

Quelle: <https://www.arbeitssicherheit.de//document/c0da23f1-befa-3961-804c-7b22645ed706>

Bibliografie	
Titel	Technische Regeln für Gefahrstoffe - Tätigkeiten mit krebserzeugenden Metallen und ihren Verbindungen (TRGS 561)
Amtliche Abkürzung	TRGS 561
Normtyp	Technische Regel
Normgeber	Bund
Gliederungs-Nr.	Keine FN

Abschnitt 5 TRGS 561 - Besondere Schutzmaßnahmen für spezielle Bereiche

5.1

Nichteisenmetall (NE)-Erzeugung und -verarbeitung

(1) Unter den Begriff Nichteisenmetalle (NE-Metalle) fallen alle Metalle und Legierungen, in denen der Reineisenanteil nicht über 50 % liegt. Typische Nichteisenmetalle sind Aluminium, Kupfer, Zink, Blei oder Magnesium, aber auch Beryllium, Cadmium, Chrom, Cobalt und Nickel, Edelmetalle und hochschmelzende (Refraktär-)Metalle. Im weiteren Sinne kann auch das Halbmetall Arsen dazugezählt werden.

(2) Unter Nichteisenmetallherstellung wird die Erzeugung von NE-Metallen aus Primärrohstoffen (Erze und Schlacken aus vorherigen Prozessen) in Primärhütten und aus Vorlegierungen in Sekundärhütten bzw. Schmelzbetrieben und die Metallrückgewinnung aus Recyclingmaterialien (z. B. Altmetallschrott, Akkumulatoren, Elektronikschrott, Galvanikschlämme, Filterstäube, Schlacken usw.) verstanden.

(3) Die Herstellung von Legierungen durch Sintern pulverförmiger Ausgangsmaterialien (z. B. im Bereich der Magnetherstellung) fällt in den Bereich der NE-Metallerzeugung. Das gilt auch für die Hartmetallherstellung, die in einem gesonderten Abschnitt dargestellt wird (Nummer 5.2 dieser TRGS).

(4) In der DGUV Regel "Branche Metallhütten" [27](#) werden weitere über die in dieser TRGS hinausgehende und konkretisierende Schutzmaßnahmen aufgeführt.

5.1.1

Verfahren und Tätigkeiten mit relevanter Exposition

(1) In Deutschland werden Aluminium, Kupfer, Zink, Blei und hochschmelzende Metalle sowohl in Primärhütten aus Erzen gewonnen, wie auch aus sekundären Rohstoffen recycelt. Als Nebenprodukte können u. a. Arsen, Cobalt, Nickel und Cadmium anfallen.

(2) Generell werden Arsen, Beryllium, Chrom, Cobalt, Cadmium und Nickel als Legierungselemente bei der Produktion spezieller Legierungen zur Erzielung bestimmter Eigenschaften zugesetzt. Dabei können die jeweiligen Metallverbindungen z. B. in Rauchen, Stäuben und Krätzen auftreten.

(3) Bei der Produktion und Verarbeitung von Metallpulvern können (beim Herstellen, Sieben, Abfüllen) Stäube auftreten. Diese Stäube bestehen im Normalfall aus den Metallen selbst, die mit einer dünnen Oxidschicht überzogen sein können. Dabei können die krebserzeugenden Metalle in Reinform oder als Legierungsbestandteil vorliegen.

(4) Bei der Herstellung von Aluminium und Edelmetallen ist mit dem Auftreten von krebserzeugenden Metallen in Konzentrationen oberhalb der Akzeptanzkonzentration im Allgemeinen nicht zu rechnen. Das gilt auch für das Recycling von Blei-Batterien und für das Zinkrecycling. In der NE-Metallerzeugung ist generell nicht mit einer Chrom(VI)Exposition oberhalb des Beurteilungsmaßstabes zu rechnen.

- (5) Beim Rösten von Erzen, sowie beim Mahlen und Zerkleinern von Erzen, Schlacken und Krätzen oder Aschen entstehen Stäube und Rauche, die u. a. Arsenverbindungen und Cadmium enthalten können.
- (6) Arsenverbindungen und Cadmium reichern sich in Filterstäuben der Primärproduktion von Kupfer und Zink an.
- (7) Bei der Herstellung von NE-Metallen und bei Verwendung von NE-Metallschrotten können je nach Zusammensetzung Stäube und Rauche entstehen, die krebserzeugende Metalle enthalten können. Diese reichern sich dann auch in den Filterstäuben an.
- (8) In der Laugenreinigung der Zinkelektrolyse wird Arsentrioxid als Reaktand eingesetzt.
- (9) Bei der elektrolytischen Raffination von Kupfer (nasschemisches Verfahren) können u. a. arsen- und nickelhaltige Aerosole aus der Elektrolytlösung freigesetzt werden. Nickelverbindungen werden typischerweise mit dem Elektrolytschlamm ausgetragen.
- (10) Die Abhübe der Blei-Raffination enthalten Arsenverbindungen.
- (11) Bei der schmelzmetallurgischen Raffination von Rohkupfer (Feuerraffination, Pyrometallurgie) treten im Rauchgas Arsenoxide auf. Die Oxide von Cobalt oder Nickel verschlacken.
- (12) Zur Verbesserung der mechanischen Eigenschaften von Aluminium-, Magnesium und einigen Kupfer- sowie Nickellegierungen sowie zur Verminderung der Oxidationsgefahren werden berylliumhaltige Vorlegierungen eingesetzt. Hier können berylliumhaltige Stäube und Rauche auftreten.
- (13) Bei der Produktion hochreiner Metalle für elektronische und opto-elektronische Anwendungen sowie für die Photovoltaik-Industrie kann es kurzzeitig zur Exposition gegenüber krebserzeugenden Metallen, insbesondere Arsenverbindungen und Cadmium, oberhalb der Toleranzkonzentration kommen.
- (14) Bei der trockenen mechanischen Bearbeitung nickel-, cobalt-, chrom- und/oder berylliumhaltiger Legierungen, durch z. B. Sägen, Bohren, Schleifen, Strahlen oder Polieren ist mit einer Exposition gegenüber krebserzeugenden Metallen zu rechnen.
- (15) Bei der nasschemischen Bearbeitung (z. B. Beizen) können die entstehenden Gase bzw. Aerosole krebserzeugende Metalle enthalten.

**5.1.2
Expositionssituation**

- (1) In der MEGA-Datenbank der DGUV liegen nur wenige Datensätze zur Expositionssituation gegenüber krebserzeugenden Metallen in Bereichen der NE-Metallindustrie vor. Diese stammen vorwiegend aus der Analyse der E-Staubfraktion. Eine Umrechnung auf die Expositionssituation in der A-Staubfraktion ist nicht ohne weiteres möglich.
- (2) Tabelle 2 fasst die Expositionssituation in verschiedenen Arbeitsbereichen auf Basis von in den Betrieben und in der MEGA-Datenbank vorliegenden Informationen zusammen. Sofern möglich wurde eine Leitkomponente angegeben (vgl. Nummer 3.2 dieser TRGS).

Tabelle 2:
Expositionssituation in verschiedenen Arbeitsbereichen der NE-Metallherstellung und -verarbeitung

Prozess	Arbeitsbereich	Metalle	Leit-Komponente	Tendenz der Exposition bezogen auf die Leit-Komponente
Cu-Herstellung	Vorstofflager, Mischungsvorbereitung	As, Cd, Ni	As	> TK
	Konzentratschmelzung	As, Cd, Ni	As	> TK
	Konverter	As, Cd, Ni	As	> TK

Prozess	Arbeitsbereich	Metalle	Leit-Komponente	Tendenz der Exposition bezogen auf die Leit-Komponente
	Anodenofen	As, Cd, Ni	As	> AK < TK
	Anodengießen	As, Cd, Ni	As	> AK < TK
	Raffinationselektrolyse	As, Ni	As	> AK < TK
	Elektrolytaufbereitung	As, Ni	Ni	< AK
	Anodenschlammverarbeitung	As, Ni	As	> TK
	Sekundärmaterialverarbeitung	As, Cd, Ni, Be	As, Cd	> TK
Zn-Herstellung				
	Vorstofflager, Mischungsvorbereitung	As, Cd, Ni, Co	Cd	> TK
	Röstung	As, Cd, Ni, Co	Cd	> AK < TK
	Laugerei	As, Cd, Ni, Co	Cd	> AK < TK
	Filtration	Cd	Cd	> AK < TK
	Laugenreinigung	As, Cd, Ni, Co	Cd	> AK < TK
	Kupferkonzentrat-Herstellung	As, Cd, Ni, Co	Cd	> AK < TK
	Ansetzstation Arsenige Säure	As		< AK
	Cadmium-Hydrometallurgie	Cd		> AK < TK
	Cadmium-Raffination	Cd, Ni	Cd	> TK
Pb-Herstellung				
	Vorstofflager, Mischungsvorbereitung	As, Cd	Die auf Grund der Blei-Konzentration erforderlichen Schutzmaßnahmen decken die zusätzlichen Risiken ab, die sich aus den krebserzeugenden Metallen ergeben (vgl. TRGS 505).	
	Schmelzofen	As, Cd		
	Raffination	As		
Al-Herstellung				
	Elektrolyse	Be	Be	< AGW

(3) In der MEGA-Datenbank der DGUV liegen aus den Jahren 2012-2015 nur wenige Datensätze zur Expositionssituation gegenüber krebserzeugenden Metallen in Bereichen der NE-Metallgießereien vor. In der A-Staubfraktion aus Aluminium- und Magnesiumgießereien zeigten sich folgende Tendenzen:

1. Arsenverbindungen: Im Bereich des Aluminium-Kokillenguss kann eine Exposition gegenüber Arsenverbindungen nicht ausgeschlossen werden.
2. Beryllium: Ein Großteil der Messungen war nicht auswertbar, da die Nachweisgrenzen der Messverfahren oberhalb der Arbeitsplatzgrenzwerte lagen. Bei einigen auswertbaren Messungen wurden erhebliche Überschreitungen der Arbeitsplatzgrenzwerte vorgefunden.
3. Chrom VI: Die zur Verfügung stehenden Expositionswerte lagen $< 1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
4. Nickelverbindungen: In den Arbeitsbereichen Putzerei, Maschinenbediener Druckguss, Kranführer, Schmelzer und Gießplatz lagen die Expositionswerte $< 1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

(4) Bei der Herstellung von Technologiemetallen wie Indium, Germanium, Gallium oder Halbleitern wie GaAs, CdTe, etc. wird üblicherweise in geschlossenen Apparaturen (vielfach unter Vakuum oder Schutzgas) gearbeitet. Wegen der hohen Anforderungen an die Reinheit der Produkte ist kaum eine nennenswerte und längerdauernde Exposition zu erwarten. Eine Exposition gegenüber den Metallen oder deren Verbindungen kann beim Besetzen und Entleeren von Öfen oder vergleichbaren Aggregaten, bei mechanischen Bearbeitungsprozessen sowie im Rahmen von Wartungs- oder Reinigungsarbeiten auftreten. Es ist dann geeigneter Atemschutz zu tragen. Dabei ist die Tragedauer auf das erforderliche Minimum zu beschränken.

(5) Bei der Weiterverarbeitung von Legierungen, die krebserzeugende Metalle enthalten, können diese als Stäube oder Rauche in die Luft gelangen. Dabei kann es sein, dass die Zusammensetzung in der Luft nicht der prozentualen Legierungszusammensetzung entspricht. Der Siedepunkt von Cadmium liegt z. B. bei $765 \text{ }^\circ\text{C}$, der Sublimationspunkt von Arsen bei $613 \text{ }^\circ\text{C}$, so dass bei Schmelzprozessen mit einem höheren Anteil dieser Metalle im Schmelzrauch zu rechnen ist.

(6) Bei der Aluminiumelektrolyse ist bei Verwendung berylliumhaltiger Rohstoffe eine Exposition gegenüber Beryllium nicht auszuschließen.

5.1.3

Substitutionsmöglichkeiten

(1) Sofern krebserzeugende Metalle als Verunreinigung bei der Erzeugung vorkommen ist eine Substitution nur sehr begrenzt möglich. Vormaterialien ohne diese Verunreinigungen sind wegen der chemischen Verwandtschaft der Metalle schwer verfügbar.

(2) In Abhängigkeit zu den jeweils erforderlichen Eigenschaften der Werkstoffe ist in der Regel keine Substitution möglich. Im Rahmen der Substitutionsprüfung ist zu untersuchen, ob emissions- und staubarme Anwendungs- und Verarbeitungsverfahren zur Verfügung stehen oder ob Werkstücke ohne Legierungszusätze aus krebserzeugenden Metallen ohne Qualitätsverlust eingesetzt werden können.

5.1.4

Schutzmaßnahmen

(1) Das Hauptaugenmerk bei den Schutzmaßnahmen ist auf die Vermeidung von Rauchen und Stäuben sowie die Vermeidung von Staubablagerungen bzw. das Vermeiden von Aufwirbelungen abgelagerter Stäube zu richten. Hinweise gibt Nummer 4.2 dieser TRGS.

(2) In einigen Bereichen der Kupfer-, Zink- und Bleiherstellung werden die Toleranzkonzentrationen von Arsen oder Cadmium überschritten. Hier ist eine räumliche Schwarz-Weiß-Trennung durch zwei mit einem Waschraum verbundene Umkleideräume einzurichten.

(3) Zerkleinerung durch Brechen und Mahlen von Erzen, Schlacken und Zuschlagsstoffen ist vorrangig in geschlossenen Systemen oder unter Anwendung wirksamer Staubminderungsmaßnahmen durchzuführen.

(4) Offene Röst- und Schmelzöfen sind an anlagenbezogene Absaugungen mit effektiven Absaugleistungen anzuschließen. Randabsaugungen - sofern vorhanden - müssen auch während des Chargierens bei geöffnetem Ofendeckel wirksam sein.

- (5) Chargieröffnungen an Schmelzaggregaten (z. B. Anodenöfen, Induktionsöfen oder Konvertern) sind mit wirksamen Absaugungen zu versehen. Die Notwendigkeit der Verwendung von Atemschutz beim Chargieren oder Abgießen muss berücksichtigt werden.
- (6) Beim Gattieren von NE-Schrott und Zuschlägen in der Gemengehalle von NE-Metallhütten sind Radlader mit Überdruckkabinen mit geeigneten Filtersystemen einzusetzen.
- (7) Anlagen zur Herstellung von Gusslegierungen aus krebserzeugenden Metallen sind mit wirksamen Lüftungs- und Absauganlagen auszurüsten.
- (8) Gießstrecken, Abkühlstrecken und Auspackstationen bei der Herstellung von Gussteilen, bei denen Stäube mit krebserzeugenden Metallen freigesetzt werden können, sind einzuhausen und/oder abzusaugen.
- (9) Anlagen zur Herstellung von Großgussteilen können im Allgemeinen nicht eingehaust werden. In diesen Bereichen sind entsprechend der Expositionssituation organisatorische und hygienische Maßnahmen sowie ggf. geeignete PSA anzuwenden.
- (10) Filterstäube aus Entstaubungsanlagen können krebserzeugende Metalle enthalten. Filterstäube aus Primärhütten sind insbesondere cadmium- und arsenhaltig. Sie sind unter möglichst geringer Staumentwicklung z. B. durch Verwendung geschlossener und/oder abgesaugter Einrichtungen abzufüllen. Zur Minderung der Staubbelastung sind Filterauslässe und Auffangbehälter staubarm miteinander zu verbinden.
- (11) Arsenhaltige Feststoffe dürfen nicht gleichzeitig mit Schwefelsäure und zinkhaltigen Materialien in Kontakt kommen, da die Gefahr der Arsenwasserstoffbildung besteht.
- (12) Bei Staubeinwirkungen durch Mahlen und Zerkleinern von getrockneten Schlämmen, Schlacken, Krätzen und Recyclingmaterialien unterschiedlicher Stückigkeit sowie beim Gussputzen und bei Arbeiten an oder in Filteranlagen sind bevorzugt gebläseunterstützte Atemschutzgeräte und Einmalschutzanzüge einzusetzen.
- (13) Beim Zinkrecycling, z. B. auch aus Stahlwerksstäuben, kann während der Beschickung des Wälzrohrofens ein Sperrluftstrom den Austritt von Prozessgasen und Stäuben verhindern.
- (14) Bei der Herstellung von Magneten aus nickel- und/oder cobalthaltigen Pulvern sind die Schutzmaßnahmen gemäß Nummer 5.2 dieser TRGS entsprechend zu beachten.

5.2

Hartmetallproduktion und -verwendung

- (1) Hartmetallproduktion und -verwendung stellen einen Teilbereich der NE-Metallerzeugung und -verarbeitung dar.
- (2) Hartmetalle sind Verbundwerkstoffe, die u. a. einen Anteil von 3 bis 30 % Cobalt-Metall und/oder von bis zu 15 % Nickel-Metall enthalten können. Die Herstellung von Hartmetallen bzw. Hartmetallwerkzeugen erfolgt durch Erzeugen eines pressfertigen Pulvers, Granulats oder einer Knetmasse, welche durch verschiedene Pressverfahren zu einem halbfesten Grünteil geformt wird. Das Grünteil wird direkt oder nach mechanischer Bearbeitung durch einen Sinter- und/oder Heißpressvorgang in das endfeste Hartmetall überführt. Die Bearbeitung gesinterter Hartmetallwerkzeuge erfolgt dann durch Schleifen, Honen, Läppen oder Polieren, Funkenerodieren oder Laserbearbeitung.
- (3) In der DGUV Information 213-724 "Hartmetallarbeitsplätze - Empfehlungen Gefährdungsermittlung der Unfallversicherungsträger (EGU) nach der GefStoffV" [28](#) sind Expositionsdaten und weitere konkrete Schutzmaßnahmen aufgeführt.

5.2.1

Verfahren und Tätigkeiten mit relevanter Exposition

Eine Exposition gegenüber Cobalt kann während des gesamten Herstellungsprozesses erfolgen. Bei dem Recycling von Hartmetallen kann zudem eine Exposition gegenüber Nickelverbindungen und unter Umständen Chrom erfolgen. Vor dem Sintern liegt eine Exposition gegenüber dem Metallpulver bzw. einem Granulat vor. Nach dem Sintern, bei der Fertigbearbeitung, liegt meistens eine Exposition gegenüber einem Aerosol aus Kühlschmierstoff und Schleifabrieb vor.

5.2.2

Expositionssituation

- (1) Bei der Hartmetallherstellung kann insbesondere bei der Handhabung von Stäuben in offenen Systemen eine erhöhte Cobalt-Exposition auftreten. Besonders hohe Konzentrationen werden beim Einwiegen, beim Pressen, der Grünbearbeitung und beim Trockenschleifen gemessen. Bei den vorgenannten Tätigkeiten ist eine Exposition oberhalb der Toleranzkonzentration wahrscheinlich. Beim Nassschleifen ist die Exposition deutlich geringer und liegt in der Regel unterhalb der Toleranzkonzentration.

In der DGUV Information 213-724 "Hartmetallarbeitsplätze - Empfehlungen Gefährdungsermittlung der Unfallversicherungsträger (EGU) nach der Gefahrstoffverordnung" wurden insgesamt 2.480 Messwerte aus 52 Betrieben ermittelt. Bezogen auf die Branche "Hartmetallherstellung und -verarbeitung" waren es 1.130 und auf die Branche "Schleiferei" 1.350 Messwerte. Die Ergebnisse sind repräsentativ für die Schicht. Das 90. Perzentil lag in fast allen Bereichen deutlich, das 50. Perzentil meist über der Toleranzkonzentration, allerdings wurden nur E-Staub-Messungen durchgeführt.

(2) Bei der Herstellung von Hartmetall wird auch Nickelmetall häufig verwendet. Expositionen gegenüber Nickelverbindungen sind im Allgemeinen nicht zu erwarten. Auf den Arbeitsplatzgrenzwert zu Nickelmetall aus der TRGS 900 "Arbeitsplatzgrenzwerte" wird hingewiesen.

(3) Bei dem Recycling von Hartmetallverbindungen sowie der Herstellung von Hartmetallpulvern aus Erzen kann es neben der Exposition gegenüber Cobalt auch zu Expositionen gegenüber Nickelverbindungen und - unter Umständen - Chrom(VI)-Verbindungen kommen. Diese treten insbesondere bei Hochtemperaturprozessen wie auch der Aufbereitung staubender Materialien auf.

5.2.3

Substitutionsmöglichkeiten

Cobalt ist ein erforderliches Element für die Bindephase bei der Herstellung von Hartmetallen. Deshalb besteht keine Möglichkeit auf die Verwendung zu verzichten. Im Rahmen der Substitutionsprüfung ist zu prüfen, ob Werkstücke ohne Qualitätsverlust mit cobaltfreien bzw. mit Legierungen, die dieses Element in geringeren Anteilen enthalten, hergestellt werden können. Weiterhin ist zu prüfen, ob ein Verfahren mit einer insgesamt geringeren Gefährdung eingesetzt werden kann.

5.2.4

Schutzmaßnahmen

(1) Die wichtigste Maßnahme zur Expositionsreduzierung ist die Verwendung geschlossener Anlagen mit integrierter Absaugung und Filterung. Je nach Fertigungsprozess ist zu prüfen, ob anstelle von Pulvern emissionsärmere Verwendungsformen (Granulate) eingesetzt werden können.

(2) Bei der Bearbeitung von Hartmetallwerkstücken ist nach Möglichkeit mit wassergemischten oder öligen Kühlschmierstoffen "nass" zu schleifen. Bei der Verwendung von wassergemischten Kühlschmierstoffen sind besonders Produkte geeignet, die eine Lösung von Cobalt verhindern, insbesondere spezielle aminfreie Kühlschmierstoffe mit Buntmetallinhibitoren (z. B. Benzotriazol). Diese überführen gelöstes Metall (z. B. Cobalt) in eine Komplexverbindung, die dann abfiltriert werden kann. Die Inhibitoren müssen entsprechend der Herstellerempfehlung regelmäßig nachdosiert werden, da sie sich durch die laufende Metallzugabe verbrauchen. Die Durchführung dieser Arbeitsschritte sollte möglichst in abgesaugten Kabinen stattfinden. Wegen der Aerosolbildung ist darauf zu achten, dass die Kabinen nach dem Bearbeitungsprozess erst nach Absaugung des sichtbaren Nebels geöffnet werden.

(3) Eine trockene Verwendung darf nur in geschlossenen Anlagen oder offen mit hochwirksamer Absaugeinrichtung durchgeführt werden (siehe Nummer 4.2 dieser TRGS). Bei einer offenen Verwendung von cobalthaltigem Hartmetallpulver (z. B. beim Einfüllen/ Einwiegen von Pulver und Granulaten, Trockenschleifen, Trockenbearbeitung) muss persönliche Schutzausrüstung gemäß DGUV Regel 112-190 (vorrangig gebläseunterstützter Atemschutz oder Vollmasken mit Partikelfilter) getragen werden. Bei Reinigungs-, Wartungs- oder Instandhaltungsarbeiten an staubbelasteten Anlagen muss ebenfalls PSA getragen werden. Für Reinigungsarbeiten sind Geräte der Staubklasse H einzusetzen.

(4) Eine helle Farbgebung der Arbeitsplätze ist zu empfehlen. Dadurch werden Verunreinigungen durch Metallpulver schneller bemerkt.

(5) Belastete und nicht belastete Bereiche in Umkleideräumen sind so zu trennen, dass eine Kontamination der Straßenkleidung vermieden wird (Schwarz-Weiß-Prinzip). Separate Umkleideräume - getrennt durch Waschräume - sind anzustreben (vgl. DGUV Information 213-724). Auch vor einer kurzen Pause (Trinken, Rauchen usw.) müssen die Beschäftigten Hände und falls notwendig das Gesicht waschen, die Kleidung absaugen und die Schuhe säubern. Für die Reinigung der Kleidung haben sich spezielle Luftduschen bewährt. Umkleide-, Wasch- und Pausenräume (inkl. Mobiliar) sind feucht zu reinigen. Die Reinigung ist zu kontrollieren und zu dokumentieren.

5.3

Roheisen- und Stahlerzeugung

(1) DIN EN 10020:2000-07 (2.1) definiert Stahl als "Werkstoff, dessen Massenanteil an Eisen größer ist als der jedes anderen Elementes, dessen Kohlenstoffgehalt im Allgemeinen kleiner als 2 % ist und der andere Elemente enthält." Bei den "anderen Elementen" handelt es sich hauptsächlich um Nichteisenmetalle. Die Norm unterscheidet zwischen unlegierten, nichtrostenden und anderen legierten Stählen.

(2) Zur Herstellung von Stahl dienen zwei gängige Verfahren: Die Hochofenroute, in der Roheisen durch Reduktion von Eisenerz erzeugt und anschließend im Sauerstoff-Aufblaskonverter zu Rohstahl weiterverarbeitet wird, sowie das Elektrostahlverfahren, in dem Stahl in der Regel direkt aus Schrott gewonnen wird.

(3) Legierungsmittel werden zur Schmelze im Rahmen der Sekundärmetallurgie hinzugegeben, um eine Feineinstellung der Stahl-Zusammensetzung zu erhalten. Diese Legierungen können in fester Form oder in einem Hohl Draht eingeschlossen vorliegen. Auch eine Pulverinjektion über Lanzen ist möglich. Der Übergang von der Flüssig- zur Festphase im Anschluss daran erfolgt im Strangguss oder Blockgussverfahren.

(4) In der DGUV Regel 109-601 "Branche Erzeugung von Roheisen und Stahl" [29](#) finden sich weitere Anforderungen des betrieblichen Arbeitsschutzes dieser Branche im Hinblick auf tätigkeits-, arbeitsplatz- und verfahrensbezogene Gegebenheiten.

5.3.1

Verfahren und Tätigkeiten mit relevanter Exposition

Für die Belange dieser TRGS ist im Wesentlichen die Herstellung legierter Stähle aufgrund ihres Gehaltes an Chrom, Nickel oder Cobalt von Bedeutung. Bei der Bearbeitung legierter Stähle können Chrom(VI)-, Cobalt- und Nickel-Verbindungen freigesetzt werden.

5.3.2

Expositionssituation

(1) Bei den für die Eisen- und Stahlerzeugung relevanten Einsatzstoffen (Erze, Konzentrate, Legierungselemente oder Schrotte) handelt es sich in der Regel um Schüttgüter. Nach der Anlieferung werden die Einsatzstoffe über mechanische Systeme in ein Zwischenlager verbracht (Bunker oder auf Halde), von dem sie - ebenfalls über mechanische Transporteinrichtungen - zum Einsatzort transportiert werden. Eisenerze werden im Hochofen eingesetzt, Schrotte im Stahlwerk und Legierungselemente in der Sekundärmetallurgie. Diese Prozesse laufen größtenteils automatisiert ab. Mit einer relevanten Exposition gegenüber krebserzeugenden Metallen ist wegen des geringen Anteils in den Ausgangsstoffen hier im Normalbetrieb nicht zu rechnen.

(2) Legierungszusätze können in Form von Pellets, Briketts, Barren, Drähten oder in unregelmäßiger, fester Form vorliegen. Es handelt sich um reine Metalle oder um Ferrolegierungen. Einzelne Legierungselemente können ebenfalls im Inneren von Hohl Drähten oder in verpackter Form vorliegen. Sie können auch in Form hochlegierter Schrotte der Schmelze zugefügt werden. Beim Umschlagen von Legierungselementen oder Schrotten kann es, abhängig vom Staubungsverhalten der Stoffe, zu Staubbildung kommen. Bei der Rohstahlherstellung ist im Allgemeinen mit nur geringen Belastungen durch krebserzeugende Metalle zu rechnen. Üblich sind sowohl Primär- als auch Sekundärabsaugung. Die Öfen sind üblicherweise eingehaust.

(3) Höhere Expositionen sind im Bereich von Draht- und Stabstahlwalzwerken möglich. Grund dafür ist die technologisch unvermeidbare Entstehung von Zundern und Walzstäuben. Beim Walzen nichtrostender und anderen legierter Stähle ist lokal eine Exposition im Bereich hohen Risikos möglich, insbesondere gegenüber Cobalt und ggf. Nickelverbindungen.

(4) Die Herstellung nichtrostender und legierter Stähle erfolgt üblicherweise über den Prozess der Elektrostahlerzeugung. Hier ist mit einer Exposition gegenüber Chrom(VI)Verbindungen zu rechnen. Durch Verunreinigungen der Einsatzstoffe ist auch eine Exposition gegenüber Cobalt nicht auszuschließen.

(5) Bei der Herstellung von Sonderstählen (z. B. hochwarmfest, korrosionsbeständig für den Anlagenbau, Offshore-Anwendungen, Turbinen usw.) ist insbesondere im Bereich der hochnickelhaltigen Legierungen mit relevanter Exposition gegenüber Nickelverbindungen zu rechnen.

5.3.3

Substitutionsmöglichkeiten

In Abhängigkeit zu den jeweils erforderlichen Eigenschaften der Werkstoffe ist in der Regel keine Substitution möglich. Im Rahmen der Substitutionsprüfung ist zu untersuchen, ob emissions- und staubarme Anwendungs- und Verarbeitungsverfahren zur Verfügung stehen.

5.3.4

Schutzmaßnahmen

(1) Beim Chargieren chrom-, nickel- oder cobalthaltiger und sonstiger Legierungszusätze ist der Einsatz in stückiger Form z. B. Briketts oder in verpackter Form zu bevorzugen.

(2) Schleifanlagen sollten durch Nassschleifen betrieben werden.

(3) Durch kurze Einsatzzeiten in unmittelbarer Nähe von Strahlanlagen oder Flammenanlagen kann die mögliche Exposition

gegenüber krebserzeugenden Metallen reduziert werden.

(4) Durch kurze Einsatzzeiten in unmittelbarer Nähe von Warmwalzgerüsten oder beim Gießen kann die mögliche Exposition gegenüber krebserzeugenden Metallen reduziert werden.

(5) Im Bereich von Draht- und Stabstahlwalzwerken, bei der Elektrostahlerzeugung und bei der Herstellung von Sonderstählen ist eine Exposition insbesondere gegenüber Cobalt und Nickelverbindungen oberhalb der Toleranzkonzentrationen möglich. Saubere Arbeitskleidung und PSA ist daher getrennt von benutzter Arbeitskleidung und benutzter PSA aufzubewahren (Schwarz-Weiß-Bereich). Für Arbeitsplätze mit absehbar dauerhafter Überschreitung von Toleranzkonzentration, Arbeitsplatzgrenzwert oder Beurteilungsmaßstab ist eine räumliche Schwarz-Weiß-Trennung, beispielsweise durch zwei mit einem Waschraum verbundene Umkleideräume oder geeignete Schleusensysteme einzurichten.

5.4

Galvanotechnische und chemische Oberflächenbehandlung

(1) Hierunter werden das galvanische (elektrochemische) und das außenstromlose (chemische) Behandeln von Oberflächen im Tauchverfahren verstanden.

(2) Die Empfehlung zur Gefährdungsermittlung (EGU) "Galvanotechnik und Eloxieren" (DGUV Information 213-716, IFA-Report 3/2013) [30](#) enthält Expositionsdaten. In der DGUV Regel "Branche Galvanik" werden weitere konkrete Schutzmaßnahmen insbesondere hinsichtlich der Verwendung geeigneter PSA aufgeführt.

5.4.1

Verfahren und Tätigkeiten mit relevanter Exposition

(1) Verfahren mit möglicher Exposition gegenüber Chrom(VI)-Verbindungen sind insbesondere das Hartverchromen, das Glanz- und Schwarzverchromen sowie das Chromatieren und das Beizen mit Chromsäure.

(2) Exposition gegenüber Nickelverbindungen ist beim chemischen und galvanischen Vernickeln gegeben.

(3) Cobaltexposition ist bei der Blaupassivierung nach dem Verzinken nicht auszuschließen. Zugegeben werden dabei Chrom(III)-Verbindungen (Chromsulfat) und Cobaltsulfat.

(4) Die Exposition der Beschäftigten wird im Wesentlichen beeinflusst von der Wasserstoffentwicklung, der Konzentration der Einsatzstoffe im Prozessbehälter, der Anlagentechnik einschließlich dem Einsatz von Netzmitteln, den Verfahrensparametern, den lufttechnischen Verhältnissen und der Expositionszeit.

(5) Bei den Verfahren in Lohngalvaniken werden händisch bediente, mit einem Hebezeug, Kran oder Beschickungsgerät bediente oder automatische Gestell- und Trommelanlagen eingesetzt. Die Prozessbehälter werden überwiegend offen betrieben und sind mit einer Randabsaugung ausgestattet. Zudem sind einige Chromelektrolyte mit einer emissionsmindernden Schaumabdeckung (Netzmittel) versehen. In einigen Bereichen werden eingehauste und abgesaugte Anlagen sowie Lüftungskabinen am Beschickungswagen eingesetzt.

5.4.2

Expositionssituation

(1) Beim Hartverchromen sind die Beschäftigten Chrom(VI)Konzentrationen bis zu etwa $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (95 %-Wert) ausgesetzt.

(2) Niedrigere Chrom(VI)-Konzentrationen wurden im Allgemeinen beim Glanz- und Schwarzverchromen ($< 2,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$; 95 %-Wert) sowie beim Chromatieren ($6,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$; 95 %-Wert) gemessen.

(3) Beim chemischen Vernickeln sind die Beschäftigten Konzentrationen gegenüber Nickelverbindungen bis zu $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (95 %-Wert, E-Fraktion) und beim galvanischen Vernickeln bis zu $31 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (95 %-Wert, E-Fraktion) ausgesetzt.

(4) Die Cobaltexposition liegt beim Blaupassivieren bei $< 1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Für diese Verfahren liegt eine Expositionsbeschreibung "Verzinken in galvanotechnischen Betrieben" [31](#) der BG ETEM vor.

5.4.3

Substitutionsmöglichkeiten

(1) Die Substitutionsmöglichkeiten gestalten sich für die jeweiligen Verfahren sehr unterschiedlich. Es ist zu prüfen, ob Chrom(VI)-freie Verfahren für den Anwendungsbereich zur Verfügung stehen.

(2) Für das Glanzverchromen sowie für das Chromatieren bzw. Passivieren stehen für spezifische Anwendungen Elektrolyte mit

Chrom(III)-Verbindungen zur Verfügung. Diese sind anzuwenden, sofern technisch möglich und von den Produkthanforderungen zulässig.

(3) Können keine Chrom(VI)-freien Elektrolyte angewendet werden, ist zu prüfen, ob Möglichkeiten zur Emissionsminderung bestehen. Die Verwendung wirksamer Netzmittel bzw. Schaumabdeckungen führt z. B. zu einer Reduzierung der Chrom(VI)-Konzentration in der Luft beim Hart-, Glanz- oder Schwarzverchromen.

5.4.4 Schutzmaßnahmen

(1) Bei Umsetzung aller in der nachfolgenden Tabelle 3 aufgeführten technischen Schutzmaßnahmen kann der Arbeitgeber davon ausgehen, dass der Beurteilungsmaßstab für Chrom(VI)-Verbindungen sowie die Akzeptanzkonzentrationen für Nickel- und Cobaltverbindungen bei den aufgeführten Verfahren eingehalten werden.

(2) Die mit X gekennzeichneten Schutzmaßnahmen sind immer anzuwenden; sie entsprechen den branchenüblichen Verfahren und Betriebsweisen.

(3) Die mit Q gekennzeichneten Maßnahmen stellen über X hinausgehende, zusätzliche Schutzmaßnahmen nach dem Stand der Technik dar. Sie sind einzeln oder in Kombination zusätzlich zu den mit X gekennzeichneten Maßnahmen anzuwenden, bis der jeweilige Beurteilungsmaßstab unterschritten wird. Die Wirksamkeit der zusätzlichen Schutzmaßnahmen ist im Einzelfall durch Expositionsermittlung nachzuweisen. Damit wird das gemäß TRGS 910 geforderte Ergreifen technischer Maßnahmen nach dem Stand der Technik erfüllt. Für Neuanlagen enthält die TRGS 460 "Handlungsempfehlung zur Ermittlung des Standes der Technik" ein Praxisbeispiel zum Stand der Technik für das Hartverchromungs-Verfahren.

Tabelle 3: Technische Maßnahmen zur Minderung der inhalativen Exposition zur Erreichung der Beurteilungsmaßstäbe für Chrom(VI)-Verbindungen sowie für Nickel- und Cobaltverbindungen

Verfahren	Emissionsmindernde Maßnahmen z. B. Einsatz von Netzmitteln (Schaumabdeckung)	Geschlossene Anlage mit Absaugung	Randabsaugung am Prozessbehälter	Lüftungskabine am Beschickungswagen	Abdeckung der Prozessbehälter	Rau
Hartverchromen Serienteile (z. B. Tiefdruck)		X				
Hartverchromen wechselnde Teile (z. B. Lohngalvanik)	X		X	Q	Q	
Glanz- und Schwarzverchromen	X		X	Q	Q	
Chromatieren	X		X			
Vernickeln chemisch			X	Q	Q	
Vernickeln galvanisch			X	Q	Q	
Blaupassivierung			X			

X =	Branchenübliche Verfahren und Betriebsweisen
--------	--

Q zusätzliche Maßnahmen nach dem Stand der Technik, wenn der Beurteilungsmaßstab nicht eingehalten wird (siehe auch DGUV Regel "Branche Galvanik" nach Nummer 5.3 Absatz 2)

(4) Werden die Verfahren in geschlossenen Anlagen mit einer mechanischen Prozessbehälterabdeckung und Absaugung mit raumlufttechnischer Anlagen oder in einer quasi-geschlossenen Anlage (Prozessbehälter mit mechanischer Prozessbehälterabdeckung und abgesaugtem Transportwagen) durchgeführt, kann davon ausgegangen werden, dass der Beurteilungsmaßstab für Chrom(VI)-Verbindungen und die Akzeptanzkonzentrationen für Nickelverbindungen sowie für Cobalt- und Cobaltverbindungen unterschritten wird. Die Wirksamkeit der raumlufttechnischen Anlage muss hierbei sichergestellt sein.

(5) Sofern während der Umsetzung der unter Absatz 2 und 3 beschriebenen Maßnahmen eine Gefährdung nicht verhütet werden kann, ist diese durch Anwendung geeigneter organisatorischer Maßnahmen, gefolgt von individuellen Schutzmaßnahmen, die auch die Anwendung persönlicher Schutzausrüstung umfassen, auf ein Minimum zu verringern. Dies kann während der dreijährigen Frist zur Umsetzung des Maßnahmenplans (vgl. Nummer 3.1 Absatz 6 dieser TRGS) vor allem beim Hartverchromen wechselnder Teile der Fall sein.

5.5

Herstellung, Verwendung und Weiterbearbeitung chromathaltiger Beschichtungsstoffe

(1) Die Erstellung Herstellung von Chrom(VI)-Verbindungen findet in Deutschland nicht mehr in nennenswertem Maßstab statt.

(2) Sechswertige Alkali-Dichromate, insbesondere Natriumdichromat, werden noch bei der Herstellung von Chrom(III)oxid-Pigmenten verwendet. Die Konzentration von Chrom(VI)-Verbindungen liegt hier typischerweise unterhalb des Beurteilungsmaßstabes.

(3) In der Luft- und Raumfahrt, in der Wehrtechnik sowie in kerntechnischen Anlagen werden Bauteile gefertigt, bei denen der Einsatz chromathaltiger Beschichtungsstoffe erforderlich ist. Auf den Bereich Luft- und Raumfahrt konzentrieren sich die folgenden Angaben.

5.5.1

Verfahren und Tätigkeiten mit relevanter Exposition

(1) Der primäre Korrosionsschutz eines metallenen Flugzeugs besteht unter anderem aus chromhaltiger Farbe/Primer. Daher ist mit relevanten Expositionen oberhalb des Beurteilungsmaßstabes zu rechnen, insbesondere bei:

1. Spritzlackierung von Flugzeugen, Großbauteilen, Komponenten mit chromathaltigen Grundierungen,
2. Ausbesserungslackierarbeiten mit Chromatierlösungen, kleinflächigem Farbauftrag oder Korrosionsschutz (mit Stift, Pinseln, Tupfen, Rollen, Touch-up, etc.),
3. mechanischem Bearbeiten (manuelles Bohren, Reiben, Senken, Fräsen, Schleifen, Bohren, Strahlen, Anrauen der Oberfläche etc.) von o.g. chromat-, nickel- bzw. cadmiumhaltig beschichteten Werkstücken.

5.5.2

Expositionssituation

(1) Die Arbeiten werden durchgeführt

1. in Lackier- und Strahlhallen,
2. in Lackierkabinen,
3. in geringem Umfang direkt im oder am Flugzeug.

(2) Bei der Spritzlackierung werden Beschichtungsstoffe mit druckluftgetriebenen Spritzpistolen unterschiedlicher Bauart (Becher-Pistolen, Airless-Systeme, elektrostatisches Spritzen) von Hand auf die Bauteile gesprüht. Hierbei treten um den Sprühkegel herum Sprühnebel (sogenanntes Over-spray) auf, die deutlich mehr als 10 % der Verarbeitungsmenge ausmachen können. Chromathaltige Primer enthalten 5-10 % chromathaltiges Pigment. Die Belastung der Luft in unmittelbarer Nähe des Spühkegels liegt oberhalb des Beurteilungsmaßstabes für Chrom(VI)-Verbindungen.

(3) Bei großflächigem, mechanischem Anrauen/Schleifen der Oberflächen ist die Stauberfassung unvollständig. Es können Luftbelastungen bis zu $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ auftreten. Eine Stunde nach Ende des Schleifvorganges werden typischerweise keine Chrom(VI)-Verbindungen mehr in der Hallenluft nachgewiesen.

(4) Bei manuellem Bohren/Reiben/Senken werden die Arbeiten weitestgehend mit integrierten Absaugungen durchgeführt. Die Stauberfassung ist unvollständig und es muss im unmittelbaren Umfeld mit kurzfristigen Luftbelastungen in der Größenordnung von $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gerechnet werden. Außerhalb des direkten Umfeldes/Arbeitsplatzes sind keine Chromate nachweisbar.

(5) Bei kleinflächigen Ausbesserungsarbeiten ist die luftgetragene Belastung durch Chromate unwahrscheinlich, der Hautkontakt ist im Einzelfall zu prüfen.

5.5.3

Substitutionsmöglichkeiten

In der Luftfahrt gelten sehr hohe Anforderungen an die Materialeigenschaften, vor allem an den Korrosionsschutz. Es wurde bisher kein geeigneter Ersatz für die chromathaltigen Beschichtungen gefunden, der alle Anforderungen erfüllt und den vorgegebenen Tests standhält. Auch wenn die Substitution der krebserzeugenden Metalle in Neuprodukten gelingt, ist das mechanische Bearbeiten chromathaltiger Beschichtungsstoffe im Rahmen von Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten älterer Luftfahrzeuge bei einer Lebensdauer von > 50 Jahren in den kommenden Jahrzehnten unumgänglich.

5.5.4

Schutzmaßnahmen

(1) Spritzlackierung und großflächiges Schleifen muss in entsprechend abgetrennten und ausgestatteten Bereichen mit kontrollierter Absaugung und Raumlufttechnik stattfinden.

(2) Es ist die erforderliche PSA, insbesondere Schutzkleidung (Schutzanzug), Atemschutz und Schutzhandschuhe zu tragen. Bis eine Stunde nach Ende des Lackier-/Schleifvorgangs ist in der gesamten Halle weiterhin Atemschutz zu tragen.

(3) Bauteile und Arbeitsbereiche sind feucht zu reinigen, um chromathaltige Stäube zu binden.

(4) Bei manuellem Bohren/Reiben/Senken ist geeignete Absaugung zu nutzen und zu prüfen, ob weitere technische, organisatorische und persönliche Schutzmaßnahmen erforderlich sind.

5.6

Batterieherstellung

(1) Batterien sind elektrochemische Speicher für elektrische Energie. Dabei wird unterschieden zwischen nicht-wiederaufladbaren Primärbatterien und wiederaufladbaren Sekundärbatterien (Akkumulatoren).

(2) In der DGUV Information 203-082 "Herstellung von Batterien - Handlungshilfe für Tätigkeiten mit krebserzeugenden Metallen und ihren Verbindungen" [32](#) werden Expositionsdaten und weitere konkretisierende Schutzmaßnahmen aufgeführt.

5.6.1

Verfahren und Tätigkeiten mit relevanter Exposition

(1) Bei der Herstellung von Nickel-Cadmium-Akkumulatoren, Nickel-Metallhydrid-Akkumulatoren sowie Lithium-Akkumulatoren werden Tätigkeiten durchgeführt, bei denen Beschäftigte gegenüber den krebserzeugenden Metallen Cadmium, Cobalt und/oder Nickelverbindungen exponiert sein können.

(2) Die Verfahren zur Herstellung von Batterien und Akkumulatoren können im Allgemeinen wie folgt beschrieben werden:

1. Fertigung der energiespeichernden Elektroden positiver und negativer Polarität. Dabei werden Feststoffe gepresst oder als Paste verarbeitet,
2. Ggf. Zusammenbau der Elektroden mit Separatoren zu Elektrodenpaketen,

3. Fertigung von Zellen- und Batteriegefäßen,
4. Einlegen der Elektroden oder Elektrodenpakete in die Gefäße,
5. Bereitstellung bzw. Einfüllung von Elektrolytflüssigkeiten,
6. Verschließen der Batteriegehäuse,
7. Formation (Erstladung) und elektrische Inbetriebnahme bei Akkumulatoren.

(3) In der Fertigung von Batterien und Akkumulatoren werden auch vernickelte, nickelhaltige und cobaltbeschichtete Stähle eingesetzt.

(4) Neben den batteriespezifischen o. a. Prozessen können galvanische Prozesse Anwendung finden (siehe auch Nummer 5.4 dieser TRGS). Die Formation ist nicht als galvanischer Prozess zu werten.

5.6.2

Expositionssituation

(1) Die Fertigungsverfahren können in der betrieblichen Praxis nicht durchgängig als abgesaugte oder geschlossene Systeme ausgeführt werden.

(2) Bei den Fertigungsverfahren, die aus produktionstechnischen Gründen als offene Systeme ausgelegt sind, treten Expositionen gegenüber Cadmium-, Cobalt- und Nickelverbindungen oberhalb der Toleranzkonzentrationen auf. Dies trifft insbesondere für die Verarbeitung pulverförmiger Materialien und die Weiterverarbeitung von Elektroden und Plattensätzen zu.

(3) Werden bei den Fertigungsverfahren vollständig abgedeckte Systeme (mit Absaugung) verwendet, kann der Arbeitgeber davon ausgehen, dass die Toleranzkonzentrationen für Cadmium, Cobalt und Nickelverbindungen unterschritten werden.

5.6.3

Substitutionsmöglichkeiten

(1) Die eingesetzten Metalle sind das bestimmende, elektrochemische Element des jeweiligen Batteriesystems. Bei den aufgeführten Batteriesystemen besteht keine Möglichkeit auf die Verwendung der krebserzeugenden Metalle zu verzichten.

(2) Im Rahmen der Substitutionsprüfung ist zu prüfen, ob ein Verfahren mit einer insgesamt geringeren Gefährdung eingesetzt werden kann. Hierzu gehört, ob anstelle von Pulver emissionsärmere Verwendungsformen (Pasten, Gele) einsetzbar sind.

5.6.4

Schutzmaßnahmen

(1) In Bereichen mit mittlerem oder hohem Risiko ist eine räumliche Schwarz-Weiß-Trennung durch zwei mit einem Waschraum verbundenen Umkleieräume oder durch ein mit dem Arbeitsbereich verbundenen Schleusensystem zum An- und Ablegen der Arbeits- und Schutzkleidung erforderlich.

(2) Bei Kleinchargen ist eine entsprechende Vormischung oder Konfektionierung der Pulver mit dem Lieferanten anzustreben, um die Anzahl der Mischvorgänge zu reduzieren.

(3) Bei Großchargen ist der Abfüllvorgang als geschlossenes System auszuführen. Ist dies nicht möglich, sind Absaugeinrichtungen nach dem Stand der Technik zu verwenden. Aus prozesstechnischen Gründen ist die Erhöhung des Absaugvolumens begrenzt (Verwirbelung sowie Gefahr der Brandentstehung bei Wasserstoff-Speicherlegierungen).

(4) Für außergewöhnliche Verunreinigungen in Arbeitsbereichen (z. B. bei unkontrolliertem Austreten von Stäuben oder Pasten) ist eine geeignete mobile Absauganlage im Produktionsbereich vorzuhalten.

(5) In Bereichen, in denen die Toleranzkonzentrationen trotz Anwendung technischer sowie organisatorischer Maßnahmen nicht eingehalten werden können, sind persönliche Schutzausrüstungen (partikelfiltrierende Atemschutzmaske, gebläseunterstütztes

Atemschutzsystem) einzusetzen.

(6) Aufgrund der Expositionsmöglichkeit gegenüber mehreren Metallen wird generell empfohlen, die Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen durch ein regelmäßiges Biomonitoring im Rahmen der arbeitsmedizinischen Vorsorge zu überprüfen (siehe auch Nummer 6 dieser TRGS).

5.7

Recycling von Elektronikschrott, PVC-Profilen, Batterien und Solarmodulen

5.7.1

Verfahren und Tätigkeiten mit relevanter Exposition

(1) Beim Erfassen und Sortieren massiver, metallischer Schrotte ist nicht von relevanter Exposition gegenüber krebserzeugenden Metallen auszugehen.

(2) Beim Recycling von Elektronikschrott (Reinigungs- und Zerlegearbeitsplätze), in dem krebserzeugende Metalle enthalten sind, besteht Expositionsgefahr gegenüber krebserzeugenden Metallen und Stäuben, die bei der Demontage freigesetzt werden können. Beryllium findet u. a. als Legierungsbestandteil (z. B. in Kollektoren und mechanischen Bauteilen) Verwendung. Cadmium befindet sich in Akkumulatoren, Weichloten, Platinen und in Form von Cadmiumsulfid in der Leuchtschicht, die auf der Innenseite des Frontglases von Bildröhren aufgebracht ist. Cobalt kann in Farbstoffen und Lackierungen vorkommen. Nickel (nicht Nickelverbindungen) kommt u. a. in Leiterplatten, Thermoelementen, Akkumulatoren und in den Lochmasken von Bildröhren vor.

(3) Cobalt und Nickelverbindungen können aus Batterien im Elektronikschrott in automatisierten Anlagen freigesetzt werden, wenn diese nicht im Vorfeld entnommen werden. Die Konzentration im Elektronikschrott ist zurzeit noch sehr gering, kann aber ggf. zukünftig steigen.

(4) Kunststoffprofile aus Hart-PVC können Cadmiumstabilisatoren enthalten, die beim Recycling zu relevanter Exposition führen.

(5) Gerätebatterien, die mehr als 0,002 Gewichtsprozent Cadmium enthalten, dürfen in der EU nicht in Verkehr gebracht werden (national durch das Batteriegesetz geregelt). Dieser Batterietyp wird nur noch mit Sondergenehmigung in Nischenanwendungen (medizinische Ausrüstung, Notbeleuchtung) eingesetzt. Dennoch befinden sich noch Nickel-Cadmium-Batterien im Rücklauf (5,7 % der im Jahre 2014 eingesammelten Batterien in Deutschland). In der Regel wird das Cadmium im Vakuum oder in einer inerten Atmosphäre (reaktionshemmende Umgebung) durch Destillation zurückgewonnen, da es einen deutlich niedrigeren Siedepunkt als die anderen Bestandteile wie Eisen und Nickel hat. Das Cadmium kann bei der Herstellung neuer NiCd-Batterien (1 % der in Verkehr gebrachten Batterien, in der EU ab dem 1. Januar 2017 nicht mehr erlaubt) wiederverwendet werden.

(6) Das Recycling von Solarmodulen ist nach der Richtlinie über Elektro- und Elektronik-Altgeräten (WEEE-Richtlinie 2012/19/EU) vorgeschrieben. Mit einer Exposition gegenüber Cadmium und Arsenverbindungen ist insbesondere bei Nicht-siliziumbasierten Photovoltaik-Modulen zu rechnen. Die Mindestanforderungen an das Recycling von Solarmodulen werden in Europäischen Normen geregelt [33](#).

5.7.2

Expositionssituation

(1) Beim Elektronikschrottreycling kann die Höhe der Exposition von verschiedenen Parametern beeinflusst werden (u. a. Alter und Verschmutzungsgrad der Geräte, Gerätedurchsatz am Arbeitsplatz, Art und Gestaltung der Schutztechnik, individuelle Arbeitsweise). Bei Beachtung der in der BGIA-Empfehlung "Manuelle Zerlegung von Bildschirm- und anderen Elektrogeräten" [34](#) aus dem Jahr 2001 beschriebenen technischen, organisatorischen, hygienischen und persönlichen Schutzmaßnahmen ist ein relevanter Beitrag zur Exposition nur von Cadmium zu erwarten. Die gemessenen Werte liegen zum Teil über der Toleranzkonzentration [35](#), insbesondere wenn der zu demontierende Elektronikschrott nicht in geschlossenen Reinigungskabinen vorgereinigt wird.

(2) Beim Absaugen der Leuchtschicht von Bildröhren wurde wiederholt eine sehr hohe Exposition gegenüber Cadmium (bis $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$) beobachtet.

(3) Beim Recycling von PVC-Profilen lagen die in den Jahren 1996 bis 2003 gemessenen Schichtmittelwerte für Cadmium [36](#) bei $0,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und ergeben somit eine Überschreitung der Akzeptanzkonzentration. Diese erhöhten Werte sind insbesondere auf das Mischen ohne wirksame Absaugung zurückzuführen. Bei Einhaltung der in der Handlungsanleitung aufgeführten Arbeitsweisen und Schutzmaßnahmen ist eine höhere Konzentration nicht zu erwarten.

(4) Beim Batterierecycling besteht ein Expositionsrisiko in allen mechanischen Behandlungsschritten, die ein Beschädigen bzw. Öffnen der Zellen zur Folge haben. Hier sind insbesondere halb- oder vollautomatisierte WEEE-Anlagen zu nennen, die z. B. durch Brecher oder Shredder einen Aufschluss der mit Batterien versehenen elektrischen Geräte erzwingen. Cadmium bzw. $\text{Cd}(\text{OH})_2$

kann dann als Feinstaub ausgetragen und verschleppt werden. Während einer gezielten, destillativen Extraktion von Cadmium aus Batterien ist mit Freisetzungen nur dann zu rechnen, wenn die verwendete Anlagentechnik keine hermetische Trennung zwischen Destillationsraum und Arbeitsraum der Mitarbeiter gewährleistet. Eine Exposition ist zudem bei Chargierungs- und Dechargierungsvorgängen möglich.

(5) Expositionsdaten zum Recycling von Solarzellen sind noch nicht verfügbar. Geht man von einer Größe eines Panels von 1 m² aus, kann je nach Bauart und Technik des Panels jedoch eine nicht zu vernachlässigende Menge Cadmiumtellurid und/oder Cadmiumsulfid enthalten sein. Bei Panels, deren Halbleiterschicht aus Cadmiumtellurid aufgebaut ist, kann der stöchiometrische, im Halbleiter gebundene Cadmiumanteil bis zu 9 g betragen, bei anderen Dünnschicht-Techniken liegt die Menge an Cadmium aus Cadmiumsulfid im Bereich bis zu 1 g. Die Mengen an verbautem Cadmiumtellurid und/oder Cadmiumsulfid können damit theoretisch durchaus eine Expositionsquelle darstellen. Beide Substanzen werden bei heutigen Aufarbeitungsmethoden nicht im mechanischen Aufschluss freigesetzt, sondern erst im nasschemischen, gekapselten Recycling-Prozess in Lösung gebracht. In diesem Schritt ist das Entstehen von krebserzeugenden Cadmium-Verbindungen nicht auszuschließen.

5.7.3

Substitutionsmöglichkeiten

Die Prüfung auf stoffliche Substitutionsmöglichkeiten ist beim Recycling nicht möglich. Darüber hinaus ist bei den in dieser TRGS beschriebenen Bereichen das Recycling vielfach gesetzlich vorgeschrieben (u. a. bei Solarzellen aufgrund der WEEE (2002/96/EG) oder der Batterie-RL (2006/66/EG)).

5.7.4

Schutzmaßnahmen

(1) Beim Elektronikschrottreycling ist bei der Demontage Staubaufwirbelung zu vermeiden, z. B. durch geeignete Wahl des Zerlegewerkzeuges. Bei der Arbeitsplatzreinigung sind staubarme Verfahren anzuwenden und die Reinigung ist ohne staubbindende Maßnahmen nicht zulässig. Beschäftigte müssen für die Demontage qualifiziert werden, so dass sie bei der Demontage diejenigen Bauteile erkennen, die Gefahrstoffe enthalten. Die Demontage von Bildröhrengeräten erfolgt in geschlossenen Reinigungskabinen.

(2) Für das Kunststoffrecycling und die dabei potentiell austretenden Gefahrstoffe (insbesondere Cadmium) wurde ein verfahrens- und stoffspezifische Kriterium (VSK) definiert, bei dessen Anwendung die Exposition minimiert und der Umgang als sicher angesehen werden kann. [37\)](#)

(3) Beim Batterierecycling ist bei Chargierungs- und Dechargierungsvorgängen geeigneter Atemschutz zu tragen (mindestens Klasse P 2).

(4) Die möglichen Belastungen, die beim Recycling von Solarmodulen entstehen können, sind aktuell nicht belastbar abzuschätzen. Generell empfiehlt sich daher eine Orientierung an den Maßnahmen der oben genannten VS. zum Kunststoffrecycling bzw. der BGIA-Empfehlung zur manuellen Zerlegung von Bildschirm- und anderen Elektrogeräten (siehe Nummer 5.7.2 Absatz 1 dieser TRGS).

5.8

Herstellung und Verwendung von Katalysatoren und Pigmenten

(1) Die Herstellung von Katalysatoren umfasst die Herstellung chemischer Katalysatoren auch auf Basis krebserzeugender Metalle und deren Verbindungen insbesondere der Elemente Nickel und Cobalt.

(2) Angewendet werden die chemischen Katalysatoren in reiner Form und als Metalloxide auf Trägern. Diese werden über Dosieranlagen zu den Reaktoren dosiert oder die Reaktoren werden vor Inbetriebnahmen mit den Katalysatoren befüllt.

(3) Es bestehen zurzeit keine Empfehlungen im Rahmen einer DGUV Information.

5.8.1

Verfahren und Tätigkeiten mit relevanter Exposition

(1) Bei der Herstellung und Verwendung von Katalysatoren werden Tätigkeiten durchgeführt, bei denen Beschäftigte gegenüber krebserzeugenden Metallen exponiert sein können.

(2) Die Verfahren zur Herstellung von Katalysatoren können im Allgemeinen wie folgt beschrieben werden:

1. Herstellung von Metalllösungen aus krebserzeugenden Metallen,

2. Herstellung von Metallsalzsuspensionen aus Metalllösungen,
3. Trocknung und ggf. Formgebung der Metallsalze,
4. Kalzinierung der Metallsalze zu Metalloxiden,
5. Reduktion der Metallsalze zu krebserzeugenden Metallen,
6. Stabilisierung und ggf. Formgebung der Metallkatalysatoren und/oder deren Oxiden.

(3) Bei der Verwendung für die Katalysatordosierung in Reaktionsgemischen bzw. als Festbett- oder anderer Reaktoren sind die wesentlichen Verfahren der Einbringungsprozess der Katalysatoren in die Reaktoren sowie nach Ablauf der Lebensdauer (Verlust einer hinreichenden Aktivität der Katalysatoren) der Ausbau und Passivierung der Katalysatoren.

5.8.2

Expositionssituation

(1) Bei den Fertigungsverfahren, die aus produktionstechnischen Gründen als offene bzw. nicht vollständig geschlossene Systeme ausgelegt sind, tritt eine Exposition gegenüber krebserzeugenden Metallen oberhalb der Toleranzkonzentrationen auf. Dies trifft für die Trocknung der Metallsuspensionen, aber insbesondere für die Formgebung bzw. Weiterverarbeitung von pulverförmigen Materialien und die Weiterverarbeitung von geformten Katalysatoren zu. Weiterhin können Befüll- und/oder Abfüllvorgänge eine Exposition oberhalb der Toleranzkonzentrationen für krebserzeugende Metalle sowie deren Verbindungen verursachen.

(2) Bei der Vorbereitung der Verwendung und der Verwendung der Katalysatoren können wiederum Befüllvorgänge und Prozesse des Ausbaus und der Passivierung der Katalysatoren eine Exposition gegenüber krebserzeugenden Metallen oberhalb der Toleranzkonzentrationen verursachen.

5.8.3

Substitutionsmöglichkeiten

(1) Die eingesetzten Metalle sind für die jeweiligen chemischen Reaktionen die chemisch einzigen verwendbaren Reaktionskatalysatoren. Bei den Reaktionssystemen besteht keine Möglichkeit, auf die Verwendung dieser krebserzeugenden Metalle zu verzichten.

(2) Im Rahmen der Substitutionsprüfung ist zu prüfen, ob ein Verfahren mit einer insgesamt geringeren Gefährdung eingesetzt werden kann. Hierzu gehört, ob anstelle von Pulver emissionsärmere Verwendungsformen (Tabletten, Extrudate, etc.) einsetzbar sind.

5.8.4

Schutzmaßnahmen

(1) Die Fertigungsverfahren sowie Befüll- und Entleerungsvorgänge können in der betrieblichen Praxis nicht durchgängig als abgesaugte oder geschlossene Systeme ausgeführt werden.

(2) Werden bei den Fertigungsverfahren geschlossene Systeme (mit Absaugung) verwendet, kann der Arbeitgeber davon ausgehen, dass die Toleranzkonzentrationen für Cobalt und Nickelverbindungen unterschritten werden.

(3) Bei Rohwaren- und Katalysatorzwischenprodukteinsätzen über BigBag-Chargierung sind entsprechende BigBag-Stationen mit schließenden Andockungen (z. B. über Blähmanschetten oder Klemmvorrichtungen) vorzusehen. Entsprechende Einrichtungen sind bei Fassabfüllungen anzustreben (Schürzenführung des Fallgutes, etc.).

(4) Umfüllungen von Fassware in BigBags sind geschlossen und an Übergabestellen mit entsprechenden Dichtsystemen für die BigBag-Aufnahme auszulegen und, wo möglich, mit lokaler Absaugung auszustatten.

(5) Bei Um- und Abfüllvorgängen pulverförmiger Katalysatorzwischen- und/oder -endprodukte sowie bei der Weiterverarbeitung (z. B. Tablettierung, Formgebung, Siebung, etc.) sind die verwendeten Anlagen, soweit technisch möglich, als geschlossenes System auszuführen. Ist dies nicht möglich, sind wirksame Absaugeinrichtungen zu verwenden. Aus prozesstechnischen Gründen ist die Erhöhung des Absaugvolumens begrenzt (Verwirbelung sowie Gefahr der Brandentstehung bei pyrophoren

Katalysatorenzwischen- und -endprodukten).

(6) In Bereichen, in denen die Toleranzkonzentrationen trotz Anwendung technischer sowie organisatorischer Maßnahmen nicht eingehalten werden können, sind persönliche Schutzausrüstungen (partikelfiltrierende Atemschutzmaske, gebläseunterstützter Atemschutz) einzusetzen.

(7) In Bereichen mit hohem Risiko ist eine räumliche Schwarz-Weiß-Trennung durch zwei mit einem Waschraum verbundenen Umkleideräume oder durch ein mit dem Arbeitsbereich verbundenen Schleusensystem zum An- und Ablegen der Arbeits- und Schutzkleidung erforderlich.

(8) Aufgrund der Expositionsmöglichkeit gegenüber mehreren Metallen wird generell empfohlen, die Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen durch ein regelmäßiges Biomonitoring zu überprüfen (siehe auch Nummer 6 dieser TRGS).

5.9

Weitere spezielle Bereiche

In diesem Abschnitt werden in knapper Form Hinweise zu Bereichen gegeben, bei denen ebenfalls mit einer Exposition gegenüber krebserzeugenden Metallen zu rechnen ist, diese aber im Rahmen dieser TRGS nicht umfassend betrachtet werden. Dies ist zum Beispiel der Fall, wenn die Exposition typischerweise unter der Toleranzkonzentration liegt oder vorrangig andere Regelwerke greifen. Die Auflistung der Bereiche in diesem Abschnitt ist nicht als vollständig oder abschließend zu verstehen.

5.9.1

Dentaltechnik

(1) In Dentallaboratorien werden zahntechnische Werkstücke (u. a. Kronen, Brücken und Modellgusswerkstücke) hergestellt und bearbeitet. Bestehen diese aus Nichtedelmetall-Legierungen, ist Cobalt zwischen 30 und 70 % Legierungsbestandteil.

(2) Nickelhaltige Legierungen werden für kieferorthopädischen Werkstücke wie Spangen oder Drähte verwendet. Deren Verarbeitung erfolgt durch Kaltverformung ohne Freisetzung von Nickelverbindungen oder metallischem Nickel (AGW-Geltungsbereich).

(3) In der Expositionsbeschreibung "Verarbeitung von Nichtedelmetall-Legierungen in Dentallaboratorien" der BG ETEM aus dem Jahr 2015 [38](#)) sind Expositionsdaten zu Cobalt in der E-Fraktion und konkrete Schutzmaßnahmen aufgeführt.

(4) Die dentaltechnischen Werkstücke werden nach dem Gießen und Ausbetten zunächst vom Gusskegel getrennt und anschließend durch Fräsen, Schleifen und Polieren spanend bearbeitet. Die Bearbeitung erfolgt manuell am handgehaltenen Werkstück mit dem Handstück, in dem jeweils rotierende Fräs-, Schleif- oder Polierwerkzeuge eingespannt sind. Dabei sind die Beschäftigten gegenüber Cobalt und seinen Verbindungen bis maximal $2,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (E-Staub, 95-Perzentil) exponiert.

(5) Für die Herstellung von Kronen und Brücken können technisch auch Edelmetalllegierungen und Oxidkeramiken eingesetzt werden. Die Entscheidung über die Verwendung der Werkstoffe trifft der behandelnde Zahnarzt.

(6) In Deutschland werden berylliumhaltige Legierungen nicht mehr verwendet. Es ist aber nicht auszuschließen, dass Patienten im Ausland gefertigte zahntechnische Werkstücke tragen, die berylliumhaltig sind und es daher ggf. zu einer Exposition mit Beryllium kommen kann.

(7) Bei der Umsetzung der folgenden Schutzmaßnahmen kann der Arbeitgeber davon ausgehen, dass die Toleranzkonzentration für Cobalt und seine Verbindungen bzw. für Nickelverbindungen eingehalten wird:

1. Einsatz staubtechnisch geprüfter Erfassungseinrichtungen und Absauganlagen einschließlich der vom Hersteller empfohlenen Filter und Zusatzeinrichtungen,
2. Nutzung von Sichtscheiben an den Erfassungseinrichtungen,
3. bestimmungsgemäßer Betrieb der Absaugeinrichtungen,
4. regelmäßige Reinigung, Wartung und Prüfung der Wirksamkeit der Absaugtechnik entsprechend den Herstellervorgaben mit Dokumentation.

(8) Erfassungseinrichtungen und Absaugsysteme entsprechen dem Stand der Technik, wenn diese nach dem DGUV-Test "Grundsätze für die Prüfung und Zertifizierung von Erfassungseinrichtungen und Absaugsystemen für Dentallaboratorien" GS-IFA-M 20, Ausgabe 12/2012 positiv geprüft wurden.

5.9.2

Glasherstellung

(1) Arsen, insbesondere in Form von Arsentrioxid, spielt in der Flach- und Hohlglasindustrie keine nennenswerte Rolle mehr. Bei der Herstellung von Spezialgläsern wird es aufgrund von spezifischen Anforderungen weiterhin benötigt.

(2) Die Konzentrationen von Arsenverbindungen im Bereich der Glasherstellung liegen überwiegend unterhalb der Akzeptanzkonzentration und in einigen Fällen zwischen Akzeptanz- und Toleranzkonzentration.

(3) Die in Nummer 4 dieser TRGS beschriebenen Maßnahmen sind entsprechend anzuwenden.

Fußnoten

²⁷ In Vorbereitung.

²⁸ http://publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/i_790-024.pdf.

²⁹ <http://publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/109-601.pdf>.

³⁰ <http://publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/213-716.pdf>.

³¹ <https://www.bgetem.de/redaktion/arbeitsicherheit-gesundheitsschutz/dokumente-und-dateien/themen-von-a-z/gefahrstoffe/expositionsbeschreibungen/verzinken-in-galvanotechnischen-betrieben>.

³² http://etf.bgetem.de/htdocs/r30/vc_shop/bilder/firma53/dguv_information_203-082_a08-2016.pdf.

³³ Norm EN 50625-2-4 "Behandlungsanforderungen für Photovoltaikmodule" und dazugehörige Technische Spezifikation TS 50625-3-5 sind in Vorbereitung.

³⁴ http://www.dguv.de/medien/ifa/de/prax/bg_bgja_empfehlungen/1037Manuelle_Zerlegung_von_Bildschirm-_und_anderen_Elektrogeraeten.pdf.

³⁵ Regierungspräsidium Kassel Handlungsanleitung zur guten Arbeitspraxis "Elektronikschrottrecycling - Tätigkeiten mit Gefahrstoffen bei der manuellen Zerlegung von Bildschirm- und anderen Elektrogeräten".

³⁶ LUBW Handlungsanleitung zur guten Arbeitspraxis "Kunststoffverwertung - Tätigkeiten mit Gefahrstoffen und biologischen Arbeitsstoffen bei der werkstofflichen Verwertung von Kunststoffen".

³⁷ LUBW Handlungsanleitung zur guten Arbeitspraxis "Kunststoffverwertung - Tätigkeiten mit Gefahrstoffen und biologischen Arbeitsstoffen bei der werkstofflichen Verwertung von Kunststoffen".

³⁸ <https://www.bgetem.de/redaktion/arbeitsicherheit-gesundheitsschutz/dokumente-und-dateien/themen-von-a-z/gefahrstoffe/expositionsbeschreibungen/expositionsbeschreibung-verarbeitung-von-nichtedelmetall-legierungen-in-dentallaboratorien>.