

**213-716**

## **DGUV Information 213-716**

### **Galvanotechnik und Eloxieren**

Empfehlungen Gefährdungsermittlung der  
Unfallversicherungsträger (EGU) nach der  
Gefahrstoffverordnung

## **Impressum**

Herausgeber:  
Deutsche Gesetzliche  
Unfallversicherung e.V. (DGUV)

Glinkastraße 40  
10117 Berlin  
Tel.: 030 288763800  
Fax: 030 288763808  
E-Mail: [info@dguv.de](mailto:info@dguv.de)  
Internet: [www.dguv.de](http://www.dguv.de)

Sachgebiet „Gefahrstoffe“;  
Fachbereich „Rohstoffe und chemische Industrie“ der DGUV.

Erarbeitet von  
Ute Bagschik, Adolf Tigler, Andreas Voßberg (Berufsgenossenschaft Holz und Metall);  
Markus Berges, Christian Schumacher, Rainer Van Gelder (Institut für Arbeitsschutz der Deutschen  
Gesetzlichen Unfallversicherung); Herbert Breidenbach (Zentralverband Oberflächentechnik);  
Ralph Hebisch (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin);  
Margret Böckler, Peter Michels (Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse).

Layout & Gestaltung:  
Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV), Medienproduktion

Ausgabe: Oktober 2014

DGUV Information 213-716 (bisher 790-016) zu beziehen bei Ihrem zuständigen Unfallversicherungsträger  
oder unter [www.dguv.de/publikationen](http://www.dguv.de/publikationen)

# **Galvanotechnik und Eloxieren**

Empfehlungen Gefährdungsermittlung der  
Unfallversicherungsträger (EGU) nach der Gefahrstoffverordnung

# Kurzfassung

## Galvanotechnik und Eloxieren

Im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung verlangt der Gesetzgeber Ermittlungen zu den am Arbeitsplatz auftretenden Gefahrstoffen und die Festlegung erforderlicher Schutzmaßnahmen. Diese Empfehlungen geben hierzu eine praxisgerechte Hilfestellung und dokumentieren den derzeitigen Stand der Technik für den Arbeitsbereich „Galvanotechnik und Eloxieren“. Die Arbeitsverfahren und die berücksichtigten Gefahrstoffexpositionen (u. a. Chrom(VI)-Verbindungen, Nickel, Säuren und Laugen) werden detailliert beschrieben. Werden die genannten Bedingungen am Arbeitsplatz erfüllt und insbesondere die empfohlenen Schutzmaßnahmen angewandt, kann bei entsprechender Dokumentation der Befund dieser Empfehlungen (Einhaltung der Grenzwerte bzw. Schutzmaßnahmen sind ausreichend) übernommen werden; aufwendige Kontrollmessungen entfallen.

# Inhaltsverzeichnis

	Seite		Seite
<b>Kurzfassung</b> .....	4	3.4.4	Aufsteck- und Abnahmestation ..... 12
<b>Vorbemerkung</b> .....	6	<b>4</b>	<b>Gefahrstoffexposition</b> ..... <b>13</b>
<b>1 Anwendungsbereich</b> .....	<b>6</b>	4.1	Gefahrstoffe ..... 13
<b>2 Begriffsbestimmungen</b> .....	<b>7</b>	4.2	Expositionsmessungen am Arbeitsplatz..... 14
2.1 Galvanotechnik .....	7	4.3	Bewertung der Gefahrstoffexposition..... 14
2.2 Randabsaugung .....	7	4.3.1	Vorbehandlung/Entfettung ..... 14
2.3 Netzmittel .....	7	4.3.2	Hartverchromen ..... 14
2.4 Stromdichte .....	7	4.3.3	Glanzverchromen/Schwarzverchromen ..... 15
2.5 Exposition .....	7	4.3.4	Chromatieren ..... 15
<b>3 Arbeitsverfahren/Anlagentechnik/Tätigkeiten ...</b>	<b>8</b>	4.3.5	Passivieren..... 15
3.1 Vorbehandlungsverfahren .....	8	4.3.6	Vernickeln, Glanznickel/Halbglanznickel ..... 15
3.1.1 Polieren, Glänzen, chemisches Entgraten .....	8	4.3.7	Vernickeln – chemisch..... 15
3.1.2 Alkalische Entfettung.....	8	4.3.8	Verkupfern – cyanidisch ..... 15
3.1.3 Elektrolytische Entfettung.....	8	4.3.9	Verkupfern – sauer ..... 15
3.1.4 Dekapieren.....	8	4.3.10	Verzinken – cyanidisch ..... 15
3.1.5 Beizen.....	8	4.3.11	Verzinken – sauer..... 15
3.2 Beschichtungsverfahren .....	8	4.3.12	Verzinken – alkalisch..... 15
3.2.1 Hartverchromen .....	9	4.3.13	Veredeln mit Gold und Silber ..... 16
3.2.2 Glanzverchromen/Schwarzverchromen .....	9	4.3.14	Verzinnen – sauer..... 16
3.2.3 Vernickeln, Glanznickel/Halbglanznickel .....	9	4.3.15	Phosphatieren..... 16
3.2.4 Vernickeln – chemisch.....	9	4.3.16	Eloxieren ..... 16
3.2.5 Verkupfern – cyanidisch .....	9	4.3.17	Aufsteck- und Abnahmestation..... 16
3.2.6 Verkupfern – sauer .....	9	4.3.18	Messungen an automatischen Trommel- und Gestellanlagen in Verzinkereien ..... 16
3.2.7 Verzinken – cyanidisch.....	9	<b>5</b>	<b>Schutzmaßnahmen</b> ..... <b>17</b>
3.2.8 Verzinken – sauer.....	10	5.1	Substitution/Emissionsmindernde Verfahren ..... 17
3.2.9 Verzinken – alkalisch.....	10	5.2	Technische Maßnahmen..... 17
3.2.10 Veredeln mit Gold und Silber .....	10	5.3	Organisatorische Maßnahmen..... 17
3.2.11 Verzinnen – sauer und alkalisch .....	10	5.4	Persönliche Schutzausrüstung..... 17
3.2.12 Phosphatieren.....	10	5.5	Explosionsschutzmaßnahmen..... 18
3.2.13 Eloxieren .....	10	5.6	Schutzmaßnahmen beim Ansetzen von Lösungen, beim Ab- und Umfüllen, beim Zusetzen staubender Substanzen und bei Reinigungsarbeiten ..... 18
3.2.14 Schwefelsäureverfahren (Gleichstrom) .....	11	<b>6</b>	<b>Anwendungshinweise</b> ..... <b>19</b>
3.2.15 Oxalsäureverfahren (Gleichstrom) .....	11	<b>7</b>	<b>Überprüfung</b> ..... <b>19</b>
3.3 Nachbehandlungsverfahren .....	11	<b>Anhang 1</b>	Gefahrstoffbelastung bei der Oberflächen- veredelung –Galvanotechnik und Eloxieren ..... <b>20</b>
3.3.1 Chromatieren/Passivieren .....	11	<b>Anhang 2</b>	Weiterführende Literatur ..... <b>25</b>
3.3.2 Entmetallisieren .....	11		
3.4 Anlagentechniken .....	11		
3.4.1 Manuell bediente Anlagen.....	11		
3.4.2 Bedienung mit Hebezeug, Kran oder von Hand betätigtem Beschickungsgerät .....	11		
3.4.3 Automatische Anlagen.....	12		

# Vorbemerkung

Empfehlungen Gefährdungsermittlung der Unfallversicherungsträger (EGU) nach der Gefahrstoffverordnung werden von

- den Trägern der gesetzlichen Unfallversicherung und
- dem Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA)

in Abstimmung mit den Ländern und der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) herausgegeben. Sie haben das Ziel, den Unternehmen eine Hilfe für den auf Tätigkeiten mit Gefahrstoffen bezogenen Teil der Gefährdungsbeurteilung zu geben, und werden in das Sammelwerk der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) unter der Bestell-Nr. DGUV Information 213-700 ff. aufgenommen.

Diese Empfehlungen wurden erarbeitet in Zusammenarbeit mit

- dem Fachbereich "Holz und Metall", Sachgebiet "Oberflächentechnik und Schweißen", Themenfeld Galvanotechnik, Hannover
- dem Zentralverband Oberflächentechnik, Hilden
- der Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse (BG ETEM), Köln
- der Berufsgenossenschaft Holz und Metall (BGHM), Mainz.

# 1 Anwendungsbereich

Diese Empfehlungen geben Verfahrensweisen und Schutzmaßnahmen in Arbeitsbereichen der Oberflächenveredelung, Galvanotechnik und beim Eloxieren an, bei denen für Stoffe mit Arbeitsplatzgrenzwert (AGW) dessen Einhaltung sichergestellt ist. Für Stoffe ohne AGW wird in diesen Empfehlungen der Stand der Technik beschrieben.

Diese Empfehlungen gelten für Arbeitsbereiche, in denen im Tauchverfahren Metall- und/oder Kunststoffteile beschichtet oder Aluminiumteile im Eloxalverfahren behandelt werden.

Sie gelten für:

- Vorbehandlungsverfahren,
  - Polieren, Glänzen ,
  - Reinigen, Heißentfettung,
  - Elektrochemische Reinigung,
  - Dekapieren,
  - Beizen im Verfahrensablauf des galvanischen Beschichtens (Badgröße: L < 12 m, B < 1,2 m),
- Beschichtungsverfahren,
  - Glanzverchromen,
  - Hartverchromen,
  - Vernickeln, Glanznickel/Halbglanznickel,
  - Vernickeln – chemisch ,
  - Verkupfern; sauer, alkalisch, cyanidisch und Kupferlegierungsverfahren,
  - Edelmetallverfahren, cyanidische und cyanidfreie Verfahren
  - Verzinken; Zink- und Zinklegierungsverfahren,
  - Eloxieren (Schwefelsäureverfahren, Oxalsäureverfahren),
- Nachbehandlung,
  - Chromatieren/Passivieren,
  - Entmetallisierung,
- Anlagentechniken,
  - Manuell bediente Anlagen,
  - Bedienung mit Hebezeug, Kran oder von Hand betätigten Beschickungsgeräten,
  - Automatische Anlagen,
  - Aufsteck- und Abnahmestation.

Diese Empfehlungen gelten nicht für Verfahren bei der Leiterplattenherstellung, beim Brünieren und Lackieren und beim Feuerverzinken sowie beim Betrieb von Bandbeschichtungsanlagen. Auch sind Reinigungsverfahren außerhalb der Vorbehandlung und die Wartung im Allgemeinen ausgenommen.

# 2 Begriffsbestimmungen

Im Sinne dieser Empfehlungen werden folgende Begriffe bestimmt:

## 2.1 Galvanotechnik

Unter Galvanotechnik wird im Folgenden das galvanische (elektrochemische) und das außenstromlose (chemische) Aufbringen von metallischen Schichten auf metallische sowie nicht metallische Oberflächen im Tauchverfahren verstanden, bei der die Teile auf Gestellen oder in Behältern (Trommeln) behandelt werden.

## 2.2 Randabsaugung

Als Randabsaugung werden lüftungstechnische Einrichtungen zur Erfassung von Aerosolen oder gasförmigen Schadstoffen bezeichnet, die verfahrensbedingt freigesetzt werden. Die Erfassungselemente der Randabsaugung (Absaugstege) sind in der Regel einseitig oder auf zwei gegenüberliegenden Seiten des Beckenrands angebracht.

## 2.3 Netzmittel

Netzmittel im Sinne dieser Empfehlung sind oberflächenaktive Elektrolytzusätze zum Verringern der Oberflächenspannung. Bei geeigneter Dosierung reduzieren sie die Emission von Aerosolen stark.

## 2.4 Stromdichte

Bei galvanischen Prozessen wird die Stromdichte ( $A/dm^2$ ) als Strommenge je Flächeneinheit von Anode bzw. Kathode angegeben. Im Folgenden ist beim galvanotechnischen Beschichten jeweils die kathodische Stromdichte gemeint. Beim Eloxieren, Elektropolieren und anodischen Reinigen wird die anodische Stromdichte angegeben.

## 2.5 Exposition

Unter Exposition versteht man im Rahmen dieser Empfehlungen das Ausgesetztsein des Körpers gegenüber den in Tabelle 1 aufgeführten Stoffen.

Eine inhalative Exposition liegt vor, wenn gefährliche Stoffe in der Luft im Atembereich der Beschäftigten vorhanden sind. Grundsätzlich sollen Arbeitsplatzmessungen personenbezogen mit an der Person getragenen oder mobil im Atembereich der Beschäftigten mitgeführten Systemen erfolgen. Die Exposition wird durch Angabe der Konzentration und zugehörigem zeitlichen Bezug beschrieben. Der zeitliche Bezug ist in der Regel die Schichtlänge.

# 3 Arbeitsverfahren/Anlagentechnik/Tätigkeiten

Einzelne Parameter der Arbeitsverfahren und Anlagentechnik wie Konzentration, Temperatur und Stromdichte können bei den jeweiligen Beschichtungsverfahren stark variieren. Typische Werte werden bei einzelnen Verfahren und Tätigkeiten aufgeführt.

## 3.1 Vorbehandlungsverfahren

### 3.1.1 Polieren, Glänzen, chemisches Entgraten

Das nicht mechanische Polieren oder Glänzen erfolgt chemisch oder elektrochemisch. Beim elektrolytischen Glänzen (Elektropolieren) werden Unebenheiten von Metalloberflächen durch anodische Behandlung in starken Säuren und bei Aluminium durch Natronlauge entfernt (Mikroebenebnung). Es kommen anodische Stromdichten bis 100 A/dm<sup>2</sup> zur Anwendung.

Das außenstromlose chemische Glänzen wird hauptsächlich bei Aluminium, Stahl, Kupfer und Kupferlegierungen, die z. B. als Reflektoren für Scheinwerfer, Nadeln oder Infrarotstrahler eingesetzt werden, mit speziellen Glänzlösungen angewandt. Beim chemischen und elektrochemischen Glänzen kommen Salpetersäure, Schwefelsäure, Salzsäure, Flusssäure, Chromsäure, Phosphorsäure oder Essigsäure in unterschiedlichen Gemischen und Konzentrationen zum Einsatz.

Aufgrund des geringen Wirkungsgrades der elektrochemischen Verfahren ist eine gewisse Aerosolbildung nicht zu vermeiden.

### 3.1.2 Alkalische Entfettung

Beim Entfetten oder Reinigen werden Oberflächen von Fetten, Ölen, Wachsen und anderen Schmutzschichten befreit. Das alkalische Reinigen erfolgt im Allgemeinen mit Natronlauge mit Konzentrationen bis 50 g/L Natriumhydroxid; gegebenenfalls bei Temperaturen bis 80 °C als Abkochentfettung. Die Reinigung mittels Ultraschall oder besonderer Waschverfahren, z. B. Druckflutung, wird ebenfalls je nach Teilespektrum angewendet.

### 3.1.3 Elektrolytische Entfettung

Dieses Verfahren wird angewendet, wenn hohe Ansprüche an die Reinheit der Oberfläche gestellt werden. Die Werkstücke werden bei Stromdichten von 5 bis 15 A/dm<sup>2</sup> als Anode oder als Kathode geschaltet, wobei eine lebhaft Gasentwicklung (Sauerstoff bzw. Wasserstoff) stattfindet. Die Gasentwicklung unterstützt einerseits die Reinigungswirkung, andererseits verursacht sie eine Aerosolemission. Es werden fast ausschließlich

alkalische Elektrolyte angewandt. Diese können rein alkalisch (bis 100 g/L Natriumhydroxid) oder cyanidisch (bis 30 g/L Natriumcyanid) sein. Der Einsatz von Netzmitteln trägt zur Emissionsminderung bei.

Durch die Wasserstoff- und Sauerstoffentwicklung kann es zu Explosionen kommen, wenn ein Zündfunke (Abreißfunke) entsteht.

Aufgrund des geringen Wirkungsgrades der elektrochemischen Verfahren ist eine Aerosolbildung nicht zu vermeiden.

### 3.1.4 Dekapieren

Als Dekapieren bezeichnet man kurzzeitiges Aktivieren von Metalloberflächen. Es wird meist als Zwischenstufe nach dem Entfetten und vor einer galvanischen Behandlung durchgeführt. Das Dekapieren soll alkalische Rückstände und vor allem Passivfilme entfernen.

Für das Dekapieren werden verdünnte Säuren (Salzsäure oder Schwefelsäure, ca. 5%ig) eingesetzt. Vor dem Einbringen von Werkstücken in eine cyanidische Lösung wird gegebenenfalls in einer alkalisch/cyanidischen Lösung mit bis zu 30 g/L freien Cyaniden dekapiert.

### 3.1.5 Beizen

Beizen ist das abtragende Entfernen von Oxiden und anderen Metallverbindungen von der Werkstückoberfläche. Es kann chemisch oder elektrochemisch erfolgen. Werden Kupferwerkstoffe mit Salpetersäure gebeizt, spricht man vom Brennen. Zum Beizen werden Salzsäure (ca. 20%ig), Schwefelsäure (15- bis 50%ig) und Phosphorsäure (ca. 20%ig) eingesetzt. Für Aluminium wird Natronlauge verwendet. Wasserstoffentwicklung, Elektrolyttemperatur und Elektrolytbewegung verursachen eine mehr oder weniger starke Aerosolbildung.

## 3.2 Beschichtungsverfahren

Bei den Beschichtungsverfahren kommen galvanische (Galvanisieren) und chemische Verfahren (außenstromlose Metallabscheidung) zur Anwendung.

Das Galvanisieren ist die elektrochemische Metallabscheidung auf Metallen und leitend gemachten Nichtleitern, z. B. Kunststoffen, durch Anlegen einer Fremdspannung. Hierbei erfolgt die Abscheidung mit niedergespanntem Gleichstrom, wobei das zu beschichtende Werkstück als Kathode geschaltet ist. An der



Kathode wird das Metall abgeschieden. Das abzuschiedende Metall wird entweder durch Lösen einer Anode oder durch Einbringen von gelösten Metallsalzen in den Elektrolyten ergänzt.

Bei den chemischen Verfahren werden die Überzüge aus einer Metallsalzlösung ohne Anlegen einer Fremdspannung abgeschieden. Die Abscheidung beginnt durch Ladungsaustausch und kann in einigen Fällen autokatalytisch weitergeführt werden. Das unedlere Metall geht in Lösung bzw. ein Reduktionsmittel wird verbraucht, während sich das edlere Metall aus der Salzlösung auf dem Werkstück abscheidet. Im Folgenden werden die einzelnen Verfahren näher beschrieben.

### 3.2.1 Hartverchromen

Dies ist die direkte Abscheidung von dickeren Chromschichten ohne Zwischenschicht. Die Werkstücke müssen sorgfältig vorbehandelt werden. Gegenüber dem Glanzverchromen benötigt man einen höheren Fremdsäuregehalt (um 1%), einen niedrigeren Chromsäuregehalt (240 bis 280 g/L Chromtrioxid) und höhere Stromdichten (40 bis 50 A/dm<sup>2</sup>). Die Elektrolyttemperatur liegt zwischen 55 und 80 °C. Der Wirkungsgrad beträgt maximal 30%. Hiermit verbunden ist eine starke Wasserstoffentwicklung, folglich ein größerer Austrag von Chromsäureaerosolen in die Luft am Arbeitsplatz.

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

### 3.2.2 Glanzverchromen/Schwarzverchromen

Hierbei werden überwiegend dünne Schichten < 1 µm abgeschieden. In der Regel werden vorher Zwischenschichten aus Kupfer und Nickel aufgebracht.

Für die Glanzverchromung werden vorzugsweise Elektrolyte mit einer Konzentration von 320 bis 380 g/L Chromtrioxid verwendet. Die Stromdichten liegen zwischen 10 und 15 A/dm<sup>2</sup>. Der Wirkungsgrad beträgt 20 bis 30%, die Elektrolyttemperatur ca. 40 °C. Die Wasserstoffentwicklung und damit der Austrag von Chromsäureaerosolen in die Luft am Arbeitsplatz sind verfahrensbedingt nicht so ausgeprägt wie beim Hartverchromen.

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

### 3.2.3 Vernickeln, Glanznickel/Halbglanznickel

Diese Beschichtung erfolgt galvanisch, ausschließlich aus sauren, meist schwefelsauren Elektrolyten. Die Elektrolyttemperatur beträgt in der Regel 55 bis 65 °C, der Wirkungsgrad ca. 95 bis 98%. Damit bleiben die Wasserstoffentwicklung und Aerosolbildung rein verfahrensbedingt gering. Elektrolytbewegungen bzw. Lufterblasung können allerdings Auswirkungen auf den Nickelaerosolgehalt in der Luft am Arbeitsplatz haben.

### 3.2.4 Vernickeln – chemisch

Das chemische Vernickeln erfolgt ohne Anlegen einer Fremdspannung, in der Regel mit Natriumhypophosphit als Reduktionsmittel. Die Elektrolyttemperatur beträgt ca. 85 bis 95 °C. Im Gegensatz zum galvanischen Vernickeln kommt es durch die chemische Reduktion zu verstärkter Wasserstoffentwicklung und Aerosolbildung. Aufgrund der Wasserstoffentwicklung ist die Entstehung einer gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre möglich.

### 3.2.5 Verkupfern – cyanidisch

Das cyanidische Verkupfern erfolgt aus alkalischen kupfercyanidhaltigen Elektrolyten (bis 40 g/L freie Cyanide). Als Alkalien werden Kaliumhydroxid oder Natriumhydroxid eingesetzt (bis 20 g/L). Die Elektrolyttemperatur beträgt 35 bis 65 °C. Die Aerosolbildung ist verfahrensbedingt gering. Unter bestimmten Bedingungen, wie abgeschalteter Absaugung, Kohlendioxideintrag aus der Luft, bei längeren Stillstandszeiten oder Einschleppen von Säuren, muss mit der Bildung von kritischen Cyanwasserstoffkonzentrationen in der Luft am Arbeitsplatz gerechnet werden.

### 3.2.6 Verkupfern – sauer

Saure Kupferelektrolyte enthalten zumeist Salze der Schwefelsäure als Leitsalz. Einige saure Elektrolyte enthalten Fluorborat oder Methansulfonat. Die Kupferkonzentration liegt zwischen 40 und 65 g/L, die Schwefelsäurekonzentration zwischen 55 und 65 g/L. Die Elektrolyttemperatur liegt bei ca. 20 bis 35 °C. Eine Aerosolbildung findet nicht statt, außer beim Betrieb von luftbewegten Elektrolyten. Erfahrungsgemäß ist dabei eine Kupferexposition vernachlässigbar gering.

### 3.2.7 Verzinken – cyanidisch

Beim cyanidischen Verzinken wird Zink galvanisch aus einem Elektrolyt, hergestellt aus Zinkoxid (8 bis 13 g/L), Kaliumcyanid (65 g/L) und Natriumhydroxid (70 bis 75 g/L), abgeschieden. Die Elektrolyttemperatur beträgt ca. 20 °C. Die Aerosolbildung ist verfahrensbedingt

gering. Die Stromausbeute ist aber anders als beim saurer Verzinken < 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<sup>2</sup> nur noch 50 %. Die Abnahme ist durch eine erhöhte Wasserstoffabscheidung bedingt, die eine gesteigerte Aerosolbildung bewirkt.

### 3.2.8 Verzinken – sauer

Klassische saure Zinkelektrolyte beruhen auf Sulfat- oder Chloridbasis. Stark saure Elektrolyte (pH < 3) werden vor allem für einfache Geometrien (Draht, Rohr, Band) eingesetzt. Schwach saure Elektrolyte (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 dagegen 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.

### 3.2.9 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 %) und es muss mit der Bildung von Aerosolen gerechnet werden.

In größerem Umfang werden auch sogenannte Legierungsverfahren eingesetzt. In den Elektrolytlösungen liegt das Zink ebenfalls als Hydroxokomplex vor. Für die mit abzuscheidenden Metalle werden spezielle organische Komplexbildner den Elektrolyten zugegeben.

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

### 3.2.10 Veredeln mit Gold und Silber

Die elektrolytische Abscheidung von Goldüberzügen kann aus cyanidischen und seltener sulfidischen Systemen erfolgen. Bei der cyanidischen Abscheidung wird als Goldelektrolyt ein Gold-Cyanid-Komplex eingesetzt, bei der sulfidischen ein Gold-Sulfit-Komplex. Die Elektrolyte können sauer und alkalisch sein. Bei der Abscheidung aus alkalischen Lösungen liegen die Temperaturen zwischen 45 und 70 °C, bei den schwach sauren bis

stark sauren Elektrolyten um 35 bis 40 °C. Die Abscheidung von Silberüberzügen erfolgt in der Hauptsache aus cyanidhaltigen alkalischen Elektrolyten und bei Raumtemperatur.

Beim elektrolytischen Vergolden und Versilbern ist mit dem Entweichen cyanidhaltiger bzw. cyanwasserstoffhaltiger Emissionen zu rechnen.

### 3.2.11 Verzinnen – sauer und alkalisch

Für das elektrolytische Verzinnen werden generell zwei Arten von Elektrolyten eingesetzt. Schwefelsaure Elektrolyte mit zweiwertigen Zinnverbindungen (Sulfate oder Fluorborate) und alkalische Elektrolyte mit vierwertigen Zinnverbindungen (Natrium- und Kaliumstannate). Die sauren Elektrolyte werden bei 20 bis 40 °C mit Stromausbeuten um 100 % betrieben, alkalische Elektrolyte bei 75 bis 85 °C mit Stromausbeuten von 75 bis 95 %.

Auf chemischem Wege (ohne Strom) lassen sich nur sehr dünne Zinnüberzüge herstellen, die auch wenig beständig gegen aggressive Medien sind. Hierzu wird Zinnchlorid in Weinstein (Kaliumhydrogentartrat) bei Siedetemperatur eingesetzt (Sudverzinnen).

### 3.2.12 Phosphatieren

Das Phosphatieren ist eine chemische Oberflächenbehandlung ohne Strom, bei der unlösliche oder schwerlösliche Metallphosphatschichten gebildet werden. Sie dienen als Korrosionsschutz, Haftgrund für Lacküberzüge und Kunststofffilme, zum Erleichtern einer nachträglichen spanlosen Verformung, zur Verbesserung der Gleiteigenschaften und als elektrische Isolierung.

Phosphatierlösungen enthalten Zinkphosphate, freie Phosphorsäure und Beschleuniger (Nitrite, Nitrate, Chlorate oder Borate).

Die Arbeitstemperaturen liegen um 20 bis 50 °C.

### 3.2.13 Eloxieren

Als Eloxieren wird die anodische Oxidation von Aluminium bezeichnet. Je nach Verfahren werden mehr oder weniger dicke, verschleißfeste Oxidschichten erzielt. Beim Eloxieren wird unterschieden zwischen dem Schwefelsäure- und dem Oxalsäureverfahren, die in der Regel mit Gleichstrom, seltener mit Wechselstrom betrieben werden.

Aufgrund des geringen Wirkungsgrades (teilweise < 20%) der elektrochemischen Verfahren ist eine gewisse Aerosolbildung nicht zu vermeiden.

### 3.2.14 Schwefelsäureverfahren (Gleichstrom)

Die Elektrolyte enthalten 170 bis 230 g/L Schwefelsäure. Die Elektrolyttemperatur beträgt 4 bis 22 °C. Es kommen Stromdichten von 0,5 bis 2,5 A/dm<sup>2</sup> zur Anwendung.

### 3.2.15 Oxalsäureverfahren (Gleichstrom)

Die Elektrolyte enthalten bis 80 g/L Oxalsäure. Die Elektrolyttemperatur beträgt 20 bis 60 °C. Es kommen Stromdichten von 1 bis 2 A/dm<sup>2</sup> zur Anwendung.

## 3.3 Nachbehandlungsverfahren

### 3.3.1 Chromatieren/Passivieren

Chromatieren und Passivieren sind häufig nach dem Verzinken eingesetzte Nachbehandlungsverfahren, bei denen auf der Zinkoberfläche stromlos eine Passivierungsschicht erzeugt wird. Diese Schicht kann die Korrosion des Zinks (Weißrost) sehr lange hinauszögern. Sie dient somit als Korrosions- und Anlaufschutz und verbessert die Lackhaftung bei nachträglicher Lackierung. Durch das Chromatieren werden u. a. transparente, glänzende, gelbe, olivfarbene, blaue und schwarze Deckschichten erzeugt. Die meist schwefelsauren Chromatierlösungen enthalten 1 bis 30 g/L Chromtrioxid. Die Elektrolyttemperatur beträgt ca. 20 °C, eine Aerosolbildung findet nicht statt. Beim Blaupassivieren werden dreiwertige Chromverbindungen (Chromsulfat) gegebenenfalls unter Zusatz von Cobaltsulfat eingesetzt.

Durch das EU-Recht wurde die Chromatierung mit Chrom(VI) für die Anwendung im Automobilbau (Pkw < 3,5t) und bei Haushaltsgeräten verboten. In den letzten Jahren wurden auch Chrom(VI)-freie Passivierungen entwickelt, die aber z. T. nicht die gleiche Korrosionsbeständigkeit erreichen wie die Chrom(VI)-haltigen Passivierungen. Das relativ neue Verfahren der Dickschichtpassivierung von Zinkschichten verbindet die Vorteile der Chrom(VI)-Freiheit mit einer guten bis sehr guten Korrosionsbeständigkeit. Zum Verfahren der Dickschichtpassivierung von Zinkschichten liegen zurzeit jedoch noch keine Messdaten vor.

### 3.3.2 Entmetallisieren

Das Entmetallisieren ist notwendig, um beim Galvanisieren eingesetzte Gestelle und Gestellkontakte von Metallschichten zu befreien.

Das Entfernen einer oder mehrerer Metallschichten vom Grundwerkstoff erfolgt aber auch, wenn aufgebrauchte Beschichtungen fehlerhaft sind, ein Werkstück aufgearbeitet werden soll oder Edelmetalle gezielt in Lösung gebracht werden sollen, um sie zurückzugewinnen. Generell wird unterschieden in mechanische, chemische und elektrochemische Entmetallisierungsverfahren.

Die chemische und auch die elektrochemische Entmetallisierung basieren auf der Oxidation des zu entfernenden Metalls entweder durch ein Oxidationsmittel oder (mit Strom) durch die Anodenreaktion.

Je nach Grundwerkstoff und zu entfernenden Metallschichten werden beim chemischen Entmetallisieren unterschiedliche Oxidationsmittel (u. a. Nitrobenzolsulfonsäure), Komplexbildner (u. a. Cyanide) und Mineralsäuren eingesetzt, u. a. Lösungen aus Nitrobenzolsulfonsäure/Natriumcyanid oder Nitrobenzolsulfonsäure/Schwefelsäure oder ausschließlich Salzsäure bzw. Salpetersäure.

Nachteilig beim chemischen Entmetallisieren ist die Entwicklung von gefährlichen Gasen und Dämpfen, z. B. giftige nitrose Gase (Stickstoffdioxid und Stickstoffmonoxid) beim Einsatz von Salpetersäure.

Das Prinzip der elektrolytischen Entmetallisierung besteht in der Umkehrung der galvanischen Metallabscheidung. Die Entmetallisierlösungen entsprechen hierbei den Lösungen, aus denen die Metalle vorher abgeschieden wurden. Das Verfahren wird in der Praxis benutzt, wenn eine schnelle und saubere Ablösung gewünscht ist und danach erneut galvanisiert werden soll.

## 3.4 Anlagentechniken

Folgende Anlagentechniken werden unterschieden:

### 3.4.1 Manuell bediente Anlagen

Die Werkstücke werden von Hand in den Elektrolyten eingehängt. Kleine Werkstücke werden an speziellen Gestellen hängend eingetaucht.

### 3.4.2 Bedienung mit Hebezeug, Kran oder von Hand betätigtem Beschickungsgerät

Die Bedienperson führt das Werkstück mit dem Beschickungsgerät oder dem Kran zum Behandlungselektrolyten.

### 3.4.3 Automatische Anlagen

Die Anlagenbeschickung erfolgt automatisch gesteuert, d. h. programmiert. Die Bedienpersonen arbeiten nicht direkt am Elektrolyten. 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.

Das Eintauchen großer Werkstücke, z. B. Walzen oder Wellen, kann einzeln mittels Kran erfolgen; bei Massenartikeln und je nach Oberflächenbehandlung kann dies auch mit Gestellen (z. B. automatische Gestellanlage) oder mit Einhängetrommeln (z. B. Trommelanlage) geschehen.

Zur Erzielung der geforderten Oberflächenqualität kann es notwendig sein, dass die im Elektrolyten eingehängten Werkstücke durch eine Vorrichtung an der Kathodenschiene bewegt werden oder aber die Anode als Wanderanode z. B. bei großflächigen Blechen oder Zylindern bewegt wird. Um mit höheren Stromdichten arbeiten zu können, kann auch eine Elektrolytbewegung angewandt werden. Dies erfolgt durch Umpumpen oder durch das Einblasen von gereinigter Druckluft. Alternativ werden auch Seitenkanalverdichter eingesetzt.

### 3.4.4 Aufsteck- und Abnahmestation

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

# 4 Gefahrstoffexposition

Die Gefahrstoffexposition der Beschäftigten in den Arbeitsbereichen ist im Wesentlichen abhängig von:

- den als Elektrolyt eingesetzten Stoffen/Zubereitungen und dem Einsatz von Netzmitteln
- der Konzentration der Einsatzstoffe im Elektrolyt
- der eingesetzten Anlagentechnik
- den Verfahrensparametern wie Temperatur, Luftereinblasung, Stromdichte und Wirkungsgrad
- den Lüftungstechnischen Verhältnissen, z. B. Behälterabsaugung, Raumlüftung
- dem Aufenthaltsort des Exponierten
- der Aufenthaltsdauer/Expositionszeitdauer.

## 4.1 Gefahrstoffe

In Tabelle 1 sind die relevanten Gefahrstoffe und deren Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW) aufgeführt. Die Bestimmungsgrenzen wurden gemäß der Standardprobenahmeverfahren aus der IFA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen ermittelt.

**Tabelle 1:** Gefahrstoffe, Einstufung, Arbeitsplatzgrenzwerte und Spitzenbegrenzung

Gefahrstoff (CAS-Nummer)	Bestimmungsgrenze in mg/m <sup>3</sup>	Einstufung	Arbeitsplatzgrenzwert in mg/m <sup>3</sup>	Spitzenbegrenzung Überschreitungsfaktor
Benzaldehyd (100-52-7)	2	Xn	---	---
Chlorwasserstoff (7647-01-0)	0,09	T, C	3	2 (I)
Chrom(VI)-Verbindungen (18540-29-9; als Chrom berechnet)	0,0026	K2	---	---
Cyanide (--) (als Cyanid berechnet)	0,03	T+, N	2 E*	1 (II)*
Cyanwasserstoff (74-90-8)	0,1	T+, F+, N	2,1*	2 (II)*
Fluoride (16984-48-8; als Fluorid berechnet)	0,04		1 E	4 (I)
Fluorwasserstoff (7664-39-3)	0,13	T+, C	0,83	2 (I)
Natriumhydroxid (1310-73-2)	0,04	C	---	---
Nickelverbindungen (7440-02-0; als Nickel berechnet)	0,004	K1	---	---
Oxalsäure (144-62-7)	0,09	Xn	1 E	1 (I)
Phosphorpentoxid (1314-56-3; als Orthophosphorsäure berechnet)	0,01	C	2 E	2 (I)
Salpetersäure (7697-37-2)	0,13	C, O	2,6	1 (I)
Schwefelsäure (7664-93-9)	0,005	C	0,1 E	1 (I)

A: alveolengängige Fraktion

E: einatembare Fraktion

\*: Empfehlungen der Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe (MAK-Kommission)

(I): Spitzenbegrenzung Kategorie I; Stoffe bei denen die lokale Wirkung grenzwertbestimmend ist oder atemwegssensibilisierende Stoffe

(II): Spitzenbegrenzung Kategorie II; resorptiv wirksame Stoffe

## 4.2 Expositionsmessungen am Arbeitsplatz

Ergebnisse von Auswertungen verschiedener Expositionsmessungen sind im Anhang dargestellt (siehe Anhang 1, Tabelle 2). In den Auswertungen der Tabelle 2 sind nur Daten berücksichtigt worden, die dem Stand der Technik entsprechen (z. B. Vorhandensein einer Absaugung).

Auswertungen aus der IFA-Expositionsdatenbank „Messdaten zur Exposition gegenüber Gefahrstoffen am Arbeitsplatz“ (MEGA) von acht Berufsgenossenschaften im Zeitraum von 2001 bis 2011 wurden nach folgenden Kriterien aufgeführt:

- Verfahren
- Gefahrstoffe
- Messwerte mit Absaugung
- Probenahmeart:
  - an der Person und
  - stationäre Probenahme
- Anzahl der Betriebe
- Anzahl der Messdaten
- Perzentile (50 und 95).

## 4.3 Bewertung der Gefahrstoffexposition

Die Empfehlungen entsprechen dem Stand der Technik. Wird entsprechend diesen Empfehlungen gearbeitet und ist der bestimmungsgemäße Betrieb der Anlage sichergestellt, sind die AGW für Chlorwasserstoff, Cyanide und Cyanwasserstoff, Fluoride und Fluorwasserstoff, Oxalsäure und Salpetersäure eingehalten. Für andere Stoffe ohne AGW werden die 95-Perzentile der personenbezogenen Messwerte als Beurteilungsmaßstab herangezogen; diese Konzentration wird bei 95 % der Messungen nach dem Stand der Technik unterschritten.

Bei vielen Verfahren kam es vor, dass bei bestimmten Stoffen die Werte der stationären Messungen höher ausfielen als die personenbezogenen Werte. Ein Grund hierfür kann u. a. sein, dass sich die stationäre Messprobe näher an der Expositionsquelle befand als die bemessenen Personen. Auch ein Zusammenspiel ungünstiger Faktoren kann dazu führen, dass die stationäre Messstelle höhere Konzentrationen ausweist. Solche Faktoren sind z. B. hohe Prozessauslastung, großer Materialverbrauch, kurze Taktzeiten oder schlechte Lüftungsbedingungen nahe dem Messort der stationären Messung.

Situationen, in denen die Randbedingungen in dem zu beurteilenden Arbeitsbereich bzw. bei den zu beurteilenden Tätigkeiten unter ungünstigen, aber realistischen Betriebsbedingungen eine Obergrenze für die Exposition ergeben, können nach TRGS 402 Abschnitt 2 und Anlage 3 als ungünstiger Fall (worst case) angesehen werden. Wird unter diesen Bedingungen eine Einhaltung des AGW nachgewiesen, so kann auch davon ausgegangen werden, dass unter üblichen Bedingungen der AGW eingehalten wird.

Die Bewertung der Messergebnisse für die verschiedenen Verfahren wird im Folgenden dargestellt. Die nachfolgenden Ausführungen gelten, sofern die in Kapitel 5 dieses Reports aufgeführten Maßnahmen vorhanden sind und deren Wirksamkeit nachgewiesen ist.

Wird in den Arbeitsbereichen mit anderen als den in diesen Empfehlungen genannten Stoffen gearbeitet, so sind diese in der Gefährdungsbeurteilung zu berücksichtigen.

### 4.3.1 Vorbehandlung/Entfettung

Bei der Vorbehandlung und Entfettung werden die AGW für Natriumhydroxid, Chlorwasserstoff, Fluoride und Salpetersäure eingehalten.

Für Schwefelsäure überschreitet das 95-Perzentil den AGW. Daher ist die Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen nachzuweisen, z. B. durch Arbeitsplatzmessungen.

### 4.3.2 Hartverchromen

Für Schwefelsäure ist der AGW eingehalten. Für Chrom(VI)-Verbindungen sind die in Tabelle 2 angegebenen 95-Perzentile der personenbezogenen Messwerte als Beurteilungsmaßstab für die Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen heranzuziehen.

Belastungen oberhalb des 95-Perzentils treten zum Beispiel auf, wenn

- die Absaugschlitze der Absauganlagen durch Anoden verbaut oder durch Salzbildungen verkrustet sind
- die Absaugrohre durch die aggressive Chromsäure korrodiert sind
- der Abstand zwischen der Badoberfläche und den Absaugschlitzen zu gering ist

- die Netzmittel entweder zu gering dosiert oder bereits erschöpft sind (kein zusammenhängender Schaumteppich).

#### 4.3.3 Glanzverchromen/Schwarzverchromen

Für Schwefelsäure ist der AGW eingehalten. Für Chrom(VI)-Verbindungen sind die in Tabelle 2 angegebenen 95-Perzentile der personenbezogenen Messwerte als Beurteilungsmaßstab für die Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen heranzuziehen.

#### 4.3.4 Chromatieren

Beim Chromatieren treten neben Salpetersäure und Schwefelsäure keine Stoffe mit AGW auf. Bedingt durch die geringe Anzahl der personenbezogenen Messdaten ist für Salpeter- und Schwefelsäure keine Bewertung möglich. Die vorliegenden Messwerte liegen unter 20 % des AGW.

Für Chrom(VI)-Verbindungen sind die in Tabelle 2 angegebenen 95-Perzentile der personenbezogenen Messwerte als Beurteilungsmaßstab für die Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen heranzuziehen. Verfahrensbedingt treten keine chrom(VI)-haltigen Aerosole auf (Ausnahme: luftbewegte Elektrolyte).

#### 4.3.5 Passivieren

Derzeit liegen noch keine gesicherten Ergebnisse vor. Neben Mineralsäuren kommen auch Metallsalze, wie Cobalt und Chrom(III), zum Einsatz.

#### 4.3.6 Vernickeln, Glanznickel/Halbglanznickel

Beim Vernickeln wird der AGW für Chlorwasserstoff und Schwefelsäure eingehalten.

Für Nickel und Nickelverbindungen sind die in Tabelle 2 angegebenen 95-Perzentile der personenbezogenen Messwerte als Beurteilungsmaßstab für die Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen heranzuziehen.

#### 4.3.7 Vernickeln – chemisch

Für Nickel in Form atembare Tröpfchen ist das in Tabelle 2 angegebene 95-Perzentil der personenbezogenen Messwerte als Beurteilungsmaßstab für die Einhaltung der Schutzmaßnahmen heranzuziehen.

Belastungen oberhalb des 95-Perzentils treten zum Beispiel auf, wenn

- die Absaugschlitze der Absauganlagen verbaut oder durch Salzbildungen verkrustet sind
- der Abstand zwischen der Elektrolytoberfläche und den Absaugschlitzen zu gering ist.

Bei stationären Messungen wurden höhere Konzentrationen als bei den Messungen an der Person ermittelt. Diese stellen den ungünstigen Fall (worst case) unmittelbar neben dem Elektrolyt dar. Belastungen der Beschäftigten in dieser Höhe sind nur kurzzeitig zu erwarten.

#### 4.3.8 Verkupfern – cyanidisch

Für Cyanwasserstoff liegen nur drei Messwerte vor, eine Bewertung ist daher nicht möglich. Für Cyanide liegen die Messwerte unter der analytischen Bestimmungsgrenze. Der AGW ist eingehalten.

#### 4.3.9 Verkupfern – sauer

Für Schwefelsäure liegen nur acht personenbezogene Messwerte vor. Der höchste Wert liegt unter dem AGW.

#### 4.3.10 Verzinken – cyanidisch

Für Cyanide liegt nur ein personenbezogener Messwert vor und für Cyanwasserstoff liegen zwei personenbezogene Messwerte vor, eine Bewertung ist daher nicht möglich.

#### 4.3.11 Verzinken – sauer

Für Benzaldehyd liegen nur wenige personenbezogene Messwerte vor. Alle liegen unterhalb des AGW.

Für Chlorwasserstoff liegen zehn personenbezogene Messwerte unter der analytischen Bestimmungsgrenze. Der AGW ist eingehalten.

Für die anderen Stoffe sind die in Tabelle 2 angegebenen 95-Perzentile der personenbezogenen Messwerte als Beurteilungsmaßstab für die Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen heranzuziehen.

#### 4.3.12 Verzinken – alkalisch

Für Natriumhydroxid ist das in Tabelle 2 angegebene 95-Perzentil der personenbezogenen Messwerte als Beurteilungsmaßstab für die Einhaltung der Schutzmaßnahmen heranzuziehen. Für Chlorwasserstoff liegen 14 personenbezogene Messwerte unter der analytischen Bestimmungsgrenze. Der AGW ist eingehalten.

#### 4.3.13 Veredeln mit Gold und Silber

Für das Veredeln mit Gold und Silber ist der AGW für Cyanide eingehalten. Für Cyanwasserstoff liegen keine personenbezogenen Messwerte vor, eine Bewertung ist daher nicht möglich.

#### 4.3.14 Verzinnen – sauer

Es liegt nur ein personenbezogener Messwert für Schwefelsäure vor. Eine Bewertung kann daher nicht erfolgen.

#### 4.3.15 Phosphatieren

Für Orthophosphorsäure liegen nur wenige Messwerte vor. Der höchste Wert überschreitet den AGW um das Dreifache. Daher ist die Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen nachzuweisen, z. B. durch Arbeitsplatzmessungen.

#### 4.3.16 Eloxieren

Beim Eloxieren kann der AGW für Schwefelsäure überschritten werden. Daher ist die Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen nachzuweisen, z. B. durch Arbeitsplatzmessungen.

Für die anderen Stoffe sind die in Tabelle 2 angegebenen 95-Perzentile der personenbezogenen Messwerte als Beurteilungsmaßstab für die Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen heranzuziehen.

#### 4.3.17 Aufsteck- und Abnahmestation

Für Schwefelsäure kann der AGW überschritten werden. Daher ist die Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen nachzuweisen, z. B. durch Arbeitsplatzmessungen.

Für Cyanide liegen nur wenige Messwerte unter der analytischen Bestimmungsgrenze vor. Der AGW ist eingehalten.

Für die anderen Stoffe sind die in Tabelle 2 angegebenen 95-Perzentile der personenbezogenen Messwerte als Beurteilungsmaßstab für die Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen heranzuziehen.

#### 4.3.18 Messungen an automatischen Trommel- und Gestellanlagen in Verzinkereien

Diese beim cyanidischen und sauren Verzinken gewonnenen Messdaten (Tabelle 3 im Anhang 1) werden gesondert betrachtet. Die Messungen erfolgten unter ungünstigen Bedingungen (worst case) stationär am jeweiligen Elektrolyten und überwiegend ohne Absaugung an den Elektrolyten bzw. lufttechnische Maßnahmen im Raum (RLT-Anlage).

Personen halten sich an den Messstellen nur kurzzeitig, z. B. bei der Probenahme aus dem Elektrolyten, auf. Parallel dazu erfolgten auch Messungen (mit Expositionsbezug) am Bedienplatz. Der Bedienplatz befindet sich vor der Anlage. Hier werden die Trommeln beschickt und entleert oder die bestückten Gestelle aufgenommen bzw. Teile abgenommen.

Die Messungen belegen gemäß TRGS 402, dass beim Bedienen von automatischen Verzinkungsanlagen, sowohl beim sauren als auch beim cyanidischen Verzinken, keine nennenswerten Gefahrstoffkonzentrationen in der Luft am Arbeitsplatz vorliegen.

Die meisten Werte lagen unterhalb der Bestimmungsgrenzen der angewandten Analysenverfahren. Alle ermittelten Messwerte für Cyanwasserstoff (cyanidisches Verzinken) lagen unter 10 % des von der DFG veröffentlichten MAK-Wertes von 2,1 mg/m<sup>3</sup>.

Nur ein Messwert für Propan-2-ol (saurer Verzinken) lag knapp über 10 % des AGW von 500 mg/m<sup>3</sup>.

Die Messwerte können zur Befundermittlung entsprechend TRGS 402 herangezogen werden. Hiernach lassen Messungen unter ungünstigen Bedingungen (worst case) den Befund „Schutzmaßnahmen ausreichend“ zu (siehe Abschnitt 5 der TRGS 402).



# 5 Schutzmaßnahmen

## 5.1 Substitution/Emissionsmindernde Verfahren

Neben der Substitutionsprüfung beschreibt der § 7 der GefStoffV das Minimierungsgebot und die Verpflichtung zur Beachtung der Rangfolge der Schutzmaßnahmen.

Auch in der Galvanotechnik gibt es Möglichkeiten, die Gefährdungen der Gesundheit durch Gefahrstoffe zu minimieren, z. B. durch den Einsatz emissionsarmer Verwendungsformen nach dem Stand der Technik. Ein wirksames emissionsminderndes Verfahren ist die Kathodenumhüllung beim Eloxieren (Schwefelsäureverfahren). Dieses Verfahren kann nach bisherigen Erkenntnissen zu einer deutlichen Reduzierung der Schwefelsäureaerosole in der Luft am Arbeitsplatz führen.

Bei der Kathodenumhüllung wird die Kathode im Eloxyelektrolyten mit einem speziellen Kunststoffvlies (Strumpf) umhüllt. Der für die Schwefelsäureaerosolbildung verantwortliche Wasserstoff verbleibt an der Kathode und verteilt sich nicht als feinste Gasbläschen im gesamten Elektrolyten (sichtbar am klaren Elektrolyten). Wasserstoffgas und Schwefelsäureaerosol werden im Idealfall an der Kathode getrennt, d. h. der Wasserstoff entweicht ohne Mitreißen von Schwefelsäure, während die Schwefelsäuretröpfchen in den Elektrolyten zurückfließen.

## 5.2 Technische Maßnahmen

- Wirksame Absaugungen (z. B. Randabsaugung) mit technischer Funktionsüberwachung an allen Bädern, außer beim sauren Verzinken und Verkupfern, Chromatieren ohne Lufterblasung, Spülen und Dekapieren
- Ausreichende technische Raumlüftung (Ausgleich der Luftbilanz, Versorgung der Arbeitsbereiche mit Frischluft)
- Gegebenenfalls Einsatz von Elektrolytabdeckungen (Netzmittel).

Hinweise zu Schutzmaßnahmen geben die DGUV Regel 109-002 „Arbeitsplatzlüftung – Lufttechnische Maßnahmen“, die Richtlinie VDI 2262 Blatt 3 „Luftbeschaffenheit am Arbeitsplatz, Minderung der Exposition durch luftfremde Stoffe“ und der „Leitfaden zur Auslegung von Abluftanlagen an Galvanikanlagen“.

## 5.3 Organisatorische Maßnahmen

- Absaugschlitze durch Anoden oder Material nicht verdecken
- Einhaltung der vorgeschriebenen Elektrolytparameter nach Angabe in der Produktbeschreibung (Füllstand, Temperatur, Stromdichte etc.)
- Regelmäßige – mindestens jährliche – Prüfung der Lüftungstechnischen Einrichtungen im Arbeitsbereich durch eine befähigte Person mit Dokumentation der Prüfungsergebnisse
- Regelmäßige Reinigung der Absaugkanäle und Absaugschlitze, insbesondere Entfernen der Verkrustungen
- Sofortiges Beseitigen von Korrosionsschäden
- Tägliche Funktionsprüfung der Absauganlage nach Herstellerangabe
- Erstellen einer Betriebsanweisung und Unterweisung der Beschäftigten nach § 14 Gefahrstoffverordnung (GefStoffV)
- Erstellen und Führen eines Beschäftigungsverzeichnisses nach § 14 GefStoffV für den Umgang mit krebs erzeugenden Stoffen
- Notdusche
- Augendusche.

## 5.4 Persönliche Schutzausrüstung

Bei Arbeiten an Elektrolyten sind zu benutzen:

- Chemikalienschutzkleidung
- Schutzbrille/Gesichtsschutz
- Stiefel
- Chemikalienbeständige Schutzhandschuhe
- Gummischürze
- Gegebenenfalls weitere Schutzmaßnahmen, z. B. Gehörschutz bei Tätigkeiten an Trommelanlagen.

Die erforderliche Persönliche Schutzausrüstung muss zur Verfügung stehen. Zur richtigen Auswahl der Persönlichen Schutzausrüstung und zum Hautschutz muss eine Gefährdungsermittlung durchgeführt werden, siehe auch TRGS 401 „Gefährdung durch Hautkontakt“, DGUV Information 212-017 „Allgemeine Präventionsleitlinie Hautschutz – Auswahl, Bereitstellung und Benutzung“, DGUV Regel 112-189 und 112-989 „Benutzung von Schutzkleidung“, DGUV Regel 112-195 und 112-995 „Benutzung von Schutzhandschuhen“ und

DGUV Regel 112-192 und 112-992 „Benutzung von Augen- und Gesichtsschutz“.

Die Beschäftigten sind durch regelmäßige Unterweisungen hinsichtlich der Einhaltung der Schutzmaßnahmen zu schulen. Hierbei ist auf folgende Punkte besonders zu achten:

- Schutz, Reinigung und Pflege der Haut unter Einhaltung eines Hautschutzplanes vor Arbeitsbeginn, vor jeder Pause und am Ende des Arbeitstages
- Tragen der richtigen Handschuhe unter Einhaltung der Tragezeitbegrenzung
- Sofortiger Wechsel beschädigter (defekter) Handschuhe
- Sofortiger Wechsel von durchtränkter oder beschmutzter Arbeitskleidung.

Hinweis auf Nutzung von Augen- und Notdusche unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Wirkung von Säuren und Laugen.

## 5.5 Explosionsschutzmaßnahmen

Aufgrund der Wasserstoffentwicklung kann es bei einigen Behandlungsverfahren zu Explosionen kommen, wenn eine Zündquelle, z. B. ein Abreißfunke, beim Entnehmen der Ware entsteht.

Entsprechend Betriebssicherheitsverordnung § 6 ist im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung die Erstellung eines Explosionsschutzdokumentes mit den entsprechenden Maßnahmen erforderlich. Die Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse (BG ETEM) hat hierzu einen Leitfaden sowie Muster-Explosionsschutzdokumente entwickelt. Diese sind über die Internetseite [www.bgetem.de](http://www.bgetem.de) herunterladbar.

## 5.6 Schutzmaßnahmen beim Ansetzen von Lösungen, beim Ab- und Umfüllen, beim Zusetzen staubender Substanzen und bei Reinigungsarbeiten

Kurzzeitig können erhöhte Gefahrstoffkonzentrationen auftreten, u. a.:

- beim Ansetzen von Lösungen
- beim Ab- und Umfüllen von Elektrolyten sowie Säuren und Laugen, z. B. bei Elektrolytkorrekturen (Nachschärfen)
- beim Zusetzen staubender Substanzen, z. B. Chromtrioxid, Nickelsulfat, Farbzusätze
- bei Reinigungsarbeiten an und in Behältern.

Hierbei sind möglichst verfahrenstechnische Maßnahmen zur Minimierung der Exposition zu ergreifen, z. B.:

- fest verlegte Rohrleitungen zu den Behältern
- Verwenden von Umfüll- und Dosiereinrichtungen
- Einsatz von Fertigansätzen oder Elektrolytkonzentraten.

Vor dem Einsteigen in Behälter müssen diese gründlich gereinigt und gespült werden. Die notwendigen Schutzmaßnahmen zum Einsteigen in Behälter (Befahrerlaubnis, zweite Person, Sicherung des in den Behälter einsteigenden Beschäftigten etc.) sind vorher schriftlich festzulegen, siehe auch TRGS 507 „Oberflächenbehandlung in Räumen und Behältern und DGUV Regel 113-004 „Behälter, Silos und enge Räume“, Teil 1: Arbeiten in Behältern, Silos und engen Räumen.

Die erforderliche Persönliche Schutzausrüstung muss zur Verfügung stehen (siehe Abschnitt 5.4) und von den Beschäftigten benutzt werden.

Atemschutz muss auf den Gefahrstoff abgestimmt sein. Die Tragezeitbegrenzungen gemäß DGUV Regel 112-190 „Benutzung von Atemschutzgeräten“ sind zu beachten. Für Beschäftigte, die Atemschutz tragen müssen, ist gegebenenfalls arbeitsmedizinische Vorsorge durchzuführen, siehe Verordnung zur Arbeitsmedizinischen Vorsorge (ArbMedVV).

## 6 Anwendungshinweise

Bei Anwendung dieser Empfehlungen muss bei Verfahrensänderungen und ansonsten regelmäßig, mindestens aber einmal jährlich, die Gültigkeit der Voraussetzungen überprüft und das Ergebnis dokumentiert werden. Hierzu zählt unter anderem die Prüfung der unveränderten Gültigkeit dieser Empfehlungen. Die Überprüfung erfolgt im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung nach § 6 der GefStoffV.

Diese Empfehlungen geben dem Unternehmen praxisgerechte Hinweise, wie es sicherstellen kann, dass die AGW eingehalten sind bzw. der Stand der Technik erreicht ist, wenn keine AGW vorhanden sind. Bei Anwendung dieser Empfehlungen bleiben andere Anforderungen der GefStoffV, insbesondere die Informationsermittlung (§ 6), die Verpflichtung zur Beachtung der Rangordnung der Schutzmaßnahmen (§ 8), die Verpflichtung zur Erstellung von Betriebsanweisungen und zur regelmäßigen Unterweisung der Beschäftigten (§ 14) bestehen.

## 7 Überprüfung

Diese Empfehlungen wurden erstmals im April 2002 veröffentlicht, im Zeitraum 2004 bis 2006 sowie nochmals 2010 bis 2012 überarbeitet und in der Fassung Dezember 2013 verabschiedet. Sie werden mindestens alle drei Jahre auf Aktualität überprüft. Soweit Änderungen notwendig werden, werden diese veröffentlicht.

# Anhang 1

## Gefahrstoffbelastung bei der Oberflächenveredelung – Galvanotechnik und Eloxieren

Diese Empfehlungen beruhen auf Auswertungen von Arbeitsplatzmessungen bei der Oberflächenveredelung – Galvanotechnik und Eloxieren.

Die Messungen erfolgten mit den im Messsystem Gefährdungsermittlung der Unfallversicherungsträger (MGU) anerkannten Probenahme- und Analysenverfahren, siehe IFA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. Während der Messungen wurden die üblichen Tätigkeiten durchgeführt.

Tabelle 2 enthält die statistisch ausgewerteten Arbeitsplatzkonzentrationen für den Zeitraum von 2001 bis 2011. Die Ermittlung und Dokumentation der Messdaten erfolgte nach den Kriterien des MGU.

**Tabelle 2:** Ergebnisse der IFA-Expositionsdatenbank MEGA (Branchen Galvanik und Eloxalanlagen), 2001 bis 2011 mit Absaugung; Probenahmedauer und Expositionsdauer sind  $\geq 1$  Stunde.

Verfahren/ Elektrolyte	Gefahrstoff Probenahmearten	Anzahl Betriebe	Anzahl der Messdaten	50%-Wert in mg/m <sup>3</sup>	95%-Wert in mg/m <sup>3</sup>
Vorbehandlung/ Entfettungsbad	<b>Chlorwasserstoff</b>				
	an der Person	15	17	a.B. <sup>1)</sup>	a.B. <sup>1)</sup>
	stationär	76	129	a.B. <sup>1)</sup>	1,371
	<b>Schwefelsäure</b>				
	an der Person	21	28	0,008 <sup>2)</sup>	<b>0,115*</b>
	stationär	94	169	0,0105 <sup>2)</sup>	<b>0,101*</b>
	<b>Salpetersäure</b>				
	an der Person	11	14	a.B. <sup>1)</sup>	a.B. <sup>1)</sup>
	stationär	36	45	a.B. <sup>1)</sup>	0,435 <sup>2)</sup>
	<b>Fluoride/Fluorwasserstoff</b>				
	an der Person	11	15	a.B. <sup>1)</sup>	0,355
	stationär	26	36	a.B. <sup>1)</sup>	<b>1,388*</b>
	<b>Natriumhydroxid</b>				
	an der Person	25	31	a.B. <sup>1)</sup>	0,228
stationär	79	138	a.B. <sup>1)</sup>	0,302	
<b>Orthophosphorsäure</b>					
an der Person	10	15	a.B. <sup>1)</sup>	0,01 <sup>2)</sup>	
stationär	25	30	a.B. <sup>1)</sup>	0,195	
Hartverchromen	<b>Chrom(VI)-Verbindungen</b> (als Chrom berechnet)				
	an der Person	66	145	0,0026 <sup>2)</sup>	0,0246
	stationär	75	217	0,0013 <sup>2)</sup>	0,0259
	<b>Schwefelsäure</b>				
an der Person	16	29	0,0085 <sup>2)</sup>	0,0241	
stationär	34	65	a.B. <sup>1)</sup>	0,0345	
Glanz- und Schwarzverchromen	<b>Chrom(VI)-Verbindungen</b> (als Chrom berechnet)				
	an der Person	40	46	a.B. <sup>1)</sup>	0,0025 <sup>2)</sup>
	stationär	58	80	a.B. <sup>1)</sup>	0,00624
	<b>Schwefelsäure</b>				
an der Person	11	13	0,0115	0,0527	
stationär	25	35	0,0055 <sup>2)</sup>	0,0403	
Chromatieren	<b>Chrom(VI)-Verbindungen</b> (als Chrom berechnet)				
	an der Person	10	18	a.B. <sup>1)</sup>	0,00676
	stationär	19	27	a.B. <sup>1)</sup>	0,00964
	<b>Schwefelsäure</b>				
	an der Person	2	2	--	--
	stationär	7	8	von < 0,005 <sup>3)</sup>	bis < 0,094 <sup>3)</sup>
	<b>Salpetersäure</b>				
an der Person	4	5	a.B. <sup>1)</sup>	a.B. <sup>1)</sup>	
stationär	2	3	von < 0,09 <sup>3)</sup>	bis < 0,3 <sup>3)</sup>	

Verfahren/ Elektrolyte	Gefahrstoff Probenahmearten	Anzahl Betriebe	Anzahl der Messdaten	50%-Wert in mg/m <sup>3</sup>	95%-Wert in mg/m <sup>3</sup>
Vernickeln, Glanznickel/ Halbglanznickel	<b>Nickel und Nickelverbindungen</b> an der Person stationär	38	57	0,00185 <sup>2)</sup>	0,0314
		89	158	0,0016 <sup>2)</sup>	0,0264
	<b>Schwefelsäure</b> an der Person stationär	8	10	0,014	0,044
		15	18	0,006 <sup>2)</sup>	0,0191
	<b>Chlorwasserstoff</b> an der Person stationär	12	17	a.B. <sup>1)</sup>	a.B. <sup>1)</sup>
		13	17	a.B. <sup>1)</sup>	0,154 <sup>2)</sup>
Vernickeln – chemisch –	<b>Nickel und Nickelverbindungen</b> an der Person stationär	16	25	0,00235 <sup>2)</sup>	0,0217
		31	61	0,0026 <sup>2)</sup>	0,0422
Verkupfern – cyanidisch –	<b>Cyanwasserstoff</b> an der Person stationär	2	3	a.B. <sup>1)</sup>	a.B. <sup>1)</sup>
		46	68	a.B. <sup>1)</sup>	0,924
	<b>Cyanide</b> an der Person stationär	12	15	a.B. <sup>1)</sup>	a.B. <sup>1)</sup>
		19	27	a.B. <sup>1)</sup>	a.B. <sup>1)</sup>
	<b>Natriumhydroxid</b> an der Person stationär	5	7	a.B. <sup>1)</sup>	a.B. <sup>1)</sup>
		8	10	a.B. <sup>1)</sup>	a.B. <sup>1)</sup>
Verkupfern – sauer –	<b>Schwefelsäure</b> an der Person stationär	5	8	von < 0,01 <sup>3)</sup>	bis 0,06 <sup>3)</sup>
		36	54	0,016	0,0837
Verzinken – cyanidisch –	<b>Cyanide</b> an der Person stationär	2	2	--	--
		4	5	von < 0,001 <sup>3)</sup>	bis < 0,05 <sup>3)</sup>
	<b>Cyanwasserstoff</b> an der Person stationär	1	1	--	--
		11	16	a.B. <sup>1)</sup>	0,294
Verzinken – sauer –	<b>Chlorwasserstoff</b> an der Person stationär	9	10	a.B. <sup>1)</sup>	a.B. <sup>1)</sup>
		17	22	a.B. <sup>1)</sup>	a.B. <sup>1)</sup>
	<b>Salpetersäure</b> an der Person stationär	4	5	a.B. <sup>1)</sup>	a.B. <sup>1)</sup>
		5	6	a.B. <sup>1)</sup>	a.B. <sup>1)</sup>
	<b>Natriumhydroxid</b> an der Person stationär	3	4	von < 0,04 <sup>3)</sup>	bis 0,14 <sup>3)</sup>
		11	14	a.B. <sup>1)</sup>	a.B. <sup>1)</sup>
	<b>Benzaldehyd</b> an der Person stationär	5	6	a.B. <sup>1)</sup>	a.B. <sup>1)</sup>
6		8	a.B. <sup>1)</sup>	a.B. <sup>1)</sup>	
Verzinken – alkalisch –	<b>Natriumhydroxid</b> an der Person stationär	9	15	0,04 <sup>2)</sup>	0,233
		17	26	a.B. <sup>1)</sup>	0,828
	<b>Chlorwasserstoff</b> an der Person stationär	10	14	a.B. <sup>1)</sup>	a.B. <sup>1)</sup>
		8	14	a.B. <sup>1)</sup>	0,213 <sup>2)</sup>
Veredeln mit Gold und Silber	<b>Cyanwasserstoff</b> an der Person stationär	--	--	--	--
		17	27	a.B. <sup>1)</sup>	1,303
	<b>Cyanide</b> an der Person stationär	7	8	a.B. <sup>1)</sup>	a.B. <sup>1)</sup>
		13	18	a.B. <sup>1)</sup>	a.B. <sup>1)</sup>
Verzinnen – sauer –	<b>Schwefelsäure</b> an der Person stationär	1	1	--	--
		10	12	a.B. <sup>1)</sup>	0,018

Verfahren/ Elektrolyte	Gefahrstoff Probenahmearten	Anzahl Betriebe	Anzahl der Messdaten	50%-Wert in mg/m <sup>3</sup>	95%-Wert in mg/m <sup>3</sup>
Phosphatieren	<b>Orthophosphorsäure</b> an der Person	8	9	von < 0,01 <sup>3)</sup> a.B. <sup>1)</sup>	bis <b>6*<sup>3)</sup></b> 0,581
	stationär	17	26		
	<b>Schwefelsäure</b> an der Person	1	2	--	--
	stationär	8	14	0,025	<b>0,237*</b>
Eloxieren	<b>Schwefelsäure</b> an der Person	40	67	0,0175	<b>0,146*</b>
	stationär	57	139	0,0235	<b>0,304*</b>
	<b>Orthophosphorsäure</b> an der Person	7	15	a.B. <sup>1)</sup>	0,079
	stationär	10	19	0,014	0,0645
	<b>Salpetersäure</b> an der Person	17	24	a.B. <sup>1)</sup>	0,298 <sup>2)</sup>
	stationär	7	14	a.B. <sup>1)</sup>	0,907
	<b>Natriumhydroxid</b> an der Person	19	29	a.B. <sup>1)</sup>	0,45
	stationär	17	22	a.B. <sup>1)</sup>	0,594
	<b>Fluoride und Fluorwasserstoff</b> an der Person	11	18	a.B. <sup>1)</sup>	0,818
	stationär	7	11	a.B. <sup>1)</sup>	<b>0,882*</b>
	<b>Oxalsäure</b> an der Person	5	8	a.B. <sup>1)</sup>	a.B. <sup>1)</sup>
	stationär	6	8	a.B. <sup>1)</sup>	a.B. <sup>1)</sup>
Aufsteck- und Abnahmestation	<b>Chrom(VI)-Verbindungen</b> (als Chrom berechnet) an der Person	29	44	a.B. <sup>1)</sup>	0,0135
	stationär	55	87	a.B. <sup>1)</sup>	0,00545
	<b>Chlorwasserstoff</b> an der Person	21	31	a.B. <sup>1)</sup>	a.B. <sup>1)</sup>
	stationär	49	98	a.B. <sup>1)</sup>	0,153 <sup>2)</sup>
	<b>Cyanwasserstoff</b> an der Person	4	4	von < 0,1 <sup>3)</sup> 0,05 <sup>2)</sup>	bis 0,4 <sup>3)</sup> 1,473
	stationär	19	38		
	<b>Fluoride und Fluorwasserstoff</b> an der Person	9	17	a.B. <sup>1)</sup>	0,329
	stationär	24	42	a.B. <sup>1)</sup>	0,085 <sup>2)</sup>
	<b>Cyanide</b> an der Person	5	6	a.B. <sup>1)</sup>	a.B. <sup>1)</sup>
	stationär	15	28	a.B. <sup>1)</sup>	a.B. <sup>1)</sup>
	<b>Natriumhydroxid</b> an der Person	15	24	a.B. <sup>1)</sup>	0,068
	stationär	50	91	a.B. <sup>1)</sup>	0,0545
	<b>Nickel und Nickelverbindungen</b> an der Person	29	38	0,0023 <sup>2)</sup>	0,0184
	stationär	52	99	0,00123 <sup>2)</sup>	0,00962 <sup>2)</sup>
	<b>Salpetersäure</b> an der Person	11	15	a.B. <sup>1)</sup>	0,368
	stationär	26	41	a.B. <sup>1)</sup>	0,302
	<b>Schwefelsäure</b> an der Person	22	27	0,0105 <sup>2)</sup>	<b>0,13125*</b>
	stationär	43	76	0,012	0,07380

\* **Fett gedruckt:** Das 95-Perzentil überschreitet den Arbeitsplatzgrenzwert.

- 1) Die Anzahl der Messwerte unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze (a.B.) ist größer als die Zahl der Messwerte, die durch diesen Summenhäufigkeitswert repräsentiert wird. Daher wird für diesen Summenhäufigkeitswert keine Konzentration angegeben.
- 2) Dieser Verteilungswert liegt unterhalb der größten analytischen Bestimmungsgrenze im Datenkollektiv.
- 3) Aufgrund der zu geringen Fallzahlen wurde in diesem Fall der Messbereich von bzw. bis angegeben.  
Werte mit dem Vorzeichen „<“ geben den kleinsten quantitativ bestimmbaren Messwert an (Bestimmungsgrenze), der jedoch in diesem Fall unterschritten wurde.

**Tabelle 3:** Messungen unter „Worst Case-Bedingungen“ beim automatischen Verzinken  
**Firma A: Verzinken – cyanidisch**

Alle Verzinkungsanlagen befinden sich in einer Halle ohne RLT-Anlage, d. h. es besteht nur eine natürliche Lüftung im Raum. An den Elektrolyten befindet sich nur in einem Fall eine Absaugung (siehe Spalte „Absaugung“), alle anderen Elektrolyte besitzen keine Absaugung.

Anlage	Elektrolyt	Gefahrstoffe	Messwerte in mg/m <sup>3</sup> stationär	Absaugung/ RLT-Anlage	Bemerkungen
Automat Zink-Trommelanlage 1	Cyanidisch Zink	Cyanide HCN NaOH	< 0,05 0,15 < 0,04	-	Luftreinblasung im Gelbchrom
	Gelbchromatieren	Chrom(VI)-Verbindungen	< 0,005		
	Beizen	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,036		
	Entfetten	NaOH	< 0,04		
	-	Chrom(VI)-Verbindungen Cyanide HCN NaOH	< 0,005 < 0,05 < 0,1 < 0,04		Messung am Beschickungs- platz vor der Anlage
Automat Zink-Gestellanlage 3 (6-m-Anlage)	Cyanidisch Zink	Cyanide HCN NaOH	< 0,05 0,12 < 0,04	Randabsaugung am Zinkelektrolyt	Luftreinblasung im Gelbchrom
	Gelbchromatieren	Chrom(VI)-Verbindungen	< 0,005		
	Beizen	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	< 0,01		
	Entfetten	NaOH Cyanide HCN NaOH	< 0,04		
	-	Chrom(VI)-Verbindungen	< 0,005 < 0,05 < 0,1 < 0,04		Messung am Be- schickungsplatz vor der Anlage
Automat Zink-Gestellanlage 2 (2-m-Anlage)	Cyanidisch Zink	Cyanide HCN NaOH	< 0,05 0,17 < 0,04 < 0,005	-	Luftreinblasung im Gelbchrom
	Gelbchromatieren	Chrom(VI)-Verbindungen	< 0,005		
	Beizen	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,027		
	Entfetten	NaOH	< 0,04		
	-	Chrom(VI)-Verbindungen Cyanide HCN NaOH	< 0,05 < 0,1 < 0,04		Messung am Be- schickungsplatz vor der Anlage

RLT-Anlage = Raumluftheizungsanlage

**Tabelle 3:** Messungen unter „Worst Case-Bedingungen“ beim automatischen Verzinken (**Fortsetzung**)  
**Firma B: Verzinken – sauer**

Alle Verzinkungsanlagen befinden sich in einer Halle mit RLT-Anlage, fünf Deckenlüfter mit insgesamt 16 000 m<sup>3</sup>/h Fortluft; Zuluft strömt über Fenster und offenes Rolltor nach. An den Elektrolyten befindet sich nur in einem Fall eine Absaugung (siehe Spalte „Absaugung“), alle anderen Elektrolyte besitzen keine Absaugung.

Anlagen	Elektrolyt	Gefahrstoffe	Messwerte in mg/m <sup>3</sup> stationär	Absaugung/ RLT-Anlage	Bemerkungen
Automat Zink-Trommelanlage 1	Gelbchromatierung	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> Chrom(VI)-Verbindungen	< 0,01 < 0,005	-	
	Beize	HCl	< 0,09		
	sauer Zink	Bor und seine Verbindungen Propan-2-ol Benzaldehyd	< 0,01 22 < 2		
Automat Zink-Trommelanlage 2	Chromatierung transparent	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> Chrom(VI)-Verbindungen	< 0,01 < 0,005	-	
	Beize	HCl	0,11		
	sauer Zink	Bor und seine Verbindungen Propan-2-ol Benzaldehyd	< 0,01 19 < 2		
Automat Zink-Gestellanlage 3	Blaupassivierung	Cobalt und seine Verbindungen	< 0,001	Randabsaugung mit Fortluft an der Beize	
	Beize	HCl	< 0,09		
	sauer Zink	Bor und seine Verbindungen Propan-2-ol Benzaldehyd	< 0,01 49 < 2		
Automat Zink-Trommelanlage 4	Entfettung	NaOH	< 0,04	-	
	Beize	HCl	< 0,09		
	sauer Zink	Bor und seine Verbindungen Propan-2-ol Benzaldehyd	< 0,02 29 < 2		
Automat Zink-Trommelanlage 5	Entfettung	NaOH	< 0,04	-	
	Beize	HCl	< 0,09		
	sauer Zink	Bor und seine Verbindungen Propan-2-ol Benzaldehyd	< 0,02 63 < 2		

RLT-Anlage = Raumlufthechnische Anlage

**Anmerkung zu Tabelle 3:**

Die Probenahmen erfolgten stationär jeweils über zwei Stunden, repräsentativ während der Arbeitsschicht.

Die stationären Messungen sind ohne Expositionsbezug unter ungünstigen Bedingungen (Worst Case) erfolgt, Beschäftigte halten sich nicht längere Zeit an dieser Stelle direkt am Elektrolyten auf. Ausnahme sind die stationären Messungen am Beschickungsplatz, diese haben einen Expositionsbezug.



# Anhang 2

## Weiterführende Literatur

Nachstehend sind folgende Bezugsquellen zusammengestellt:

### 1. Gesetze, Verordnungen

*Bezugsquelle:*

*Buchhandel und Internet: z. B. [www.baua.de](http://www.baua.de)*

Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) mit zugehörigen Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS), insbesondere:

TRGS 401 „Gefährdung durch Hautkontakt Ermittlung – Beurteilung – Maßnahmen“;

TRGS 402 „Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen: Inhalative Exposition“;

TRGS 507 „Oberflächenbehandlung in Räumen und Behältern“;

TRGS 900 „Arbeitsplatzgrenzwerte“;

Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge (ArbMedVV);

Richtlinie 2011/65/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 8. Juni 2011 zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten. Amtsblatt EU L 174, S. 88-110;

Richtlinie 2000/53/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. September 2000 über Altfahrzeuge. Amtsblatt EG L 269, S. 34-42.

### 2. Vorschriften, Regeln und Informationen

*Bezugsquelle:*

*Bei Ihrem zuständigen Unfallversicherungsträger oder unter [www.dguv.de/publikationen](http://www.dguv.de/publikationen)*

#### Vorschriften

DGUV Vorschrift 1 „Grundsätze der Prävention“.

#### Regeln

DGUV Regel 113-004 „Behälter, Silos und enge Räume; Teil 1: Arbeiten in Behältern, Silos und engen Räumen“ (bisher BGR/GUV-R 117-1);

DGUV Regel 109-002 „Arbeitsplatzlüftung – Lufttechnische Maßnahmen“ (bisher BGR 121);

DGUV Regel 112-189 (bisher BGR 189) und DGUV Regel 112-989 (GUV-R 189) „Benutzung von Schutzkleidung“;

DGUV Regel 112-190 „Benutzung von Atemschutzgeräten“ (bisher BGR/GUV-R 190);

DGUV Regel 112-195 (bisher BGR 195) und DGUV Regel 112-995 (GUV-R 195) „Benutzung von Schutzhandschuhen“;

DGUV Regel 112-192 (bisher BGR 192) und DGUV Regel 112-992 (GUV-R 192) „Benutzung von Augen- und Gesichtsschutz“.

#### Informationen

DGUV Information 212-017 „Allgemeine Präventionsleitlinie Hautschutz – Auswahl, Bereitstellung und Benutzung“ (bisher BGI/GUV-I 8620).

### 3. VDI-Bestimmungen

*Bezugsquelle:*

*Beuth-Verlag GmbH, Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin, [www.beuth.de](http://www.beuth.de)*

Richtlinie VDI 2262 Blatt 3: „Luftbeschaffenheit am Arbeitsplatz – Minderung der Exposition durch luftfremde Stoffe – Lufttechnische Maßnahmen“.

### 4. Sonstige Informationsquellen

*Bezugsquelle:*

*Buchhandel und Internet: z. B.*

*[www.baua.de](http://www.baua.de)*

*[www.bgetem.de](http://www.bgetem.de)*

*[www.ifa-arbeitsmappedigital.de](http://www.ifa-arbeitsmappedigital.de)*

Macho, K.: „Galvanikindustrie: Chromat-Aerosole als Belastungsschwerpunkt identifiziert, Teil 1: Verfahren und Expositionsschwerpunkte“. Amtliche Mitteilung der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin – BAuA, Dortmund (2000) Nr. 2, S. 3-5;

Macho, K.: „Galvanikindustrie: Chromat-Aerosole als Belastungsschwerpunkt identifiziert, Teil 2: Messergebnisse und Maßnahmenfindung“. Amtliche Mitteilung der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin – BAuA, Dortmund (2000) Nr. 3, S. 3-5;

Gefahrstoffe in der Galvanotechnik und der Oberflächenveredelung. 70 S. (Stand: 08/2011). Hrsg.: Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse (BG ETEM), Köln. Bestell-Nr. S 015;

IFA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin. Erich Schmidt, Berlin 2011 – Losebl.-Ausg.;

Informationen für Sicherheitsfachkräfte 1/2012: Reduzierung der Schwefelsäureemissionen beim Eloxieren nach dem Gleichstrom-Schwefelsäureverfahren durch Kathodenumhüllung. S. 3-8. Hrsg.: Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse (BG ETEM), Köln;

Leitfaden zur Erstellung des Explosionsschutzdokumentes mit Muster-Explosionsschutzdokumenten. (Stand: 04/2010). Hrsg.: Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse (BG ETEM), Köln.  
Bestell-Nr. S 018;

Leitfaden zur Auslegung von Abluftanlagen an Galvanikanlagen. Hrsg.: Fachverband Oberflächentechnik (FVO), Hilden (Neufassung in Vorbereitung).



Deutsche Gesetzliche  
Unfallversicherung e.V. (DGUV)

Glinkastraße 40  
10117 Berlin  
Tel.: 030 288763800  
Fax: 030 288763808  
E-Mail: [info@dguv.de](mailto:info@dguv.de)  
Internet: [www.dguv.de](http://www.dguv.de)