

**213-716**

## **DGUV Information 213-716**

# **Empfehlungen Gefährdungs- ermittlung der Unfallver- sicherungsträger (EGU) nach der Gefahrstoffverordnung**

Galvanotechnik und Eloxieren

**komm****mit****mensch** ist die bundesweite Kampagne der gesetzlichen Unfallversicherung in Deutschland. Sie will Unternehmen und Bildungseinrichtungen dabei unterstützen, eine Präventionskultur zu entwickeln, in der Sicherheit und Gesundheit Grundlage allen Handelns sind. Weitere Informationen unter [www.kommmitmensch.de](http://www.kommmitmensch.de)

---

## Impressum

### Herausgegeben von:

Deutsche Gesetzliche  
Unfallversicherung e.V. (DGUV)

Glinkastraße 40  
10117 Berlin  
Telefon: 030 13001-0 (Zentrale)  
E-Mail: [info@dguv.de](mailto:info@dguv.de)  
Internet: [www.dguv.de](http://www.dguv.de)

Sachgebiet Gefahrstoffe des Fachbereichs  
Rohstoffe und chemische Industrie der DGUV

Ausgabe: Juli 2021

DGUV Information 213-716  
zu beziehen bei Ihrem zuständigen Unfallversicherungsträger oder unter  
[www.dguv.de/publikationen](http://www.dguv.de/publikationen) Webcode: p213716

© Diese Publikation ist urheberrechtlich geschützt. Die Vervielfältigung,  
auch auszugsweise, ist nur mit ausdrücklicher Genehmigung gestattet.

### Bildnachweis

Titelbild: © Adobe Zffoto – [stock.adobe.com](http://stock.adobe.com)

# **Empfehlungen Gefährdungsermittlung der Unfallversicherungsträger (EGU) nach der Gefahrstoffverordnung**

Galvanotechnik und Eloxieren

# Inhaltsverzeichnis

|   | Seite     |   | Seite     |
|---|-----------|---|-----------|
| <b>Vorbemerkung</b> .....   | <b>5</b>  | 5.3.3 Aufsteck- und Abnahmeplätze – allgemein<br>(Tabelle 3 im Anhang).....   | 21        |
| <b>1 Allgemeines</b> .....  | <b>6</b>  | 5.3.4 Aufsteck- und Abnahmeplätze –<br>Glanzverchromen (Tabelle 4 im Anhang).....   | 21        |
| <b>2 Anwendungsbereich und Hinweise</b> .....   | <b>7</b>  | 5.3.5 Trommelbeladung / Trommelentladung –<br>allgemein (Tabelle 5 im Anhang).....  | 21        |
| <b>3 Begriffsbestimmungen</b> .....   | <b>8</b>  | 5.4 Stationäre Messungen.....   | 22        |
| <b>4 Arbeitsverfahren und Tätigkeiten</b> .....   | <b>10</b> | 5.4.1 Vorbehandlung (Tabelle 6 im Anhang).....  | 22        |
| 4.1 Vorbehandlungsverfahren.....  | 10        | 5.4.2 Oberflächenbehandlung/Beschichtung<br>(Tabelle 7 im Anhang).....  | 22        |
| 4.1.1 Polieren, Glänzen, chemisches Entgraten.....  | 10        | 5.4.3 Nachbehandlung (Tabelle 8 im Anhang).....   | 22        |
| 4.1.2 Entfetten, alkalische Entfettung.....   | 10        | 5.4.4 Messungen in Bereichen Tiefdruck<br>(Tabelle 9 im Anhang).....  | 22        |
| 4.1.3 Entfetten, elektrolytische Entfettung.....  | 10        | <b>6 Schutzmaßnahmen</b> .....  | <b>24</b> |
| 4.1.4 Dekapieren.....   | 10        | 6.1 Ableitung technischer Schutzmaßnahmen<br>aus den personenbezogenen Messungen.....   | 24        |
| 4.1.5 Beizen/Brennen.....   | 10        | 6.1.1 Schutzmaßnahmen für die Anlagen-<br>bedienung – allgemein.....  | 24        |
| 4.2 Beschichtungsverfahren.....   | 11        | 6.1.2 Anlagenbedienung – Hartverchromen und<br>Glanzverchromen bzw. Anlagenart.....   | 24        |
| 4.2.1 Hartverchromen.....   | 11        | 6.1.3 Aufsteck- und Abnahmeplätze – allgemein.....  | 25        |
| 4.2.2 Glanzverchromen/Schwarzverchromen.....  | 12        | 6.1.4 Aufsteck- und Abnahmeplätze –<br>Glanzverchromen.....   | 25        |
| 4.2.3 Vernickeln, Glanznickel/Halbglanznickel.....  | 12        | 6.1.5 Trommelbeladung/Trommelentladung –<br>allgemein.....  | 25        |
| 4.2.4 Vernickeln – chemisch.....  | 12        | 6.2 Ableitung technischer Schutzmaßnahmen<br>us den stationären Messungen.....  | 25        |
| 4.2.5 Verkupfern – cyanidisch.....  | 12        | 6.2.1 Vorbehandlung.....  | 25        |
| 4.2.6 Verkupfern – sauer.....   | 12        | 6.2.2 Oberflächenbehandlung/Beschichtung.....   | 25        |
| 4.2.7 Verzinken – cyanidisch.....   | 12        | 6.2.3 Nachbehandlung.....   | 26        |
| 4.2.8 Verzinken – sauer.....  | 13        | 6.2.4 Messungen in Bereichen Tiefdruck.....   | 26        |
| 4.2.9 Verzinken, alkalisch.....   | 13        | 6.3 Technische Schutzmaßnahmen nach<br>dem Stand der Technik.....   | 26        |
| 4.2.10 Veredeln mit Gold und Silber.....  | 13        | 6.4 Emissionsmindernde Verfahren.....   | 28        |
| 4.2.11 Verzinnen – sauer und alkalisch.....   | 13        | 6.5 Organisatorische Maßnahmen.....   | 29        |
| 4.2.12 Eloxieren.....   | 13        | 6.6 Persönliche Maßnahmen.....  | 29        |
| 4.3 Nachbehandlungsverfahren.....   | 14        | 6.7 Explosionsschutzmaßnahmen.....  | 30        |
| 4.3.1 Chromatieren/Passivieren.....   | 14        | 6.8 Schutzmaßnahmen beim Ansetzen von<br>Lösungen, beim Ab- und Umfüllen, beim<br>Zusetzen staubender Substanzen und<br>bei Reinigungsarbeiten..... | 30        |
| 4.3.2 Phosphatieren.....  | 14        | <b>7 Weiterführende Literatur</b> .....   | <b>31</b> |
| 4.4 Anlagentechniken.....   | 14        | <b>8 Anhang</b> .....   | <b>34</b> |
| 4.4.1 Manuell bediente Anlagen.....   | 14        |   |           |
| 4.4.2 Bedienung mit Hebezeug, Kran oder<br>von Hand betätigtem Beschickungsgerät.....                         | 14        |   |           |
| 4.4.3 Automatische Anlagen.....   | 14        |   |           |
| 4.4.4 Aufsteck- und Abnahmestation.....   | 15        |   |           |
| 4.4.5 Trommelbe- und entladung.....   | 15        |   |           |
| <b>5 Gefahrstoffexposition</b> .....  | <b>16</b> |   |           |
| 5.1 Gefahrstoffe.....   | 16        |   |           |
| 5.2 Expositionsmessungen am Arbeitsplatz.....   | 19        |   |           |
| 5.3 Personenbezogene Messungen.....   | 20        |   |           |
| 5.3.1 Anlagenbedienung – allgemein<br>(Tabelle 1 im Anhang).....  | 20        |   |           |
| 5.3.2 Anlagenbedienung – Hartverchromen<br>und Glanzverchromen sowie Anlagenart<br>(Tabelle 2 im Anhang)..... | 21        |   |           |

# Vorbemerkung

Empfehlungen Gefährdungsermittlung der Unfallversicherungsträger (EGU) nach der Gefahrstoffverordnung werden von der antragstellenden Organisation erarbeitet in Zusammenarbeit mit

- den gesetzlichen Unfallversicherungsträgern (UVT) und dem
- Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) gemeinsam mit der
- Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) und
- gegebenenfalls weiteren Messstellen z. B. der Bundesländer.

Sie werden herausgegeben durch das Sachgebiet „Gefahrstoffe“, Fachbereich „Rohstoffe und chemische Industrie“ der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) und in das Regelwerk unter der Bestellnummer DGUV Information 213-701 ff. aufgenommen. Darüber hinaus erfolgt eine Verbreitung über das Internet sowie branchenbezogen durch die einzelnen Unfallversicherungsträger.

Diese Empfehlungen wurden erstmals 2002 erarbeitet, die vorliegende Fassung 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;
- der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Dortmund;
- dem Institut für Arbeitsschutz der DGUV (IFA).

EGU werden im Abstand von fünf Jahren durch die Projektgruppe „EGU“, Sachgebiet „Gefahrstoffe“ überprüft. Sollten Änderungen notwendig werden, werden diese veröffentlicht.

Diese DGUV Information enthält Hinweise zu den notwendigen technischen, organisatorischen und persönlichen Schutzmaßnahmen der verschiedenen Vorbehandlungs- und Beschichtungsverfahren, sowie zur Nachbehandlung und Verfahrenstechnik in der Galvanik.

# 1 Allgemeines

Maßnahmen aus dem Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG) [1] und 7. Sozialgesetzbuch (SGB VII) [2] gegen arbeitsbedingte Gesundheitsgefahren werden in der Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (GefStoffV) [3] und den zugehörigen Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS) konkretisiert, sowie durch Regeln, Vorschriften und Informationen der DGUV erläutert.

Die in den EGU nach Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) beschriebenen Verfahren, Tätigkeiten und Schutzmaßnahmen sind vorrangig auf die GefStoffV gerichtet. Die Arbeitsstätte und die Verwendung von Arbeitsmitteln sind in einer Gefährdungsbeurteilung gemäß der Verordnung über Arbeitsstätten (ArbStättV) [4] und der Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmitteln (BetrSichV) [5] gesondert zu betrachten. Im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung ist in Absprache mit dem zuständigen Facharzt oder der Fachärztin die arbeitsmedizinische Vorsorge gemäß der Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge (ArbMedVV) [6] festzulegen.

Die GefStoffV fordert die Unternehmen unter anderem auf, das Entstehen oder Freisetzen von Gefahrstoffen durch nicht oder weniger gefährliche Stoffe oder Verfahren zu ersetzen. Ist dies nicht möglich, sind Art, Ausmaß und Dauer der Exposition der Beschäftigten zu bewerten. Dies kann durch Arbeitsplatzmessungen oder gleichwertige, auch nichtmesstechnische Ermittlungsverfahren erfolgen. EGU nach GefStoffV sind eine wertvolle Hilfe bei der Gefährdungsbeurteilung, da sie für abzuleitende Schutzmaßnahmen und deren Wirksamkeitsüberprüfung entsprechend der Technischen Regel für Gefahrstoffe (TRGS) 400: „Gefährdungsbeurteilung für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen“ [7] als Handlungsempfehlungen mit herangezogen werden können.

Darüber hinaus können diese EGU als nichtmesstechnisches Verfahren bei der Informationsermittlung und Durchführung der Expositionsbewertung nach der TRGS 402 „Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen: Inhalative Exposition“ [8] verwendet werden. Somit können Unternehmen den eigenen Ermittlungsaufwand erheblich reduzieren. Dies ist insbesondere bei messtechnischen Ermittlungen von Bedeutung, die im Einzelfall ganz entfallen können.

Die Anwenderin oder der Anwender dieser EGU muss bei Änderungen im Arbeitsbereich oder bei Verfahrensänderungen sofort und ansonsten regelmäßig, mindestens aber einmal jährlich, die Gültigkeit der Voraussetzungen dieser EGU überprüfen und das Ergebnis dokumentieren. Hierzu zählt unter anderem die Prüfung der unveränderten Gültigkeit der Empfehlungen. Die Überprüfung erfolgt im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung.

Als Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung sind auch Methoden und Fristen zur Überprüfung der Wirksamkeit bestehender und zu treffender Schutzmaßnahmen festzulegen. Grundsätze hierzu sind umfassend in der TRGS 500: „Schutzmaßnahmen“ [9] dargestellt; gibt es Besonderheiten, werden diese in den EGU bei den Schutzmaßnahmen in Nummer 6 zusätzlich beschrieben.

Bei Anwendung dieser EGU bleiben andere Anforderungen der GefStoffV, insbesondere die Informationsermittlung (§ 6 GefStoffV) und die Verpflichtung zur Beachtung der Rangfolge der Schutzmaßnahmen (§ 7 Abs. 4 GefStoffV), bestehen.

## 2 Anwendungsbereich und Hinweise

Diese EGU geben dem Betrieb praxisgerechte Hinweise wie sichergestellt werden kann, dass Arbeitsplatzgrenzwerte und andere Beurteilungsmaßstäbe eingehalten sind oder anderweitig davon ausgegangen werden kann, dass der Stand der Technik erreicht ist. Werden die Verfahrensparameter sowie die Schutzmaßnahmen eingehalten, kann davon ausgegangen werden, dass das Minimierungsgebot nach § 7 Abs. 4 der GefStoffV erfüllt wird.

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, chemisches Entgraten
  - Reinigen, Abkochentfettung
  - Elektrochemische Reinigung
  - Dekapieren
  - Beizen im Verfahrensablauf des galvanischen Beschichtens  
(Prozessbehältergröße: L < 12 m, B < 1,2 m)
- Beschichtungsverfahren
  - Hartverchromen
  - Glanzverchromen
  - Vernickeln, Glanznickel/Halbglanznickel
  - Vernickeln – chemisch
  - Verkupfern; sauer, alkalisch, cyanidisch und Kupferlegierungsverfahren
  - Verzinken; Zink- und Zinklegierungsverfahren
  - Vergolden, Versilbern, cyanidische und cyanidfreie Verfahren
  - Eloxieren (Schwefelsäureverfahren, Oxalsäureverfahren)
- Nachbehandlung
  - Chromatieren
  - Phosphatieren
- Anlagentechniken
  - Manuell bediente Anlagen
  - Bedienung mit Hebezeug, Kran oder mit von Hand betätigten Beschickungsgeräten
  - Automatische Anlagen
  - Aufsteck- und Abnahmestation
  - Trommelbe- und -entladung

Diese Empfehlungen gelten nicht für Verfahren bei der Leiterplattenherstellung, beim Brünieren und Lackieren (z. B. Kathodisches Tauchlackieren (KTL)), beim Feuerverzinken, beim Betrieb von Bandbeschichtungsanlagen, sowie bei der Abwasserbehandlung. Auch sind Reinigungsverfahren außerhalb der Vorbehandlung und Wartungstätigkeiten im Allgemeinen ausgenommen.

Diese EGU behandeln ausschließlich die inhalative Gefährdung. Es sind auch andere, z. B. dermale, orale, physikalisch-chemische oder psychische Gefährdungen möglich. Diese sind in der Gefährdungsbeurteilung zu berücksichtigen.

# 3 Begriffsbestimmungen

Begriffe werden so verwendet wie sie im Begriffsglossar zu den Regelwerken der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV), der Biostoffverordnung (BioStoffV) und der GefStoffV bestimmt sind [10]. Im Sinne dieser EGU werden folgende Begriffe definiert:

## Beurteilungsmaßstab

Für die Beurteilung der inhalativen Exposition an Arbeitsplätzen im Sinne dieser DGUV Information gibt es die folgenden verbindlichen Beurteilungsmaßstäbe:

- Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW) nach der TRGS 900 [11]
- Risikobezogene Beurteilungsmaßstäbe nach dem Expositions-Risiko-Beziehung (ERB)-Konzept der TRGS 910 (Akzeptanzkonzentrationen, Toleranzkonzentrationen) [12]
- In der TRGS 561 „Tätigkeiten mit krebserzeugenden Metallen“ genannte Konzentrationswerte [13] (z. B. Beurteilungsmaßstab für Chrom(VI))

Stehen keine verbindlichen Beurteilungsmaßstäbe zur Verfügung, können folgende alternative Beurteilungsmaßstäbe zur Bewertung der Exposition herangezogen werden:

- Grenzwertvorschläge der DFG-Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe (MAK-Kommission)
- Arbeitsplatz-Richtgrenzwerte nach Richtlinie 98/24/EG (Indicative Occupational Exposure Limit Values), soweit sie noch nicht in der TRGS 900 umgesetzt sind
- Grenzwertvorschläge für chemische Belastungen am Arbeitsplatz anderer wissenschaftlicher Expertenkommisionen (z. B. ausländische Grenzwerte)
- DNELs (derived no effect levels) nach der REACH-Verordnung
- Vorläufige Zielwerte, die Unternehmer und Unternehmerinnen im Rahmen ihrer Gefährdungsbeurteilung selbst festlegen (z. B. nach dem Konzept zur Ableitung von Arbeitsplatzrichtwerten (ARW) gemäß Bekanntmachung 901 „Kriterien zur Ableitung von Arbeitsplatzgrenzwerten“ [14]).

## Bestimmungsgrenze

Unter der Bestimmungsgrenze (BG) eines Messverfahrens versteht man die kleinste Menge eines Stoffes, die mit einer geforderten statistischen Sicherheit von 95 % quantitativ bestimmbar ist.

## Galvanotechnik

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

## Kollektiv

Ein Kollektiv ist eine Gruppe von Messwerten, die anhand übereinstimmender Identifikationskriterien zu einer statistischen Auswertung zusammengestellt wird. Übereinstimmende Identifikationskriterien sind z. B. Verfahren, Anlagentechnik, Lüftungstechnische Einrichtungen zur Erfassung aber auch Probenahmesysteme, Probenahmedauer oder Expositions-dauer.

## Netzmittel

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

## Perzentile (95%-Wert (95-Perzentil)/90%-Wert (90-Perzentil) / 50%-Wert (50-Perzentil))

Statistischer Wert, der von einem bestimmten Prozentsatz der Messergebnisse einer Stichprobe unterschritten wird. Das 95-Perzentil gibt den Konzentrationswert an, unterhalb dessen 95 % aller Messwerte eines Kollektivs liegen. Bei den anderen Perzentilen gilt dies analog.

## Randabsaugung

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

## Raumlufttechnische Anlage (RLT-Anlage)

Die raumlufttechnische Anlage dient zum Luftausgleich mit maschineller Förderung der Luft zur Sicherstellung eines angestrebten Raumluftzustandes hinsichtlich Lufttemperatur, Luftfeuchte und Luftqualität.

**Stromdichte**

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

**Wirkungsgrad**

Hiermit wird in der Galvanotechnik der prozentuale Anteil des Gesamtstromes angegeben, der für die kathodische Metallabscheidung oder die anodische Metallauflösung gebraucht wird. Wird in der Galvanotechnik allgemein vom Wirkungsgrad gesprochen, ist der kathodische Wirkungsgrad gemeint. Er beträgt 100 %, wenn die Menge Metall abgeschieden wird, die sich nach dem Faraday'schen Gesetz ergibt. Liegt der kathodische Wirkungsgrad unter 100 %, entfällt der restliche Stromanteil auf ungewünschte Nebenreaktionen wie das Entwickeln von Wasserstoff an der Kathode. Verfahren mit niedrigem Wirkungsgrad entwickeln entsprechend viel Wasserstoff und verursachen höhere Aerosolkonzentrationen in der Luft am Arbeitsplatz. Es ist also mit entsprechend höheren Emissionen für die Beschäftigten zu rechnen.

# 4 Arbeitsverfahren und 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. Weitere Informationen sind z. B. der DGUV Regel 109-602 „Branche Galvanik“ [15] oder der einschlägigen Fachliteratur zu entnehmen.

## 4.1 Vorbehandlungsverfahren

### 4.1.1 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 (Mikro-einebnung). 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 mit speziellen Glanzlösungen angewandt, die z. B. als Reflektoren für Scheinwerfer, Nadeln oder Infrarotstrahler eingesetzt werden. Beim chemischen und elektrochemischen Glänzen kommen Salpetersäure, Schwefelsäure, Hydrogenchlorid (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.

### 4.1.2 Entfetten, 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.

### 4.1.3 Entfetten, 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 lebhafte Gasentwicklung (Sauerstoff oder Wasserstoff) stattfindet. Die Gasentwicklung unterstützt einerseits die Reinigungswirkung, andererseits führt diese zu einer höheren Aerosolbildung. Es werden fast ausschließlich alkalische Elektrolyte angewandt. Diese können rein alkalisch (bis 100 g/l Natriumhydroxid) oder cyanidisch (bis 30 g/l Natriumcyanid) sein.

Aufgrund der technisch bedingten Gasbildung ist mit einer erheblichen Aerosolbildung am Arbeitsplatz sowie dem Entstehen einer gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre zu rechnen. Durch die Wasserstoffentwicklung kann es zu Explosionen kommen, wenn ein Zündfunke (Abreißfunke) entsteht.

### 4.1.4 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 (Hydrogenchlorid (Salzsäure), Salpetersäure 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.

### 4.1.5 Beizen/Brennen

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 Aluminiumwerkstücke wird Natronlauge verwendet. Wasserstoffentwicklung, Elektrolyttemperatur und Elektrolytbewegung verursachen eine mehr oder weniger starke Aerosolbildung.

Beim Einsatz von Salpetersäure ist mit dem Entstehen nitroser Gase (Stickstoffmonoxid und Stickstoffdioxid) zu rechnen.

## 4.2 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 wird die Abscheidung mit niedergespanntem Gleichstrom durchgeführt, wobei das zu beschichtende Werkstück als Kathode geschaltet wird. Das abzuscheidende 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 oder ein Reduktionsmittel wird verbraucht, während sich das edlere Metall aus der Salzlösung auf dem Werkstück abscheidet.

Im Folgenden werden die einzelnen Verfahren näher beschrieben:

### 4.2.1 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 große Wasserstoffentwicklung, folglich ein erheblicher Austrag von Chromsäureaerosolen am Arbeitsplatz.

Aufgrund der Wasserstoffentwicklung ist zudem mit dem Entstehen einer gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre zu rechnen.

### Hartverchromen im Bereich Tiefdruck

Tiefdruckzylinder werden für ihren Einsatz an Druckmaschinen mit einer 5 – 10 µm dicken Schicht hartverchromt. Aufgrund gleichförmig wiederkehrender Anforderungen ist in diesem Bereich eine hohe Standardisierung möglich. Die Verchromung kann daher in geschlossenen Verchromungsanlagen mit einer mechanischen Abdeckung und einer wirksamen Absaugung erfolgen.

Personen halten sich am Chromsäureelektrolyten meist nur kurzzeitig beim Einrichten der Anlage auf. Der Tätigkeitsbereich der Bediener erstreckt sich in der Regel auf den gesamten Galvanikbereich mit einer Reihe anderer Anlagen.

Der Chromsäuregehalt des Elektrolysebades liegt bei ca. 300 g/l und die Stromdichte variiert in der Regel zwischen 50 und 100 A/dm<sup>2</sup>.

Für die Verchromung von Tiefdruckzylindern kommen horizontale Prozessbehälter als geschlossene Anlagen mit einer mechanischen Behälterabdeckung zum Einsatz. Während des Prozesses ist der Chromelektrolyt über die gesamte Länge mit einer wirksamen Absaugung von mindestens 1700 m<sup>3</sup>/h in Betrieb. Die Chromsäure wird vor dem Öffnen des Prozessbehälters in den darunterliegenden Vorratsbehälter abgepumpt und das Werkstück vor der Entnahme gründlich mit Wasser gespült. Das Werkstück wird mittels Beschickungseinrichtung aufgenommen und den jeweiligen Prozessschritten zugeführt.

Zum Ansetzen und Nachschärfen des Elektrolyten werden ausschließlich flüssige Chromsäurekonzentrate eingesetzt.

#### 4.2.2 Glanzverchromen/Schwarzverchromen

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

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

Dennoch ist mit einer relevanten Gefahrstoffexposition am Arbeitsplatz sowie dem Entstehen einer gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre zu rechnen.

#### 4.2.3 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. 95-98 %. Damit bleiben Wasserstoffentwicklung und somit Aerosolbildung rein verfahrensbedingt gering.

#### 4.2.4 Vernickeln – chemisch

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

einer gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre zu rechnen.

#### 4.2.5 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. Eine Gasbildung und damit eine Aerosolbildung sind verfahrensbedingt gering. Unter bestimmten Bedingungen, wie abgeschalteter Absaugung, Kohlendioxideintrag aus der Luft, bei längeren Stillstandszeiten oder Einschleppen von Säuren muss mit der Bildung von toxischen Cyanwasserstoffkonzentrationen am Arbeitsplatz gerechnet werden.

#### 4.2.6 Verkupfern – sauer

Saure Kupferelektrolyte enthalten zumeist Salze der Schwefelsäure. Einige saure Elektrolyte enthalten Fluoroborat oder Methansulfonat. Die Kupferkonzentration liegt zwischen 40 und 65 g/l und die Schwefelsäurekonzentration zwischen 55 und 65 g/l. Die Elektrolyttemperatur beträgt ca. 20 bis 35 °C. Eine Aerosolbildung findet nicht statt, außer beim Betrieb von luftbewegten Elektrolyten. Mit einer relevanten Gefahrstoffexposition am Arbeitsplatz ist nicht zu rechnen.

#### 4.2.7 Verzinken – cyanidisch

Beim cyanidischen Verzinken wird Zink galvanisch aus einem Elektrolyten, 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 Stromausbeute ist anders als beim sauer Verzinken 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 A/dm<sup>2</sup> nur noch 50 %. Die Abnahme ist durch eine erhöhte Wasserstoffabscheidung bedingt, die eine gesteigerte Aerosolbildung bewirkt.

#### 4.2.8 Verzinken – sauer

Klassische saure Zinkelektrolyte beruhen auf Sulfat- oder Chloridbasis. Stark saure Elektrolyte ( $\text{pH} < 3$ ) werden vor allem für einfache Geometrien (Draht, Rohr, Band) eingesetzt. 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 vernachlässigbar. 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. Mit einer relevanten Gefahrstoffexposition am Arbeitsplatz ist nicht zu rechnen.

#### 4.2.9 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  $< 60\%$ ), damit ist von einer relevanten Gasbildung auszugehen. In größerem Umfang werden auch sog. Legierungsverfahren eingesetzt. In diesen Lösungen liegt das Zink ebenfalls als Hydroxokomplex vor. Die abzuscheidenden Metalle werden den Elektrolyten in Form spezieller organischer Komplexbildner zugegeben.

Aufgrund der Wasserstoffentwicklung ist mit dem Entstehen einer gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre und einer relevanten Gefahrstoffbelastung am Arbeitsplatz zu rechnen.

#### 4.2.10 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 Abscheidung ein Gold-Sulfit-Komplex. Bei der cyanidischen Abscheidung ist der Elektrolyt alkalisch, bei der sulfidischen Abscheidung sauer. 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 bei Raumtemperatur.

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

#### 4.2.11 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 (Sudverzinnen) eingesetzt. Beim Einsatz alkalischer Elektrolyte ist mit relevanten Gefahrstoffemissionen am Arbeitsplatz zu rechnen.

#### 4.2.12 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 Oxal säureverfahren, die in der Regel mit Gleichstrom, seltener mit Wechselstrom betrieben werden.

Aufgrund des geringen Wirkungsgrades (teilweise  $< 20\%$ ) ist mit einer relevanten Gasbildung zu rechnen.

### **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. An der Kathode werden erhebliche Mengen Wasserstoff freigesetzt, es findet eine Schwefelsäure-Aerosolbildung über die gesamte Elektrolytoberfläche statt.

### **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. An der Kathode werden erhebliche Mengen Wasserstoff freigesetzt, es findet eine Oxalsäure-Aerosolbildung über die gesamte Elektrolytoberfläche statt.

## **4.3 Nachbehandlungsverfahren**

### **4.3.1 Chromatieren/Passivieren**

Chromatieren und Passivieren sind häufig nach dem Verzinken eingesetzte Nachbehandlungsverfahren, bei denen auf der Zinkoberfläche stromlos eine Passivierungsschicht erzeugt wird. Eine Passivierungsschicht kann die Korrosion des Zinks (Weißrost) sehr lange hinauszögern. Sie dienen somit als Korrosions- und Anlaufschutz und verbessern 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 nennenswerte Aerosolbildung findet nicht statt. Bei Chromatierungen mit Salpetersäure können allerdings relevante Stickoxidkonzentrationen (NO, NO<sub>2</sub>) am Arbeitsplatz entstehen.

Beim Blaupassivieren werden dreiwertige Chromverbindungen (Chromsulfat) ggf. unter Zusatz von Kobaltsulfat eingesetzt. Eine relevante Aerosolbildung findet nicht statt.

### **4.3.2 Phosphatieren**

Das Phosphatieren ist eine chemische Oberflächenbehandlung (außenstromlos), bei der unlösliche oder schwerlösliche Metallphosphatschichten gebildet werden. Phosphatieren dient als Korrosionsschutz, Haftgrund für Lacküberzüge und Kunststofffilme, Erleichtern einer nachträglichen spanlosen Verformung, Verbesserung der Gleiteigenschaften und elektrische Isolierung.

Phosphatierlösungen enthalten Zinkphosphate, freie Phosphorsäure und Beschleuniger in Form von Nitriten, Nitraten, Chloraten oder Boraten. Die Prozesstemperaturen liegen um 20 bis 50 °C. Bei den höheren Prozesstemperaturen ist mit relevanten Gefahrstoffemissionen am Arbeitsplatz zu rechnen.

## **4.4 Anlagentechniken**

Folgende Anlagentechniken werden unterschieden:

### **4.4.1 Manuell bediente Anlagen**

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

### **4.4.2 Bedienung mit Hebezeug, Kran oder von Hand betätigtem Beschickungsgerät**

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

### **4.4.3 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 Krans 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.

#### 4.4.4 Aufsteck- und Abnahmestation

An diesen Arbeitsplätzen werden die zu veredelnden Teile auf Gestelle oder Wareenträger aufgesteckt und 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.

#### 4.4.5 Trommelbe- und entladung

An diesen Arbeitsplätzen wird die zumeist große Anzahl von zu veredelnden (Klein-)Teilen in Trommelbehälter eingefüllt oder aus den Trommelbehältern entnommen.

Die Arbeitsplätze befinden sich direkt vor der Anlage.

Beschäftigte, die in diesen Arbeitsbereichen tätig sind, üben gleichzeitig auch die Aufgaben einer Bedienperson aus, und arbeiten nicht direkt am Elektrolyten.

# 5 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 in der Prozessflüssigkeit/im Elektrolyten
- der eingesetzten Anlagentechnik
- den Verfahrensparametern wie Temperatur, Lufteinblasung, Stromdichte und Wirkungsgrad
- den Lüftungstechnischen Verhältnissen, z. B. Behälterabsaugung, Raumlüftung
- dem Aufenthaltsort der Beschäftigten
- der Aufenthaltsdauer/Expositionsdauer
- Art und Dauer der durchgeführten Tätigkeit.

Einzelheiten zu den Gefahrstoffen und den Gefahrstoffexpositionen aus den Prozessbehältern bei den verschiedenen galvanotechnischen Verfahren sind den betreffenden Abschnitten des Kapitels 4 zu entnehmen.

## 5.1 Gefahrstoffe

In Tabelle 1 sind die gemessenen Gefahrstoffe und deren Beurteilungsmaßstäbe sowie Einstufung aufgeführt [11], [12], [13], [14].

**Tabelle 1:** Gefahrstoffe und deren Beurteilungsmaßstäbe sowie Einstufung

| Gefahrstoffe   | Beurteilungsmaßstäbe   | Einstufung nach CLP-Verordnung*   |
|--|--|---|
| <b>Bor und seine Verbindungen</b><br>(z. B. Borsäure und Natriumborate)  | 0,5 mg/m <sup>3</sup> E (AGW)<br>Kurzzeitwert:<br>Überschreitungsfaktor 2(I)<br>Y  | Borsäure:<br>Reproduktionstoxizität, Kategorie 1B; H360FD<br>Natriumtetraborat:<br>Reproduktionstoxizität, Kategorie 1B; H360FD<br>Schwere Augenreizung, Kategorie 2; H319                          |
| <b>Chrom(VI)-Verbindungen</b>  | 1 µg/m <sup>3</sup> E (ERB TK)<br>Kurzzeitwert:<br>Überschreitungsfaktor 8   | Karzinogenität, Kategorie 1B; H350i<br>Sensibilisierung der Haut, Kategorie 1; H317<br>Gewässergefährdend, Akut Kategorie 1; H400<br>Gewässergefährdend, Chronisch Kategorie 1; H410                |
| <b>Chrom und seine Verbindungen</b><br>(z. B. Chrom(III)-hydroxidsulfat) | 2 mg/m <sup>3</sup> E (AGW)<br>Kurzzeitwert:<br>Überschreitungsfaktor 1(I)<br>anorganische Chrom(II) und (III)-<br>Verbindungen (ausgenommen<br>namentlich genannte)   | Chrom(III)-hydroxidsulfat:<br>Akute Toxizität (inhalativ), Kategorie 4; H332  |
| <b>Fluoride und<br/>Fluorwasserstoff</b>                                 | Fluoride:<br>1 mg/m <sup>3</sup> E (AGW)<br>Kurzzeitwert:<br>Überschreitungsfaktor 4(II)<br>H, Y<br>Fluorwasserstoff:<br>0,83 mg/m <sup>3</sup> (AGW)<br>Kurzzeitwert:<br>Überschreitungsfaktor 2(I)<br>H, Y | Akute Toxizität, Kategorie 2, Verschlucken; H300<br>Akute Toxizität, Kategorie 1, Hautkontakt; H310<br>Akute Toxizität, Kategorie 2, Einatmen; H330<br>Ätzwirkung auf die Haut, Kategorie 1 A; H314 |

| Gefahrstoffe                            | Beurteilungsmaßstäbe  | Einstufung nach CLP-Verordnung*  |
|---|---|--|
| <b>Hydrogenchlorid (Salzsäure)</b>      | 3 mg/m <sup>3</sup> (AGW)<br>Kurzzeitwert:<br>Überschreitungsfaktor 2(I)<br>Y       | Korrosiv gegenüber Metallen, Kategorie 1; H290<br>Ätzwirkung auf die Haut, Kategorie 1B; H314<br>Spezifische Zielorgan-Toxizität (einmalige Exposition),<br>Schwere Augenschädigung, Kategorie 1; H318<br>Kategorie 3 Atemwegsreizung; H335  |
| <b>Hydrogencyanid (Cyanwasserstoff)</b> | 1 mg/m <sup>3</sup> (AGW)<br>Kurzzeitwert:<br>Überschreitungsfaktor 5(II)<br>H, Y   | Entzündbare Flüssigkeiten, Kategorie 1; H224<br>Akute Toxizität, Kategorie 1, Verschlucken; H300<br>Akute Toxizität, Kategorie 1, Hautkontakt; H310<br>Akute Toxizität, Kategorie 1, Einatmen; H330<br>Spezifische Zielorgan-Toxizität (wiederholte<br>Exposition), Kategorie 1; H372<br>Gewässergefährdend, Akut Kategorie 1; H400<br>Gewässergefährdend, Chronisch Kategorie 1; H410   |
| <b>Kaliumcyanid</b>                     | 1 mg/m <sup>3</sup> E (AGW)<br>Kurzzeitwert:<br>Überschreitungsfaktor 5(II)<br>H, Y | Korrosiv gegenüber Metallen, Kategorie 1; H290<br>Akute Toxizität, Kategorie 2, Verschlucken; H300<br>Akute Toxizität, Kategorie 2, Einatmen; H330<br>Akute Toxizität, Kategorie 1, Hautkontakt; H310<br>Spezifische Zielorgan-Toxizität (einmalige Exposition),<br>Kategorie 1; H370<br>Spezifische Zielorgan-Toxizität (wiederholte Expo-<br>sition), Kategorie 1; H372<br>Gewässergefährdend, Akut Kategorie 1; H400<br>Gewässergefährdend, Chronisch Kategorie 1; H410 |
| <b>Kaliumhydroxid</b>                   | 0,5 mg/m <sup>3</sup> (LIG Polen)   | Korrosiv gegenüber Metallen, Kategorie 1; H290<br>Akute Toxizität, Kategorie 4, Verschlucken; H302<br>Ätzwirkung auf die Haut, Kategorie 1A; H314  |
| <b>Kupfer und seine Verbindungen</b>    | 0,01 mg/m <sup>3</sup> A (MAK)<br>Kurzzeitwert:<br>Überschreitungsfaktor 2(II)      | Kupfer, Pulver:<br>Entzündbare Feststoffe, Kategorie 1; H228<br>akut gewässergefährdend, Kategorie 1; H400<br>Gewässergefährdend, Chronisch Kategorie 1; H410  |
| <b>Natriumcyanid</b>                    | 1 mg/m <sup>3</sup> E (AGW)<br>Kurzzeitwert:<br>Überschreitungsfaktor 5(II)<br>H, Y | Korrosiv gegenüber Metallen, Kategorie 1; H290<br>Akute Toxizität, Kategorie 1, Verschlucken; H300<br>Akute Toxizität, Kategorie 1, Hautkontakt; H310<br>Akute Toxizität, Kategorie 1, Einatmen; H330<br>Spezifische Zielorgan-Toxizität (wiederholte Expo-<br>sition), Kategorie 1; H372<br>Gewässergefährdend, Akut Kategorie 1; H400<br>Gewässergefährdend, Chronisch Kategorie 1; H410   |
| <b>Natriumhydroxid</b>                  | 0,5 mg/m <sup>3</sup> (LIG Polen)   | Korrosiv gegenüber Metallen, Kategorie 1; H290<br>Ätzwirkung auf die Haut, Kategorie 1A; H314  |

| Gefahrstoffe                                       | Beurteilungsmaßstäbe   | Einstufung nach CLP-Verordnung*   |
|--|--|---|
| Nickelmetall                                       | 0,006 mg/m <sup>3</sup> A (AGW)<br>Kurzzeitwert:<br>Überschreitungsfaktor 8(II)<br>Sh, Y   | Nickel, Pulver:<br>Entzündbare Feststoffe, Kategorie 2; H228<br>Sensibilisierung der Haut, Kategorie 1; H317<br>Karzinogenität, Kategorie 2; H351<br>Spezifische Zielorgan-Toxizität (wiederholte Exposition), Kategorie 1; H372<br>Gewässergefährdend, Chronisch Kategorie 3; H412 |
| Nickel und Nickelverbindungen                      | 0,03 mg/m <sup>3</sup> E (AGW)<br>Kurzzeitwert:<br>Überschreitungsfaktor 8(II)<br>Sh, Y  | Einstufung/Kennzeichnung siehe Einzelstoffe   |
| Nickelverbindungen als Carc 1 A oder 1B eingestuft | 0,03 mg/m <sup>3</sup> E (AGW)<br>Kurzzeitwert:<br>Überschreitungsfaktor 8(II)<br>0,006 mg/m <sup>3</sup> A (ERB AK, TK)<br>Kurzzeitwert:<br>Überschreitungsfaktor 8   | Einstufung/Kennzeichnung siehe Einzelstoffe   |
| Oxalsäure  | 1 mg/m <sup>3</sup> E (AGW)<br>Kurzzeitwert:<br>Überschreitungsfaktor 1(I)<br>H  | Akute Toxizität, Kategorie 2, Verschlucken; H300<br>Akute Toxizität, Kategorie 1, Hautkontakt; H310<br>Schwere Augenschädigung, Kategorie 1; H318   |
| Phosphorsäure (Orthophosphorsäure)                 | 2 mg/m <sup>3</sup> E (AGW)<br>Kurzzeitwert:<br>Überschreitungsfaktor 2(I)<br>Y  | Korrosiv gegenüber Metallen, Kategorie 1; H290<br>Akute Toxizität, Kategorie 4, Verschlucken; H302<br>Ätzwirkung auf die Haut, Kategorie 1B; H314<br>Schwere Augenschädigung, Kategorie 1; H318   |
| Salpetersäure                                      | 2,6 mg/m <sup>3</sup> (Kurzzeitwert)<br>Als Beurteilungsmaßstab ist ein Kurzzeitwert festgelegt.<br>Ein Arbeitsplatzgrenzwert (AGW) als Schichtmittelwert wurde nicht festgelegt.<br>Die betriebliche Überwachung soll durch messtechnische Mittelwertbildung über 15 Minuten erfolgen, z. B. durch eine 15-minütige Probenahme. | Oxidierende Flüssigkeiten, Kategorie 3; H272<br>Korrosiv gegenüber Metallen, Kategorie 1; H290<br>Akute Toxizität, Kategorie 1, Einatmen; H330<br>Ätzwirkung auf die Haut, Kategorie 1A; H314   |
| Schwefelsäure                                      | 0,1 mg/m <sup>3</sup> E (AGW)<br>Kurzzeitwert:<br>Überschreitungsfaktor 1(I)<br>Y  | Korrosiv gegenüber Metallen, Kategorie 1; H290<br>Ätzwirkung auf die Haut, Kategorie 1A; H314<br>Schwere Augenschädigung, Kategorie 1; H318   |
| Silber und seine Verbindungen                      | Silber:<br>0,1 mg/m <sup>3</sup> E (AGW)<br>Kurzzeitwert:<br>Überschreitungsfaktor 8(II)<br>Silberverbindungen, anorganische:<br>0,01 mg/m <sup>3</sup> E (AGW)<br>Kurzzeitwert:<br>Überschreitungsfaktor 2(I)   | Silber, Pulver:<br>Gewässergefährdend, Akut Kategorie 1; H400<br>Gewässergefährdend, Chronisch Kategorie 1; H410  |

\* Mindesteinstufung bzw. Herstellerangaben – Quelle: www.dguv.de/ifa/stoffdatenbank

**Erläuterungen**

|                        |  |
|------------------------|--|
| <b>AGW:</b>            | Arbeitsplatzgrenzwert (TRGS 900)   |
| <b>CLP-Verordnung:</b> | (EG) Nr. 1272/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen             |
| <b>ERB:</b>            | Stoffspezifische Risikowerte aus der TRGS 910 „Risikobezogenes Maßnahmenkonzept für Tätigkeiten mit krebs-erzeugenden Gefahrstoffen“                 |
|                        | AK: Akzeptanzkonzentration   |
|                        | TK: Toleranzkonzentration  |
| <b>LIG:</b>            | Liste Internationaler Grenzwerte (GESTIS)  |
| <b>MAK:</b>            | MAK- und BAT-Werte-Liste (DFG)   |
| <b>A:</b>              | alveolengängige Fraktion   |
| <b>E:</b>              | einatembare Fraktion   |
| <b>H:</b>              | hautresorptiv  |
| <b>Sh:</b>             | Hautsensibilisierende Stoffe   |
| <b>Y:</b>              | ein Risiko der Fruchtschädigung braucht bei Einhaltung des Arbeitsplatzgrenzwertes und des biologischen Grenzwertes (BGW) nicht befürchtet zu werden |
| <b>H224:</b>           | Flüssigkeit und Dampf extrem entzündbar.   |
| <b>H228:</b>           | Entzündbarer Feststoff.  |
| <b>H272:</b>           | Kann Brand verstärken; Oxidationsmittel.   |
| <b>H290:</b>           | Kann gegenüber Metallen korrosiv sein.   |
| <b>H300:</b>           | Lebensgefahr bei Verschlucken.   |
| <b>H302:</b>           | Gesundheitsschädlich bei Verschlucken  |
| <b>H310:</b>           | Lebensgefahr bei Hautkontakt.  |
| <b>H312:</b>           | Gesundheitsschädlich bei Hautkontakt   |
| <b>H314:</b>           | Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden.  |
| <b>H317:</b>           | Kann allergische Hautreaktionen verursachen.   |
| <b>H318:</b>           | Verursacht schwere Augenschäden.   |
| <b>H319:</b>           | Verursacht schwere Augenreizung.   |
| <b>H330:</b>           | Lebensgefahr bei Einatmen.   |
| <b>H332:</b>           | Gesundheitsschädlich bei Einatmen.   |
| <b>H335:</b>           | Kann die Atemwege reizen.  |
| <b>H350i:</b>          | Kann bei Einatmen Krebs erzeugen.  |
| <b>H351:</b>           | Kann vermutlich Krebs erzeugen.  |
| <b>H360FD:</b>         | Kann die Fruchtbarkeit beeinträchtigen. Kann das Kind im Mutterleib schädigen.   |
| <b>H370:</b>           | Schädigt die Organe.   |

|              |  |
|--------------|--|
| <b>H372:</b> | Schädigt die Organe bei längerer oder wiederholter Exposition. |
| <b>H400:</b> | Sehr giftig für Wasserorganismen.                              |
| <b>H410:</b> | Sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung.    |
| <b>H412:</b> | Schädlich für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung.     |

**5.2 Expositionsmessungen am Arbeitsplatz**

Die Ergebnisse der statistischen Auswertungen der verschiedenen Expositionsmessungen sind im Anhang dargestellt.

Im Zeitraum von Januar 2016 bis Dezember 2019 wurde im Messsystem Gefährdungsermittlung der UV-Träger (MGU) das Messprogramm 9192 „Galvanotechnik“ zur Ermittlung der inhalativen Exposition in galvanotechnischen Betrieben und an Eloxalanlagen durchgeführt. Zusätzlich wurden Messungen an den Prozessbehältern der verschiedenen Vorbehandlungs-, Beschichtungs- und Nachbehandlungsverfahren durchgeführt. Das Messprogramm 9192 „Galvanotechnik“ läuft über den genannten Zeitraum hinaus weiter.

Messungen im Rahmen von MGU-Messprogrammen zeichnen sich durch eine einheitliche Messstrategie und eine systematische Erhebung und Dokumentation von Betriebs- und Expositionsdaten aus. Die Messungen in 168 Betrieben erfolgten durch die Messtechnischen Dienste von vier Berufsgenossenschaften. Die analytischen Bestimmungen wurden im IFA vorgenommen.

Die Messstrategie des Messprogramms 9192 „Galvanotechnik“ bestand darin, Gefahrstoffmessungen mit folgenden Zielrichtungen durchzuführen:

- personenbezogene (überwiegend personenge-tragene) Expositionsmessungen zur Beurteilung der Exposition der Beschäftigten
- stationäre Messungen an den Prozessbehältern zur Beurteilung der Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen bei den unterschiedlichen galvanotechnischen Prozessen

Die Messungen wurden folgenden Hauptprozessen in Übereinstimmung mit dem MGU-Messprogramm 9192 zugeordnet:

- Eloxalanlage
- Galvanik, Tiefdruck
- Galvanik, Hartverchromen
- Galvanik, Glanzverchromen
- Galvanik, Vernickeln
- Galvanik, Verzinken

Dokumentiert sind die Expositionsdaten in der IFA-Expositionsdatenbank „Messdaten zur Exposition gegenüber Gefahrstoffen am Arbeitsplatz“ (MEGA).

Bei den Auswertungen personengetragener bzw. personenbezogener Messungen (siehe Tabellen 1 bis 5 im Anhang) wurden nur Arbeitsplatzmessungen berücksichtigt, bei denen die Probenahme- und Expositionsdauer  $\geq 2$  Stunden betrug und Erfassungseinrichtungen an den Prozessbehältern vorhanden waren.

Bei den Auswertungen stationärer Messungen an den Prozessbehältern (siehe Tabellen 6 bis 8 im Anhang) wurden nur Daten berücksichtigt, bei denen die Probenahmedauer  $\geq 2$  Stunden betrug und Erfassungseinrichtungen an den Prozessbehältern vorhanden waren.

Die Auswertung erfolgte nach folgenden Kriterien:

- Probenahme personengetragen und stationär personenbezogen, differenziert nach
  - Arbeitsbereichen (Anlagenbedienung, Aufsteck- und Abnahmeplätze sowie Trommelbe- und entladung)
  - Gefahrstoffen
  - Hauptprozessen
  - Anlagenarten
- Probenahme stationär, an den Prozessbehältern zur Beurteilung der Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen, differenziert nach
  - Prozessbehältern
  - Gefahrstoffen

Folgende statistische Parameter werden dargestellt:

- Anzahl der Messwerte
- Anzahl der Betriebe
- Prozent der Werte  $\leq$  Beurteilungsmaßstab (BM)
- Prozent der Werte unter der Bestimmungsgrenze (BG)
- Minimalwert
- 50 %-Wert
- 90 %-Wert
- 95 %-Wert
- Maximalwert

Die Bestimmungsgrenzen wurden gemäß der Standardprobenahmeverfahren aus der IFA-Arbeitsmappe „Messung von Gefahrstoffen“ ermittelt [16].

## 5.3 Personenbezogene Messungen

### 5.3.1 Anlagenbedienung – allgemein (Tabelle 1 im Anhang)

Bei der Anlagenbedienung werden bei allen Messungen die Beurteilungsmaßstäbe für folgende Stoffe an der Person eingehalten:

- Metalle: Bor und seine Verbindungen, Chrom und seine Verbindungen sowie Nickel und seine Verbindungen in der A-Staubfraktion und der E-Staubfraktion.
- Laugen, Säuren und Salze: Kaliumhydroxid, Natriumhydroxid, Hydrogenchlorid, Orthophosphorsäure, Fluorwasserstoff und Fluoride.
- Für Salpetersäure wird bei diesen Messungen der Kurzzeitwert eingehalten.

Beurteilungsmaßstäbe werden nur gegenüber Schwefelsäure und Chrom(VI)-Verbindungen nicht eingehalten. Der 95 %-Wert für Schwefelsäure liegt etwa bei der Hälfte des Beurteilungsmaßstabs. Ein Messwert an einer manuell bedienten Anlage liegt über dem Beurteilungsmaßstab.

Bei der Exposition gegenüber Chrom(VI)-Verbindungen kommt es insbesondere beim Hartverchromen sowie an manuell bedienten Anlagen und an halbautomatischen Anlagen zu Überschreitungen des Beurteilungsmaßstabs. Differenzierte

Auswertungen werden dazu in Kapitel 5.3.2 dargestellt.

### 5.3.2 Anlagenbedienung – Hartverchromen und Glanzverchromen sowie Anlagenart (Tabelle 2 im Anhang)

Bei den Hauptprozessen Hartverchromen und Glanzverchromen liegen die Messwerte der Elektrolyte Hydrogenchlorid und Schwefelsäure alle unter den jeweiligen Beurteilungsmaßstäben.

Beim Hartverchromen wurden insgesamt 22 Messungen durchgeführt. Bei vier Messungen an manuell bedienten Anlagen und vier Messungen an halbautomatischen handgeführten Krananlagen kam es zu Überschreitungen des Beurteilungsmaßstabs von Chrom(VI)-Verbindungen.

Das Glanzverchromen wurde überwiegend mit automatischen Anlagen durchgeführt. Zum Glanzverchromen sind kein Datensatz an halbautomatischen und nur sieben Datensätze mit manuell bedienten Anlagen dokumentiert. 61,5 % der Datensätze an halbautomatischen Anlagen sind beim Hartverchromen ermittelt worden. An manuell bedienten Anlagen wurden 41,9 % der Datensätze beim Hartverchromen ermittelt.

Der Anteil an Werten unterhalb des Beurteilungsmaßstabs ist an automatischen Anlagen, und damit beim höchsten Automatisierungsgrad, deutlich höher als an halbautomatischen und manuellen Anlagen.

Beim Glanzverchromen ist eine Überschreitung des Beurteilungsmaßstabs an einer manuell bedienten Anlage ermittelt worden.

### 5.3.3 Aufsteck- und Abnahmeplätze – allgemein (Tabelle 3 im Anhang)

An Aufsteck- und Abnahmeplätzen werden die Beurteilungsmaßstäbe für folgende Stoffe an der Person getragen und stationär personenbezogen eingehalten:

- Metalle: Bor und seine Verbindungen, Chrom und seine Verbindungen sowie Nickel und seine Verbindungen in der A-Staubfraktion

- Laugen, Säuren und Salze: Kaliumhydroxid, Natriumhydroxid, Hydrogenchlorid, Orthophosphorsäure, Schwefelsäure, Fluorwasserstoff und Fluoride
- Für Salpetersäure wird bei diesen Messungen der Kurzzeitwert eingehalten.

Beurteilungsmaßstäbe werden nur gegenüber Nickel und seine Verbindungen in der E-Staubfraktion und Chrom(VI)-Verbindungen nicht eingehalten.

Der 95 %-Wert für Nickel und seine Verbindungen in der E-Staubfraktion liegt bei etwa zwei Drittel des Beurteilungsmaßstabs. Es liegen zwei Messwerte beim Glanzverchromen und einer beim Verzinken an automatischen Gestellanlagen über dem Beurteilungsmaßstab für Nickel und seine Verbindungen in der E-Staubfraktion.

Bei der Exposition gegenüber Chrom(VI)-Verbindungen kommt es bei den Hauptprozessen Hartverchromen und Glanzverchromen an drei automatischen Gestellanlagen und beim Eloxieren an einer manuell bedienten Anlage zu Überschreitungen des Beurteilungsmaßstabs von Chrom(VI)-Verbindungen.

### 5.3.4 Aufsteck- und Abnahmeplätze – Glanzverchromen (Tabelle 4 im Anhang)

Bei den Elektrolyten Hydrogenchlorid und Schwefelsäure wird der jeweilige Beurteilungsmaßstab eingehalten.

Beim Glanzverchromen ist eine Überschreitung des Beurteilungsmaßstabs an einer automatischen Gestellanlage ermittelt worden.

### 5.3.5 Trommelbeladung / Trommelentladung – allgemein (Tabelle 5 im Anhang)

Bei der Trommelbe- und entladung liegen für sechs Gefahrstoffe nicht genügend Messwerte zur Ermittlung der Perzentile vor. Alle Messwerte lagen unter dem Beurteilungsmaßstab. Perzentile konnten für Nickel und seine Verbindungen in der A- und E-Staubfraktion sowie für die Laugen

Kaliumhydroxid und Natriumhydroxid und die Säuren Hydrogenchlorid, Orthophosphorsäure sowie Schwefelsäure ermittelt werden. Die Beurteilungsmaßstäbe bei Messungen an der Person sowie der stationär personenbezogenen Messungen wurden eingehalten.

## 5.4 Stationäre Messungen

### 5.4.1 Vorbehandlung (Tabelle 6 im Anhang)

Im Bereich der Vorbehandlung sind die Beurteilungsmaßstäbe der Laugen und Säuren an fast allen Prozessbehältern eingehalten.

Beim alkalischen Abkochentfetten liegt ein Messwert für Natriumhydroxid über dem Beurteilungsmaßstab, während der 95%-Wert darunterliegt. Beim chemischen Beizen mit Hydrogenchlorid ist jeweils eine Überschreitung des Beurteilungsmaßstabs beim Verzinken und beim Brünieren dokumentiert. Beim chemischen Beizen mit Schwefelsäure kam es zu einer Überschreitung des Beurteilungsmaßstabs gegenüber Schwefelsäure. In beiden Kollektiven liegen die 95%-Werte unter den jeweiligen Beurteilungsmaßstäben. Beim elektrolytischen Polieren kam es zu einer Überschreitung des Beurteilungsmaßstabs gegenüber Schwefelsäure. In diesem Fall sind zu wenig Messwerte zur Ermittlung der Perzentile vorhanden.

### 5.4.2 Oberflächenbehandlung/Beschichtung (Tabelle 7 im Anhang)

An den Prozessbehältern zum Glanzverchromen und Hartverchromen wird der Beurteilungsmaßstab der Schwefelsäure mit allen Messwerten eingehalten. Zu Überschreitungen des Beurteilungsmaßstabs von Chrom(VI)-Verbindungen kommt es beim Glanzverchromen jeweils einmal an einer automatischen, einer halbautomatisch und einer manuell bedienten Anlage. Beim Hartverchromen liegen je drei Überschreitungen des Beurteilungsmaßstabs an halbautomatischen Anlagen und automatischen Gestellanlagen vor.

Die Beurteilungsmaßstäbe von Nickel und seinen Verbindungen in der A-Staubfraktion und der

E-Staubfraktion werden beim chemischen sowie elektrolytischen Vernickeln in fast allen Fällen eingehalten. Es gibt zwei Messwerte für Nickel in der E-Staubfraktion beim elektrolytischen Vernickeln an manuell bedienten Anlagen über dem Beurteilungsmaßstab, wobei der 95%-Wert unter dem Beurteilungsmaßstab liegt.

An den Prozessbehältern zum cyanidischen Versilbern liegen alle Messwerte zu Silber und seine Verbindungen unter dem Beurteilungsmaßstab für anorganische Silberverbindungen, während vier von fünfzehn Messwerten für Cyanide und Cyanwasserstoff über dem Beurteilungsmaßstab liegen.

Der Beurteilungsmaßstab von Natriumhydroxid wird beim alkalischen Verzinken von allen Messwerten eingehalten. Die Messungen sind jedoch nur in drei Betrieben durchgeführt worden, so dass keine Ermittlung der Perzentile stattfindet.

Beim Eloxieren wird der Beurteilungsmaßstab der Schwefelsäure eingehalten. Zum Oxalsäureverfahren liegen noch nicht genügend Messwerte vor.

### 5.4.3 Nachbehandlung (Tabelle 8 im Anhang)

Bei der Nachbehandlung werden die Beurteilungsmaßstäbe der Säuren bei wenigen Messwerten eingehalten. Zum Blaupassivieren (Chromatieren, blau mit III-wertigem Chrom) liegen alle Messwerte zu Chrom und seinen Verbindungen unter dem Beurteilungsmaßstab.

Beim Gelbchromatieren (Chromatieren, gelb mit VI-wertigem Chrom) ist mit einem Messwert eine Überschreitung des Beurteilungsmaßstabs dokumentiert. Der 95%-Wert liegt aufgrund der wenigen Messwerte auch über dem Beurteilungsmaßstab.

### 5.4.4 Messungen in Bereichen Tiefdruck (Tabelle 9 im Anhang)

Mit Blick auf die aktuelle Toleranzkonzentration von  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  für Chrom(VI)-Verbindungen der TRGS 910 [4] hatte die BG ETEM im Jahre 2012 ein Messprojekt in ausgewählten Mitgliedsbetrieben

der Hartverchromung, u. a. auch im Bereich des Tiefdrucks, durchgeführt [17].

Bei der Auswahl der Betriebe wurden 14 repräsentative Unternehmen aus dem Bereich Tiefdruck der Druckindustrie berücksichtigt. Alle Verchromungsanlagen waren geschlossen oder abgedeckt.

Neben personengetragenen Messungen wurden auch stationäre Messungen durchgeführt. Diese stellen in Bezug auf die Exposition in der Regel den ungünstigen Fall dar und eignen sich zur Ableitung und Wirksamkeitskontrolle technischer Schutzmaßnahmen.

Die im Projekt ermittelten Chrom(VI)-Konzentrationen des 95 %-Wertes stationär und personengetragen lagen unter der Hälfte des Beurteilungsmaßstabes. Die höchste Chrom(VI)-Konzentration lag bei  $2,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (siehe hierzu im Anhang die Tabelle 9).

Neben den Messungen auf Chrom(VI)-Verbindungen wurden zusätzlich stationäre Messungen auf Schwefelsäure durchgeführt. Alle Messwerte der Schwefelsäure lagen unter dem Beurteilungsmaßstab; sowohl das 95-Perzentil als auch der Maximalwert unter  $1/10$  des Beurteilungsmaßstabs.

# 6 Schutzmaßnahmen

Für die Bewertung der inhalativen Gefahrstoffexposition werden ausschließlich die personenbezogenen Messwerte herangezogen. Die stationären Messungen an den Prozessbehältern, die zur Beurteilung der technischen Bedingungen durchgeführt wurden, können zur Bewertung von Expositionen direkt an den Prozessbehältern herangezogen werden.

Die Empfehlungen entsprechen dem Stand der Technik. Wird entsprechend den folgenden Empfehlungen gearbeitet und ist der bestimmungsgemäße Betrieb der Anlage sichergestellt, sind die Beurteilungsmaßstäbe für die relevanten Gefahrstoffe eingehalten. Der Stand der Technik für die technischen Schutzmaßnahmen gegen chemische Gefährdungen der betrachteten galvanotechnischen Verfahren wird in den Tabellen 2 und 3 dieses Abschnitts definiert.

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

## 6.1 Ableitung technischer Schutzmaßnahmen aus den personenbezogenen Messungen

### 6.1.1 Schutzmaßnahmen für die Anlagenbedienung – allgemein

Bei der Anlagenbedienung werden entweder die Beurteilungsmaßstäbe eingehalten, oder das 95-Perzentil (Schwefelsäure) an der Person liegt unterhalb des Beurteilungsmaßstabs, mit Ausnahme bei den Chrom(VI)-Verbindungen.

Die Exposition der Anlagenbedienung resultiert aus den Gefahrstoffemissionen aus den Prozessbehältern der jeweiligen Galvanikanlage. Daher bestimmt die Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen, insbesondere die der technischen Lüftung, auch direkt die Exposition der Anlagenbedienung.

Im Umkehrschluss belegt das Ergebnis dieser Gefahrstoffmessungen, dass mit Ausnahme der Verfahren und Prozessbehälter mit Emissionen von Chrom(VI)-Verbindungen, die Schutzmaßnahmen an allen anderen betrachteten Prozessbehältern ausreichend und wirksam sind. In den hier ausgewerteten Gefahrstoffmessungen ist dies

der Mindeststandard „Absaugung vorhanden und in Betrieb“, d. h. die lokale Erfassung der Gefahrstoffemissionen an den Prozessbehältern (i. a. einseitige oder beidseitige Randabsaugung der Prozessbehälter).

Bei der Exposition gegenüber Chrom(VI)-Verbindungen kommt es zu Überschreitungen des Beurteilungsmaßstabs, daher ist die Schutzmaßnahme „Absaugung vorhanden und in Betrieb“ bezüglich der Tätigkeiten des Anlagenbedieners bei Exposition gegenüber Chrom(VI)-Verbindungen nicht ausreichend wirksam.

### 6.1.2 Anlagenbedienung – Hartverchromen und Glanzverchromen bzw. Anlagenart

Bei den Hauptprozessen Hartverchromen und Glanzverchromen werden die Beurteilungsmaßstäbe für Hydrogenchlorid (Salzsäure) und Schwefelsäure eingehalten, wogegen der Beurteilungsmaßstab der Chrom(VI)-Verbindungen überschritten wird. Beim Glanzverchromen zeigt die Einhaltung des Beurteilungsmaßstabs für Chrom(VI)-Verbindungen im 95-Perzentil, dass beim Glanzverchromen die Schutzmaßnahme „Absaugung vorhanden und in Betrieb“ in 95 % der betrachteten Fälle ausreichend wirksam ist. Das ist beim Hauptprozess Hartverchromen nicht der Fall, wo erst im 50-Perzentil der Beurteilungsmaßstab Chrom(VI)-Verbindungen eingehalten wird.

Bezogen auf die Tätigkeit der Anlagenbedienung ist für die Verfahren Hartverchromen und Glanzverchromen die Schutzmaßnahme „Absaugung vorhanden“ nicht ausreichend.

An den automatischen Anlagen wird der höchste Anteil an Werten unterhalb des Beurteilungsmaßstabs gemessen, so dass eine Erhöhung des Automatisierungsgrads, z. B. durch die Automatisierung einer zuvor manuell bedienten Anlage, zur Verminderung der Exposition bei der Anlagenbedienung beiträgt.

- 6.1.3 Aufsteck- und Abnahmeplätze – allgemein**  
An Aufsteck- und Abnahmeplätzen werden die Beurteilungsmaßstäbe gegenüber Nickel und seine Verbindungen in der E-Staubfraktion und Chrom(VI)-Verbindungen nicht eingehalten.

Daher ist an diesen Arbeitsplätzen die Schutzmaßnahme „Absaugung vorhanden und in Betrieb“ an den Prozessbehältern und bei den Verfahren nicht ausreichend wirksam, bei denen Nickel und seine Verbindungen sowie Chrom(VI)-Verbindungen emittiert werden. Bei den anderen untersuchten Verfahren ist diese Schutzmaßnahme bei Tätigkeiten an den Aufsteck- und Abnahmeplätzen ausreichend wirksam.

Der 95-Perzentil von Nickel und seinen Verbindungen in der E-Staubfraktion liegt bei einem Drittel und des Beurteilungsmaßstabs, so dass mit 95 % bei dem Großteil der zugehörigen Verfahren an den Prozessbehältern die Absaugung als Schutzmaßnahme ausreichend wirksam ist.

- 6.1.4 Aufsteck- und Abnahmeplätze – Glanzverchromen**  
Bei Betrachtung des Hauptprozesses Glanzverchromen sind die Schutzmaßnahmen bezüglich der Emissionen aus den Elektrolyten Hydrogenchlorid und Schwefelsäure der Prozessbehälter ausreichend, d. h. die wirksame Absaugung am Prozessbehälter. Beim 95-Perzentil für Chrom(VI)-Verbindungen wird der Beurteilungsmaßstab nicht eingehalten, so dass hier die Schutzmaßnahme „Absaugung vorhanden und in Betrieb“ nicht ausreichend wirksam ist.

- 6.1.5 Trommelbeladung/Trommelentladung – allgemein**  
Bei allen Messungen von Nickel und seine Verbindungen in der A- und E-Staubfraktion, sowie der Laugen Kaliumhydroxid und Natriumhydroxid und der Säuren Phosphorsäure, Hydrogenchlorid sowie Schwefelsäure wurden die jeweiligen Beurteilungsmaßstäbe an der Person und stationär personenbezogen eingehalten, so dass die Absaugung an den betreffenden Prozessbehältern als Schutzmaßnahme ausreichend wirksam ist.

## **6.2 Ableitung technischer Schutzmaßnahmen aus den stationären Messungen**

### **6.2.1 Vorbehandlung**

Im Bereich der Vorbehandlung sind die Beurteilungsmaßstäbe der Laugen und Säuren an fast allen Prozessbehältern eingehalten, ansonsten liegt zumindest das 95-Perzentil unter dem Beurteilungsmaßstab. Daher ist die Schutzmaßnahme „Absaugung vorhanden und in Betrieb“ dort ausreichend wirksam. Eine technische Lüftung nach dem Stand der Technik ist nach den Bestimmungen der DIN EN 17059 [18] oder VDI 2262 Teil 4 [19] auszulegen.

Das betrifft die Vorbehandlungsverfahren (in Klammer die relevanten Gefahrstoffe) Entfetten, Abkochentfetten und elektrolytisches Entfetten (jeweils Natriumhydroxid), Beizen und Dekapieren (Hydrogenchlorid (Salzsäure), Schwefelsäure), elektrolytisches Beizen (Schwefelsäure) sowie das elektrolytische Polieren und Glänzen (Schwefelsäure, Orthophosphorsäure).

### **6.2.2 Oberflächenbehandlung/Beschichtung**

Bei den untersuchten Oberflächenbehandlungsverfahren kommt es zu Überschreitungen des Beurteilungsmaßstabs beim 95-Perzentil nur bezüglich Chrom(VI)-Verbindungen beim Glanzverchromen an automatischen und manuell bedienten Anlagen als auch beim Hartverchromen an halbautomatischen und manuell bedienten Anlagen. Dort ist die Schutzmaßnahme „Absaugung vorhanden und in Betrieb“ nicht ausreichend wirksam.

Die ermittelten 95-Perzentile der folgenden Oberflächenbehandlungsverfahren (in Klammer die dort eingesetzten Gefahrstoffe) zeigen, dass dort eine wirksame lokale Erfassung („Absaugung vorhanden und in Betrieb“) als Schutzmaßnahme ausreichend wirksam gegenüber den zugehörigen inhalativen Gefährdungen ist:

- Chemisches und elektrolytisches Vernickeln (Nickel und seine Verbindungen in der A- und E-Staubfraktion),

- cyanidisches Verkupfern (Cyanide und Cyanwasserstoff),
- Eloxieren (Schwefelsäure).

### 6.2.3 Nachbehandlung

Beim Blaupassivieren (Chromatieren, blau, III-wertiges Chrom) wird der Beurteilungsmaßstab von Chrom und seinen Verbindungen eingehalten. Daher ist dort die Schutzmaßnahme „Absaugung vorhanden und in Betrieb“ ausreichend wirksam.

Beim Gelbchromatieren (Chromatieren, gelb, VI-wertiges Chrom) liegt das 95-Perzentil aufgrund der wenigen Messwerte über dem Beurteilungsmaßstab. Daher ist dort die Schutzmaßnahme „Absaugung vorhanden und in Betrieb“ nicht ausreichend wirksam.

### 6.2.4 Messungen in Bereichen Tiefdruck

Für den Bereich Tiefdruck sind die niedrigen Messwerte auf einen hohen Standardisierungsgrad und damit verbunden den Einsatz geschlossener Prozessbehälter (mechanische Abdeckung) mit Absaugung, dem Entleeren der Prozessbehälter und Abspülen der Werkstücke vor dem Öffnen der Anlagen zurückzuführen. Zudem waren die Fertigungshallen mit einer wirksamen raumluftechnischen Anlage (RLT-Anlage), teilweise mit hochwirksamer Schichtenlüftung, ausgestattet.

## 6.3 Technische Schutzmaßnahmen nach dem Stand der Technik

Aus den Ergebnissen der personenbezogenen (Abschnitte 5.1ff.) und der stationären Messungen (Abschnitte 5.2ff.) lassen sich für die untersuchten galvanotechnischen Verfahren Schutzmaßnahmen nach dem Stand der Technik ableiten.

Diese Schutzmaßnahmen nach dem Stand der Technik sind im Folgenden bezogen auf die untersuchten galvanotechnischen Verfahren tabellarisch zusammengefasst.

Schutzmaßnahmen nach dem Stand der Technik definiert §2 Abs. 15 der Gefahrstoffverordnung. Der Stand der Technik ist der Entwicklungsstand fortschrittlicher Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen, der die praktische Eignung einer Maßnahme zum Schutz der Gesundheit und zur Sicherheit der Beschäftigten gesichert erscheinen lässt.

Davon ist im Rahmen dieser EGU dann auszugehen, wenn das 95-Perzentil unterhalb des Beurteilungsmaßstabs liegt.

Die im Folgenden beschriebenen Schutzmaßnahmen nach dem Stand der Technik

- für offene Prozessbehälter,
  - für geschlossene Prozessbehälter
- stellen die Einhaltung der Beurteilungsmaßstäbe an folgenden Arbeitsplätzen und Tätigkeiten sicher:
- an den Prozessbehältern (Standorte der stationären Messungen),
  - bei der Anlagenbedienung,
  - an den Aufsteck- und Abnahmeplätzen.

Die Schutzmaßnahmen nach dem Stand der Technik für offene Prozessbehälter sind nach den Ergebnissen der Abschnitte 5.1ff. und 5.2ff.:

- wirksame technische Lüftung an den offenen Prozessbehältern, in der Regel konstruktiv ausgeführt als lokale Erfassung an den Rändern der Prozessbehälter (einseitige/zweiseitige Randabsaugung),
- regelmäßige Prüfung der technischen Lüftung an den offenen Prozessbehältern.

Für die in der folgenden Tabelle 2 aufgeführten galvanotechnischen Verfahren und Prozesse sind nach den Ergebnissen der Abschnitte 5.1ff. und 5.2ff. diese technischen Schutzmaßnahmen für offene Prozessbehälter Stand der Technik:

**Tabelle 2:** Galvanotechnische Verfahren in offenen Prozessbehältern mit technischer Lüftung als Stand der Technik

| Verfahren             | Prozess                               | eingesetzte Gefahrstoffe  |
|-----------------------|---------------------------------------|---|
| Vorbereitung          |                                       |   |
| Entfettung            | alkalische Entfettung                 | Natriumhydroxid NaOH  |
|                       | alkalische Abkochentfettung           |   |
|                       | elektrolytische Entfettung            |   |
| Beizen                | chemisches Beizen                     | Hydrogenchlorid (Salzsäure) HCl<br>Schwefelsäure H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> |
|                       | elektrolytisches Beizen               | Schwefelsäure H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                                    |
| Dekapieren            | Dekapieren                            | Hydrogenchlorid (Salzsäure) HCl<br>Schwefelsäure H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> |
| Oberflächenbehandlung |                                       |   |
| Vernickeln            | chemisches Vernickeln                 | Nickel und seine Verbindungen<br>(A-Staubfraktion, E-Staubfraktion)             |
|                       | elektrolytisches Vernickeln           | Nickel und seine Verbindungen<br>(A-Staubfraktion, E-Staubfraktion)             |
| Verkupfern            | cyanidisches Verkupfern               | Cyanide, Cyanwasserstoff  |
| Verzinken             | alkalisches Verzinken                 | Natriumhydroxid   |
| Eloxieren             | Eloxieren<br>(Schwefelsäureverfahren) | Schwefelsäure   |
| Nachbehandlung        |                                       |   |
| Blaupassivieren       | Chromatieren, blau, Chrom(III)        | Chrom(III)-Verbindungen<br>Schwefelsäure H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>         |
| Phosphatieren         | Phosphatieren                         | Ortho-Phosphorsäure H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>                              |

Die Schutzmaßnahmen nach dem Stand der Technik für geschlossene Prozessbehälter sind nach den Ergebnissen im Abschnitt 5.2.4 Tiefdruck:

- geschlossene Prozessbehälter (mechanische Abdeckung) mit Absaugung,
- Entleeren der Prozessbehälter und Abspülen der Werkstücke vor dem Öffnen der Anlage,
- wirksame raumluftechnische Anlage (RLT-Anlage).

Für die in der folgenden Tabelle 3 aufgeführten galvanotechnischen Verfahren und Prozesse sind diese beschriebenen Schutzmaßnahmen für geschlossene Prozessbehälter Stand der Technik:

**Tabelle 3:** Galvanotechnische Verfahren in geschlossenen Prozessbehältern mit einer lokalen technischen Lüftung und mit einer raumlüftungstechnischen Anlage in der Arbeitsumgebung als Stand der Technik

| Verfahren             | Prozess                                       | eingesetzte Gefahrstoffe   |
|-----------------------|---|--|
| Oberflächenbehandlung |   |  |
| Glanzverchromen       | elektrolytisches Verchromen (Glanzverchromen) | Chrom(VI)-Verbindungen<br>Schwefelsäure H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> |
| Hartverchromen        | elektrolytisches Verchromen (Hartverchromen)  | Chrom(VI)-Verbindungen<br>Schwefelsäure H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> |
| Versilbern            | cyanidisches Versilbern                       | Silber und seine Verbindungen<br>Cyanide, Cyanwasserstoff              |
| Nachbehandlung        |   |  |
| Gelbchromatieren      | Chromatieren, gelb, Chrom(VI)                 | Chrom(VI)-Verbindungen<br>Schwefelsäure H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> |

Werden Chrom(VI)-Verbindungen in offenen Prozessbehältern eingesetzt, ist die Einhaltung des Beurteilungsmaßstabs messtechnisch zu überprüfen.

Bei den anderen galvanotechnischen Verfahren, bei denen aufgrund der Gefahrstoffmessungen bereits die offenen Prozessbehälter mit wirksamer technischer Lüftung nach den Ergebnissen der Abschnitte 5.1ff und 5.2ff den Stand der Technik darstellen, ist zu erwarten, dass bei geschlossenen Prozessbehältern die Gefahrstoffkonzentrationen weiter abgesenkt werden.

Der modulare Aufbau der Schutzmaßnahmen an den offenen Prozessbehälter und an den geschlossenen Prozessbehältern ist in der DGUV Regel 109-602 „Branche Galvanik“ [15] beschrieben. Für die Verfahren Glanzverchromen und Hartverchromen wird dieser modulare Aufbau im Abschnitt 4.2.3 (Glanzverchromen) und in den Abschnitten 4.2.1 und 4.2.2 (Hartverchromen) der DGUV Regel 109-602 beschrieben [15]. Auf die DGUV Regel 109-602 verweist in diesem Zusammenhang auch die TRGS 561 [13], die für Chrom(VI)-Verbindungen bei Verwendung in der Galvanotechnik genau diese Schutzmaßnahmen fordert.

Weitere allgemeine Hinweise zu lüftungstechnischen Schutzmaßnahmen geben die DGUV Regel 109-002 „Arbeitsplatzlüftung – Lufttechnische Maßnahmen“ [20], die Richtlinie VDI 2262 Blatt 3 und 4 „Luftbeschaffenheit am Arbeitsplatz, Minderung der Exposition durch luftfremde Stoffe“ [19] und der „Leitfaden zur Auslegung von Abluftanlagen an Galvanikanlagen“ [21].

Bei Auslegung und Konstruktion der technischen Lüftung ist darauf zu achten, dass es keine Luftrückführung bei krebserzeugenden Stoffen geben darf. Bei krebserzeugenden Schwebstäuben ist eine Luftrückführung nur dann zulässig, wenn behördlich oder von den Trägern der gesetzlichen Unfallversicherung anerkannte Verfahren oder Geräte eingesetzt werden. Bei der Luftrückführung sind Geräte mit einem Abscheidegrad von mehr als 99,995 %, z. B. Staubklasse H, einzusetzen.

#### 6.4 Emissionsmindernde Verfahren

Beispiele für emissionsmindernde Verfahren sind der Einsatz von Netzmitteln, der Einsatz von Schwimmkörpern oder die Kathodenumhüllung beim Eloxieren (Schwefelsäureverfahren [22]).

Die Kathodenumhüllung kann nach bisherigen Erkenntnissen zu einer deutlichen Reduzierung der Schwefelsäureaerosole am Arbeitsplatz führen.

Bei der Kathodenumhüllung wird die Kathode im Eloxalelektrolyten 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 dort in den Elektrolyten zurückfließen.

## 6.5 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 Entfernung der Verkrustungen
- Sofortiges Beseitigen von Korrosionsschäden
- Tägliche Funktionsprüfung der Absauganlage nach Herstellerangabe
- Erstellen einer Betriebsanweisung und Unterweisung der Beschäftigten nach § 14 Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) [3]
- Erstellen und Führen eines Beschäftigtenverzeichnis nach § 14 GefStoffV bei Tätigkeiten mit krebserzeugenden Stoffen [3]
- Bereitstellen und regelmäßige Prüfung von Erste-Hilfe-Einrichtungen (Körpertotdusche, Augendusche).

## 6.6 Persönliche Maßnahmen

Bei Arbeiten an Prozessbehältern sind bei dermalen Exposition abhängig von der Gefährdungsbeurteilung zu benutzen:

- Chemikalienschutzkleidung
- Schutzbrille/Gesichtsschutz
- chemikalienbeständige Schutzhandschuhe
- Fußschutz, z. B. chemikalienbeständige Schutzstiefel
- Gummischürze

Gegebenenfalls sind weitere Schutzmaßnahmen wie z. B. Gehörschutz bei Tätigkeiten an Trommelanlagen heranzuziehen.

Bei Anwendung technischer Schutzmaßnahmen nach dem Stand der Technik, insbesondere einer wirksamen technischen Lüftung (siehe Abschnitt 6.3), kann bei den untersuchten Tätigkeiten wie der Anlagenbedienung, dem Aufstecken- und Abnehmen der Werkstücke und der Trommelbe- und -entladung im Normalbetrieb auf Atemschutz verzichtet werden. Bei allen anderen Tätigkeiten ist bezüglich des Tragens von Atemschutz eine individuelle Gefährdungsbeurteilung durchzuführen.

Die erforderliche Persönliche Schutzausrüstung muss jedem Beschäftigten individuell zur Verfügung stehen.

Zur richtigen Auswahl der Persönlichen Schutzausrüstung und zum Hautschutz muss eine Gefährdungsermittlung durchgeführt werden; siehe auch TRGS 401 „Gefährdung durch Hautkontakt“ [23], DGUV Information 212-017 „Allgemeine Präventionsleitlinie Hautschutz – Auswahl, Bereitstellung und Benutzung“ [24], DGUV Regel 112-189 [25] „Benutzung von Schutzkleidung“, DGUV Regel 112-195 [26] „Benutzung von Schutzhandschuhen“ und DGUV Regel 112-192 [27] „Benutzung von Augen und Gesichtsschutz“.

Die Beschäftigten sind mindestens einmal jährlich arbeitsplatzbezogen anhand der Betriebsanweisung in einer für sie verständlichen Form und Sprache zu unterweisen.

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.

### 6.7 Explosionsschutzmaßnahmen

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

Entsprechend Gefahrstoffverordnung § 6 Absatz 9 ist im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung die Erstellung eines Explosionsschutzdokumentes mit den entsprechenden Maßnahmen erforderlich. Dazu wurden entsprechend ein Leitfaden sowie Muster-Explosionsschutzdokumente entwickelt [28], [29].

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

Bei den folgenden Tätigkeiten können kurzzeitig erhöhte Gefahrstoffkonzentrationen auftreten:

- 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 Behälter 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 [30] und DGUV Regel 113-004 „Behälter, Silos und enge Räume“, Teil 1: Arbeiten in Behältern, Silos und engen Räumen. [31].

Die erforderliche persönliche Schutzausrüstung muss zur Verfügung stehen (siehe Absatz 6.6) und von den Beschäftigten benutzt werden.

Die Atemschutzausrüstung muss auf den Gefahrstoff abgestimmt sein. Die Tragezeitbegrenzungen gemäß DGUV Regel 112-190 „Benutzung von Atemschutzgeräten“ [32] sind zu beachten. Für Beschäftigte, die Atemschutz tragen müssen, sind gegebenenfalls arbeitsmedizinische Vorsorge durchzuführen; siehe Arbeitsmedizinische Vorsorgeverordnung (ArbMedVV) [6].

# 7 Weiterführende Literatur

- [1] Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes des Beschäftigten bei der Arbeit (Arbeitsschutzgesetz - ArbSchG) Ausg. vom 7. August 1996; Stand 22. Dezember 2020. Im Internet verfügbar unter: <http://www.gesetze-im-internet.de/arbschg/index.html>
- [2] Siebtes Buch Sozialgesetzbuch – Gesetzliche Unfallversicherung (SGB VII) Ausg. vom 07. August 1996; Stand 28. März 2021. Im Internet verfügbar unter [http://www.gesetze-im-internet.de/sgb\\_7/index.html](http://www.gesetze-im-internet.de/sgb_7/index.html)
- [3] Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (Gefahrstoffverordnung – GefStoffV) Ausg. vom 26. November 2010; Stand 29. März 2017. Im Internet verfügbar unter [https://www.gesetze-im-internet.de/gefstoffv\\_2010/](https://www.gesetze-im-internet.de/gefstoffv_2010/)
- [4] Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung – ArbStättV) Ausg. vom 12. August 2004; Stand 30. November 2016. Im Internet verfügbar unter [https://www.gesetze-im-internet.de/arbstattv\\_2004/](https://www.gesetze-im-internet.de/arbstattv_2004/)
- [5] Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Bereitstellung von Arbeitsmitteln und deren Benutzung bei der Arbeit, über Sicherheit beim Betrieb überwachungsbedürftiger Anlagen und über die Organisation des betrieblichen Arbeitsschutzes (Betriebssicherheitsverordnung – BetrSichV) Ausg. vom 3. Februar 2015; Stand 28. Mai 2021. Im Internet verfügbar unter [http://www.gesetze-im-internet.de/betr\\_sichv\\_2015/index.html](http://www.gesetze-im-internet.de/betr_sichv_2015/index.html)
- [6] Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge (ArbMedVV) Ausg. vom 18. Dezember 2008; Stand 12. Juli 2019. Im Internet verfügbar unter <http://www.gesetze-im-internet.de/arbmedvv/BjNR276810008.html>
- [7] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Gefährdungsbeurteilung für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen (TRGS 400). Ausg. Dezember 2010. (2011) Ausgabe: Juli 2017 GMBI 2017 Nr. 36 S. 638 (08.09.2017). Im Internet verfügbar unter: <https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRGS/TRGS-400.html>
- [8] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen: Inhalative Exposition (TRGS 402). Ausg. Januar 2010. (2010) 231-253; geändert und ergänzt: GMBI. (2016) Nr. 43, S. 843-846 vom 21. Oktober 2016. Im Internet verfügbar unter: <https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRGS/TRGS-402.html>
- [9] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Schutzmaßnahmen (TRGS 500). Ausgabe: Januar 2020. Im Internet verfügbar unter: <https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRGS/TRGS-500.html>
- [10] Begriffsglossar zu den Regelwerken der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV), der Biostoffverordnung (BioStoffV) und der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV); Stand April 2009 Im Internet verfügbar unter [https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/Glossar/Glossar\\_node.html](https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/Glossar/Glossar_node.html)
- [11] Technische Regel für Gefahrstoffe: Arbeitsplatzgrenzwerte (TRGS 900). Ausgabe: Januar 2006. Zuletzt geändert und ergänzt: GMBI 2021 Nr. 25 S. 580 vom 23.04.2021. Im Internet verfügbar unter <https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRGS/TRGS-900.html>
- [12] Technische Regel für Gefahrstoffe: Risikobezogenes Maßnahmenkonzept für Tätigkeiten mit krebserzeugenden Gefahrstoffen (TRGS 910). Ausgabe: Februar 2014 . Zuletzt geändert und ergänzt: GMBI 2021 Nr. 2 S. 35 vom 13.01.2021 Berichtigt: GMBI 2021 Nr. 5 S. 85-86 vom 05.02.2021. Im Internet verfügbar unter <https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRGS/TRGS-910.html>
- [13] Technische Regel für Gefahrstoffe: Tätigkeiten mit krebserzeugenden Metallen und ihren Verbindungen (TRGS 561). Ausgabe: Oktober 2017 . Im Internet verfügbar unter <https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRGS/TRGS-561.html>

- [14] Bekanntmachung zu Gefahrstoffen: Kriterien zur Ableitung von Arbeitsplatzgrenzwerten (BekGS 901). Ausgabe: April 2010 . Im Internet verfügbar unter <https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRGS/Bekanntmachung-901.html>
- [15] DGUV Regel 109-602 „Branche Galvanik“ (2017) Im Internet verfügbar unter: [www.dguv.de/publikationen](http://www.dguv.de/publikationen) Webcode: p109602
- [16] IFA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen, 22. Lfg. III/1999. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin. Erich Schmidt, Berlin 2011 – Losebl.-Ausg
- [17] Messprogramm 9171 der BG ETEM
- [18] DIN EN 17059 :2018-10 „Galvanik- und Anodisieranlagen – Sicherheitsanforderungen“, Beuth Verlag, Berlin
- [19] VDI-Richtlinie 2262, Blatt 3 und Blatt 4: Luftbeschaffenheit am Arbeitsplatz, Minderung der Exposition durch luftfremde Stoffe, Lufttechnische Maßnahmen (Blatt 3), Erfassen luftfremder Stoffe (Blatt 4), Beuth Verlag, Berlin
- [20] DGUV Regel 109-002 „Arbeitsplatzlüftung – Lufttechnische Maßnahmen“ (2020). Im Internet verfügbar unter: [www.dguv.de/publikationen](http://www.dguv.de/publikationen) Webcode: p109002
- [21] Leitfaden zur Auslegung von Abluftanlagen an Galvanikanlagen. Eine Information für Betreiber und Hersteller von Galvanikanlagen. Hrsg.: Zentralverband Oberflächentechnik (ZVO), Hilden (08/2018)
- [22] Diplomarbeit von Herrn Dipl.-Ing. Thönes bei Fa. Over Eloxal GmbH, 41836 Hückelhoven
- [23] Technische Regel für Gefahrstoffe: Gefährdung durch Hautkontakt – Ermittlung, Beurteilung, Maßnahmen (TRGS 401). Ausgabe: Juni 2008. Zuletzt berichtigt GMBI 2011 Nr. 9 S. 175 vom 30.03.2011. Im Internet verfügbar unter: <https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRGS/TRGS-401.html>
- [24] DGUV Information 212-017 „Auswahl, Bereitstellung und Benutzung von beruflichen Hautmitteln“ (2019). Im Internet verfügbar unter: [www.dguv.de/publikationen](http://www.dguv.de/publikationen) Webcode: p212017
- [25] DGUV Regel 112-989 „Benutzung von Schutzkleidung“ (2007). Im Internet verfügbar unter: [www.dguv.de/publikationen](http://www.dguv.de/publikationen) Webcode: p112989
- [26] DGUV Regel 112-995 „Benutzung von Schutzhandschuhen“ (2007). Im Internet verfügbar unter: [www.dguv.de/publikationen](http://www.dguv.de/publikationen) Webcode: p112995
- [27] DGUV Regel 112-992 „Benutzung von Augen- und Gesichtsschutz“ (2002). Im Internet verfügbar unter: [www.dguv.de/publikationen](http://www.dguv.de/publikationen) Webcode: p112992
- [28] Leitfaden zur Erstellung des Explosionsschutzdokumentes mit Muster-Explosionsschutzdokumenten Hrsg.: Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse BGETEM, Köln. Bestell-Nr. S 018. Im Internet verfügbar unter: <https://medien.bgetem.de/medienportal/artikel/UzAxOA-->
- [29] Explosionsschutzdokument für das Verfahren Hartverchromen. Hrsg.: Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse BGETEM, Köln, Bestell-Nr. s\_018-08b\_a03-2016. Im Internet verfügbar unter: <https://medien.bgetem.de/medienportal/artikel/U1owMjE->

- [30] Technische Regel für Gefahrstoffe: Oberflächenbehandlung in Räumen und Behältern (TRGS 507). Ausgabe: März 2009. GMBI Nr. 18/19 vom 04.05.2009. Im Internet verfügbar unter: <https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRGS/TRGS-507.html>
  
- [31] DGUV Regel 113-004 „Behälter, Silos und enge Räume; Teil 1: Arbeiten in Behältern, Silos und engen Räumen“ (2019). Im Internet verfügbar unter: [www.dguv.de/publikationen](http://www.dguv.de/publikationen) Webcode: p113004
  
- [32] DGUV Regel 112-190 „Benutzung von Atemschutzgeräten“ (2011). Im Internet verfügbar unter: [www.dguv.de/publikationen](http://www.dguv.de/publikationen) Webcode: p112190

# 8 Anhang

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 Analyseverfahren; siehe IFA-Arbeitsmappe. Während der Messungen wurden die üblichen Tätigkeiten durchgeführt.

Die folgenden Tabellen 1 bis 9 enthalten die statistisch ausgewerteten Arbeitsplatzkonzentrationen für den Zeitraum von Januar 2016 bis Dezember 2019. Die Ermittlung und Dokumentation der dargestellten Messdaten erfolgte nach den Kriterien des Messsystems Gefährdungsermittlung der Unfallversicherungsträger (MGU), hier: Messprogramm 9192.

Die Bestimmungsgrenzen wurden gemäß der Standardprobenahmeverfahren aus der IFA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen ermittelt [16].

## Fußnoten zu den Tabellen 1 bis 9:

- \* Liegen Analysenergebnisse unterhalb der jeweiligen Bestimmungsgrenze (BG), dann geht der Wert der halben BG in die Statistik ein.
- + Der Verteilungswert liegt unterhalb der höchsten Bestimmungsgrenze (BG) im Datenkollektiv. Die BG kann, z. B. in Abhängigkeit von der Probenahmedauer oder dem Volumenstrom, variieren.
- ! Die Anzahl der Messwerte unterhalb der Bestimmungsgrenze (BG) ist größer als die Zahl der Messwerte, die durch diesen Summenhäufigkeitswert repräsentiert werden. Daher wird für diesen Summenhäufigkeitswert keine Konzentration angegeben.
- k. A. Der gewählte Parameter steht für dieses berechnete Kollektiv nicht zur Verfügung.
- \*\*\*\* Das Kollektiv enthält weniger als 10 Messwerte bzw. 5 Betriebe. Daher werden nach MGU-Verwaltungsvereinbarung vom Januar 2018 keine statistischen Daten ausgegeben.

Tabelle 9 gibt die Ergebnisse des Messprogramms 9171 der BG ETEM im Bereich Tiefdruck wieder.

Tabelle 1 zu Kapitel 5.3.1 Anlagenbedienung – allgemein

| Kollektiv-Nr.                                      | Arbeitsbereich<br>Gefahrstoff                 | Anzahl<br>Mess-<br>werte | Anzahl<br>Betriebe | Werte<br>≤ BM<br>% | Werte<br>< BG *<br>% | Min<br>=-Wert<br>(mg/m <sup>3</sup> ) | 50 %-<br>Wert *<br>(mg/m <sup>3</sup> ) | 90 %-<br>Wert *<br>(mg/m <sup>3</sup> ) | 95 %-<br>Wert *<br>(mg/m <sup>3</sup> ) | Max<br>=-Wert<br>(mg/m <sup>3</sup> ) |
|--|---|--------------------------|--------------------|--------------------|----------------------|---------------------------------------|---|---|---|---------------------------------------|
| <b>Anlagenbedienung – allgemein, an der Person</b> |   |                          |                    |                    |                      |                                       |   |   |   |                                       |
| 7  | Bor und seine Verbindungen<br>(E-Fraktion)    | 13                       | 8                  | 100                | 84,6                 | 0,00046                               | BG !                                    | 0,000465 +                              | 0,000652 +                              | 0,001                                 |
| 8  | Chrom und seine Verbindungen<br>(E-Fraktion)  | 24                       | 11                 | 100                | 33,3                 | 0,0002                                | 0,00045 +                               | 0,0023 +                                | 0,00274 +                               | 0,026                                 |
| 9  | Chrom(VI)-Verbindungen                        | 68                       | 42                 | 83,8               | 58,8                 | 0,00025                               | BG !                                    | 0,00152                                 | 0,00312                                 | 0,018                                 |
| 10   | Fluoride                                      | 16                       | 13                 | 100                | 87,5                 | 0,128                                 | BG !                                    | 0,0632                                  | 0,137                                   | 0,174                                 |
| 11   | Fluorwasserstoff                              | 16                       | 13                 | 100                | 100                  | k. A.                                 | BG !                                    | BG !                                    | BG !                                    | k. A.                                 |
| 12   | Hydrogenchlorid                               | 75                       | 45                 | 100                | 86,7                 | 0,09                                  | BG !                                    | 0,098                                   | 0,243                                   | 0,84                                  |
| 13   | Kaliumhydroxid                                | 16                       | 10                 | 100                | 75                   | 0,036                                 | BG !                                    | 0,0396                                  | 0,0616                                  | 0,14                                  |
| 15   | Natriumhydroxid                               | 102                      | 61                 | 100                | 93,1                 | 0,042                                 | BG !                                    | BG !                                    | 0,0438 +                                | 0,19                                  |
| 17   | Nickel und seine Verbindungen<br>(A-Fraktion) | 33                       | 18                 | 100                | 48,5                 | 0,00016                               | 0,00024 +                               | 0,00165                                 | 0,0021                                  | 0,005                                 |
| 16   | Nickel und seine Verbindungen<br>(E-Fraktion) | 100                      | 53                 | 100                | 27                   | 0,00032                               | 0,0012 +                                | 0,0062                                  | 0,0077                                  | 0,024                                 |
| 18   | Phosphorsäure                                 | 51                       | 30                 | 100                | 96,1                 | 0,012                                 | BG !                                    | BG !                                    | BG !                                    | 0,013                                 |
| 19   | Salpetersäure                                 | 24                       | 19                 | -)*                | 91,7                 | 0,17                                  | BG !                                    | BG !                                    | 0,149                                   | 0,24                                  |
| 20   | Schwefelsäure                                 | 104                      | 62                 | 99                 | 26,9                 | 0,005                                 | 0,009                                   | 0,0346                                  | 0,0458                                  | 0,189                                 |

)\* da kein Beurteilungsmaßstab als Schichtmittelwert vorliegt

Tabelle 2 zu Kapitel 5.3.2 Anlagenbedienung – Differenzierung der Chrom(VI)- und der Elektrolyt- Exposition nach Hauptprozess bzw. Anlagenart

| Kollektiv-Nr.  | Arbeitsbereich - Hauptprozess<br>Gefahrstoff / Anlagenart | Anzahl<br>Mess-<br>werte | Anzahl<br>Betriebe | Werte<br>≤ BM<br>% | Werte<br>< BG *<br>% | Min<br>=-Wert<br>(mg/m <sup>3</sup> ) | 50 %-<br>Wert *<br>(mg/m <sup>3</sup> ) | 90 %-<br>Wert *<br>(mg/m <sup>3</sup> ) | 95 %-<br>Wert *<br>(mg/m <sup>3</sup> ) | Max<br>=-Wert<br>(mg/m <sup>3</sup> ) |
|--|---|--------------------------|--------------------|--------------------|----------------------|---------------------------------------|---|---|---|---------------------------------------|
| <b>Anlagenbedienung an der Person – Hartverchromen</b>   |   |                          |                    |                    |                      |                                       |   |   |   |                                       |
| 190  | Chrom(VI)-Verbindungen                                    | 22                       | 12                 | 63,6               | 18,2                 | 0,00052                               | 0,00088                                 | 0,00334                                 | 0,00684                                 | 0,018                                 |
| 199  | Schwefelsäure   | 19                       | 11                 | 100                | 15,8                 | 0,005                                 | 0,009                                   | 0,0143                                  | 0,0174                                  | 0,024                                 |
| <b>Anlagenbedienung an der Person – Glanzverchromen</b>  |   |                          |                    |                    |                      |                                       |   |   |   |                                       |
| 191  | Chrom(VI)-Verbindungen                                    | 17                       | 15                 | 94,1               | 76,5                 | 0,00028                               | BG !                                    | 0,000383                                | 0,000811                                | 0,0024                                |
| 192  | Hydrogenchlorid   | 12                       | 10                 | 100                | 91,7                 | 0,234                                 | BG !                                    | BG !                                    | 0,121                                   | 0,234                                 |
| 200  | Schwefelsäure   | 13                       | 10                 | 100                | 23,1                 | 0,006                                 | 0,0085                                  | 0,0137                                  | 0,0147                                  | 0,016                                 |
| <b>Anlagenbedienung an der Person – Differenzierung der Chrom(VI)-Exposition nach der Anlagenart</b> |   |                          |                    |                    |                      |                                       |   |   |   |                                       |
| 230  | automatische Anlagen                                      | 23                       | 15                 | 95,7               | 82,6                 | 0,00032                               | BG !                                    | 0,000407                                | 0,000513                                | 0,004                                 |
| 231  | halbautomatische Anlagen                                  | 13                       | 8                  | 69,2               | 30,8                 | 0,00025                               | 0,00074                                 | 0,00612                                 | 0,011                                   | 0,018                                 |
| 232  | manuell bediente Anlagen                                  | 31                       | 22                 | 80,6               | 51,6                 | 0,00028                               | BG !                                    | 0,0015                                  | 0,00192                                 | 0,0024                                |

Tabelle 3 zu Kapitel 5.3.3 Aufsteck- und Abnahmeplätze – allgemein

| Kollektiv-Nr.  | Arbeitsbereich<br>Gefahrstoff                 | Anzahl<br>Mess-<br>werte | Anzahl<br>Betriebe | Werte<br>≤ BM<br>% | Werte<br>< BG *<br>% | Min<br>=-Wert<br>(mg/m <sup>3</sup> ) | 50 %-<br>Wert *<br>(mg/m <sup>3</sup> ) | 90 %-<br>Wert *<br>(mg/m <sup>3</sup> ) | 95 %-<br>Wert *<br>(mg/m <sup>3</sup> ) | Max<br>=-Wert<br>(mg/m <sup>3</sup> ) |
|--|---|--------------------------|--------------------|--------------------|----------------------|---------------------------------------|---|---|---|---------------------------------------|
| <b>Aufsteck- und Abnahmestation an der Person und stationär (personenbezogen zur Expositionsbeurteilung)</b> |   |                          |                    |                    |                      |                                       |   |   |   |                                       |
| 176  | Bor und seine Verbindungen                    | 15                       | 10                 | 100                | 66,7                 | 0,00015                               | BG !                                    | 0,00042 +                               | 0,000663 +                              | 0,0013                                |
| 177  | Chrom und seine Verbindungen                  | 21                       | 14                 | 100                | 76,2                 | 0,00041                               | BG !                                    | 0,00056 +                               | 0,000684 +                              | 0,012                                 |
| 178  | Chrom(VI)-Verbindungen                        | 50                       | 37                 | 92                 | 80                   | 0,00018                               | BG !                                    | 0,000375 +                              | 0,002                                   | 0,023                                 |
| 179  | Fluoride                                      | 14                       | 10                 | 100                | 100                  | k.A.                                  | BG !                                    | BG !                                    | BG !                                    | k.A.                                  |
| 180  | Fluorwasserstoff                              | 14                       | 10                 | 100                | 100                  | k.A.                                  | BG !                                    | BG !                                    | BG !                                    | k.A.                                  |
| 181  | Hydrogenchlorid                               | 60                       | 41                 | 100                | 98,3                 | 0,09                                  | BG !                                    | BG !                                    | BG !                                    | 0,09                                  |
| 182  | Kaliumhydroxid                                | 20                       | 12                 | 100                | 100                  | k.A.                                  | BG !                                    | BG !                                    | BG !                                    | k.A.                                  |
| 184  | Natriumhydroxid                               | 79                       | 52                 | 100                | 96,2                 | 0,058                                 | BG !                                    | BG !                                    | BG !                                    | 0,083                                 |
| 186  | Nickel und seine Verbindungen<br>(A-Fraktion) | 20                       | 14                 | 100                | 60                   | 0,00018                               | BG !                                    | 0,0011 +                                | 0,0011 +                                | 0,0021                                |
| 185  | Nickel und seine Verbindungen<br>(E-Fraktion) | 64                       | 33                 | 98,4               | 34,4                 | 0,00016                               | 0,0007 +                                | 0,0036 +                                | 0,00426 +                               | 0,092                                 |
| 187  | Orthophosphorsäure                            | 28                       | 24                 | 100                | 92,9                 | 0,018                                 | BG !                                    | BG !                                    | 0,0128                                  | 0,048                                 |
| 188  | Salpetersäure                                 | 21                       | 15                 | -)*                | 100                  | k.A.                                  | BG !                                    | BG !                                    | BG !                                    | k.A.                                  |
| 189  | Schwefelsäure                                 | 52                       | 39                 | 100                | 40,4                 | 0,005                                 | 0,006                                   | 0,013                                   | 0,022                                   | 0,043                                 |

)\* da kein Beurteilungsmaßstab als Schichtmittelwert vorliegt

| Kollektiv-Nr.   | Arbeitsbereich - Hauptprozess<br>Gefahrstoff | Anzahl<br>Mess-<br>werte | Anzahl<br>Betriebe | Werte<br>≤ BM<br>% | Werte<br>< BG *<br>% | Min<br>=-Wert<br>(mg/m <sup>3</sup> ) | 50%-<br>Wert *<br>(mg/m <sup>3</sup> ) | 90%-<br>Wert *<br>(mg/m <sup>3</sup> ) | 95%-<br>Wert *<br>(mg/m <sup>3</sup> ) | Max<br>=-Wert<br>(mg/m <sup>3</sup> ) |
|---|--|--------------------------|--------------------|--------------------|----------------------|---------------------------------------|--|--|--|---------------------------------------|
| <b>Aufsteck- und Abnahmeplätze an der Person und stationär (personenbezogen zur Expositionsbeurteilung) – Glanzverchromen</b> |  |                          |                    |                    |                      |                                       |  |  |  |                                       |
| 201   | Chrom(VI)-Verbindungen                       | 19                       | 14                 | 94,7               | 78,9                 | 0,00018                               | BG !                                   | 0,000364 +                             | 0,00153                                | 0,023                                 |
| 202   | Hydrogenchlorid                              | 12                       | 10                 | 100                | 100                  | k. A.                                 | BG !                                   | BG !                                   | BG !                                   | k. A.                                 |
| 206   | Schwefelsäure                                | 11                       | 9                  | 100                | 27,3                 | 0,006                                 | 0,007                                  | 0,0127                                 | 0,013                                  | 0,013                                 |

Tabelle 5 zu Kapitel 5.3.5 Trommelbeladung/Trommelentladung – allgemein

| Kollektiv-Nr.  | Arbeitsbereich<br>Gefahrstoff                 | Anzahl<br>Mess-<br>werte | Anzahl<br>Betriebe | Werte<br>≤ BM<br>% | Werte<br>< BG *<br>% | Min<br>=-Wert<br>(mg/m <sup>3</sup> ) | 50 %-<br>Wert *<br>(mg/m <sup>3</sup> ) | 90 %-<br>Wert *<br>(mg/m <sup>3</sup> ) | 95 %-<br>Wert *<br>(mg/m <sup>3</sup> ) | Max<br>=-Wert<br>(mg/m <sup>3</sup> ) |
|--|---|--------------------------|--------------------|--------------------|----------------------|---------------------------------------|---|---|---|---------------------------------------|
| <b>Trommelbe- und entladung an der Person und stationär (personenbezogen zur Expositionsbeurteilung)</b> |   |                          |                    |                    |                      |                                       |   |   |   |                                       |
| 49   | Bor und seine Verbindungen<br>(E-Fraktion)    | 4 ****                   | 3 ****             | 100                | 75                   | 0,00027                               |   |   |   | 0,00027                               |
| 50   | Chrom und seine Verbindungen<br>(E-Fraktion)  | 7 ****                   | 5                  | 100                | 42,9                 | 0,00019                               |   |   |   | 0,0019                                |
| 51   | Chrom(VI)-Verbindungen                        | 7 ****                   | 6                  | 100                | 100                  | k. A.                                 |   |   |   | k. A.                                 |
| 52   | Fluoride                                      | 4 ****                   | 3 ****             | 100                | 100                  | k. A.                                 |   |   |   | k. A.                                 |
| 53   | Fluorwasserstoff                              | 4 ****                   | 3 ****             | 100                | 100                  | k. A.                                 |   |   |   | k. A.                                 |
| 54   | Hydrogenchlorid                               | 31                       | 18                 | 100                | 80,6                 | 0,09                                  | BG !                                    | 0,1                                     | 0,193                                   | 0,64                                  |
| 55   | Kaliumhydroxid                                | 12                       | 8                  | 100                | 75                   | 0,037                                 | BG !                                    | 0,0402                                  | 0,0454                                  | 0,052                                 |
| 57   | Natriumhydroxid                               | 32                       | 21                 | 100                | 96,9                 | 0,097                                 | BG !                                    | BG !                                    | BG !                                    | 0,097                                 |
| 59   | Nickel und seine Verbindungen<br>(A-Fraktion) | 10                       | 6                  | 100                | 50                   | 0,00015                               | 0,00015 +                               | 0,00064                                 | 0,00107                                 | 0,0015                                |
| 58   | Nickel und seine Verbindungen<br>(E-Fraktion) | 32                       | 14                 | 100                | 25                   | 0,00019                               | 0,0013 +                                | 0,0108                                  | 0,0142                                  | 0,024                                 |
| 60   | Phosphorsäure                                 | 10                       | 8                  | 100                | 90                   | 0,014                                 | BG !                                    | 0,01 +                                  | 0,01 +                                  | 0,014                                 |
| 61   | Salpetersäure                                 | 8 ****                   | 4 ****             | -)*                | 87,5                 | 0,59                                  |   |   |   | 0,59                                  |
| 62   | Schwefelsäure                                 | 16                       | 10                 | 100                | 56,3                 | 0,006                                 | BG !                                    | 0,0094                                  | 0,0104                                  | 0,012                                 |

)\* da kein Beurteilungsmaßstab als Schichtmittelwert vorliegt

Tabelle 6 zu Kapitel 5.4.1 Vorbehandlung

| Kollektiv-Nr.                                 | Verfahren (Prozessbehälter)<br>Gefahrstoff | Anzahl<br>Mess-<br>werte | Anzahl<br>Betriebe | Werte<br>≤ BM<br>% | Werte<br>< BG *<br>% | Min<br>=-Wert<br>(mg/m <sup>3</sup> ) | 50 %-<br>Wert *<br>(mg/m <sup>3</sup> ) | 90 %-<br>Wert *<br>(mg/m <sup>3</sup> ) | 95 %-<br>Wert *<br>(mg/m <sup>3</sup> ) | Max<br>=-Wert<br>(mg/m <sup>3</sup> ) |
|---|--|--------------------------|--------------------|--------------------|----------------------|---------------------------------------|---|---|---|---------------------------------------|
| <b>Entfetten (alkalisch) mit</b>              |  |                          |                    |                    |                      |                                       |   |   |   |                                       |
| 67  | Natriumhydroxid                            | 23                       | 12                 | 100                | 91,3                 | 0,048                                 | BG !                                    | BG !                                    | 0,0463 +                                | 0,074                                 |
| <b>Abkoehlfetten (alkalisch) mit</b>          |  |                          |                    |                    |                      |                                       |   |   |   |                                       |
| 66  | Natriumhydroxid                            | 34                       | 17                 | 97,1               | 82,4                 | 0,046                                 | BG !                                    | 0,0692                                  | 0,133                                   | 1,9                                   |
| <b>Entfetten (elektrolytisch) mit</b>         |  |                          |                    |                    |                      |                                       |   |   |   |                                       |
| 68  | Natriumhydroxid                            | 32                       | 23                 | 100                | 84,4                 | 0,05                                  | BG !                                    | 0,0508                                  | 0,0858                                  | 0,098                                 |
| <b>Beizen (chemisch) mit</b>                  |  |                          |                    |                    |                      |                                       |   |   |   |                                       |
| 72  | Hydrogenchlorid                            | 48                       | 29                 | 95,8               | 68,8                 | 0,14                                  | BG !                                    | 1,284                                   | 2,136                                   | 5,97                                  |
| 71  | Schwefelsäure                              | 16                       | 14                 | 93,7               | 37,5                 | 0,005                                 | 0,006                                   | 0,0114                                  | 0,0306                                  | 0,105                                 |
| <b>Dekapieren (sauer) mit</b>                 |  |                          |                    |                    |                      |                                       |   |   |   |                                       |
| 91  | Hydrogenchlorid                            | 25                       | 13                 | 100                | 68                   | 0,22                                  | BG !                                    | 0,96                                    | 1,565                                   | 1,72                                  |
| 89  | Schwefelsäure                              | 13                       | 10                 | 100                | 53,8                 | 0,008                                 | BG !                                    | 0,0164                                  | 0,0335                                  | 0,064                                 |
| <b>Beizen (elektrolytisch) mit</b>            |  |                          |                    |                    |                      |                                       |   |   |   |                                       |
| 74  | Schwefelsäure                              | 6 ****                   | 6                  | 100                | 50                   | 0,01                                  |   |   |   | 0,016                                 |
| <b>Polieren, Glänzen (elektrolytisch) mit</b> |  |                          |                    |                    |                      |                                       |   |   |   |                                       |
| 81  | Schwefelsäure                              | 6 ****                   | 4 ****             | 83,3               | 16,7                 | 0,006                                 |   |   |   | 0,309                                 |
| 82  | Phosphorsäure                              | 5 ****                   | 3 ****             | 100                | 60                   | 0,077                                 |   |   |   | 0,425                                 |

Tabelle 7 zu Kapitel 5.4.2 Oberflächenbehandlung/Beschichtung

| Kollektiv-Nr.                      | Verfahren (Prozessbehälter)<br>Gefahrstoff    | Anzahl<br>Mess-<br>werte | Anzahl<br>Betriebe | Werte<br>≤ BM<br>% | Werte<br>< BG *<br>% | Min<br>=-Wert<br>(mg/m <sup>3</sup> ) | 50 %-<br>Wert *<br>(mg/m <sup>3</sup> ) | 90 %-<br>Wert *<br>(mg/m <sup>3</sup> ) | 95 %-<br>Wert *<br>(mg/m <sup>3</sup> ) | Max<br>=-Wert<br>(mg/m <sup>3</sup> ) |
|------------------------------------|---|--------------------------|--------------------|--------------------|----------------------|---------------------------------------|---|---|---|---------------------------------------|
| Glanzverchromen                    |   |                          |                    |                    |                      |                                       |   |   |   |                                       |
| 116                                | Chrom(VI)-Verbindungen                        | 36                       | 32                 | 91,7               | 63,9                 | 0,00034                               | BG !                                    | 0,00066                                 | 0,00122                                 | 0,0024                                |
| 117                                | Schwefelsäure                                 | 14                       | 11                 | 100                | 35,7                 | 0,005                                 | 0,005 +                                 | 0,0408                                  | 0,0628                                  | 0,074                                 |
| w                                  | <b>Hartverchromen</b>                         |                          |                    |                    |                      |                                       |   |   |   |                                       |
| 118                                | Chrom(VI)-Verbindungen                        | 31                       | 18                 | 80,6               | 48,4                 | 0,00022                               | 0,00038 +                               | 0,00469                                 | 0,00716                                 | 0,025                                 |
| 119                                | Schwefelsäure                                 | 20                       | 10                 | 100                | 45                   | 0,006                                 | 0,006                                   | 0,019                                   | 0,021                                   | 0,037                                 |
| <b>Vernickeln (chemisch)</b>       |   |                          |                    |                    |                      |                                       |   |   |   |                                       |
| 97                                 | Nickel und seine Verbindungen<br>(A-Fraktion) | 17                       | 8                  | 100                | 41,2                 | 0,00018                               | 0,00018 +                               | 0,00048 +                               | 0,00076                                 | 0,0013                                |
| 96                                 | Nickel und seine Verbindungen<br>(E-Fraktion) | 34                       | 19                 | 100                | 17,6                 | 0,00051                               | 0,001 +                                 | 0,0114                                  | 0,0182                                  | 0,025                                 |
| <b>Vernickeln (elektrolytisch)</b> |   |                          |                    |                    |                      |                                       |   |   |   |                                       |
| 95                                 | Nickel und seine Verbindungen<br>(A-Fraktion) | 35                       | 18                 | 100                | 62,9                 | 0,0001                                | BG !                                    | 0,00056 +                               | 0,00084 +                               | 0,002                                 |
| 94                                 | Nickel und seine Verbindungen<br>(E-Fraktion) | 87                       | 46                 | 97,7               | 32,2                 | 0,00011                               | 0,00058 +                               | 0,00752                                 | 0,0133                                  | 0,3                                   |
| <b>Verkupfern (cyanidisch)</b>     |   |                          |                    |                    |                      |                                       |   |   |   |                                       |
| 106                                | Kupfer und seine Verbindungen<br>(A-Fraktion) | 9****                    | 8                  | 100                | 77,8                 | 0,0016                                |   |   |   | 0,0018                                |
| 104                                | Cyanide und Cyanwasserstoff                   | 19                       | 15                 | 94,7               | 63,2                 | 0,36                                  | BG !                                    | 0,584                                   | 0,739                                   | 1,28                                  |
| <b>Verzinken (alkalisch)</b>       |   |                          |                    |                    |                      |                                       |   |   |   |                                       |
| 113                                | Natriumhydroxid                               | 25                       | 6                  | 100                | 80                   | 0,046                                 | BG !                                    | 0,099                                   | 0,138                                   | 0,4                                   |

| Kollektiv-Nr.                            | Verfahren (Prozessbehälter)<br>Gefährstoff    | Anzahl<br>Mess-<br>werte | Anzahl<br>Betriebe | Werte<br>≤ BM<br>% | Werte<br>< BG *<br>% | Min<br>=-Wert<br>(mg/m <sup>3</sup> ) | 50 %-<br>Wert *<br>(mg/m <sup>3</sup> ) | 90 %-<br>Wert *<br>(mg/m <sup>3</sup> ) | 95 %-<br>Wert *<br>(mg/m <sup>3</sup> ) | Max<br>=-Wert<br>(mg/m <sup>3</sup> ) |
|--|---|--------------------------|--------------------|--------------------|----------------------|---------------------------------------|---|---|---|---------------------------------------|
| <b>Versilbern (cyanidisch)</b>           |   |                          |                    |                    |                      |                                       |   |   |   |                                       |
| 139                                      | Silber und seine Verbindungen<br>(E-Fraktion) | 15                       | 10                 | 100                | 60                   | 0,00014                               | BG !                                    | 0,00169                                 | 0,00358                                 | 0,0056                                |
| 138                                      | Cyanide und Cyanwasserstoff                   | 15                       | 10                 | 73,3               | 53,3                 | 0,37                                  | BG !                                    | 1,425                                   | 1,897                                   | 3,27                                  |
| <b>Eloxieren, Schwefelsäureverfahren</b> |   |                          |                    |                    |                      |                                       |   |   |   |                                       |
| 141                                      | Schwefelsäure                                 | 16                       | 13                 | 100                | 18,8                 | 0,005                                 | 0,009                                   | 0,0402                                  | 0,0566                                  | 0,091                                 |
| <b>Eloxieren, Oxalsäureverfahren</b>     |   |                          |                    |                    |                      |                                       |   |   |   |                                       |
| 142                                      | Oxalsäure                                     | 1 ****                   | 1 ****             | 100                | 100                  | k. A.                                 |   |   |   | k. A.                                 |

Tabelle 8 zu Kapitel 5.4.3 Nachbehandlung

| Kollektiv-Nr.   | Verfahren (Prozessbehälter)<br>Gefahrstoff | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Werte $\leq$ BM % | Werte $<$ BG * % | Min =-Wert (mg/m <sup>3</sup> ) | 50%-Wert * (mg/m <sup>3</sup> ) | 90%-Wert * (mg/m <sup>3</sup> ) | 95%-Wert * (mg/m <sup>3</sup> ) | Max =-Wert (mg/m <sup>3</sup> ) |
|---|--|------------------|-----------------|-------------------|------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| <b>Chromatieren, gelb, VI-wertig</b>                    |  |                  |                 |                   |                  |                                 |                                 |                                 |                                 |                                 |
| 122   | Chrom(VI)-Verbindungen                     | 12               | 9               | 91,7              | 75               | 0,00067                         | BG !                            | 0,00081                         | 0,00203                         | 0,0038                          |
| 123   | Schwefelsäure                              | 3****            | 3****           | 100               |                  | 0,005                           |                                 |                                 |                                 | 0,03                            |
| <b>Blaupassivieren (Chromatieren, blau, III-wertig)</b> |  |                  |                 |                   |                  |                                 |                                 |                                 |                                 |                                 |
| 137   | Chrom und seine Verbindungen               | 16               | 7               | 100               | 50               | 0,00023                         | 0,0003 +                        | 0,00101 +                       | 0,00214                         | 0,0035                          |
| <b>Phosphatieren</b>                                    |  |                  |                 |                   |                  |                                 |                                 |                                 |                                 |                                 |
| 144   | Orthophosphorsäure                         | 8****            | 8               | 100               | 87,5             | 0,133                           |                                 |                                 |                                 | 0,133                           |

Tabelle 9 zu Kapitel 5.4.4 Messungen im Bereich Tiefdruck

| Kollektiv-Nr.                                    | Hauptprozess<br>Verfahren (Prozessbehälter)<br>Probenahmeart<br>Gefahrstoff | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Werte $\leq$ BM % | Werte $<$ BG * Anzahl | Werte $<$ BG * % | Min =-Wert (mg/m <sup>3</sup> ) | 50%-Wert * (mg/m <sup>3</sup> ) | 90%-Wert * (mg/m <sup>3</sup> ) | 95%-Wert * (mg/m <sup>3</sup> ) | Max =-Wert (mg/m <sup>3</sup> ) |
|--|---|------------------|-----------------|-------------------|-----------------------|------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| <b>Tiefdruck – Hartverchromen; an der Person</b> |   |                  |                 |                   |                       |                  |                                 |                                 |                                 |                                 |                                 |
| 3  | Chrom(VI)-Verbindungen  | 13               | 13              | 100               | 7                     | 53,8             | 0,00018                         | BG !                            | 0,00036                         | 0,00044                         | 0,00054                         |
| <b>Tiefdruck – Hartverchromen; stationär</b>     |   |                  |                 |                   |                       |                  |                                 |                                 |                                 |                                 |                                 |
| 1  | Chrom(VI)-Verbindungen  | 46               | 13              | 97,8              | 3                     | 6,5              | 0,000014                        | 0,00007 +                       | 0,00036                         | 0,00044                         | 0,0021                          |
| 2  | Schwefelsäure   | 53               | 14              | 100               | 39                    | 73,6             | 0,002                           | BG !                            | 0,006                           | 0,007                           | 0,009                           |

Übersicht der Messergebnisse für Chrom(VI)-Verbindungen der Bereiche Tiefdruck, BG ETEM, Messprogramm 9171 der BG ETEM 2012 [17]









**Deutsche Gesetzliche  
Unfallversicherung e.V. (DGUV)**

Glinkastraße 40  
10117 Berlin  
Telefon: 030 13001-0 (Zentrale)  
E-Mail: [info@dguv.de](mailto:info@dguv.de)  
Internet: [www.dguv.de](http://www.dguv.de)