von 0,1 mg/m³ für die A-Fraktion und der MAK-Wert von 2 mg/m³ für die E-Fraktion eingehalten wird.

Schutzmaßnahmen

Einzelheiten zu Schutzmaßnahmen enthält die BG/BIA-Empfehlung 1037 „Manuelle Zerlegung von Bildschirm- und anderen Elektrogeräten“ [28]. Die darin empfohlenen Schutzmaßnahmen sind im Wesentlichen noch aktuell und können angewandt werden. Weitere Hinweise zu Schutzmaßnahmen enthalten die TRGS 500 [21] und die BGR 121 [22].

Tabelle 18:
Expositionsdaten mit Schichtbezug zu Zink und seinen Verbindungen beim Elektronikschrott-Recycling im Datenzeitraum von 2000 bis 2011

Probenahmeort	Anzahl Messdaten	Anzahl Betriebe	Häufigkeit ←-Werte Anzahl/%	größte Bestimmungsgrenze in mg/m ³	≤ GW %	Konzentrationen in mg/m ³		
						50%-Wert	90%-Wert	95%-Wert
A-Fraktion								
stationär und an der Person	12	4 **	1/8,3	0,001	100	0,0033	0,0066	0,00848
E-Fraktion								
stationär	38	11	6/15,8	0,01	100	0,0081 *	0,0436	0,0564
an der Person	55	13	4/7,3	0,01	100	0,0335	0,233	0,352

Erläuterung zu den Spalten siehe Abschnitt 7.1

Tabelle 19:
Expositionsdaten mit Schichtbezug zu Zink beim Elektronikschrott-Recycling im Datenzeitraum von 2000 bis 2011 in der E-Fraktion, gemeinsame Auswertung von stationären Messungen und Messungen an der Person

Arbeitsbereich	Anzahl Messdaten	Anzahl Betriebe	Häufigkeit ←-Werte Anzahl/%	größte Bestimmungsgrenze in mg/m ³	≤ GW %	Konzentrationen in mg/m ³		
						50%-Wert	90%-Wert	95%-Wert
Zerlegen, Trennen	51	14	4/7,8	0,01	100	0,0105	0,0548	0,0833
Zerkleinern, Schreddern	15	5	2/13,3	0,01	100	0,0475	0,26	0,538
Bearbeiten einer Bildröhre	21	7	2/9,5	0,00073	100	0,0549	0,233	0,297

Erläuterung zu den Spalten siehe Abschnitt 7.1

7.3 Arbeitsbereichsbezogene Expositionsdaten

7.3.1 MAG-Schweißen

Metall-Aktivgasschweißen (MAG) ist ein thermisches Fügeverfahren, mit dem Werkstoffe zu unlöslichen, festen und dichten Verbindungen vereinigt werden. Beim MAG-Schweißen verwendet man aktive reaktionsfähige Gase als Schutzgas. Als Schutzgas finden Kohlendioxid (MAGC) und Mischgas (MAGM) Verwendung.

Beim Metall-Schutzgasschweißen brennt ein Gleichstromlichtbogen zwischen einer positiv gepolten Drahtelektrode und dem Werkstück. Die als Lichtbogenträger und als Zusatzwerkstoff

abschmelzende Drahtelektrode wird von einer Drahtspule abgewickelt und mit der Geschwindigkeit ihres Abschmelzens von einem steuerbaren Drahtvorschubgerät durch das Schlauchpaket und den Schweißbrenner hindurch geschoben. Die Art des Zusatzwerkstoffes kann die Qualität der Naht beeinflussen.

Das MAG-Schweißen wird zum Schweißen unlegierter und niedriglegierter Stähle angewendet.

Die beim MAG-Schweißen auftretenden Expositionen sind in den Tabellen 20 und 21 dargestellt. Der Einfluss der Erfassung auf die Expositionshöhe wird in Abbildung 4 und 5 (siehe Seite 34 und 35) als Boxplot dargestellt.

Tabelle 20:

Expositionsdaten mit Schichtbezug zu Zink und seinen Verbindungen beim MAG-Schweißen im Datenzeitraum von 2000 bis 2011

Probenahmeort	Anzahl Messdaten	Anzahl Betriebe	Häufigkeit <-Werte Anzahl/%	größte Bestimmungsgrenze in mg/m ³	≤ GW %	Konzentrationen in mg/m ³		
						50%-Wert	90%-Wert	95%-Wert
A-Fraktion								
stationär	67	34	4/6	0,003	92,5	0,00825	0,0579	0,208
an der Person	167	79	11/6,6	0,01	53,9	0,0606	1,0325	1,578
E-Fraktion								
stationär	71	44	1/1,4	0,004	100	0,01	0,136	0,411
an der Person	267	139	18/6,7	0,032	97	0,0285 *	0,376	0,97

Erläuterung zu den Spalten siehe Abschnitt 7.1

Tabelle 21:

Expositionsdaten mit Schichtbezug zu Zink und seinen Verbindungen beim MAG-Schweißen im Datenzeitraum von 2000 bis 2011, Messungen an der Person

Erfassungseinrichtung an der Emissionsquelle	Anzahl Messdaten	Anzahl Betriebe	Häufigkeit <-Werte Anzahl/%	größte Bestimmungsgrenze in mg/m ³	≤ GW %	Konzentrationen in mg/m ³		
						50%-Wert	90%-Wert	95%-Wert
A-Fraktion								
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, 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	0,00522 *	0,12	0,663

Erläuterung zu den Spalten siehe Abschnitt 7.1, n. z.: nicht zutreffend, weil alle Werte über der Bestimmungsgrenze liegen

Tabelle 21: Fortsetzung

Erfassungseinrichtung an der Emissionsquelle	Anzahl Messdaten	Anzahl Betriebe	Häufigkeit <-Werte Anzahl/%	größte Bestimmungsgrenze in mg/m ³	≤ GW %	Konzentrationen in mg/m ³		
						50%-Wert	90%-Wert	95%-Wert
E-Fraktion								
keine Erfassungseinrichtung vorhanden	99	58	5/5,1	0,032	94,9	0,035	0,718	1,755
bewegliche Absaughaube mit Nachführung von Hand	63	42	2/3,2	0,0035	95,2	0,026	0,217	0,883
Erfassungseinrichtung mit stationärer Punktabsaugung	16	7	3/18,8	0,0014	100	0,0027	0,0868	0,256
Erfassungseinrichtung, stationär offen	41	18	3/7,3	0,007	100	0,0285	0,129	0,187
Erfassungseinrichtung, halboffen	10	6	0	n. z.	100	0,045	0,17	0,485

Erläuterung zu den Spalten siehe Abschnitt 7.1, n. z.: nicht zutreffend, weil alle Werte über der Bestimmungsgrenze liegen

Abbildung 4:

Differenzierung der Exposition gegenüber Zink und seinen Verbindungen beim MAG-Schweißen nach Art der Erfassungseinrichtung an der Emissionsquelle; Datenzeitraum von 2000 bis 2011, A-Fraktion, Messungen an der Person. Whiskerlänge: bis zum Minimal- und Maximalwert; Kollektivnummer: 1 = ohne Erfassung, 2 = bewegliche Absaughaube, Nachführung von Hand, 3 = stationäre Punktabsaugung, 4 = Erfassung stationär, offen, 5 = Erfassung geschlossen, 6 = Erfassung ohne Nachführung

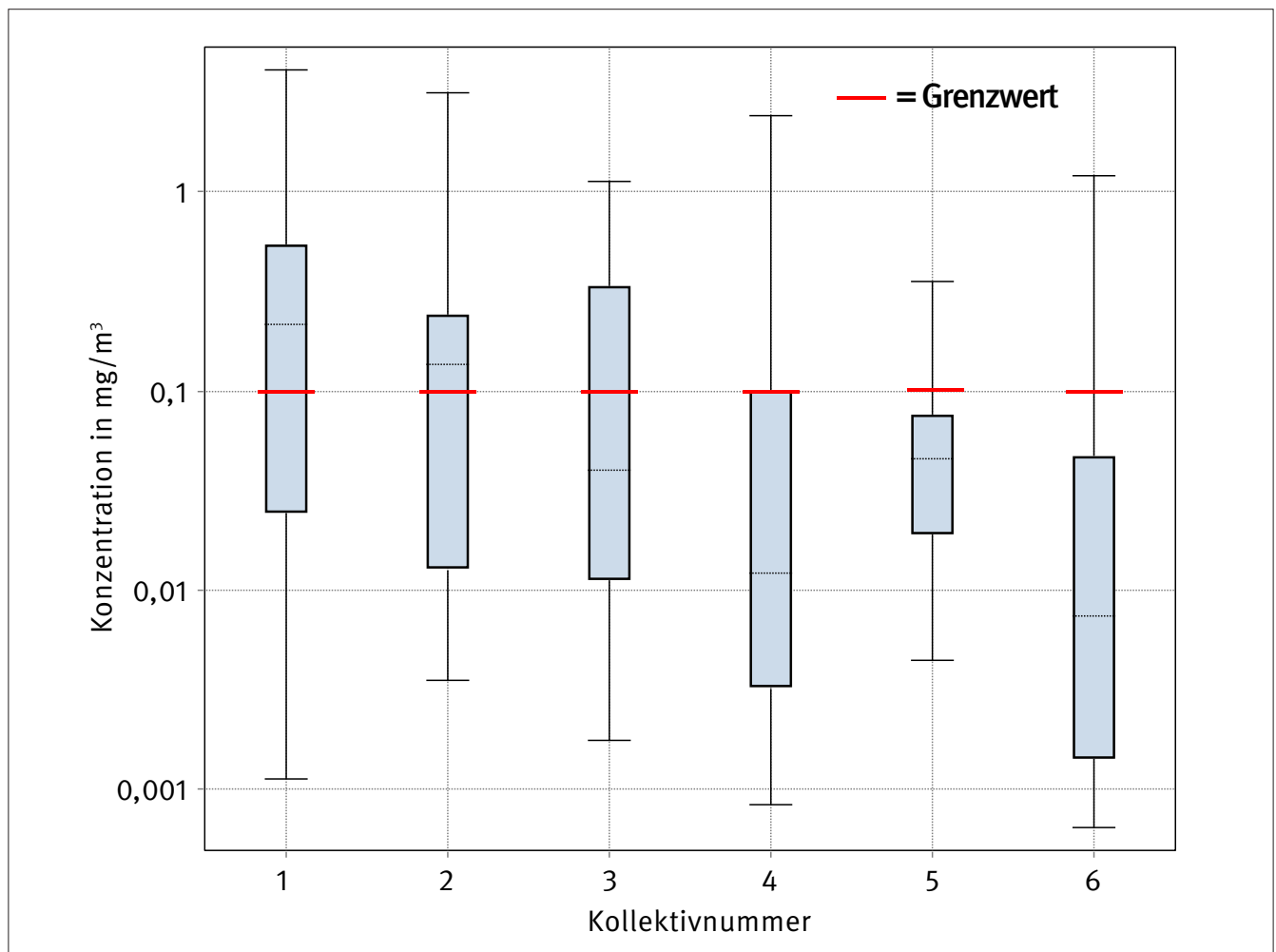
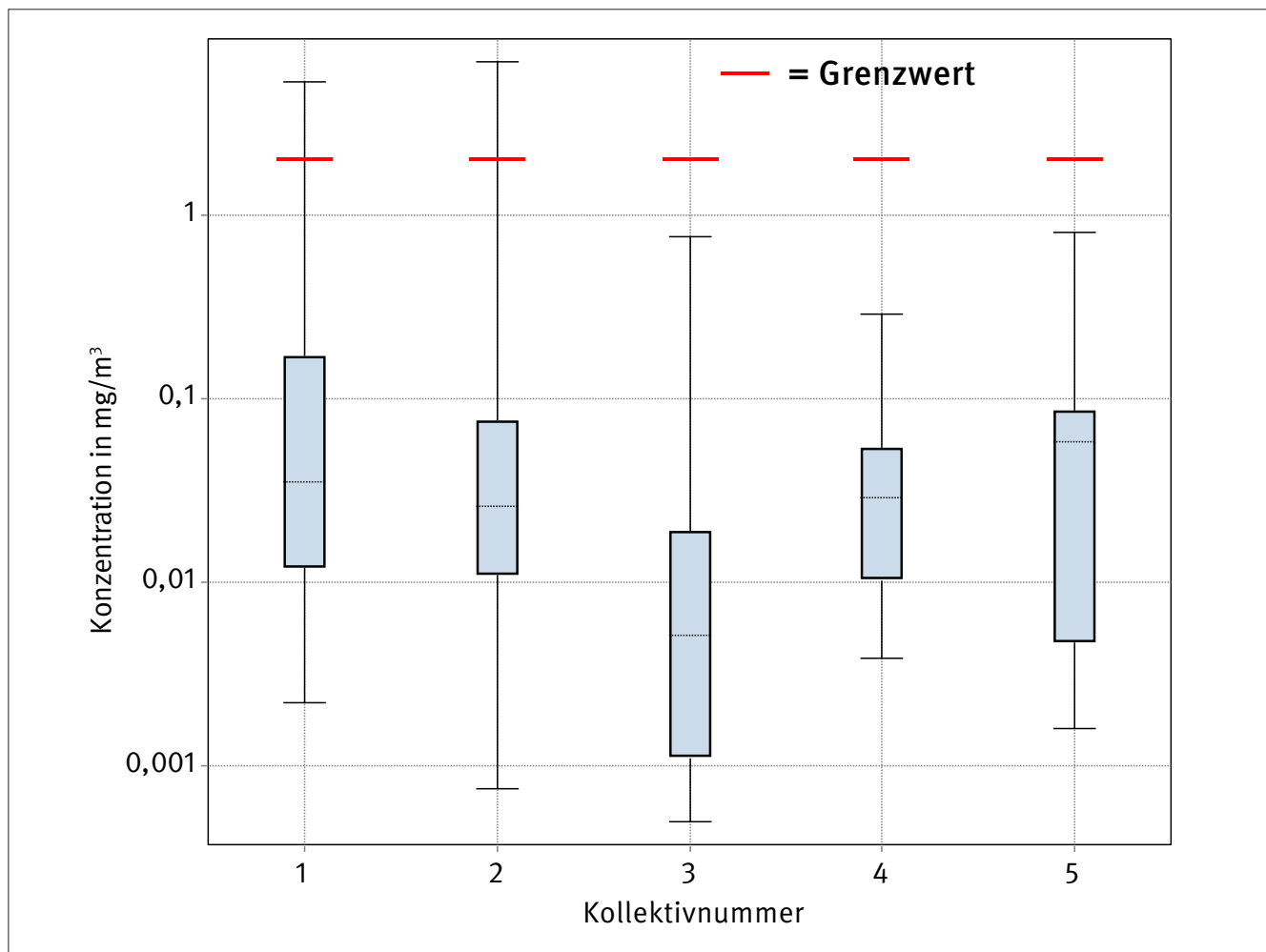


Abbildung 5:

Differenzierung der Exposition gegenüber Zink und seinen Verbindungen beim MAG-Schweißen nach Art der Erfassungseinrichtung an der Emissionsquelle; Datenzeitraum von 2000 bis 2011, E-Fraktion, Messungen an der Person. Whiskerlänge: Bis zum Minimal- und Maximalwert; Kollektivnummer: 1 = ohne Erfassung, 2 = bewegliche Absaughaube, Nachführung von Hand, 3 = stationäre Punktabsaugung, 4 = Erfassung stationär, offen, 5 = Erfassung halboffen



Beurteilung der Exposition

Aus den Messdaten zum MAG-Schweißen ist ersichtlich, dass der MAK-Wert von 0,1 mg/m³ für die A-Fraktion überschritten werden kann. Für die E-Fraktion wird der MAK-Wert von 2 mg/m³ in 97 % der Fälle eingehalten. Erfassungseinrichtungen im Arbeitsbereich können die Expositionen reduzieren. Dies unterstreicht die Notwendigkeit, die Schutzmaßnahmen nach TRGS 528 [29] beim MAG-Schweißen umzusetzen.

Schutzmaßnahmen

Nach TRGS 528 [29] sind Schweißrauche durch Absaugungen an der Entstehungsstelle aus dem Atembereich zu entfernen, z. B. durch

- brennerintegrierte Absaugung,
- mobilen oder stationären Absaugarm,
- Schutzschildabsaugung,
- Schweißtische mit Unter-/Rückwandabsaugung,
- ortsfeste Absaughauben.

Weitere Hinweise sind der BGI 593 „Schadstoffe beim Schweißen“ [30] zu entnehmen.

Als weitere oder zusätzliche Maßnahme kann eine technische Raumlüftung die Exposition minimieren. Nicht zweckmäßig ist beim MAG-Schweißen eine Raumlüftung als ausschließliche Schutzmaßnahme.

7.3.2 Widerstandspunktschweißen

Widerstandspunktschweißen (Kurzform: Punktschweißen) wird zur Verbindung von Stahlblechen (beschichtet, galvanisiert, verzinkt) in der Automobilindustrie, im Karosserie- und Fahrzeugbau und allgemein in der Blech verarbeitenden Fertigung angewendet. Seltener wird es auch zum Verschweißen von Aluminium oder anderen Metallen eingesetzt, z. B. bei der Herstellung von Kondensatoren, Kontaktsätzen für Relais und Leitungsschutzschalter oder Anschlüssen von Spulen und Motorwicklungen. Mit gewissen Einschränkungen können nach diesem Verfahren auch ansonsten nicht verschweißbare Materialien miteinander verbunden werden – durch die Presskraft entsteht eine innige Verbindung der Schmelzen (Druckknopfeffekt).

Innerhalb kürzester Zeit wird viel Energie in Form von elektrischem Strom auf eine kleine Fläche eines Werkstückes zugeführt, wobei unter hohem Druck (pneumatisch oder elektromechanisch) eine unlösbare Verbindung entsteht. Der Strom kann dabei bis über 40 000 A betragen. Die beim Widerstandspunktschweißen auftretenden Expositionen sind in den Tabellen 22 und 23 aufgeführt.

Beurteilung der Exposition

Aus den Messdaten zum Punktschweißen ist ersichtlich, dass der MAK-Wert von 0,1 mg/m³ für die A-Fraktion überschritten

werden kann. Für die E-Fraktion wird der MAK-Wert von 2 mg/m³ in 97 % der Fälle eingehalten.

Beim Punktschweißen ist die Minimierung der Emissionen durch eine Absaugung nicht so deutlich zu erkennen wie beim MAG-Schweißen. Eine mögliche Ursache dafür ist das punktförmige Auftreten der Exposition. Beim Einsatz einer mobilen Absaugung ist daher eine exakte Nachführung zwingend erforderlich.

Schutzmaßnahmen

Hinweise zu Schutzmaßnahmen enthalten die TRGS 528 [29] und die BGI 593 [30].

Tabelle 22:

Expositionsdaten mit Schichtbezug zu Zink und seinen Verbindungen beim Widerstandspunktschweißen im Datenzeitraum von 2000 bis 2011

Probenahmeart	Anzahl Messdaten	Anzahl Betriebe	Häufigkeit <-Werte Anzahl/%	größte Bestimmungsgrenze in mg/m ³	≤ GW %	Konzentrationen in mg/m ³		
						50%-Wert	90%-Wert	95%-Wert
A-Fraktion								
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
E-Fraktion								
stationär	17	14	4/23,5	0,015	100	0,00925 *	0,0989	0,158
an der Person	37	18	5/13,5	0,03	97,3	0,033	0,6	1,1

Erläuterung zu den Spalten siehe Abschnitt 7.1

Tabelle 23:

Expositionsdaten mit Schichtbezug zu Zink und seinen Verbindungen beim Widerstandspunktschweißen im Datenzeitraum von 2000 bis 2011, Messungen an der Person

Erfassungseinrichtung an der Emissionsquelle	Anzahl Messdaten	Anzahl Betriebe	Häufigkeit <-Werte Anzahl/%	größte Bestimmungsgrenze in mg/m ³	≤ GW %	Konzentrationen in mg/m ³		
						50%-Wert	90%-Wert	95%-Wert
A-Fraktion								
keine Erfassungseinrichtung vorhanden	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
E-Fraktion								
keine Erfassungseinrichtung vorhanden	10	5	0	n. z.	100	0,023	0,43	0,765
Erfassungseinrichtung mit stationärer Punktabsaugung	10	3 **	2/20	0,013	90	0,042	0,13	1,515
Erfassungseinrichtung, stationär offen	11	7	1/9,1	0,03	100	0,033	0,236	0,353

Erläuterung zu den Spalten siehe Abschnitt 7.1, n. z.: nicht zutreffend, weil alle Werte über der Bestimmungsgrenze liegen

7.3.3 Weitere Schweißverfahren

Metall-Inertgasschweißen (MIG)

Metall-Inertgasschweißen (MIG) gehört zu den thermischen Fügeverfahren und ist eine Variante des Metall-Schutzgasschweißens. Beim MIG-Schweißen wird Argon oder Helium als inertes (reaktionsträges) Schutzgas verwendet. Dieses Verfahren

wird zum Schweißen von NE-Metallen, Al-Legierungen und hochlegierten Stählen eingesetzt.

Wolfram-Inertgasschweißen (WIG)

Das Wolfram-Inertgasschweißen (Abbildung 6) gehört in die Kategorie Schutzgasschweißen. Beim WIG-Schweißen werden eine nicht abschmelzende Wolframelektrode, eine Stromquelle

(Gleich- oder Wechselstrom) und ein Schweißbrenner, der mit der Stromquelle verbunden ist, eingesetzt.

Das Gleichstromschweißen mit spitz zugeschliffener Wolframelektrode dient vorwiegend zum Schweißen von legierten Stählen sowie NE-Metallen und deren Legierungen. Bei dieser Technik ist die Schmelzzone, d. h. der Einbrand, schmal und tief.

Das Wechselstromschweißen dient meist zum Schweißen von Leichtmetallen. Durch die thermische Beanspruchung der Wolframelektrode entsteht am Elektrodenende ein Wolframtropfen; der Einbrand ist breit und flach.

Eine Weiterentwicklung des WIG-Schweißens ist das Schweißen mit pulsierendem Strom, das eine feindosierbare Wärmeeinbringung ermöglicht.

Abbildung 6:
WIG-Schweißen



Laserschweißen

Das Laserschweißen oder Laserstrahlschweißen wird in der Regel ohne Zuführung eines Zusatzwerkstoffes ausgeführt. Es wird vor allem zum Verschweißen von Bauteilen eingesetzt, die mit hoher Schweißgeschwindigkeit, schmaler und schlanker Schweißnahtform und mit geringem thermischem Verzug gefügt werden müssen.

Der Laserstrahl wird mittels einer Optik fokussiert. Die Werkstückoberfläche der Stoßkante (Fügestoß) befindet sich in der unmittelbaren Nähe des Fokus der Optik (im Brennfleck). Der Brennfleck hat einen Durchmesser von einigen Zehntel Millimetern, wodurch sehr hohe Energiedichten entstehen, wenn die eingesetzte Laserleistung einige Kilowatt beträgt.

Lichtbogenhandschweißen

Ein elektrischer Lichtbogen zwischen einer als Zusatzwerkstoff abschmelzenden Elektrode und dem Werkstück wird als Wärmequelle zum Schweißen genutzt. Die rutil-, kalkbasisch oder sauer umhüllten Elektroden bestimmen die Exposition, auch gegenüber weiteren Gefahrstoffen. Der Grundwerkstoff spielt eine untergeordnete Rolle.

Die hohe Temperatur des Lichtbogens schmilzt den Werkstoff an der Schweißstelle auf. Je nach Anwendung und Elektrodentyp kann mit Gleichstrom oder Wechselstrom geschweißt werden. Hauptanwendungsbereich des Lichtbogenhandschweißens sind der Stahl- und Rohrleitungsbau.

Tabelle 24 zeigt die Expositionen bei den weiteren Schweißverfahren.

Tabelle 24:

Expositionsdaten mit Schichtbezug zu Zink und seinen Verbindungen bei weiteren Schweißverfahren im Datenzeitraum von 2000 bis 2011, Messungen an der Person

Schweißverfahren	Anzahl Messdaten	Anzahl Betriebe	Häufigkeit <-Werte Anzahl/%	größte Bestimmungsgrenze in mg/m ³	≤ GW %	Konzentrationen in mg/m ³		
						50%-Wert	90%-Wert	95%-Wert
A-Fraktion								
Metall-Inertgasschweißen (MIG)	15	4 **	3/20	0,0088	66,7	0,026	0,17	0,181
Wolfram-Inertgasschweißen (WIG)	14	13	2/14,3	0,0042	71,4	0,0145	0,289	0,403
Laserschweißen	14	4 **	0	n. z.	64,3	0,00787	0,174	0,214
E-Fraktion								
Lichtbogenhandschweißen mit umhüllter Stabelektrode	15	11	2/13,3	0,017	100	0,00755 *	0,0515	0,0855
Metall-Inertgasschweißen (MIG)	30	16	3/10	0,0048	100	0,015	0,13	0,645
Wolfram-Inertgasschweißen (WIG)	30	24	5/16,7	0,012	100	0,0056 *	0,056	0,102

Erläuterung zu den Spalten siehe Abschnitt 7.1, n. z.: nicht zutreffend, weil alle Werte über der Bestimmungsgrenze liegen

Beurteilung der Exposition

Aus den Messdaten zu den weiteren Schweißverfahren ist ersichtlich, dass der MAK-Wert von $0,1 \text{ mg/m}^3$ für die A-Fraktion überschritten werden kann. Für die E-Fraktion wird der MAK-Wert von 2 mg/m^3 in allen Fällen eingehalten.

Schutzmaßnahmen

Hinweise zu Schutzmaßnahmen enthalten die TRGS 528 [29] und die BGI 593 [30].

7.3.4 Löten

Löten ist das Herstellen einer nicht lösbaren Verbindung metallischer Werkstücke mithilfe eines geschmolzenen Zusatzmetalls, dem Lot (Abbildungen 7 und 8). Das Lot wird durch die erwärmte Lötspitze des LötKolbens beim Weichlöten (Abbildung 7) oder mit einem Brenner beim Hartlöten geschmolzen. Die dabei verwendeten Flussmittel haben die Aufgabe, Metalloxide aufzulösen, Oberflächenfilme zu beseitigen und zu verhindern, dass sich während des Lötprozesses erneut eine Oxidschicht bildet.

Entscheidend für die Einteilung der Lötverfahren ist die Liquidustemperatur des Lotes. Weichlote sind niedrig schmelzende Metalllegierungen. Ihre Liquidustemperatur liegt unterhalb von 450 °C . Im Gegensatz dazu nennt man Lote mit Liquidustemperaturen $> 450 \text{ °C}$ Hartlote.

Am weitesten verbreitet ist das Löten in der Elektrotechnik und Elektronik. Die Lötungen werden dort überwiegend mit Weichlot ausgeführt. In der Elektrotechnik setzt man auch im großtechnischen Maßstab vor allem das Schwallbad-Löten, das Reflow-Löten und das Löten mit Heißluft ein.

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

Bei allen Lötverfahren entstehen Lötäuche, deren Zusammensetzung in Abhängigkeit von den Lötungen und Flussmitteln sowie den verfahrenstechnischen Kenngrößen variieren kann.

Abbildung 7:
Kolbenlöten (Weichlöten) mit Absaugung

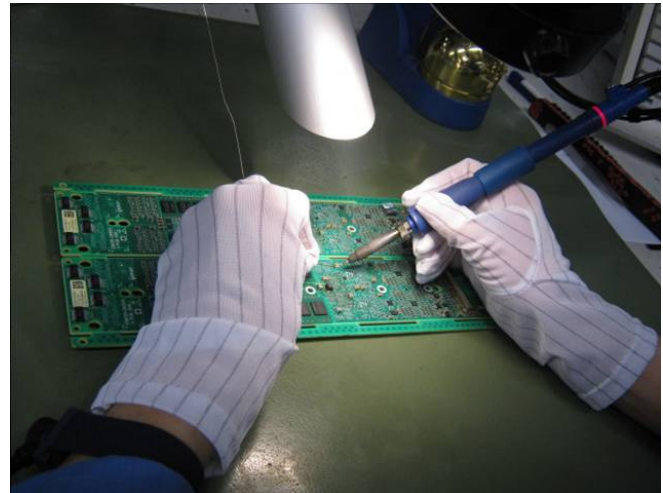


Abbildung 8:
Lötstation, LötKolben mit Halter, Lötspitze und Lötdraht



Weichlöten

In den Tabellen 25 und 26 sind die Messwerte für Zink beim Weichlöten zusammengestellt.

Tabelle 25:
Expositionsdaten mit Schichtbezug zu Zink beim Weichlöten im Datenzeitraum von 2000 bis 2011

Probenahmeart	Anzahl Messdaten	Anzahl Betriebe	Häufigkeit <-Werte Anzahl/%	größte Bestimmungsgrenze in mg/m^3	$\leq \text{GW} \%$	Konzentrationen in mg/m^3		
						50%-Wert	90%-Wert	95%-Wert
A-Fraktion								
stationär	12	10	6/50	0,0031	100	0,00153 *	0,019	0,0286
an der Person	11	10	5/45,5	0,0051	90,9	0,00217 *	0,0464	0,117
E-Fraktion								
stationär	14	10	7/50	0,009	100	0,0043 *	0,024	0,0311
an der Person	15	12	3/20	0,007	100	0,01	0,0975	0,16

Erläuterung zu den Spalten siehe Abschnitt 7.1

Tabelle 26:

Expositionsdaten mit Schichtbezug zu Zink beim Weichlöten im Datenzeitraum von 2000 bis 2011 in der E-Fraktion, gemeinsame Auswertung von stationären Messungen und Messungen an der Person

Lötverfahren	Anzahl Messdaten	Anzahl Betriebe	Häufigkeit <-Werte Anzahl/%	größte Bestimmungsgrenze in mg/m ³	≤ GW %	Konzentrationen in mg/m ³		
						50%-Wert	90%-Wert	95%-Wert
Weichlöten, Flammlöten	14	11	3/21,4	0,007	100	0,015	0,0952	0,17
Weichlöten, ohne Flammlöten	14	9	6/42,9	0,009	100	0,0043 *	0,0598	0,0752

Erläuterung zu den Spalten siehe Abschnitt 7.1

Messergebnisse zum Weichlöten enthalten auch die BGI 790-014 [31] und die BGI/GUV-I 790-025 [32].

Beurteilung der Exposition

Aus den Messdaten zum Weichlöten ist ersichtlich, dass der MAK-Wert von 0,1 mg/m³ für die A-Fraktion in der Regel eingehalten wird. Für die E-Fraktion wird der MAK-Wert von 2 mg/m³ in allen Fällen eingehalten.

Schutzmaßnahmen

Hinweise zu Schutzmaßnahmen enthalten die TRGS 528 [29], die BGI 593 [30], die BGI 790-014 [31] und die BGI/GUV-I 790-025 [32].

Hartlöten

In den Tabellen 27 und 28 sind die Messwerte für Zink beim Hartlöten zusammengestellt.

Beurteilung der Exposition

Aus den Messdaten zum Hartlöten ist ersichtlich, dass es zu Überschreitungen des MAK-Wertes von 0,1 mg/m³ für die A-Fraktion kommen kann. Dies ist beim Flammlöten der Fall. Für die E-Fraktion wird der MAK-Wert von 2 mg/m³ in der Regel eingehalten. Beim Hartlöten ist die Minimierung der Emissionen durch eine Erfassung möglich. Werden handgeführte Erfassungseinrichtungen verwendet, ist auf das exakte Nachführen zu achten.

Tabelle 27:

Expositionsdaten mit Schichtbezug zu Zink und seinen Verbindungen beim Hartlöten im Datenzeitraum von 2000 bis 2011

Probenahmeart	Anzahl Messdaten	Anzahl Betriebe	Häufigkeit <-Werte Anzahl/%	größte Bestimmungsgrenze in mg/m ³	≤ GW %	Konzentrationen in mg/m ³		
						50%-Wert	90%-Wert	95%-Wert
A-Fraktion								
stationär	33	29	6/18,2	0,0036	93,9	0,00713	0,0426	0,709
an der Person	34	23	7/20,6	0,01	85,3	0,0169	0,174	0,39
E-Fraktion								
stationär	33	24	3/9,1	0,0048	93,9	0,011	0,125	1,738
an der Person	35	22	5/14,3	0,0047	100	0,0295	0,155	0,632

Erläuterung zu den Spalten siehe Abschnitt 7.1

Tabelle 28:

Expositionsdaten mit Schichtbezug zu Zink und seinen Verbindungen beim Hartlöten im Datenzeitraum von 2000 bis 2011, gemeinsame Auswertung von stationären Messungen und Messungen an der Person

Lötverfahren	Anzahl Messdaten	Anzahl Betriebe	Häufigkeit <-Werte Anzahl/%	größte Bestimmungsgrenze in mg/m ³	≤ GW %	Konzentrationen in mg/m ³		
						50%-Wert	90%-Wert	95%-Wert
A-Fraktion								
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
E-Fraktion								
Hartlöten, Flammlöten	51	28	4/7,8	0,0047	96,1	0,023	0,167	0,984
Hartlöten, ohne Flammlöten	17	13	4/23,5	0,0048	100	0,0021 *	0,0735	0,197

Erläuterung zu den Spalten siehe Abschnitt 7.1

Tabelle 29:

Expositionsdaten mit Schichtbezug zu Zink und seinen Verbindungen beim Hartlöten, Flammlöten im Datenzeitraum von 2000 bis 2011 in der A-Fraktion, gemeinsame Auswertung von stationären Messungen und Messungen an der Person

Erfassungseinrichtung an der Emissionsquelle	Anzahl Messdaten	Anzahl Betriebe	Häufigkeit <-Werte Anzahl/%	größte Bestimmungsgrenze in mg/m ³	≤ GW %	Konzentrationen in mg/m ³		
						50%-Wert	90%-Wert	95%-Wert
keine Erfassungseinrichtung vorhanden	12	6	1/8,3	0,0006	75	0,0386	0,182	0,532
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: - Erfassungseinrichtung ohne Nachführung - Erfassungseinrichtung mit stationärer Punktabsaugung - Erfassungseinrichtung, stationär offen - Erfassungseinrichtung, halb offen	26	18	5/19,2	0,0036	92,3	0,00795	0,0495	0,236

Erläuterung zu den Spalten siehe Kapitel 7.1

Schutzmaßnahmen

Hinweise zu Schutzmaßnahmen enthalten die TRGS 528 [29] und die BGI 593 [30].

7.3.5 Schleifen und Polieren

Schleifen ist ein spanabhebendes Verfahren mit geometrisch unbestimmten Schneiden. Die rotierenden Schleifkörper bestehen aus gebundenen Schleifkörnern und eingeschlossenen Poren. Man unterscheidet zwei Arten von Schleifmitteln: natürliche Schleifmittel wie Ölsandstein, Schmirgel oder Diamant und künstliche Schleifmittel wie z. B. Korund oder Siliciumcarbid. Die Korngrößen bei Schleifpapier oder Schleifscheiben betragen ca. 40 bis 4 000 µm.

Polieren ist eine Feinbearbeitung, bei der die Korngrößen kleiner sind als beim Schleifen. Im Unterschied zum Schleifen wird beim Polieren mit Suspensionen bzw. Pasten gearbeitet.

Die Tabellen 30 bis 32 geben einen Überblick über die Expositionen beim Schleifen und Polieren.

Beurteilung der Exposition

Aus den Messdaten zur spanenden Bearbeitung ist ersichtlich, dass es zu Überschreitungen des MAK-Wertes von 0,1 mg/m³ für die A-Fraktion bzw. von 2 mg/m³ für die E-Fraktion kommen kann. Dies ist beim Trockenschleifen der Fall. Bei der spanenden Bearbeitung ohne Trockenschleifen werden beide MAK-Werte eingehalten.

Beim Trockenschleifen ist eine Minimierung der Emissionen durch eine Erfassung möglich.

Schutzmaßnahmen

Hinweise zu Schutzmaßnahmen enthalten die TRGS 500 [21], die BGR 121 [22] und die BGR 500 [33] aufgeführt.

Tabelle 30:

Expositionsdaten mit Schichtbezug zu Zink bei der spanenden Bearbeitung von Metall im Datenzeitraum von 2000 bis 2011

Probenahmeart	Anzahl Messdaten	Anzahl Betriebe	Häufigkeit <-Werte Anzahl/%	größte Bestimmungsgrenze in mg/m ³	≤ GW %	Konzentrationen in mg/m ³		
						50%-Wert	90%-Wert	95%-Wert
A-Fraktion								
stationär	12	11	3/25	0,00062	100	0,0089	0,0562	0,0608
an der Person	39	30	11/28,2	0,0035	87,2	0,0089	0,125	0,328
E-Fraktion								
stationär	71	50	13/18,3	0,013	98,6	0,0064 *	0,158	0,968
an der Person	139	91	30/21,6	0,014	92,8	0,023	0,793	2,51

Erläuterung zu den Spalten siehe Abschnitt 7.1

Tabelle 31:
Expositionsdaten mit Schichtbezug zu Zink und seinen Verbindungen bei der spanenden Bearbeitung von Metall im Datenzeitraum von 2000 bis 2011

Arbeitsbereich	Anzahl Messdaten	Anzahl Betriebe	Häufigkeit <-Werte Anzahl/%	größte Bestimmungsgrenze in mg/m ³	≤ GW %	Konzentrationen in mg/m ³		
						50%-Wert	90%-Wert	95%-Wert
A-Fraktion (gemeinsame Auswertung von stationären Messungen und Messungen an der Person)								
Schleifen (ohne Nassschleifen)	34	23	6/17,6	0,0029	85,3	0,0112	0,19	0,39
Spanende Bearbeitung, ohne Schleifen	18	15	8/44,4	0,0035	100	0,0028 *	0,0322	0,0376
E-Fraktion (Messungen an der Person)								
Schleifen (ohne Nassschleifen)	96	68	21/21,9	0,014	89,6	0,031	1,54	3,36
Polieren	27	18	4/14,8	0,0056	100	0,0265	0,203	0,346
Spanende Bearbeitung, ohne Schleifen, ohne Polieren	16	12	5/31,3	0,0063	100	0,01	0,248	0,324

Erläuterung zu den Spalten siehe Abschnitt 7.1

Tabelle 32:
Expositionsdaten mit Schichtbezug zu Zink und seinen Verbindungen beim (Trocken-)Schleifen im Datenzeitraum von 2000 bis 2011 in der A-Fraktion, gemeinsame Auswertung von stationären Messungen und Messungen an der Person

Erfassungseinrichtung an der Emissionsquelle	Anzahl Messdaten	Anzahl Betriebe	Häufigkeit <-Werte Anzahl/%	größte Bestimmungsgrenze in mg/m ³	≤ GW %	Konzentrationen in mg/m ³		
						50%-Wert	90%-Wert	95%-Wert
A-Fraktion (gemeinsame Auswertung von stationären Messungen und Messungen an der Person)								
ohne Erfassung	13	9	1/7,7	0,0029	84,6	0,0149	0,196	0,267
mit Erfassung	20	14	5/25	0,0021	85	0,0064	0,112	0,562
E-Fraktion (Messungen an der Person)								
ohne Erfassung	35	28	6/17,1	0,014	88,6	0,0225	1,7	7,125
Erfassung, stationär offen	22	19	5/22,7	0,0054	86,4	0,081	2,358	2,88
Erfassung halboffen	15	9	4/26,7	0,0095	86,7	0,0205	1,47	5,4
mit Erfassung (unterschiedliche Verfahren)	19	13	6/31,6	0,006	100	0,0065	0,372	0,411

Erläuterung zu den Spalten siehe Abschnitt 7.1

7.3.6 Pulverbeschichten, Flüssiglackbeschichtung

Pulverbeschichten ist ein Beschichtungsverfahren, bei dem ein entfettetes, elektrisch leitfähiges Werkstück elektrostatisch aufgeladen und mit Pulver beschichtet wird. Die so behandelten Teile kommen anschließend in einen Einbrennofen. Je nach Pulverart beträgt die Einbrenntemperatur 160 bis 220 °C. Nach dem Einbrennen sind die Werkstücke stoß-, kratz-, schlag- und korrosionsfest.

Typische Untergründe für die Pulverbeschichtung sind Stahl, verzinkter Stahl und Aluminium.

Messwerte zur Zinkexposition beim Pulverbeschichten in der E-Fraktion sind in Tabelle 33 dargestellt. Zur Zinkexposition in der A-Fraktion liegen keine Messwerte vor.

Bei der Flüssiglackbeschichtung handelt es sich um ein Verfahren, bei dem Lacke auf Werkstücke aufgebracht werden. Lacke bestehen in der Regel aus Bindemitteln, Pigmenten, Lösungsmitteln, Füllstoffen und Additiven, wobei Zinkverbindungen unter anderem als Pigmente eingesetzt werden.

Die Spritzlackierarbeiten können vor einer Spritzwand, in einem Spritzstand oder in einer Spritzkabine durchgeführt werden.

Die Definitionen der Begriffe erfolgen nach BGR 231 [34]:

- Spritzwand ist die Wand (Absaugwand), die als Erfassungseinrichtung während der Spritzarbeiten am Werkstück positioniert wird. Die Position des Spritzlackierers zur Absaugwand und Strömungsrichtung ist nicht festgelegt. Die Richtung des Spritzstrahls zur Strömungsrichtung ist nicht festgelegt. Der Erfassungsgrad ist relativ gering.
- Spritzstand ist der Stand, in dem sich das zu beschichtende Werkstück während der Spritzarbeiten innerhalb eines mit einer Absaugwand versehenen und bis auf die offene Zugangsseite geschlossenen Bereiches befindet. Das Werkstück ragt nicht über den Spritzstand hinaus. Die offene Zugangsseite ist Einlassöffnung für die Zuluft und Zugang für den Lackierer. Der Lackierer steht während der Spritzarbeiten vor der offenen Zugangsseite. Das zu beschichtende Werkstück befindet sich zwischen Lackierer und Absaugwand.

- Spritzkabine ist die Kabine, in der sich der Lackierer während der Spritzarbeiten mit dem zu beschichtenden Werkstück in einem geschlossenen Raum mit technischer Lüftung befindet. Die Lüftführung ist vertikal, horizontal oder als Kombination möglich.

Messwerte zur Zinkexposition bei der Flüssiglackbeschichtung in der E-Fraktion sind in Tabelle 34 dargestellt. Zur Zinkexposition in der A-Fraktion liegen keine Messwerte vor.

Beurteilung der Exposition

Aus den Messdaten zur Pulverbeschichtung bzw. Flüssiglackbeschichtung ist ersichtlich, dass der MAK-Wert von 2 mg/m³ für die E-Fraktion eingehalten wird.

Schutzmaßnahmen

Hinweise zu Schutzmaßnahmen sind für das Pulverbeschichten in der BGI 764 [35] und für die Flüssiglackbeschichtung in der TRGS 507 [36] sowie in der BGR 231 [34] aufgeführt.

Tabelle 33:

Expositionsdaten mit Schichtbezug zu Zink und seinen Verbindungen beim Pulverbeschichten im Datenzeitraum von 2000 bis 2011 in der E-Fraktion, gemeinsame Auswertung von stationären Messungen und Messungen an der Person

Arbeitsbereich	Anzahl Messdaten	Anzahl Betriebe	Häufigkeit <-Werte Anzahl/%	größte Bestimmungsgrenze in mg/m ³	≤ GW %	Konzentrationen in mg/m ³		
						50%-Wert	90%-Wert	95%-Wert
Pulverbeschichten	16	7	7/43,8	0,01	100	0,0024 *	0,464	1,088

Erläuterung zu den Spalten siehe Abschnitt 7.1

Tabelle 34:

Expositionsdaten mit Schichtbezug zu Zink und seinen Verbindungen bei der Flüssiglackbeschichtung im Datenzeitraum von 2000 bis 2011 in der E-Fraktion, gemeinsame Auswertung von stationären Messungen und Messungen an der Person

Arbeitsbereich	Anzahl Messdaten	Anzahl Betriebe	Häufigkeit <-Werte Anzahl/%	größte Bestimmungsgrenze in mg/m ³	≤ GW %	Konzentrationen in mg/m ³		
						50%-Wert	90%-Wert	95%-Wert
Flüssiglackbeschichtung	26	17	6/23,1	0,036	100	0,015 *	0,9	1,058

Erläuterung zu den Spalten siehe Abschnitt 7.1

8 Literatur

- [1] GESTIS-Stoffdatenbank (Gesundheitsgefahren, Einstufung, Kennzeichnung). Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin. www.dguv.de/ifa/stoffdatenbank
- [2] Zink, Eigenschaften, Vorkommen, Verwendung. <http://de.wikipedia.org/wiki/Zink>, <http://de.wikipedia.org/wiki/Zinkoxid>, abgerufen am 27. Mai 2013
- [3] RÖMPP-Chemielexikon im Internet (Eigenschaften, Vorkommen, Verwendung). <http://www.roempp.com/prod>
- [4] *Hommel, G.* (Hrsg.): Handbuch der gefährlichen Güter. CD-ROM, Version 10.0 (Eigenschaften). Springer, Berlin 2011
- [5] Bek. des BMA vom 1. Dezember 1958: MAK-Werte 1958. Arbeitsschutz (1958), S. 233-235
- [6] Bek. des BMA vom 26. August 1963: MAK-Werte 1963. Arbeitsschutz (1963) Nr. 9, S. 216-218
- [7] Technische Regel für Gefahrstoffe: Grenzwerte in der Luft am Arbeitsplatz (TRGS 900). BArbBl. (2004) Nr. 5, S. 55-61
- [8] Technische Regel für Gefahrstoffe: Arbeitsplatzgrenzwerte (TRGS 900). Ausg. 1/2006. BArbBl. (2006) Nr. 1, S. 41-55; zul. geänd. GMBL. (2013) Nr. 17, S. 363-364
- [9] Technische Regel für Gefahrstoffe: Gefährdungsbeurteilung für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen (TRGS 400). Ausg. 12/2010. GMBL. (2011) Nr. 2, S. 19-32; zul. geänd. GMBL. (2012) Nr. 9, S. 715
- [10] Technische Regel für Gefahrstoffe: Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen: Inhalative Exposition (TRGS 402). Ausg. 1/2010. GMBL. (2010) Nr. 12, S. 231-253; berichtigt GMBL. (2011) Nr. 9, S. 175
- [11] MAK- und BAT-Werte-Liste 2009: Maximale Arbeitsplatzkonzentrationen und Biologische Arbeitsstofftoleranzwerte. Hrsg.: Senatskommission zur Prüfung gesundheitsgefährdender Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Wiley-VCH, Weinheim, 2009
- [12] DIN EN 481: Arbeitsplatzatmosphäre; Festlegung der Teilchengrößenverteilung zur Messung luftgetragener Partikel (9/1993). Beuth, Berlin 1993
- [13] IFA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin. Erich Schmidt, Berlin 1989 (Losebl.-Ausg.)
- [14] *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, S. 1-40. Wiley-VCH 2005
- [15] DIN 32645: Chemische Analytik – Nachweis-, Erfassungs- und Bestimmungsgrenze unter Wiederholbedingungen – Begriffe, Verfahren, Auswertung (11/2008). Beuth, Berlin 2008
- [16] *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
- [17] *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
- [18] *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
- [19] Das Messsystem Gefährdungsermittlung der UV-Träger (MGU). 7. Aufl. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin 2013
- [20] Verzeichnis „Systematik der Wirtschaftszweige mit Betriebs- und ähnlichen Benennungen“. Hrsg.: Statistisches Bundesamt Wiesbaden. Kohlhammer, Stuttgart 1997
- [21] Technische Regel für Gefahrstoffe: Schutzmaßnahmen (TRGS 500). Ausg. 1/2008. GMBL. (2008) Nr. 11/12, S. 224-258; zul. geänd. GMBL. (2008) Nr. 26, S. 528
- [22] Berufsgenossenschaftliche Regel: Arbeitsplatzlüftung – Lufttechnische Maßnahmen (BGR 121). Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Sankt Augustin 2004
- [23] DIN EN ISO 1461: Durch Feuerverzinken auf Stahl aufgetragene Zinküberzüge (Stückverzinken) – Anforderungen und Prüfungen (10/2009). Beuth, Berlin 2009
- [24] *Maaß, P.; Beißker, P.*: Handbuch Feuerverzinken. 3. Aufl. Wiley, Weinheim 2007
- [25] DIN EN 746-4: Industrielle Thermoprozessanlagen – Teil 4: Besondere Sicherheitsanforderungen an Feuerverzinkungsanlagen (5/2000). Beuth, Berlin 2000
- [26] DIN EN 1093-4: Sicherheit von Maschinen – Bewertung der Emission von luftgetragenen Gefahrstoffen – Teil 4: Erfassungsgrad eines Absaugsystems – Tracerverfahren (9/2008). Beuth, Berlin 2008

- [27] *Bagschik, U.; Tigler, A.; Voßberg, A.; Berges, M.; Schumacher, C.; Van Gelder, R.; Breidenbach, H.; Hebisch, R.; Böckler, M.; Michels, P.*: Galvanotechnik und Eloxieren. Vorschlag für die geplanten Empfehlungen Gefährdungsbeurteilung der Unfallversicherungsträger (EGU) nach der Gefahrstoffverordnung (BGI/GUV-I 790-016). IFA Report 3/2013. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin 2013
- [28] BG/BIA-Empfehlungen zur Überwachung von Arbeitsbereichen: Manuelle Zerlegung von Bildschirm- und anderen Elektrogeräten (1037). Ausg. 5/2011. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin
- [29] Technische Regel für Gefahrstoffe: Schweißtechnische Arbeiten (TRGS 528). Ausg. 2/2009. GMBL. (2009) Nr. 12-14, S. 236-253
- [30] Berufsgenossenschaftliche Information: Schadstoffe beim Schweißen und bei verwandten Verfahren (BGI 593). Ausg. 11/2012. Hrsg.: Berufsgenossenschaft Holz und Metall, Mainz 2012
- [31] 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
- [32] Information: Manuelles Kolbenlöten mit bleifreien Lotlegierungen in der Elektro- und Elektronikindustrie (BGI/GUV-I 790-025). Ausg. 1/2012. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Berlin 2012
- [33] BG-Regel: Betreiben von Arbeitsmitteln (BGR 500). Ausg. 4/2008. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin 2008
- [34] BG-Regel: Schutzmaßnahmenkonzept für Spritzlackierarbeiten – Lackaerosole (BGR 231). Ausg. 1/2006. Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Sankt Augustin 2006
- [35] BG-Information: Elektrostatisches Beschichten (BGI 764). Ausg. 9/2010. Hrsg.: Berufsgenossenschaft Holz und Metall, Mainz 2009
- [36] Technische Regel für Gefahrstoffe: Oberflächenbehandlung in Räumen und Behältern (TRGS 507). Ausg. 3/2009. GMBL. (2009) Nr. 18/19, S. 359-382

Stichwortverzeichnis

A	
Atomabsorptionspektrometrie	21
Aufsteck- und Abnahmestation	31
B	
Bestimmungsgrenze	21, 22, 24 bis 29, 31, 33, 34, 36 bis 42
E	
Eisen- und Stahlgießerei	23, 26
Elektronikschrott-Recycling	23, 32
Expositionsdaten	9, 23 bis 29, 31, 32, 33, 36 bis 42
F	
Fahrzeugbau	23, 27 f., 35
Feuerverzinken	9, 11, 28 ff.
Flüssiglackbeschichtung	41, 42
G	
Galvanik	23, 30 f.
H	
Hartlöten	19, 23, 38 ff.
I	
ICP	21 f.
L	
Laserschweißen	37
Lichtbogenhandschweißen	37
M	
MAK-Wert	9, 19, 25 ff., 29, 31 f., 35 f., 38, 39, 42
MEGA	23
Metall-Aktivgasschweißen	28, 33 ff.
Metall-Inertgasschweißen	36 f.
MGU	23
N	
Nicht-Eisen-Metallgießerei	23, 26
O	
Oberflächenveredelung	30

P	
Pulverbeschichten	23, 41 f.
R	
Röntgenfluoreszenzanalyse	21
S	
Schleuderguss	26
Schmelztauchverzinken	29
Schweißen	12, 23, 27 f., 33, 35 ff.
Spritzkabine	41 f.
Spritzstand	41
Spritzwand	41
Stahlgießerei	23, 25 f.
Stahlwerk	23, 25
Strangguss	26
V	
Verzinken – alkalisch	30
Verzinken – cyanidisch	30
Verzinken – sauer	30
W	
Weichlöten	23, 38 f.
Widerstandspunktschweißen	35 f.
Wolfram-Inert-Gas-Schweißen	36
Z	
Zink	9, 11 f., 15, 17, 19, 21, 23 bis 42
Zinkdruckguss	26
Zinkhaltige Rauche	21
Zinkoxid	9, 11 ff., 15, 17, 19, 21, 30
Zinkstaub	11 f., 15, 17