

Ausgabe Mai 2026 *)

GMBI 2026 S. 308-336 v. 4.5.2026 [Nr.14-15]

Technische Regeln für Gefahrstoffe	Tätigkeiten mit krebserzeugenden Me- tallen und ihren Verbindungen	TRGS 561
---	---	-----------------

Die Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS) geben den Stand der Technik, Arbeitsmedizin und Arbeitshygiene sowie sonstige gesicherte wissenschaftliche Erkenntnisse für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen, einschließlich deren Einstufung und Kennzeichnung, wieder.

Diese Regel wird vom

Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS)

unter Beteiligung des Ausschusses für Arbeitsmedizin (AfAMed) ermittelt und in der Entwicklung entsprechend angepasst.

Die TRGS werden vom Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) im Gemeinsamen Ministerialblatt (GMBI) bekannt gegeben.

Diese TRGS konkretisiert im Rahmen ihres Anwendungsbereichs Anforderungen der Gefahrstoffverordnung und der Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge (ArbMedVV). Bei Einhaltung der Technischen Regeln kann der Arbeitgeber insoweit davon ausgehen, dass die entsprechenden Anforderungen der Verordnung erfüllt sind. Wählt der Arbeitgeber eine andere Lösung, muss er damit mindestens die gleiche Sicherheit und den gleichen Gesundheitsschutz für die Beschäftigten erreichen.

Inhalt

- 1 Anwendungsbereich
- 2 Begriffsbestimmungen
- 3 Informationsermittlung und Gefährdungsbeurteilung
- 4 Allgemeine Schutzmaßnahmen
- 5 Besondere Schutzmaßnahmen für spezielle Bereiche
- 6 Allgemeine arbeitsmedizinisch-toxikologische Beratung
- 7 Arbeitsmedizinische Vorsorge

*) Hinweis: Die TRGS 561 wurde redaktionell und inhaltlich überarbeitet; wesentliche Punkte der Überarbeitung betreffen

- die Übernahme der aktualisierten Begründung der ERB bzw. AGW für die Stoffe Cadmium und Cobalt,
- die Anpassung an den aktuellen Stand des Vorschriften- und Regelwerks, insbesondere der geänderten Gefahrstoffverordnung,
- der Entfall der Verwendung des Begriffs „Beurteilungsmaßstab“ für den Grenzwert für die Chrom (VI)-Verbindungen,
- die Harmonisierung des Regelwerkes. So wird die Konkretisierung zur Räumlichen Abgrenzung / Trennung / Abtrennung aus der TRGS 528 übernommen.

- Ausschuss für Gefahrstoffe - AGS-Geschäftsführung - BAuA - www.baua.de/ags -

Literatur

Inhalt

1	Anwendungsbereich.....	3
2	Begriffsbestimmungen	4
3	Informationsermittlung und Gefährdungsbeurteilung	5
3.1	Allgemeine Hinweise zu Tätigkeiten mit krebserzeugenden Metallen	5
3.2	Messtechnische Hinweise	7
3.3	Stoffspezifische Informationen und Hinweise.....	8
4	Allgemeine Schutzmaßnahmen	15
4.1	Branchenübergreifende Schutzmaßnahmen.....	15
4.2	Staubvermeidung	21
5	Besondere Schutzmaßnahmen für spezielle Bereiche	24
5.1	Nichteisenmetall (NE)-Erzeugung und -verarbeitung.....	24
5.2	Hartmetallproduktion und -verwendung	28
5.3	Roheisen- und Stahlerzeugung.....	30
5.4	Galvanotechnische und chemische Oberflächenbehandlung	32
5.5	Herstellung, Verwendung und Weiterbearbeitung chromathaltiger Beschichtungsstoffe	36
5.6	Batterieherstellung	37
5.7	Recycling von Elektro- und Elektronikaltgeräten, PVC-Profilen, Batterien und Solarmodulen	40
5.8	Herstellung und Verwendung von Katalysatoren und Pigmenten	43
5.9	Weitere spezielle Bereiche	44
6	Allgemeine arbeitsmedizinisch-toxikologische Beratung	47
7	Arbeitsmedizinische Vorsorge.....	48
	Literatur.....	52

1 Anwendungsbereich

(1) Diese TRGS gilt für Tätigkeiten, bei denen durch eine Exposition gegenüber krebserzeugenden Metallen und ihren anorganischen Verbindungen der Kategorie 1A oder 1B ein hohes Risiko gemäß GefStoffV § 2 Absatz 8b auftreten kann. Dies gilt für Gefahrstoffe mit einer Exposition oberhalb der Toleranzkonzentration. Unbeschadet der Vorgaben der TRGS 910 ist es das vorrangige Ziel dieser TRGS, eine Exposition unterhalb der Toleranzkonzentration zu erreichen. Je höher die Konzentration eines krebserzeugenden Stoffes am Arbeitsplatz ist, desto höher ist das Erkrankungsrisiko und entsprechend dringlicher die Notwendigkeit zusätzlicher Schutzmaßnahmen. In dieser TRGS werden dem Arbeitgeber Hilfestellungen gegeben, wie er mindestens eine Absenkung in den Bereich unterhalb der Toleranzkonzentration erreichen kann. Anzustreben ist die Unterschreitung der Akzeptanzkonzentration. Deshalb werden auch Hinweise gegeben, welche Maßnahmen im Bereich mittleren und geringen Risikos zu treffen sind. Diese TRGS dient damit der Umsetzung des Minimierungsgebotes gemäß § 7 GefStoffV. Weitere branchenspezifische Informationen enthalten Branchenregeln bzw. Handlungshilfen der Unfallversicherungsträger

(2) ¹ (Kombinationsmodell).

(3) Diese TRGS gilt auch für Tätigkeiten mit Exposition gegenüber krebserzeugenden Metallen und ihren anorganischen Verbindungen der Kategorie 1A oder 1B mit Arbeitsplatzgrenzwert (AGW) und für die risikobasiert abgeleitete Konzentration von 1 µg/m³ für Chrom(VI)-Verbindungen.

(4) Gemäß § 10 GefStoffV hat der Arbeitgeber sicherzustellen, dass krebserzeugende Gefahrstoffe der Kategorie 1A oder 1B in einem geschlossenen System hergestellt und verwendet werden, wenn eine Substitution der Gefahrstoffe technisch nicht möglich ist. Dies ist bei Tätigkeiten mit krebserzeugenden Metallen nicht immer realisierbar. Wenn bei krebserzeugenden Stoffen der Arbeitsplatzgrenzwert nicht eingehalten werden kann, oder es werden Tätigkeiten im Bereich hohen Risikos ausgeübt sieht § 10 Absatz 6 der GefStoffV außerdem vor, dass diese Tätigkeiten nur gemäß den Vorgaben der vom Ausschuss für Gefahrstoffe bekannt gemachten Regeln und Erkenntnisse ausgeübt werden. Dafür beschreibt diese TRGS besondere Schutzmaßnahmen zur Minimierung der Exposition der Beschäftigten nach dem Stand der Technik. Diese TRGS konkretisiert damit auch die Anforderungen der TRGS 910.

(5) Diese TRGS betrifft insbesondere folgende Branchen und Bereiche:

1. Nichteisenmetall-Metallerzeugung,
2. Hartmetallproduktion,
3. Roheisen- und Stahlerzeugung,
4. Galvanik und Beschichtung mit Chromaten,
5. Batterieherstellung,
6. Recycling,
7. Herstellung und Verwendung von Katalysatoren und Pigmenten.

(6) In der Praxis wird es vergleichbare Tätigkeiten mit Expositionen gegenüber krebserzeugenden Metallen und ihren anorganischen Verbindungen geben, die sich nicht einer der genannten Branchen zuordnen lassen. Für diese Bereiche gilt diese TRGS gleichermaßen.

¹ Siehe Abschnitt 5 und Literatur.

(7) Unbeschadet der Festlegungen in dieser TRGS sind die REACH-Verordnung (EG) 1907/2006 und § 16 Absatz 2 GefStoffV (Herstellungs- und Verwendungsbeschränkungen) zu beachten. Insbesondere ist zu prüfen, ob die Tätigkeiten im Sinne dieser TRGS von Zulassungspflichten oder Herstellungs- und Verwendungsbeschränkungen betroffen sind.

(8) Diese TRGS gilt nicht für Tätigkeiten der schweißtechnischen Praxis wie Schweißen, Schneiden und verwandte Verfahren an metallischen Werkstoffen, bei denen gas- und partikelförmige Gefahrstoffe entstehen können. Hierfür gilt die TRGS 528 „Schweißtechnische Arbeiten“. Sofern in der vorliegenden TRGS Hinweise auf eine Exposition gegenüber krebserzeugenden Metallen beim Schweißen gegeben werden, ist entsprechend die TRGS 528 maßgeblich.

(9) Diese TRGS gilt nicht für Labortätigkeiten mit laborüblichen Mengen unter Einhaltung der Anforderungen der TRGS 526 „Laboratorien“. Hierfür gilt die TRGS 526.

2 Begriffsbestimmungen

(1) In dieser TRGS sind die Begriffe so verwendet, wie sie im Begriffsglossar zu den Regelwerken der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV), der Biostoffverordnung (BioStoffV) und der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) bestimmt sind².

(2) Ein niedriges Risiko liegt unterhalb der Akzeptanzkonzentration vor, das mittlere Risiko umfasst den Bereich zwischen der Akzeptanz- und der Toleranzkonzentration. Ein hohes Risiko besteht oberhalb der Toleranzkonzentration, des AGW oder oberhalb der Konzentration von 1 µg/m³ für Chrom (VI)-Verbindungen.

(3) Im Übrigen sind in dieser TRGS die Begriffe in folgendem Sinn verwendet. Krebserzeugende Metalle und anorganische Verbindungen sind:

1. Krebserzeugende Metalle der Kategorie 1A oder 1B und ihre anorganischen Verbindungen, für die eine Exposition-Risiko-Beziehung (ERB) samt Toleranzkonzentration und Akzeptanzkonzentration gemäß des Risikokonzepts nach TRGS 910 oder ein AGW gemäß TRGS 900 abgeleitet wurde sowie Chrom(VI)-Verbindungen.
2. Metalle und ihre anorganischen Verbindungen ohne ERB, die gemäß der CLP-Verordnung (EG) 1272/2008 als karzinogen (krebserzeugend) der Kategorie 1A oder 1B oder der TRGS 905 „Verzeichnis krebserzeugender, keimzellmutagener oder reproduktionstoxischer Stoffe“ als krebserzeugend der Kategorie 1A oder 1B eingestuft sind.³
3. In der CLP-Verordnung und in der TRGS 905 nicht genannte, aber auf dem Markt befindliche Metalle oder ihre anorganischen Verbindungen, die der Hersteller bzw. Importeur als krebserzeugend der Kategorie 1A oder 1B eingestuft hat (gemäß Sicherheitsdatenblatt).
4. Legierungen und Gemische, die wegen ihres Gehaltes an krebserzeugenden Metallen und ihren anorganischen Verbindungen als krebserzeugend der Kategorie 1A oder 1B eingestuft sind (≥0,1 Gew. %, bzw. spez. Konzentrationsgrenze in Anhang VI, Tabelle 3 der CLP-Verordnung). Legierungen können grundsätzlich als homogene Gemische der enthaltenen Metalle betrachtet werden.

² <https://www.baua.de/DE/Angebote/Regelwerk/Glossar>.

³ <https://www.baua.de/DE/Angebote/Regelwerk/TRGS/TRGS-905>.

- (4) Auch aus nicht eingestuften Stoffen, Erzen/Gemischen/Legierungen und Erzeugnissen können bei bestimmten Tätigkeiten krebserzeugende Metalle und ihre anorganischen Verbindungen entstehen oder freigesetzt werden, z. B. durch thermische oder mechanische Bearbeitungsverfahren.
- (5) Räumliche Abgrenzung eines Arbeitsbereiches erfolgt z. B. über eine Kennzeichnung der Arbeitsbereiche und Einhaltung von entsprechenden Abständen.
- (6) Räumliche Abtrennung eines Arbeitsbereichs vom übrigen Raum kann z. B. realisiert werden über eingezogene Einzelwände, Stellwände, Vorhangsysteme. Es bleiben einzelne Bereiche des Raumes noch verbunden. In der Regel werden diese Abtrennungen in Kombination mit absaugtechnischen und/oder Lüftungstechnischen Maßnahmen angewandt.
- (7) Räumliche Trennung ist die vollständige Trennung von Räumen voneinander, d.h. nicht nur über Seitenwände, sondern voll umschließend und mit technisch dichten Wänden, Böden und Decken.
- (8) Im Folgenden werden in dieser TRGS die krebserzeugenden Metalle und ihre anorganischen Verbindungen als „krebserzeugende Metalle“ bezeichnet.

3 Informationsermittlung und Gefährdungsbeurteilung

3.1 Allgemeine Hinweise zu Tätigkeiten mit krebserzeugenden Metallen

- (1) Der Arbeitgeber hat gemäß §§ 5 und 6 Arbeitsschutzgesetz und nach § 6 GefStoffV eine Gefährdungsbeurteilung zu erstellen und zu dokumentieren. Dabei sind die in der TRGS 400 „Gefährdungsbeurteilung für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen“ sowie ggf. die TRGS 401 „Gefährdung durch Hautkontakt – Ermittlung, Beurteilung, Maßnahmen“, TRGS 402 „Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen: Inhalative Exposition“ und TRBA/TRGS 406 „Sensibilisierende Stoffe für Atemwege“ beschriebenen Vorgehensweisen zu berücksichtigen. Dazu hat er vor Beginn der Tätigkeiten festzustellen, ob krebserzeugende Metalle oder metallische Verbindungen entstehen oder freigesetzt werden können. In diesem Zusammenhang ist auch auf Anreicherungseffekte bei thermischen Prozessen z. B. in Filterstäuben zu achten. Der Arbeitgeber darf eine Tätigkeit erst aufnehmen lassen, nachdem die Gefährdungsbeurteilung durchgeführt und die erforderlichen Schutzmaßnahmen getroffen wurden.
- (2) Dabei ist zu prüfen und zu dokumentieren, ob auf krebserzeugende Metalle verzichtet oder ob durch Änderung des Arbeitsverfahrens oder der Arbeitsmittel eine Freisetzung vermindert werden kann. Bei geeigneten Alternativen sind diese anzuwenden (siehe § 6 GefStoffV und TRGS 600 „Substitution“).
- (3) Bei Tätigkeiten mit nicht-krebserzeugenden Gefahrstoffen werden gesundheitsbasierte Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW) als zulässige Konzentration, der Beschäftigte am Arbeitsplatz maximal ausgesetzt sein dürfen, festgesetzt. AGW werden auch für einige krebserzeugende Stoffe abgeleitet; für diese sind zusätzlich § 10 und §10a GefStoffV zu beachten.
- (4) Für krebserzeugende Metalle mit ERB finden sich die Toleranzkonzentrationen und Akzeptanzkonzentrationen in der TRGS 910⁴.

⁴ In Planung ist in der TRGS 910 die Auflistung aller Grenzwerte und Konzentrationen für krebserzeugende Gefahrstoffe.

- (5) Bei Nichteinhaltung des AGW sowie im Bereich mittleren und hohen Risikos ist ein Maßnahmenplan zu erstellen. Darin ist darzulegen, wie das Ziel erreicht werden kann, den AGW einzuhalten oder in den Bereich niedrigen Risikos zu gelangen. Dabei sind die in dieser TRGS beschriebenen Maßnahmen umzusetzen.
- (6) In einigen Bereichen wird es nach derzeitigem Kenntnisstand auch bei Umsetzung der in dieser TRGS beschriebenen, anlagen- und verfahrensbezogenen Maßnahmen nicht möglich sein, den AGW, die Toleranzkonzentration oder die Konzentration von $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für Chrom(VI)-Verbindungen einzuhalten. In diesen Fällen müssen die Beschäftigten durch eine geeignete Maßnahmenkombination aus technischen, organisatorischen und zuletzt auch persönlichen Schutzmaßnahmen ausreichend geschützt werden (siehe hierzu auch Abschnitt 4.1 Absatz 6, Persönliche Schutzausrüstungen).
- (7) Ziel des risikobezogenen Maßnahmenkonzepts ist es, eine Exposition unterhalb der Akzeptanzkonzentration zu erreichen. Je höher die Konzentration, desto dringlicher ist die Notwendigkeit zusätzlicher betrieblicher Expositions-Minderungsmaßnahmen. Bezüglich der Umsetzung des Minimierungsgebotes gelten die Regelungen der TRGS 400.
- (8) Die Maßnahmen dieser TRGS sind an den krebserzeugenden Eigenschaften der Metalle ausgerichtet. Unbeschadet davon sind bei der Gefährdungsbeurteilung mögliche andere, spezifische Gefährdungen durch diese Stoffe (z. B. sensibilisierende Wirkungen oder physikalisch-chemische Gefahren wie Explosionsgefahren) zu berücksichtigen.
- (9) Basis für die in dieser TRGS genannten Schutzmaßnahmen sind Auswertungen von Arbeitsbereichen, insbesondere aus der IFA-Expositionsdatenbank "Messdaten zur Exposition gegenüber Gefahrstoffen am Arbeitsplatz" (MEGA-Datenbank) und aus der Industrie. Die ausgewählten Tätigkeiten stehen stellvertretend für Bereiche mit Expositionen hohen und mittleren Risikos gegenüber krebserzeugenden Metallen. Dies können auch Bereiche sein, in denen die Entstehung oder Freisetzung der Metalle bekanntermaßen während des angewendeten Verfahrens erfolgt.
- (10) Bei der Ermittlung und Beurteilung der inhalativen Exposition am konkreten Arbeitsplatz sind die TRGS 400 und die TRGS 402 zu beachten. Sind die Konzentrationen krebserzeugender Metalle in einem Gemisch bekannt (z. B., wenn die Staubzusammensetzung in der Luft identisch mit der Zusammensetzung des verarbeiteten Gemisches ist), kann ausgehend von der Konzentration der gemessenen E- oder A-Fraktion (E = einatembare Staubfraktion, A = alveolengängige Staubfraktion) in einigen Fällen die Konzentration des Metalls rechnerisch ermittelt werden. Das ist z. B. häufig im Bereich der Pulververarbeitung der Fall. Liegt der errechnete Wert unterhalb der Akzeptanzkonzentration, müssen für diese Arbeitsbereiche keine weiteren zusätzlichen Schutzmaßnahmen zur Verringerung der inhalativen Exposition ergriffen werden.
- (11) Bei Tätigkeiten mit krebserzeugenden Metallen ist zu beachten, dass nur ein Teil der Belastung des Beschäftigten durch Einatmen von krebserzeugenden Metallen verursacht wird. Auch eine orale Aufnahme (z. B. durch Hand-Mund-Kontakt) ist möglich und ist durch Anwendung geeigneter Hygiene-Maßnahmen (siehe Abschnitt 4.1 dieser TRGS) zu minimieren. Im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung ist auch eine dermale Gefährdung zu beurteilen (siehe TRGS 401).
- (12) Bei Tätigkeiten mit krebserzeugenden Metallen soll die Betriebsärztin oder der Betriebsarzt bzw. die oder der mit der arbeitsmedizinischen Vorsorge beauftragte Ärztin oder Arzt bei der Erstellung der Gefährdungsbeurteilung beteiligt werden. Die Beteiligung des Arbeitsmediziners kann je nach den Gegebenheiten unterschiedlich ausgeprägt sein und reicht von kurzen schriftlichen oder mündlichen Stellungnahmen bis zum Erstellen der Gefährdungsbeurteilung im Auftrag des Arbeitgebers. Die Verpflichtungen des Arbeitgebers bleiben unberührt.

(13) Die Betriebsärztin oder der Betriebsarzt soll an der Gefährdungsbeurteilung beteiligt werden, damit die krebserzeugenden und sonstigen chronisch-schädigenden Wirkungen der Metalle sowie Belastungen durch das Tragen von persönlichen Schutzausrüstungen ausreichend berücksichtigt werden. Die Arbeitsschwere muss bei der Beurteilung der inhalativen Belastung ebenfalls berücksichtigt werden.

(14) Die oder der mit der arbeitsmedizinischen Vorsorge beauftragte Ärztin oder Arzt berät den Arbeitgeber auch über Mitteilungen nach § 6 Absatz 4 ArbMedVV (siehe Abschnitt 7 Absatz 9 dieser TRGS). Diese Beratung erfolgt unter Einhaltung der ärztlichen Schweigepflicht.

(15) Die Ermittlung der Belastung durch krebserzeugende Metalle mittels Biomonitoring im Rahmen der arbeitsmedizinischen Vorsorge einschließlich etwaiger Untersuchungen kann unabhängig von der Konzentration in der Luft am Arbeitsplatz von entscheidender Bedeutung sein. Die Erfahrungen bei verschiedenen Metallen zeigen, dass die Belastung in Blut oder Urin in hohem Maße von der betrieblichen und persönlichen Hygiene sowie von persönlichen Verhaltensweisen abhängt. Erkenntnisse aus dem Biomonitoring sind daher ein wichtiges, ergänzendes Werkzeug zur Wirksamkeitskontrolle der Schutzmaßnahmen (vgl. Abschnitt 6 und Arbeitsmedizinische Regel AMR 6.2). Bei der Durchführung von Biomonitoring bedarf es der Einwilligung des Beschäftigten. Bei Verwendung von Expositionsäquivalenten für krebserzeugende Arbeitsstoffe (EKA-Korrelation) ist darauf zu achten, dass die Luftkonzentrationen im Anwendungsbereich der EKA-Korrelation liegen. Das ist insbesondere bei der Akzeptanzkonzentration oft nicht der Fall (die EKA-Korrelation reicht nicht in diese niedrigen Konzentrationsbereiche).

(16) Der Arbeitgeber hat bei der Gefährdungsbeurteilung die Erkenntnisse aus der arbeitsmedizinischen Vorsorge einschließlich Biomonitoring sowie allgemein zugängliche, veröffentlichte Informationen hierzu zu berücksichtigen.

(17) Der Arbeitgeber hat nach § 15 GefStoffV Fremdfirmen über Gefährdungen von Beschäftigten und spezifische Verhaltensregeln zu informieren, wenn eine Exposition gegenüber krebserzeugenden Metallen nicht sicher auszuschließen ist. Dies ist insbesondere bei folgenden Tätigkeiten der Fall:

1. Instandhaltung,
2. Reinigung von Maschinen und Anlagen,
3. Gebäudereinigung,
4. Straßenreinigung,
5. Transport und Waschen verschmutzter Arbeitskleidung,
6. Reinigung von Atemschutzgeräten und weiterer persönlichen Schutzausrüstungen.

3.2 Messtechnische Hinweise

(1) Für die Beurteilung der inhalativen Exposition im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung sind die Konzentrationen der Gefahrstoffe in der Luft am Arbeitsplatz gemäß TRGS 402 zu ermitteln und zu beurteilen. Sofern bei einem Stoff Grenzwerte oder Konzentrationen für die A- und die E-Fraktion vorliegen, kann bei Einhaltung des Wertes in einer Staubfraktion nicht davon ausgegangen werden, dass auch der Wert in der anderen Staubfraktion eingehalten ist.

(2) Für einige Stoffe haben sich durch methodische Weiterentwicklungen deutlich niedrigere Bestimmungsgrenzen ergeben. Dies trifft insbesondere auf Chrom(VI)-Verbindungen zu. Der AGS veröffentlicht geeignete Messverfahren für Gefahrstoffe in Form einer Tabelle⁵.

(3) Bei gleichzeitigem Auftreten mehrerer krebserzeugender Metalle kann in begründeten Fällen, z. B. wenn die Zusammensetzung der Stoffe in der Luft am Arbeitsplatz bekannt ist, eine Leitkomponente gemessen werden. Die Festlegung der Leitkomponente erfolgt im Rahmen der Ermittlung der inhalativen Exposition. Dabei ist die jeweils zu beurteilende Staubfraktion zu berücksichtigen. Die Begründung für diese Vorgehensweise ist in der Gefährdungsbeurteilung zu dokumentieren. Darüber hinaus sind bekannte Wechsel- und Kombinationswirkungen zu berücksichtigen⁶.

(4) Eine Unterscheidung der Verbindungen bzw. Oxidationsstufen ist bei der Bestimmung von Metallen im Allgemeinen nicht möglich. Eine Ausnahme bildet Chrom: hier ist ein spezifischer Nachweis der Chrom(VI)-Verbindungen möglich. Bei der Beurteilung der Messergebnisse anderer krebserzeugender Metalle muss daher darauf geachtet werden, dass sich die Quantifizierung auf den Gesamtgehalt des Metalls in der Verbindung bezieht (außer bei Chrom(VI)).

3.3 Stoffspezifische Informationen und Hinweise

(1) Eine Zusammenstellung der Grenzwerte und Konzentrationen aller für diese TRGS relevanten Metalle findet sich in Tabelle 1.

(2) Die Höhe der inhalativen Exposition hat der Arbeitgeber durch Arbeitsplatzmessungen oder durch andere geeignete Ermittlungsmethoden zu bestimmen. Messergebnisse vergleichbarer Arbeitsplätze und Tätigkeiten können, wenn die Messungen nach den Vorgaben der TRGS 402 durchgeführt und protokolliert wurden, zur Gefährdungsbeurteilung herangezogen werden.

(3) Die ermittelte inhalative Exposition hat der Arbeitgeber im Hinblick auf eine Gefährdung der Beschäftigten und die Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen zu beurteilen, wobei das Tragen von persönlichen Schutzausrüstungen nicht berücksichtigt werden darf. Das Ergebnis dieser Beurteilung ist der Befund. Der Befund ist zu begründen und zu dokumentieren. Die TRGS 402 definiert die Kriterien, die zur Erhebung des Befundes berücksichtigt werden müssen.

(4) In Ergänzung dazu sind bei Expositionen gegenüber krebserzeugenden Metallen für die Gefährdungsbeurteilung und die Auswahl der Schutzmaßnahmen stoffspezifische Informationen notwendig. Das betrifft z. B. den Geltungsbereich der Grenzwerte und Konzentrationen, eventuelle Einstufungen zu nicht-krebserzeugenden Wirkungen und Hinweise zur Bedeutung des Biomonitoring.

(5) Beschränkungen und Verwendungsverbote für bestimmte Stoffe, Gemische und Erzeugnisse richten sich nach § 16 GefStoffV und beinhalten die Regelungen der Verordnung (EG) 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH-Verordnung) sowie die ergänzende Herstellungs- und Verwendungsbeschränkungen gemäß Anhang II GefStoffV. Die Verwendungsbeschränkungen für krebserzeugende Metalle sind in Anhang XVII in den Nummern 19, 23 und 27, zulassungspflichtige Stoffe in Anhang XIV der REACH-Verordnung gelistet. Zudem

⁵ <https://www.baua.de/DE/Die-BAuA/Aufgaben/Geschaeftsfuehrung-von-Ausschues-sen/AGS/pdf/Messverfahren>.

⁶ Nach derzeitigem Stand sind für den Anwendungsbereich dieser TRGS keine entsprechenden Wirkungen belegt bzw. in der TRGS 900 oder TRGS 910 aufgeführt.

sind die nationalen Regelungen zu Herstellungs- und Verwendungsbeschränkungen nach § 16 GefStoffV in Verbindung mit Anhang II Nummer 6 („Besonders gefährliche krebserzeugende Stoffe“) zu beachten.

Tabelle 1: Grenzwerte und Konzentrationen für krebserzeugende Metalle

Stoff	Grenzwert/Konzentration		Überschreitungsfaktor	Quelle
Arsenverbindungen, als Carc. 1A, Carc. 1B eingestuft	TK	8,3 µg/m ³ (E)	8	TRGS 910
	AK	0,83 µg/m ³ (E)		
Beryllium und seine anorganischen Verbindungen	AGW	0,14 µg/m ³ (E)	1 (I)	TRGS 900
	AGW	0,06 µg/m ³ (A)		
Cadmium und anorganische Cadmiumverbindungen, als Carc. 1A, Carc. 1B eingestuft	TK	2 µg/m ³ (A)	8	TRGS 910
	AK	0,9 µg/m ³ (A)		
	AGW	2 µg/m ³ (E) ¹	8 (II)	TRGS 900
Chrom (VI)-Verbindungen		1 µg/m ³ (E) ²	8	TRGS 910
Cobalt und Cobaltverbindungen, als Carc. 1A, Carc. 1B eingestuft	TK	2 µg/m ³ (A) ³	2	TRGS 910
	AK	2 µg/m ³ (A)		
	AGW	20 µg/m ³ (E)	2 (II)	TRGS 900
Nickelverbindungen, als Carc. 1A, Carc. 1B eingestuft	TK	6 µg/m ³ (A) ³	8	TRGS 910
	AK	6 µg/m ³ (A)		
	AGW	30 µg/m ³ (E) ⁴	8 (II)	TRGS 900

Erläuterungen:

TK Toleranzkonzentration

AK Akzeptanzkonzentration

AGW Arbeitsplatzgrenzwert

(A) Alveolengängige Fraktion

(E) Einatembare Fraktion

¹ Gilt für Cadmium und anorganische Cadmiumverbindungen (ohne Beschränkung auf die Einstufung als krebserzeugend)

² Bei einer Exposition von 1 µg/m³ über das gesamte Arbeitsleben ergibt sich ein zusätzliches statistisches Lungenkrebsrisiko in der Größenordnung von ca. 4:1000.

³ Die Toleranzkonzentration wurde aufgrund der nicht krebserzeugenden Wirkung festgelegt. Dieser Wert stimmt in diesem Fall mit der Höhe der Akzeptanzkonzentration überein, der Bereich des mittleren Risikos entfällt damit.

⁴ Gilt für Nickel und Nickelverbindungen (ohne Beschränkung auf die Einstufung als krebserzeugend)

3.3.1 Arsenverbindungen

(1) Die ERB-Ableitung für Arsenverbindungen gilt für alle als krebserzeugend Kategorie 1A oder 1B eingestuften Arsenverbindungen. Sie gilt nicht für Arsentrisulfid (nahezu wasserunlöslich), Galliumarsenid (keine Übertragbarkeit der Wirkungsweise von anderen anorganischen Arsenverbindungen möglich) sowie für Arsen-Metall (nicht als krebserzeugend eingestuft).

(2) Die ERB gilt für die einatembare Fraktion.

(3) Am Arbeitsplatz ist die inhalative Aufnahme von Bedeutung, jedoch sollte auch eine mögliche orale Belastung durch Hand-zu-Mund-Kontakt mitberücksichtigt werden. Die dermale Aufnahme ist dagegen nur von untergeordneter Bedeutung.

(4) Arsenverbindungen finden sich wegen ihrer chemischen Verwandtschaft zu Zink und Kupfer in Rohstoffen für die Zink-, Blei- und Kupferherstellung. Arsenverbindungen finden Anwendung unter anderem bei der Glas- und Zinkherstellung sowie in Elektronikkomponenten.

(5) Für Arsenverbindungen ist das Biomonitoring von Bedeutung. Allerdings ist die Korrelation zur arbeitsplatzbedingten Exposition häufig durch außerbetriebliche Faktoren beeinflusst (insbesondere Essgewohnheiten). Bei der Durchführung der Untersuchung ist daher vor allem auf die Einhaltung der Fischkarenz zu achten (48 Stunden vor Probenahme kein Fisch- oder Meeresfrüchtekonsum)⁷.

(6) Für Arsentrioxid wurden Expositionsäquivalente für krebserzeugende Arbeitsstoffe (EKA-Korrelation) zwischen Luftbelastung und Urinausscheidung abgeleitet. Die Äquivalenzwerte für Arsenverbindungen gemäß TRGS 910 können als Referenz für die routinemäßige Bewertung im Biomonitoring herangezogen werden. Bei Anzeichen für eine erhöhte Exposition muss eine ernährungsbedingte Beeinflussung ausgeschlossen werden und eine Arsen-Speziesanalytik erfolgen, insbesondere mit Blick auf den Dimethylarsinsäure (DMA)-Anteil. In diesem Fall ist als Bewertungsgrundlage die aktuelle EKA der MAK-BAT-Kommission heranzuziehen (vergleiche Tabelle 2 der TRGS 910).

(7) In der IFA-Expositionsdatenbank MEGA sind für den Datenzeitraum 2011 bis 2020 insgesamt 1901 Arbeitsplatzmesswerte mit Expositionsbezug (Schichtmittelwerte, tätigkeitsbezogene Werte oder Kurzzeitwerte) bei üblichen betrieblichen Situationen zu Arsenverbindungen in der einatembaren Staubfraktion (E-Fraktion) dokumentiert⁸. Expositionen oberhalb der Toleranzkonzentration treten in vielen Fällen im Bereich der Bleiakkumulatoren-Herstellung auf. Expositionen gegenüber Arsenverbindungen betreffen in der Weiterverarbeitung vor allem Arsentrioxid. Im Bereich der Glasherstellung wird Arsentrioxid bei der Herstellung von Spezialgläsern eingesetzt. Die Schichtmittelwerte liegen überwiegend unterhalb der Toleranzkonzentration. Ähnlich sieht die Expositionssituation in Nichteisen-Metallgießereien und der Nichteisen-Metallerzeugung (Zinkherstellung) aus.

3.3.2 Beryllium und Berylliumverbindungen

(1) Für Beryllium und seine anorganischen Verbindungen sind AGW abgeleitet worden. Beryllium ist als krebserzeugend der Kategorie 1B eingestuft. Die krebserzeugenden Effekte treten aber gegenüber den Effekten an den Atmungsorganen (chronische Berylliose) in den Hintergrund. Dennoch ist bei Tätigkeiten mit Beryllium zusätzlich § 10 und § 10a GefStoffV zu beachten. Im Vordergrund für die Verursachung von Beryllium-assoziierten Effekten stehen Beryllium und Berylliumoxid.

(2) Für Beryllium wurden AGW sowohl für die E- als auch die A-Fraktion abgeleitet. Bei Kondensation von Metaldampf oder Tätigkeiten mit flüssigen berylliumhaltigen Legierungen überwiegt der A-Anteil, so dass hier die Einhaltung des A-Wertes ausreicht. Stäube aus anderen Quellen enthalten Beryllium überwiegend im E-Anteil, so dass hier die Einhaltung des E-Wertes ausreicht. Bei Überschreitung des AGW können Maßnahmen aus dem Bereich des mittleren und/oder des hohen Risikos gemäß Abschnitt 4.1 Absatz 5 bzw. 6 dieser TRGS geeignet sein, um die Grenzwertunterschreitung zu erreichen.

(3) Aufgrund der sensibilisierenden Wirkung von Beryllium sind besondere Schutzmaßnahmen bei Hautkontakt mit berylliumhaltigen Lösungen oder Salzen notwendig (siehe hierzu

⁷ Bekanntmachung des Umweltbundesamtes, Bundesgesundheitsbl – Gesundheitsforsch – Gesundheitsschutz 2009 · 59:77–982.

⁸ Datenblatt „Expositionsdaten zu Arsenverbindungen“.

TRGS 401). Dies gilt insbesondere bei Wunden oder Verletzungen, damit keine berylliumhaltigen Partikel in den Körper gelangen können. Besondere Schutzmaßnahmen bei Hautkontakt mit massiven berylliumhaltigen Legierungen sind nicht notwendig.

(4) Arbeitsplätze, an denen mit einer Berylliumexposition oberhalb des AGW zu rechnen ist, finden sich nach berufsgenossenschaftlichen Erfahrungen in den industriellen Bereichen der Herstellung und Verarbeitung berylliumhaltiger Legierungen (insbesondere Be/Cu-Legierungen), der Keramikindustrie, Scheidereien und Al- und Mg-Schmelzereien.

(5) Empfehlungen für Betriebsärztinnen und Betriebsärzte zu Tätigkeiten und zur Prävention einer chronischen Berylliose enthält auch die S3-Leitlinie „Gesundheitsüberwachung bei Beryllium-Exposition und diagnostisches Vorgehen bei Beryllium-assoziiierter Erkrankung“⁹.

(6) Eine Übersicht zur Expositionssituation in den Jahren 2011 bis 2020 mit Messungen zur E-Fraktion und zur A-Fraktion enthält die MEGA-Auswertung für Berylliumverbindungen¹⁰. Insgesamt wurden 739 Arbeitsplatzmessungen dokumentiert. Überschreitungen des AGW für die A-Fraktion gab es insgesamt nur in etwa 3% der Fälle. Überschreitungen des AGW für die E-Fraktion sind vor allem im Bereich Elektrotechnik, Feinmechanik und Optik relevant. Allerdings waren in mehr als einem Viertel aller Fälle die Werte für die E-Fraktion messtechnisch nicht beurteilbar.

3.3.3 Cadmium und Cadmiumverbindungen

(1) Die ERB-Ableitung für Cadmium und seine Verbindungen gilt für das Metall und alle als krebserzeugend eingestuften Verbindungen. Relevant davon sind insbesondere Cadmium, Cadmiumoxid, Cadmiumhydroxid und Cadmiumcarbonat. Einige schwerlösliche Cadmiumverbindungen sind nicht als krebserzeugend eingestuft (z. B. CdTe, xCdS-yCdSe und xCdS-yZnS).

(2) Cadmiumchlorid (in einatembare Form) fällt nicht in den Anwendungsbereich dieser TRGS. Es gilt § 16 Absatz 2 GefStoffV in Verbindung mit Anhang II Nummer 6, wonach festgelegt ist, dass dieser Stoff nur in geschlossenen Anlagen hergestellt oder verwendet werden darf.

(3) Für die Ableitung des A-Fraktion-Wertes wurden sowohl krebserzeugende als auch nicht-krebserzeugende Effekte herangezogen. Die Toleranzkonzentration wurde aufgrund der nicht krebserzeugenden Wirkung festgelegt, da diese unterhalb der risikobasierten Toleranzkonzentration für die krebserzeugende Wirkung (Risiko 4:1000) liegt. Für die Ableitung des E-Staub-Wertes (AGW) sind die nierentoxischen Effekte maßgeblich. Die Toleranzkonzentration für den A-Staub stimmt in diesem Fall mit der Höhe der AGW für den E-Staub überein.

(4) Generell ist an den Stellen, an denen ein großer Anteil des Staubes durch Kondensation von Cadmium-Dampf entsteht, mit einem hohen A-Fraktion-Anteil zu rechnen. An Arbeitsplätzen, an denen mit flüssigem, metallischem Cadmium gearbeitet wird, ist ebenfalls von einem überwiegenden A-Staub-Anteil auszugehen und dieser vornehmlich zur Beurteilung heranzuziehen. Dasselbe gilt für Aerosole aus Lösungen, die lösliche Cadmium-Verbindungen, z. B.

⁹ S3-Leitlinie „Gesundheitsüberwachung bei Beryllium-Exposition und diagnostisches Vorgehen bei Beryllium assoziierter Erkrankung“: <https://www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Kooperation/Beryllium-Exposition>.

¹⁰ Datenblatt „Expositionsdaten zu Berylliumverbindungen in der A-Fraktion“ ([dguv.de](https://www.dguv.de)).
Datenblatt „Expositionsdaten zu Berylliumverbindungen in der E-Fraktion“ ([dguv.de](https://www.dguv.de)).

CdSO_4 , enthalten sowie bei Tätigkeiten mit cadmiumhaltigen Filterstäuben. Stäube aus anderen Quellen enthalten Cadmium überwiegend im E-Staub.

(5) Am Arbeitsplatz gelangt Cadmium überwiegend auf inhalativem Weg in den Körper, jedoch soll auch eine mögliche orale Belastung durch Hand-zu-Mund-Kontakt mitberücksichtigt werden. Die dermale Aufnahme ist dagegen nur von untergeordneter Bedeutung.

(6) Cadmium ist in den Rohstoffen der Zink-Primärherstellung enthalten. Wesentliche Anwendungen liegen im Bereich der Batterieherstellung und in der Halbleiterproduktion. In der Luft- und Raumfahrt, in der Wehrtechnik sowie in kerntechnischen Anlagen können noch Bauteile gefertigt werden, bei denen Cadmium unter anderem zur Beschichtung eingesetzt wird. Cadmium findet sich außerdem beim Recycling von Kunststoffen (Cd-Stabilisatoren) und Elektroschrott und der Herstellung und dem Recycling von Solar-Panels.

(7) Cadmium wird in der Leber und in den Nieren gespeichert. Resorbiertes Cadmium wird sehr verzögert mit dem Urin und dem Stuhl ausgeschieden. Die biologische Halbwertszeit beträgt dabei zehn bis zwanzig Jahre. Schädigungen der Niere sind neben der krebserzeugenden Wirkung der wichtigste Effekt einer chronischen Belastung mit Cadmium. Zur Bewertung einer möglichen chronischen Schädigung der Niere kann der BLW (Biologischer Leitwert) von $2 \mu\text{g/g}$ Kreatinin der DFG MAK-BAT Kommission herangezogen werden.

(8) Einen Überblick zur arbeitsbedingten Exposition gegenüber Cadmium gibt eine Publikation aus dem Jahr 2011¹¹. Expositionen am Arbeitsplatz gegenüber Cadmium entstehen bei der Zinkgewinnung, dem Recycling von Elektro- und Elektronikgeräten, beim Entfernen cadmiumhaltiger Anstriche oder beim Schweißen cadmiumhaltiger Legierungen.

(9) In der IFA-Expositionsdatenbank MEGA sind für den Datenzeitraum 2011 bis 2020 insgesamt 1314 Arbeitsplatzmesswerte mit Expositionsbezug (Schichtmittelwerte, tätigkeitsbezogene Werte oder Kurzzeitwerte) bei üblichen betrieblichen Situationen zu Cadmiumverbindungen in der einatembaren Staubfraktion (E-Fraktion) dokumentiert¹². Tätigkeiten mit vielen Messwerten oberhalb des AGW sind demnach zu finden im Bereich der Nickel-Cadmium-Batterie-Herstellung, beim Mischen und Abfüllen in der chemischen Industrie, an Schmelzöfen beim Edelmetallrecycling in der Abfallentsorgung und im Recycling (ohne Elektroschrott), beim Cadmieren in der Galvanik und Feuerverzinkerei, beim Löten in der Metallbearbeitung und im Maschinen- und Fahrzeugbau sowie beim Schornstein-, Feuerungs- und Industrieofenbau.

3.3.4 Chrom(VI)-Verbindungen

(1) Chrom(VI)-Verbindungen sind mit Ausnahme von Bariumchromat und den in Anhang VI der CLP-Verordnung namentlich aufgeführten Verbindungen als krebserzeugend der Kategorie 1B sowie als haut- und teilweise als atemwegsensibilisierend der Kategorie 1 eingestuft. Die wichtigsten Chrom(VI)-Verbindungen sind Chrom(VI)-oxid (CrO_3), die Chromate (CrO_4^{2-}) und die Dichromate ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$).

(2) Für Chrom(VI)-Verbindungen wurde bisher noch keine ERB abgeleitet. Anzuwenden ist die Konzentration von $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für die einatembare Fraktion. Bei einer Exposition von $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ über das gesamte Arbeitsleben ergibt sich ein zusätzliches statistisches Lungenkrebsrisiko in der Größenordnung von ca. 4:1000. Bei einer Konzentration oberhalb $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ liegt ein hohes

¹¹ Arbeitsbedingte Expositionen gegenüber krebserzeugenden, erbgutverändernden oder fortpflanzungsgefährdenden Substanzen in Deutschland – Teil 1: Cadmium und seine Verbindungen. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 71 (2011) Nummer 1/2, S. 47–56.

¹² Datenblatt „Expositionsdaten zu Cadmiumverbindungen in der E-Fraktion“.

Risiko vor, bei einer Konzentration kleiner $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ein nicht quantifizierbares, niedrigeres Risiko¹³. Diese Konzentration ist einzuhalten und eine weitere weitestgehende Minimierung anzustreben.

(3) Aufgrund der hautsensibilisierenden Eigenschaften sind besondere Schutzmaßnahmen bei Hautkontakt mit Chrom(VI)-Verbindungen notwendig (siehe TRGS 401). Ebenfalls in der Gefährdungsbeurteilung zu berücksichtigen sind die atemwegsensibilisierenden Eigenschaften von Chrom(VI)-Verbindungen (siehe TRBA/TRGS 406).

(4) Der größte Anwendungsbereich von Chrom(VI)-Verbindungen liegt im Bereich der funktionellen Beschichtung von Oberflächen. Die dabei zur Anwendung kommenden Techniken sind vielfältig und betreffen eine Vielzahl von Branchen. Die Mehrzahl der Beschichtungen wird dabei über galvanische Verfahren realisiert (Hart- und Glanzverchromung). Chromathaltige Beschichtungsstoffe kommen noch in der Luft- und Raumfahrt, in der Wehrtechnik sowie in kerntechnischen Anlagen zum Einsatz. Außerdem werden bei Schienenfahrzeugen noch Beschichtungen mit Anteilen von Strontiumchromat durchgeführt.

(5) An thermisch beanspruchten Chrom-legierten Industriekomponenten (z. B. an Dampfdruckleitungen oder in Turbinengehäusen) können sich Chrom(VI)-Verbindungen bilden. Diese können sich an den umliegenden Komponenten ablagern. Bei Arbeiten an diesen Komponenten (z. B. der Demontage von Dämmsystemen oder der Wartung von Abgassystemen), kann es zu einer relevanten Exposition der Beschäftigten gegenüber Chrom(VI) kommen.

(6) Eine Übersicht zur Expositionssituation in den Jahren 2011 bis 2020 mit über 3800 Messwerten liefert die MEGA-Auswertung "Expositionsdaten zu Chrom(VI)-Verbindungen" des IFA¹⁴. Relevant ist eine Exposition gegenüber Chrom(VI)-Verbindungen insbesondere in der Galvanik und bei thermischer Verarbeitung chromhaltiger Stähle.

3.3.5 Cobalt und Cobaltverbindungen

(1) Die ERB- und AGW-Ableitung gilt für Cobalt-Metall und krebserzeugende Cobalt-Verbindungen¹⁵. Entsprechend der Einstufung von Cobalt als krebserzeugend Kategorie 1B wird Hartmetall (oft: Co-Wolframcarbid) auch entsprechend eingestuft, wenn der Gehalt an Cobalt in dem Gemisch $\geq 0,1 \%$ beträgt. Bei beruflicher Exposition gegenüber Hartmetall als Gemisch sollte als Minimum die Toleranzkonzentration bzw. der AGW für Cobalt und krebserzeugende Cobalt-Verbindungen eingehalten werden.

(2) Für die Ableitung des A-Fraktion-Wertes wurden sowohl krebserzeugende als auch nicht-krebserzeugende Effekte herangezogen. Die Toleranzkonzentration wurde aufgrund der nicht krebserzeugenden Wirkung festgelegt, da diese unterhalb der risikobasierten Toleranzkonzentration für die krebserzeugende Wirkung (Risiko 4:1000) liegt. Dieser Wert stimmt in diesem Fall mit der Höhe der Akzeptanzkonzentration überein, so dass der Bereich des mittleren Risikos entfällt. Für die Ableitung des AGW sind Lungenfunktionsänderungen maßgeblich. Aufgrund der hautsensibilisierenden Eigenschaften sind besondere Schutzmaßnahmen bei Hautkontakt mit Cobalt und Cobaltverbindungen notwendig (siehe TRGS 401). Ebenfalls

¹³ Siehe Begründung zu Chrom(VI)-Verbindungen: „Ein erhöhtes Krebsrisiko bei niedrigeren Expositionen kann zwar nicht ausgeschlossen werden, ist aber durch epidemiologische Daten nicht belegt.“

¹⁴ IFA-Expositionsdatenbank MEGA: Publikationen nach Stoffen (A-Z) (dguv.de).

¹⁵ Die ERB-Ableitung betrifft insbesondere nicht Cobalt(II)sulfid (CoS), Tricobalttetroxid (Co₃O₄; gemischtvalente Verbindung mit Spinellstruktur), dreiwertige Cobaltverbindungen, Co-Wolframcarbid (gesintert oder ungesintert), Cobaltbromid, Cobaltchromat oder Cobalt-Nickelverbindungen. Grund für den Ausschluss sind ungenügende Daten zu Bioverfügbarkeit und Wirkung. Eine Bewertung als krebserzeugend, reproduktionstoxisch oder z. B. sensibilisierend wird für die genannten, hier ausklammerten Verbindungen aber nicht generell ausgeschlossen.

in der Gefährdungsbeurteilung zu berücksichtigen sind die atemwegsensibilisierenden Eigenschaften von Cobalt und seinen Verbindungen (siehe TRBA/TRGS 406).

(3) Cobalt und Cobaltverbindungen werden in der Katalysatorindustrie, in der Galvanik, bei der Herstellung und Verwendung von Chemikalien, Hartmetallen, Magneten, NE-Metalllegierungen, Sinterlegierungen und anderen hitze- und korrosionsbeständigen Legierungen und Teilen, anorganischen Pigmenten, Farben, Glas, Keramik und bei der Batterieherstellung sowie beim thermischen Spritzen eingesetzt. Außerdem wird Cobalt bei der Herstellung von Kunststoffen und Dentallegierungen verwendet. Cobalthaltiger Feinstaub kann insbesondere bei der Verwendung von Pulvern, beim Schweißen sowie bei der Oberflächenbehandlung und mechanischen Bearbeitung cobalthaltiger Werkstücke/Legierungen entstehen. Dort treten auch höhere Staubkonzentrationen bei Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten an den Luftfilteranlagen auf. Cobaltverbindungen werden auch in Biogasanlagen oder in der Mischfütterwirtschaft in Spurenelementmischungen eingesetzt. Hinweise zum Einsatz solcher Mischungen in Biogasanlagen finden sich in der TRGS 529 „Tätigkeiten bei der Herstellung von Biogas“.

(4) Für Cobalt existieren EKA-Werte (im Urin; $6 \mu\text{g/l} \triangleq 10 \mu\text{g/m}^3$; $60 \mu\text{g/l} \triangleq 100 \mu\text{g/m}^3$, lineare Korrelation), die für die personenbezogene Beurteilung der Arbeitsplatzbelastung durch die Betriebsärztin oder den Betriebsarzt herangezogen werden können. Bei der Beratung des Arbeitgebers zur Gefährdungsbeurteilung ist zu beachten, dass die Korrelation des EKA-Wertes sich auf die E-Fraktion und nicht auf die A-Fraktion bezieht.

(5) Eine Übersicht zur Expositionssituation gegenüber Cobalt in verschiedenen Branchen liefert die Auswertung der MEGA-Datenbank durch das IFA für den Zeitraum 2011 bis 2020. Eine aktualisierte Auswertung mit Blick auf die abgesenkte Toleranzkonzentration und den neuen AGW bestätigt im Wesentlichen diese Beschreibung. In den Expositionsbeschreibungen „Verarbeitung von Nichtelegmetall-Legierungen in Dentallaboratorien“¹⁶ und „Parallelfraesen von Zahnersatz aus NEM-Legierungen in Dentallaboratorien“¹⁷ aus den Jahren 2020 und 2023 der BG ETEM sind Expositionsdaten zu Cobalt in der A-Fraktion aufgeführt.

3.3.6 Nickelverbindungen

(1) Die ERB-Ableitung für Nickelverbindungen gilt für alle als krebserzeugend Kategorie 1A und 1B eingestuften Nickelverbindungen. Sie gilt nicht für Nickel-Metall (krebserzeugend Kategorie 2). Die Toleranzkonzentration wurde aufgrund der nicht krebserzeugenden Wirkung festgelegt, da diese unterhalb der risikobasierten Toleranzkonzentration für die krebserzeugende Wirkung (Risiko 4:1000) liegt. Dieser Wert stimmt in diesem Fall mit der Höhe der Akzeptanzkonzentration überein, so dass der Bereich des mittleren Risikos entfällt. Tätigkeiten mit Exposition gegenüber Nickel-Metall fallen nicht in den Anwendungsbereich dieser TRGS. Es gilt der AGW von $6 \mu\text{g/m}^3$ für die A-Fraktion entsprechend TRGS 900 „Arbeitsplatzgrenzwerte“. Für die E-Fraktion gilt ein AGW von $30 \mu\text{g/m}^3$ sowohl für Nickel-Metall als auch die krebserzeugenden Nickelverbindungen. Für die Festlegung des AGW für Nickel-Metall als auch der Toleranzkonzentration für Nickelverbindungen sind entzündliche Wirkungen in der Lunge herangezogen worden. Eine Beurteilung anhand des AGW für Nickel-Metall kann dann erfolgen, wenn ausschließlich Nickelmetall vorliegt.

¹⁶ <https://www.bgetem.de/redaktion/arbeitssicherheit-gesundheitsschutz/dokumente-und-dateien/themen-von-a-z/gefahrstoffe/expositionsbeschreibungen/expositionsbeschreibung-verarbeitung-von-nichtedelmetall-legierungen-in-dentallaboratorien>.

¹⁷ <https://www.bgetem.de/arbeitssicherheit-gesundheitsschutz/themen-von-a-z-1/gefaehrungen-durch-arbeitsstoffe/gefahrstoffe/standardisierte-verfahren-zur-gefaehrungsbeurteilung/expositionsbeschreibung-parallelfraesen-in-dentallaboratorien-2023.pdf>.

(2) Wenn bei Tätigkeiten nickelhaltige Stäube entstehen, bei denen nur eine Oberflächenoxidation zu unterstellen ist, sind diese wie nickelmetallhaltige Gemische zu behandeln. Bei Anwendung thermischer Verfahren in Gegenwart von Luftsauerstoff ist grundsätzlich eine Bildung von oxidischen Nickelverbindungen anzunehmen. Dies ist beispielsweise beim Schweißen (Elektroden oder Draht) und thermischen Schneiden mit bzw. von Legierungen, beim Metallspritzen von Legierungen, beim Schmelzen und Gießen von Legierungen und beim Schleifen und Trennen von Legierungen mit „Funkenbildung“ der Fall. Weitere Empfehlungen sowie Beispiele für Arbeitsverfahren, bei denen der AGW bzw. die ERB-Werte zur Beurteilung herangezogen werden können, enthält die IFA-Arbeitsmappe (Kennzahl 0537¹⁸).

(3) Aufgrund der hautsensibilisierenden Eigenschaften vieler Nickelverbindungen sind besondere Schutzmaßnahmen beim Hautkontakt mit Nickelverbindungen notwendig (siehe TRGS 401). Ebenfalls in der Gefährdungsbeurteilung zu berücksichtigen sind die atemwegsensibilisierenden Eigenschaften von Nickel und seinen Verbindungen (siehe TRBA/TRGS 406).

(4) Nickelverbindungen werden in der Galvanik zur Abscheidung von metallischen Korrosionsschutzschichten, in der Katalysatorindustrie (z. B. bei der Hydrierung ungesättigter Fettsäuren), bei der Herstellung von Chemikalien und Pigmenten sowie bei der Batterieherstellung eingesetzt. Nickelverbindungen können auch bei der thermischen oder mechanischen Bearbeitung nickelhaltiger Legierungen, z. B. aus nichtrostenden Stählen und aus hitze- und korrosionsbeständigen Legierungen sowie bei der thermischen Verarbeitung von Nickelpulver, z. B. beim thermischen Spritzen, freigesetzt werden.

(5) Eine Übersicht zur Expositionssituation an Arbeitsplätzen aus den Jahren 2011 bis 2020 zu Nickel-Verbindungen bieten Auswertungen des IFA¹⁹. Bei der Herstellung und Verwendung von Hartmetall ist mit einer Exposition gegenüber Nickel zu rechnen und weniger mit einer Exposition gegenüber Nickelverbindungen. Deshalb ist vorrangig der AGW für Nickelmetall für die Beurteilung heranzuziehen.

(6) Der Berufskrankheiten-Report „Nickel“ (DGUV²⁰) enthält Auswertungen von ca. 33.000 Messwerten gegenüber Nickel und seinen Verbindungen aus den Jahren 1975 bis 2016 im E-Staub mit den Schwerpunkten Schweißen, Maschinen- und Apparatebau, Galvanik und Gießereien.

4 Allgemeine Schutzmaßnahmen

4.1 Branchenübergreifende Schutzmaßnahmen

(1) Der Arbeitgeber hat die Möglichkeit einer Substitution durch Stoffe oder Gemische mit geringerer Gesundheitsgefährdung zu prüfen und vorrangig durchzuführen (siehe TRGS 600). Insbesondere hat er auch zu prüfen, ob pulverförmige Materialien durch weniger staubende ersetzt werden können. Beispiele sind der Ersatz von feinpulvrigem oder „mehligem“ Material durch z. B. grobkörniges oder stückiges Material. Es ist ebenso zu prüfen, ob Pellets, Granulat, Wachs, Pasten oder Schlicker eingesetzt werden können.

¹⁸ <http://www.dguv.de/ifa%3b/publikationen/ifa-arbeitsmappe-messung-von-gefahrstoffen/index.jsp>.

¹⁹ Datenblatt „Expositionsdaten zu Nickelverbindungen in der A-Fraktion“ (dguv.de).

Datenblatt „Expositionsdaten zu Nickelverbindungen in der E-Fraktion“ (dguv.de).

²⁰ Nickel und seine Verbindungen (BK Report 1/2021).

(2) Kann der Arbeitgeber eine Gefährdung der Beschäftigten bei Tätigkeiten mit krebserzeugenden Stoffen nicht ausschließen, so hat er unabhängig von der tatsächlichen Expositionshöhe und dem damit korrespondierenden Risikobereich diese auf ein Minimum zu reduzieren. Dabei haben technische Maßnahmen Vorrang vor organisatorischen und persönlichen Schutzmaßnahmen oder arbeitsmedizinischer Überwachung (siehe TRGS 500 „Schutzmaßnahmen“).

(3) Wenn es bei Betriebsstörungen zur Freisetzung von krebserzeugenden Stoffen kommen kann, sind alle Maßnahmen wie bei einer hohen Exposition zu treffen. Insbesondere ist geeigneter Atemschutz (z. B. Atemschutzgeräte) in ausreichender Anzahl und ggf. Schutzhandschuhe vorzuhalten.

(4) Folgende Schutzmaßnahmen sind **generell** bei Tätigkeiten mit krebserzeugenden Stoffen zu berücksichtigen:

1. Technische Maßnahmen

- a) Die räumliche Abgrenzung (siehe Abschnitt 2 Absatz 5) eines Arbeitsbereichs ggf. in Verbindung mit raumluftechnischen/lüftungstechnischen oder baulichen Maßnahmen hat das Ziel, eine Belastung von Beschäftigten in anderen Arbeitsbereichen durch freigesetzte, krebserzeugende Stoffe zu verhindern. Dies kann durch eine Reduzierung der verwendeten, expositionsrelevanten Stoffmengen unterstützt werden. Durch regelmäßige Kontrolle der Funktion und Wirksamkeit der technischen Schutzmaßnahmen ist sicherzustellen, dass keine Verschlechterung der Expositionssituation eintritt.

2. Organisatorische Maßnahmen

- a) Der Arbeitgeber hat sicherzustellen, dass Tätigkeiten mit krebserzeugenden Metallen nur von fachkundigen oder entsprechend tätigkeitsbezogenen unterwiesenen Personen gemäß § 10 Absatz 2 Nummer 4 GefStoffV ausgeführt werden. Belastete Arbeitsbereiche sind abzugrenzen und dürfen nur Beschäftigten zugänglich sein, die dort Tätigkeiten durchführen.
- b) Liegt bei krebserzeugenden Metallen oder Metallverbindungen zugleich eine Einstufung als akut toxisch Kategorie 1, 2 oder 3 vor so sind diese Gefahrstoffe unter Verschluss oder in vergleichbarer Weise so aufzubewahren oder zu lagern, dass nur zuverlässige Personen Zugang haben, die fachkundig oder entsprechend tätigkeitsbezogen unterwiesen sind.
- c) Die Expositionsdauer als auch die Zahl der Exponierten sind so weit wie möglich zu minimieren. Hierzu können betriebliche Vereinbarungen getroffen werden.
- d) Die gesonderten organisatorischen Vorgaben der TRGS 500 zur Schichtarbeit, Pausenregelung und Nachtarbeit sind zu beachten.
- e) Der Arbeitgeber hat sicherzustellen, dass den Beschäftigten vor Aufnahme der Tätigkeit eine schriftliche Betriebsanweisung zugänglich gemacht wird. Die Betriebsanweisung ist auf Basis der Gefährdungsbeurteilung bei wesentlichen Veränderungen zu aktualisieren.
- f) Im Rahmen der Unterweisung hat der Arbeitgeber die Beschäftigten vor Aufnahme der Tätigkeit über die Expositionshöhe und den zugeordneten Risikobereich zu unterrichten. Die Unterweisung erfolgt auf Grundlage der Gefährdungsbeurteilung und anhand der Betriebsanweisung. Dies schließt eine allgemeine, arbeitsmedizinisch-

toxikologische Beratung unter Beteiligung der Betriebsärztin oder des Betriebsarztes ein (siehe hierzu auch Abschnitt 6 dieser TRGS). Es sollte in der Unterweisung der Beschäftigten darauf hingewiesen werden, dass die konsequente Umsetzung aller Maßnahmen eine besondere Bedeutung zukommt. Schon geringe freigesetzte Staubmengen können vor dem Hintergrund der sehr niedrigen Grenzwerte und Konzentrationen zu deren Überschreitung führen.

- g) Als Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung sind Warn- und Sicherheitszeichen einschließlich der Verbotszeichen „Zutritt für Unbefugte verboten“ und „Rauchen verboten“ nach § 10 GefStoffV anzubringen (siehe auch ASR A1.3 Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnung).
- h) Nach unvorhergesehener, erhöhter Exposition sind die Beschäftigten und ggf. der Betriebsrat zu informieren.
- i) Verunreinigte Arbeitsbereiche sind regelmäßig fachgerecht zu reinigen.

3. Hygiene-Maßnahmen

- a) Das individuelle Verhalten und die persönliche Hygiene beeinflussen die Aufnahme von krebserzeugenden Metallen maßgeblich. Daher sind individuelle Vorgaben für die persönliche Schutzausrüstungen und die persönliche Hygiene (persönliche Hygienepläne) festzulegen. Die Beschäftigten sind über die Auswirkungen des persönlichen Verhaltens auf die Wirksamkeit der Hygienemaßnahmen zu unterweisen. Der Arbeitgeber hat ausreichend Zeit für Hygiene-Maßnahmen zur Verfügung zu stellen und auf deren Umsetzung zu achten (siehe TRGS 500).
- b) Die gesonderten organisatorischen Vorgaben der TRGS 500 zur getrennten Aufbewahrung von Straßen- und Arbeitskleidung sind zu beachten.
- c) Beschäftigte, die Tätigkeiten mit krebserzeugenden Metallen ausführen, dürfen in Arbeitsräumen oder an ihren Arbeitsplätzen keine Nahrungs- oder Genussmittel zu sich nehmen (z. B. Essen, Trinken, Kaugummi kauen, Rauchen und Schnupfen). Für diese Beschäftigten sind Bereiche einzurichten, in denen sie Nahrungs- oder Genussmittel ohne Beeinträchtigung ihrer Gesundheit durch eine tätigkeitsbedingte Exposition zu sich nehmen können (vergleiche TRGS 500 und ASR A4.2 „Pausen- und Bereitschaftsräume“). Nur bei Tätigkeiten mit erhöhtem Flüssigkeitsbedarf (z. B. an Hitzearbeitsplätzen) kann abweichend davon die Getränkeaufnahme in räumlicher Nähe zum Arbeitsbereich unter Beachtung geeigneter Hygienemaßnahmen ermöglicht werden (z. B. durch Benutzung von Trinkflaschen mit Trinkventil und Trinkventil-Schutzkappe).
- d) Durch Stäube kontaminierte Arbeitskleidung und Schutzkleidung darf nicht ausgeschüttelt und generell nicht abgeblasen werden. Der Arbeitgeber stellt sicher, dass Beschäftigte mit kontaminierter Arbeits- und Schutzkleidung diese nicht in andere Bereiche verschleppen. Dies kann zum Beispiel dadurch erreicht werden, dass kontaminierte Arbeitskleidung in dafür vorgesehenen Bereichen abgelegt und bis zur Reinigung oder Entsorgung gelagert werden. Kontaminierte Arbeitskleidung verbleibt im Betrieb und wird auf Veranlassung des Arbeitgebers sachgerecht gereinigt oder entsorgt. Weitere Informationen hierzu finden sich in der TRGS 500 Abschnitt 6, 7 und 9.

4. Persönliche Schutzausrüstungen

- Ausschuss für Gefahrstoffe - AGS-Geschäftsführung - BAuA - www.baua.de/ags -

- a) Die geeigneten persönlichen Schutzausrüstungen (PSA) sind nach § 9 Absatz 3, 4 und 5 GefStoffV durch den Arbeitgeber auszuwählen, bereitzustellen und deren Pflege und Wartung sind sicherzustellen (DGUV Regel 112-189ff). Die Trageverpflichtung sowie die Aufbewahrung und Nutzung der PSA für die Beschäftigten ist in der Betriebsanweisung zu regeln. Geeignete Aufbewahrungsmöglichkeiten für die PSA sind im Betriebsbereich zur Verfügung zu stellen. Dies kann zum Beispiel auch im nicht-kontaminierten Bereich einer Mehrkammerschleuse erfolgen.
- b) Die Auswahl von geeignetem Atemschutz ist gemäß DGUV Regel 112-190²¹ („Benutzung von Atemschutzgeräten“) vorzunehmen. Bei der Auswahl ist nicht belastender Atemschutz bevorzugt auszuwählen. Die Filtergeräte sind in Abhängigkeit von der Expositionssituation auszuwählen, jedoch ist mindestens ein P2-Filter einzusetzen.

Technische, organisatorische und persönliche Schutzmaßnahmen sind regelmäßig auf ihre Funktion und Wirksamkeit zu überprüfen.

(5) Folgende zusätzliche Schutzmaßnahmen sind bei Tätigkeiten mit krebserzeugenden Metallen im Bereich mittleren Risikos zu berücksichtigen:

1. Technische Maßnahmen

- a) Soweit durch die bereits ergriffenen Maßnahmen eine Exposition in anderen Arbeitsbereichen nicht ausreichend verhindert wird, sind räumliche Abtrennungen (siehe Abschnitt 2 Absatz 6) vorzunehmen.
- b) Der Arbeitgeber hat unter Berücksichtigung der Höhe der Exposition mit Bezug zum Risiko entsprechend der ERB im konkreten Einzelfall technische Maßnahmen nach dem Stand der Technik wie in Abschnitt 5 beschrieben zu ergreifen. Im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung ist dies zu dokumentieren.

2. Organisatorische Maßnahmen

- a) Wenn bei Tätigkeiten mit krebserzeugenden Gefahrstoffen der Kategorie 1A oder 1B trotz Ausschöpfung der technischen Schutzmaßnahmen Tätigkeiten im Bereich oberhalb der Akzeptanzkonzentration ausgeübt werden, hat der Arbeitgeber entsprechend § 10 Absatz 5 GefStoffV unverzüglich einen Maßnahmenplan zu erstellen. Der Maßnahmenplan ist zusammen mit der Dokumentation der Gefährdungsbeurteilung aufzubewahren.
- b) Der Arbeitgeber hat nach § 10a GefStoffV ein Verzeichnis über die Beschäftigten zu führen, bei denen bei Tätigkeiten mit krebserzeugenden Stoffen der Kategorie 1 eine gesundheitliche Gefährdung gegeben ist (Expositionsverzeichnis). Dies ist im Bereich oberhalb der Akzeptanzkonzentration der Fall. Konkrete Hinweise hierzu enthält die TRGS 410.
- c) Der Arbeitgeber kann seiner Aufbewahrungs- und Aushändigungspflicht nachkommen, indem er die erforderlichen Daten an den für die Beschäftigten zuständigen Unfallversicherungsträger oder einen Verband der Unfallversicherungsträger übermittelt. Hierzu kann der Arbeitgeber die Zentrale Expositionsdatenbank (ZED) der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) nutzen.

²¹ <http://publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/R-190.pdf>.

3. Hygiene-Maßnahmen

- a) Gegenstände des persönlichen und privaten Gebrauchs (Mobiltelefone, Taschen etc.) sollen nicht mit an den Arbeitsplatz gebracht werden.
- b) Der Arbeitgeber hat geeignete Schutzausrüstungen zur Verfügung zu stellen und zu reinigen. Es wird außerdem empfohlen, dass der Arbeitgeber die Arbeitskleidung stellt. Im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung ist dann zu ermitteln, ob die Arbeitskleidung durch Gefahrstoffe verschmutzt werden kann. Wenn das der Fall ist, hat der Arbeitgeber auch die Arbeitskleidung zu reinigen.
- c) Vor dem Essen, Trinken, Kaugummi kauen, Rauchen und Schnupfen in den dafür vorgesehenen Bereichen sind Hände und ggf. Gesicht zu waschen.
- d) Beim Betreten von Pausen- und Bereitschaftsräumen muss eine Gefährdung, z. B. durch verschmutzte persönliche Schutzausrüstungen, verhindert werden.
- e) Im Bereich der Toleranzkonzentration sowie darunter oder der Konzentration von $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für Chrom(VI)-Verbindungen sowie darunter kann eine räumliche Schwarz-Weiß-Trennung zum Beispiel durch zwei mit einem Waschraum verbundene Umkleieräume oder durch ein mit dem Arbeitsbereich verbundenes Schleusensystem zum An- und Ablegen der Arbeits- und Schutzkleidung in Abhängigkeit der ermittelten konkreten Exposition erforderlich sein. Konkrete Vorgaben zu speziellen Bereichen finden sich in Abschnitt 5 dieser TRGS.

4. Persönliche Schutzausrüstungen

- a) Der Arbeitgeber hat den Beschäftigten Atemschutz zur Verfügung zu stellen. Bei Tätigkeiten mit Expositionsspitzen muss Atemschutz getragen werden.
- b) Die Tragezeit-Begrenzung von Atemschutz gemäß DGUV Regel 112-190 und die zuvor genannten Hygiene-Maßnahmen für PSA sind zu beachten. Auf den rechtzeitigen Wechsel der Filter von filternden Atemschutzgeräten und die Auswahl geeigneter Schutzhandschuhe ist zu achten.

(6) Werden Tätigkeiten mit krebserzeugenden Metallen im Bereich hohen Risikos durchgeführt oder wird der Arbeitsplatzgrenzwert oder die Konzentration von $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für Chrom(VI)-Verbindungen überschritten, so sind – aufbauend auf den Maßnahmen gemäß Absatz 5 für Tätigkeiten im mittleren Risikobereich – zusätzlich folgende Schutzmaßnahmen zu berücksichtigen:

1. Technische Maßnahmen

- a) Soweit durch die bereits ergriffenen Maßnahmen eine Exposition in anderen Arbeitsbereichen nicht ausreichend verhindert wird, ist mindestens eine räumliche Abtrennung (siehe Abschnitt 2 Absatz 6) oder ggf. eine räumliche Trennung (siehe Abschnitt 2 Absatz 7) notwendig. Der Arbeitgeber hat technische Maßnahmen (z. B. Reduzierung der Menge, Absaugung und Raumlüftung, geschlossene Systeme) nach dem Stand der Technik verpflichtend zu ergreifen. Das Schutzziel kann auch auf der Basis der branchenüblichen Verfahrens- und Betriebsweisen, ergänzt durch weitere Schutzmaßnahmen nach dem Stand der Technik, wie in Abschnitt 5 beschrieben, erreicht werden.

2. Organisatorische Maßnahmen

- a) Bei Tätigkeiten, bei denen nach § 10 Absatz 3 GefStoffV eine wesentlichen Erhöhung der Exposition der Beschäftigten durch krebserzeugende Metalle zu erwarten ist und bei denen jede Möglichkeit weiterer technischer Schutzmaßnahmen zur Begrenzung dieser Exposition bereits ausgeschöpft wurde, hat der Arbeitgeber nach Beratung mit den Beschäftigten oder mit ihrer Vertretung Maßnahmen zu ergreifen, um die Anzahl der exponierten Beschäftigten auf ein Mindestmaß zu begrenzen und die Dauer der Exposition so weit wie möglich zu verkürzen, um den Schutz der Beschäftigten während dieser Tätigkeiten zu gewährleisten.
- b) Gemäß § 10a Absatz 5 GefStoffV hat der Arbeitgeber Tätigkeiten mit krebserzeugenden Metallen, bei denen der Arbeitsplatzgrenzwert nicht eingehalten wird oder im Bereich hohen Risikos der zuständigen Behörde innerhalb einer Frist von zwei Monaten nach Aufnahme der Tätigkeit mitzuteilen. Der Mitteilung ist ein Maßnahmenplan (siehe Absatz 5 Nummer 2a dieses Abschnitts) unter Angabe der ermittelten Exposition schriftlich oder elektronisch beizufügen. Gemäß § 10 Absatz 6 hat der Arbeitgeber in diesen Fällen außerdem sicherzustellen, dass die Tätigkeiten gemäß den Vorgaben dieser TRGS ausgeübt werden.
- c) Der Arbeitgeber hat die Beschäftigten wie im Fall einer Exposition im Bereich mittlerer Risiken in das Verzeichnis gemäß § 10a GefStoffV aufzunehmen (siehe auch Absatz 5 Punkt 2 c) und d)).

3. Hygiene-Maßnahmen

- a) Gegenstände des persönlichen und privaten Gebrauchs (Mobiltelefone, Taschen etc.) sind nicht erlaubt. Der Arbeitgeber stellt eine geeignete Möglichkeit zur Aufbewahrung dieser Gegenstände zur Verfügung, die erforderlichenfalls abschließbar ist.
- b) Grundsätzlich ist im Bereich hohen Risikos Schutzkleidung einzusetzen. Diese ist vom Arbeitgeber zu stellen und zu reinigen.
- c) Saubere Schutzkleidung und andere PSA sind außerhalb des exponierten Bereichs staubfrei und trocken, aber getrennt von benutzter Schutzkleidung und benutzter PSA aufzubewahren. Alternativ ist die Schutzkleidung und die PSA nach Exposition zu reinigen oder auszutauschen.
- d) Bei absehbar dauerhafter Überschreitung von Toleranzkonzentration, Arbeitsplatzgrenzwert oder der Konzentration von 1 µg/m³ für Chrom(VI)-Verbindungen ist die Einrichtung einer räumlichen Schwarz-Weiß-Trennung zum Beispiel durch zwei mit einem Waschraum verbundene Umkleieräume oder durch ein mit dem Arbeitsbereich verbundenes Schleusensystem zum An- und Ablegen der Arbeits- und Schutzkleidung zu prüfen und die Einrichtung ggf. umzusetzen. Konkrete Vorgaben zu speziellen Bereichen finden sich in Abschnitt 5 dieser TRGS.
- e) Bei Schicht-/Arbeitsende ist die Körperreinigung durch Duschen und Haare waschen erforderlich. Reinigungs- und Pflegemittel sind den Beschäftigten zur Verfügung zu stellen. Den Beschäftigten ist für Hygienemaßnahmen ausreichend Arbeitszeit einzuräumen.

4. Persönliche Schutzausrüstungen

- a) Von den Beschäftigten ist Atemschutz (gemäß DGUV Regel 112-190 mindestens Klasse P 2) zu tragen. Bei Tätigkeiten, bei denen belastender Atemschutz dauerhaft getragen werden muss, ist nach § 7 Absatz 5 GefStoffV in Verbindung mit § 19 Absatz 1 GefStoffV eine zeitlich befristete Ausnahme bei der zuständigen Behörde zu beantragen.
- b) Als belastender Atemschutz gelten alle für krebserzeugende Stoffe geeignete Atemschutzgeräte, mit Ausnahme von Filtergeräten mit Gebläseunterstützung und Frischluft- und Druckluftschlauchgeräte mit Haube oder Helm (siehe hierzu auch Arbeitsmedizinische Regel AMR 14.2 „Einteilung von Atemschutzgeräten in Gruppen“). Belastender Atemschutz darf keine dauerhafte Maßnahme sein. Empfohlen wird die Verwendung von nicht belastendem Atemschutz.
- c) Nach Beendigung der Tätigkeit ist erst die kontaminierte Arbeitskleidung und danach das Atemschutzgerät abzulegen. Es ist sicherzustellen, dass die PSA nicht in kontaminierten Bereichen abgelegt wird.

4.2 Staubvermeidung

- (1) Aufgrund der hohen Gefährdung durch krebserzeugende Metalle sind Maßnahmen zur Vermeidung/Verringerung des Staubaufkommens zwingend notwendig. Hinweise zum Staubungsverhalten können ggf. dem Abschnitt 9 des Sicherheitsdatenblattes entnommen werden.
- (2) Der Arbeitgeber hat Materialien, Arbeitsverfahren, Maschinen und Geräte so auszuwählen, dass möglichst wenig Staub freigesetzt wird. Grundsätzliche Hinweise hierzu enthält auch die TRGS 500 Abschnitt 9 „Schutzmaßnahmen bei Tätigkeiten mit Exposition gegenüber Staub“.
- (3) Explosionsschutzmaßnahmen sind zu treffen, soweit Metallstäube in explosionsfähigen Konzentrationen vorliegen. Diese Bedingungen werden üblicherweise erst deutlich über der Toleranzkonzentration erreicht.
- (4) Arbeitsverfahren sind so auszuwählen und durchzuführen, dass möglichst wenig Staub freigesetzt wird. Es sollte geprüft werden, ob weniger staubende Materialien (Pellets, Wachse etc.) verwendet werden können. Bei Tätigkeiten mit Staubexposition ist eine Ausbreitung des Staubes auf unbelastete Arbeitsbereiche zu vermeiden. Dies kann u.a. durch folgende Maßnahmen erreicht werden:
 1. Der offene Umgang mit staubenden/pulverförmigen Materialien ist zu vermeiden. Dies kann erreicht werden, indem mit geschlossenen Maschinen/Anlagen gearbeitet wird und stark staubende Rohstoffe, Produkte und Abfälle in geschlossenen Systemen gelagert und transportiert werden, z. B. Lagerung in geschlossenen Silos, geschlossenen Säcken, Big-Bags, abgedeckten Containern, Förderung in geschlossenen Rohrleitungen, Verwendung von auflösbaren/verlorenen Verpackungen.
 2. Anfeuchten des Materials, wenn dies nicht nachteilig für die Ver- bzw. Bearbeitung ist.
 3. Für das Um- und Abfüllen staubender/pulverförmiger Materialien sind nach Möglichkeit geschlossene Systeme mit Luftpendelung zu verwenden, beispielsweise spezielle Füll- bzw. Entleerstationen für Fässer, Big Bags, Säcke etc. Sind geschlossene Systeme nicht möglich oder nicht angemessen, ist eine Kapselung und wirksame Absaugung nach dem Stand der Technik wie in Abschnitt 5 beschrieben vorzusehen.

(5) Maschinen und Geräte sind so auszuwählen und zu betreiben, dass möglichst wenig Staub freigesetzt wird. Staubemittierende Anlagen, Maschinen und Geräte müssen mit einer wirksamen Absaugung nach dem Stand der Technik versehen sein, soweit die Staubbefreiung nicht durch andere Maßnahmen verhindert wird. Dies kann z. B. erreicht werden durch die Verwendung von Maschinen und Geräten,

1. deren Staubquellen gekapselt sind,
2. die verkleidet sind,
3. die unter Unterdruck betrieben werden insofern Brand- und Explosionsgefährdung ausgeschlossen sind,
4. bei denen der Staub an Arbeitsöffnungen, Übergabestellen, Entstehungs- oder Austrittsstellen abgesaugt wird,
5. bei denen durch Benetzen oder Wasserzuführung eine ausreichende Staubminderung erreicht wird,
6. die mit geschlossenen Fahrerkabinen und mit einem geeigneten Filter zur Reinigung der Außenluft ausgestattet sind (dies ist nicht automatisch bei klimatisierten Kabinen der Fall), oder
7. die über/durch separate und fremdbelüftete Leitwarten gesteuert werden.

(6) Krebserzeugende Metalle und Legierungen sind – sofern eine inhalative Gefährdung besteht – grundsätzlich verpackt oder in speziell dafür vorgesehenen Behältern oder Räumen zu lagern. Die Regelungen für Gefahrstoffe, die als krebserzeugend Kategorie 1A oder 1B eingestuft sind, wie in der TRGS 509 „Lagern von flüssigen und festen Gefahrstoffen in ortsfesten Behältern sowie Füll- und Entleerstellen für ortsbewegliche Behälter“ und TRGS 510 „Lagerung von Gefahrstoffen in ortsbeweglichen Behältern“ beschrieben, sind zu berücksichtigen. Transportwege sind möglichst kurz zu halten. Wenn Staub freigesetzt werden kann, sind kontinuierliche Transportmethoden in geschlossenen Systemen zu bevorzugen. Wo dies nicht möglich oder nicht angemessen ist, sind geschlossene oder abgedeckte Behälter zu verwenden. Es ist darauf zu achten, dass die Behälter äußerlich frei von Anhaftungen sind. Gegebenenfalls sind sie vor dem Transport zu reinigen.

(7) Arbeitsräume, in denen Staub auftreten kann, sind nach Möglichkeit so zu gestalten und zu unterhalten, dass

1. Wände und Decken zur Vermeidung von Staubanhaftung glatt sind,
2. Ablagerungsflächen für Staub vermieden werden,
3. Böden, Arbeits- und Oberflächen leicht zu reinigen sind,
4. Arbeitsräume mit unterschiedlichen Staubkonzentrationen durch bauliche Maßnahmen, ggf. ergänzt durch getrennte Abluftsysteme voneinander getrennt sind.

Ablagerungsflächen können z. B. durch Abschrägungen oder Verkleidungen vermieden werden.

(8) Kann das Freiwerden von Staub nicht ausreichend minimiert werden, ist dieser an der Austritts- oder Entstehungsstelle möglichst vollständig zu erfassen und gefahrlos zu entsorgen. Ist eine ausreichende Erfassung des Staubes nicht möglich, so sind weitere lufttechnische Maßnahmen, wie Arbeitsplatzlüftungen, erforderlich. Dabei ist die Luft so zu führen, dass so wenig Staub wie möglich in die Atemluft der Beschäftigten gelangt.

(9) Einrichtungen zum Erfassen, Niederschlagen und Abscheiden von Stäuben und lufttechnische Maßnahmen müssen dem Stand der Technik entsprechen. Bei der erstmaligen Inbetriebnahme sowie bei den wiederkehrenden Prüfungen dieser Einrichtungen ist der Nachweis einer ausreichenden Wirksamkeit zu erbringen.

(10) Bei der Absaugung ist zu berücksichtigen, dass die abgesaugte Luft nur dann zurückgeführt werden darf, wenn die Luft unter Anwendung von behördlich oder von den Trägern der gesetzlichen Unfallversicherung anerkannten Verfahren oder Geräten ausreichend gereinigt ist. Siehe hierzu auch TRGS 560 „Luftrückführung bei Tätigkeiten mit krebserzeugenden, erbgutverändernden und fruchtbarkeitsgefährdenden Stäuben“.

(11) Einrichtungen zum Erfassen, Niederschlagen und Abscheiden von Stäuben und lufttechnische Anlagen sind entsprechend den Ergebnissen der Gefährdungsbeurteilung unter Berücksichtigung der vom Hersteller angegebenen Zeitabstände auf ihre Funktion und Wirksamkeit zu prüfen, zu warten und gegebenenfalls in Stand zu setzen. Die Durchführung der Prüfungen und das Ergebnis sind zu dokumentieren.

(12) Wenn bei Instandhaltungsarbeiten der direkte Kontakt zu krebserzeugenden Metallen möglich ist, sind die entsprechenden Anlagen und Maschinen möglichst vorher zu entleeren und zu reinigen. Dabei sind entsprechend der Gefährdungsbeurteilung festgelegte, geeignete persönliche Schutzausrüstungen zu tragen.

(13) Aggregate, Messgeräte oder andere Anlagenteile, die aus dem Arbeitsbereich herausgenommen werden – z. B. für Wartungs- oder Reparaturzwecke – sind vorher zu reinigen. Wenn dies nicht oder nur unvollständig möglich ist, sind sie entsprechend zu kennzeichnen. Es ist dann auch dafür zu sorgen, dass während des Transportes keine Gefahrstoffe freigesetzt werden können.

(14) Ablagerungen von Stäuben sind zu vermeiden. Arbeitsräume, Arbeitsplätze, Pausenbereiche, Verkehrswege, Betriebsanlagen, Maschinen und Geräte sind regelmäßig zu reinigen. Die Reinigungsintervalle sind auf der Grundlage der Gefährdungsbeurteilung festzulegen. Die Reinigungsarbeiten sind so durchzuführen, dass die Freisetzung und Aufwirbelung von Staub vermieden wird, z. B. mit Feucht- oder Nassverfahren oder saugend unter Verwendung geeigneter Staubsauger oder Entstauber. Dies wird z. B. erreicht, wenn

1. fest installierte Staubsauganlagen, staubbeseitigende Maschinen oder Geräte, die die Anforderungen des folgenden Absatzes 15 erfüllen, verwendet werden,
2. feucht gewischt oder nass gereinigt wird,
3. befestigte Verkehrswege mit Scheuersaugmaschinen, die die Anforderungen des folgenden Absatzes 15 erfüllen, gekehrt werden und dabei das Kehrgut aufgenommen wird.

(15) Staubbeseitigende Maschinen oder Geräte müssen dem Stand der Technik entsprechen. Für Entstauber und Industriestaubsauger entspricht das der Ausführung in Staubklasse H. Eine Positivliste geprüfter staubbeseitigender Maschinen wird im IFA-Handbuch, Kennzahl 510210/1 "Maschinen zur Beseitigung gesundheitsgefährlicher Stäube – Positivliste"²² regelmäßig bekannt gemacht. Geeignete Scheuersaugmaschinen sind bezüglich ihres Filtermaterials nach DIN EN 60335-2-69 Anhang AA staubtechnisch geprüft und erfüllen die Anforderungen der Staubklasse M.

(16) Das Reinigen durch Kehren ohne staubbindende Maßnahmen (Fegen) oder Abblasen von Staubablagerungen mit Druckluft ist nicht zulässig.

²² <http://www.dguv.de/ifa/publikationen/ifa-handbuch/index.jsp>.

(17) Fahrstraßen und Wege in Außenbereichen, die aus technischen Gründen nicht gereinigt werden können, sollten zur Vermeidung von Staubaufwirbelungen regelmäßig und möglichst drucklos befeuchtet werden. Auf eine Befeuchtung kann verzichtet werden, wenn sich keine Personen in staubgefährdeten Bereichen von Fahrstraßen aufhalten und das Fahrpersonal in der Kabine gegen Staubeinwirkung geschützt ist.

(18) Arbeitsstätten sind mit den erforderlichen Mitteln zur Reinigung auszustatten. Je nach Arbeitsplatz können dies Mittel zur Nassreinigung (Wasserschlauch und Waschbürste, Scheu-ersaugmaschine) oder zur Trockenreinigung (Staubsauger) sein.

5 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 (Abschnitt 5.2 dieser TRGS).

(4) In der DGUV-Regel „Branche Metallhütten“²³ 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.

²³ In Vorbereitung.

- (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 von 1 µg/m³ 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 elektrolitischen 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. Abschnitt 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 Leitkomponente
Cu-Herstellung	Vorstofflager, Mischungsvorbereitung	As, Cd, Ni	As	> TK
	Konzentratschmelzung	As, Cd, Ni	As	> TK
	Konverter	As, Cd, Ni	As	> TK
	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) Messergebnisse aus einem Messprogramm eines UV-Trägers aus den Jahren 2019 – 2023 zeigen in den Bereichen NE-Metallgießereien folgende Tendenzen:

1. Arsenverbindungen (A-Staubfraktion): In Aluminiumgießereien kann eine Exposition gegenüber Arsenverbindungen nicht ausgeschlossen werden.
2. Beryllium (A-Staubfraktion): Der Arbeitsplatzgrenzwert wurde bei allen Messungen eingehalten.
3. Chrom(VI)-Verbindungen (E-Staubfraktion): Die vorliegenden Expositionswerte lagen < 1 µg/m³.
4. Nickelverbindungen (A-Staubfraktion): In den Arbeitsbereichen Kernmacherei, Schmelzen, Gießen und Putzen/Auspacken lagen die Expositionswerte < 2 µg/m³.

(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. Für das als krebserzeugend Kategorie 1B eingestufte Indiumphosphid gilt gemäß TRGS 900 ein Arbeitsplatzgrenzwert von 0,0001 mg/m³ in der A-Fraktion). Wegen der hohen Anforderungen an die Reinheit der Produkte ist hiernach

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 °C, der Sublimationspunkt von Arsen bei 613 °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 von 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. Wichtige Hinweise hierzu finden sich in Abschnitt 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 einzuhäusen 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 Staubentwicklung 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 Abschnitt 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 Heipressvorgang in das endfeste Hartmetall überführt. Die Bearbeitung gesinterter Hartmetallwerkzeuge erfolgt dann durch Schleifen, Honen, Läppen oder Polieren, Funkenerodieren oder Laserbearbeitung.
- (3) Für Cobalt sind Expositionsdaten in einer Auswertung des IFA für den Datenzeitraum von 2011 bis 2020²⁴ aufgeführt.

5.2.1 Verfahren und Tätigkeiten mit relevanter Exposition

Eine Exposition gegenüber Cobalt kann während des gesamten Herstellungsprozesses und im Lebenszyklus von Co-haltigen Erzeugnissen, wie Hartmetallwerkzeugen erfolgen, z. B. in Werkzeugschleifereien. 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

²⁴ Datenblatt „Expositionsdaten zu Cobaltverbindungen“ (dguv.de).

Fertigbearbeitung, liegt meistens eine Exposition gegenüber einem Aerosol aus Kühlschmierstoff und Schleifabrieb vor. Eine Exposition liegt ebenfalls beim Trockenschleifen von z. B. Hartmetallwerkzeugen 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 Mischen, beim Mahlen, beim Pressen, der Grünbearbeitung und beim Trockenschleifen gemessen. Bei den vorgenannten Tätigkeiten ist eine Exposition oberhalb der Toleranzkonzentration wahrscheinlich. Bei Nassbearbeitung (z. B. Drehen, Fräsen) ist die Exposition deutlich geringer und liegt in der Regel unterhalb der Toleranzkonzentration.

(2) Bei der Herstellung von Hartmetall wird auch Nickelmetall häufig verwendet. Expositionen gegenüber Nickel oder Nickelverbindungen sind basierend auf veröffentlichten Daten aus der Expositionsdatenbank der DGUV (MEGA) nicht auszuschließen. 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. Es besteht nicht immer die 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 durch partikelförmige Cobaltverbindungen oder Cobalt eingesetzt werden kann. Je nach Fertigungsprozess ist ebenfalls zu prüfen, ob anstelle von Pulvern emissionsärmere Verwendungsformen (Granulate) eingesetzt werden können.

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 ein Lösen von Cobalt in der flüssigen Phase verhindern, insbesondere spezielle aminfreie Kühlschmierstoffe, die mit Buntmetallinhibitoren (z. B. Benzotriazol) ausgerüstet sind. Diese überführen gelöstes Metall (z. B. Cobalt) in eine unlösliche Komplexverbindung und binden es dadurch. Die Komplexverbindung kann dann abfiltriert werden, so dass keine Anreicherung mit Cobalt erfolgt. Die Inhibitoren müssen entsprechend der Herstellerempfehlung regelmäßig nachdosiert werden, da sie sich durch die laufende Metallzugabe verbrauchen. Die Durchführung dieser Arbeitsschritte

sollte möglichst in weitestgehend geschlossenen und abgesaugten Kabinen stattfinden. Wegen der Aerosolbildung ist darauf zu achten, dass die Kabinen nach dem Bearbeitungsprozess erst nach Absaugung des sichtbaren Nebels geöffnet werden, da die Tröpfchen des Flüssig-aerosols die Metalle oder Metallverbindungen enthalten.

(3) Eine trockene Verwendung darf nur in geschlossenen Anlagen oder offen mit hochwirksamer Absaugeinrichtung durchgeführt werden (siehe Abschnitt 4.2 dieser TRGS). Bei einer offenen Verwendung von cobalthaltigem Hartmetallpulver (z. B. beim Einfüllen/Einwiegen von Pulver und Granulaten oder bei Tätigkeiten mit einer möglichen Staubexposition, Trockenschleifen, Trockenbearbeitung) muss stets 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 und können schnellstmöglich entfernt werden, um eine Aufwirbelung und eine dadurch bedingte zusätzliche Belastung der Luft zu vermeiden. Zur Verdeutlichung: 1 g entsprechen $10^6 \mu\text{g}$ (1.000.000 μg).

(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. Auch vor einer kurzen Pause (Trinken, Rauchen usw.) müssen die Beschäftigten Hände und falls notwendig das Gesicht waschen, die Kleidung absaugen und die Schuhe feucht säubern, um ein Verschleppen in nicht belastete Bereiche zu verhindern. Reinigungs- und Pflegemittel sind den Beschäftigten zur Verfügung zu stellen. Für die Reinigung der Kleidung haben sich spezielle absaugende 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 Abschnitt 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 derzeit zwei gängige Verfahren: Die Hochofenroute, in der Roheisen durch Reduktion von Eisenerz erzeugt und anschließend im Sauerstoff-Aufblas-konverter 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“²⁵ 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

(1) 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 Hohldrähten 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 anderer 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.

²⁵ <http://publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/109-601.pdf>.

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. Briquets oder in verpackter Form zu bevorzugen.
- (2) Schleifanlagen sollten durch Nassschleifen betrieben werden.
- (3) Durch kurze Einsatzzeiten in unmittelbarer Nähe von Strahlanlagen oder Flämanlagen 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 sind daher getrennt von benutzter Arbeitskleidung und benutzter PSA aufzubewahren (Schwarz–Weiß–Bereich). Für Arbeitsplätze mit absehbar dauerhafter Überschreitung von Toleranzkonzentration, Arbeitsplatzgrenzwert oder der Konzentration von $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ für Chrom(VI)-Verbindungen ist eine räumliche Schwarz-Weiß-Trennung, zum Beispiel durch zwei mit einem Waschraum verbundene Umkleieräume 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)²⁶ enthält Expositionsdaten. In der DGUV-Regel 109-602 „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.

²⁶ Galvanotechnik und Eloxieren – Empfehlungen Gefährdungsermittlung der Unfallversicherungsträger (EGU | DGUV Publikationen (<http://publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/213-716.pdf>)).

(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 $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (95 %-Wert) ausgesetzt.

(2) Niedrigere Chrom(VI)-Konzentrationen wurden im Allgemeinen beim Glanz- und Schwarzverchromen ($0,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$; 95 %-Wert). Beim Chromatieren beträgt der 95 %-Wert $6,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

(3) Beim chemischen und galvanischen Vernickeln sind die Beschäftigten Konzentrationen gegenüber Nickelverbindungen bis zu $2,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (95 %-Wert, A-Fraktion) und bis zu $7,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (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“²⁷ 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 Benutzung flüssiger Konzentrate ist gegenüber pulverförmigen Produkten vorzuziehen. Die Verwendung wirksamer Netzmittel bzw. Schaumabdeckungen führt z. B. zu einer Reduzierung der Chrom(VI)-Konzentration in der Luft beim Hart-, Glanz- oder Schwarzverchromen.

(4) Eine beispielhafte Sammlung von Informationen zu Chrom(VI)-freien Verfahren als Anregung für eine Substitution aus den Bereichen Galvanisierung von Sanitäranlagen, Dekorativverchromung in der Automobilindustrie und Hartverchromung von rotationssymmetrischen Bauteilen finden sich unter anderem auf dem Portal von SUBSPORTplus²⁸.

²⁷ <https://www.bgetem.de/redaktion/arbeitssicherheit-gesundheitsschutz/dokumente-und-dateien/themen-von-a-z/gefahrstoffe/expositionsbeschreibungen/verzinken-in-galvanotechnischen-betrieben>.

²⁸ <https://www.subsportplus.eu/DE/Home>.

5.4.4 Schutzmaßnahmen

- (1) Bei Umsetzung aller in der nachfolgenden Tabelle 3 aufgeführten technischen Schutzmaßnahmen kann der Arbeitgeber davon ausgehen, dass der Konzentration von $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ 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 die jeweiligen Grenzwerte und Konzentrationen gemäß Tabelle 1 eingehalten werden. 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 Schutzmaßnahmen zur Minderung der inhalativen Exposition zur Erreichung der Grenzwerte und Konzentrationen für Chrom(VI)-Verbindungen sowie für Nickel- und Cobaltverbindungen

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

X = Branchenübliche Verfahren und Betriebsweisen

Q = zusätzliche Schutzmaßnahmen nach dem Stand der Technik, wenn die Konzentration von 1 µg/m³ für Chrom(VI)-Verbindungen nicht eingehalten wird (siehe auch DGUV Regel 109-602 „Branche Galvanik“ nach Abschnitt 5.4 Absatz 2)

(4) Werden Netzmittel zur Expositionsminimierung eingesetzt, müssen diese gemäß den Vorgaben des Herstellers verwendet werden. Dies ist entsprechend zu dokumentieren.

(5) Bei einer Chrom(VI)-Konzentration unterhalb der Konzentration von 1 µg/m³ sind bei der galvanotechnischen Oberflächenbehandlung keine weiteren technischen Schutzmaßnahmen nötig, wenn durch diese Maßnahmen keine erhebliche Verringerung der Exposition zu erwarten ist.

(6) Werden die Verfahren in geschlossenen Anlagen mit einer mechanischen Prozessbehälterabdeckung und Absaugung mit raumlufttechnischer Anlage oder in einer quasi-geschlossenen Anlage (Prozessbehälter mit mechanischer Prozessbehälterabdeckung und abgesaugtem Transportwagen) durchgeführt, kann davon ausgegangen werden, dass die Konzentration von 1 µg/m³ für Chrom(VI)-Verbindungen und die Akzeptanzkonzentrationen für Nickelverbindungen sowie für Cobalt- und Cobaltverbindungen eingehalten wird. Die Wirksamkeit der raumlufttechnischen Anlage muss hierbei sichergestellt sein.

(7) Sofern während der Umsetzung der unter Absatz 2 und 3 beschriebenen Maßnahmen eine Gefährdung nicht ausgeschlossen werden kann, ist diese durch Anwendung geeigneter

organisatorischer Maßnahmen, gefolgt von individuellen Schutzmaßnahmen, die auch die Anwendung persönlicher Schutzausrüstungen umfassen, auf ein Minimum zu verringern. Dies kann während der Umsetzung des Maßnahmenplans (vgl. Abschnitt 3.1 Absatz 5 dieser TRGS) vor allem beim Hartverchromen wechselnder Teile der Fall sein.

5.5 Herstellung, Verwendung und Weiterbearbeitung chromathaltiger Beschichtungsstoffe

- (1) Die 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 von $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
- (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

Der primäre Korrosionsschutz eines metallenen Flugzeugs besteht unter anderem aus chromhaltiger Farbe/Primer. Daher ist mit relevanten Expositionen oberhalb von $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 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 Tätigkeiten 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 Overspray) 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 Sprühkegels liegt oberhalb einer Konzentration von $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 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 kurzzeitigen 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 Raumluftechnik 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“²⁹ 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.

²⁹ http://etf.bgetem.de/htdocs/r30/vc_shop/bilder/firma53/dguv_information_203-082_a08-2016.pdf.

(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) Die Verfahren zur Produktion von Lithiumionenakkumulatoren zum Einsatz in Elektrofahrzeugen umfassen

1. die Herstellung der Vorstufe zur Synthese des Elektroden-/Kathodenmaterials und
2. die Herstellung des Elektroden-/Kathodenmaterials.

Daran schließen sich die Herstellung der Batteriezellen und Akkumulatoren wie in Absatz 2, Nummer 3 ff. an.

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

(5) Neben den batteriespezifischen o.a. Prozessen können galvanische Prozesse Anwendung finden (siehe auch Abschnitt 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, können Expositionen gegenüber Cadmium-, Cobalt- und Nickelverbindungen oberhalb der Toleranzkonzentrationen auftreten. Dies trifft insbesondere für die Verarbeitung pulverförmiger Materialien und die Weiterverarbeitung von Elektroden und Plattensätzen zu.

(3) Werden bei den Fertigungsverfahren geschlossene oder vollständig abgedeckte Systeme (mit Absaugung) verwendet, kann der Arbeitgeber davon ausgehen, dass die Toleranzkonzentrationen für Cadmium, Cobalt und Nickelverbindungen eingehalten werden. Zur Einhaltung der Akzeptanzkonzentration sind hingegen im Allgemeinen höhere Dichtigkeitsanforderungen zu stellen. Hier kann die Anwendung des Expositionsbandkonzepts (OEB = Occupational Exposure Bands³⁰) der chemisch-pharmazeutischen Industrie und der Einsatz von entsprechend OEB-klassifizierten Maschinen und Apparaten hilfreich sein.

³⁰ Vgl.: Technical Report: The NIOSH Occupational Exposure Banding Process for Chemical Risk Management.

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 zum Beispiel durch zwei mit einem Waschraum verbundenen Umkleideräume oder durch ein mit dem Arbeitsbereich verbundenen Schleusensystem zum An- und Ablegen der Arbeits- und Schutzkleidung erforderlich.
- (2) Tätigkeiten mit offener Handhabung metallhaltiger Feststoffe sind zu vermeiden. Tätigkeiten mit metallhaltigen Feststoffen sind bevorzugt in geschlossenen Maschinen und Apparaten auszuführen. Die Anzahl der Tätigkeiten außerhalb geschlossener Maschinen und Apparate ist zu minimieren. Die Dichtigkeitsanforderungen an Maschinen und Apparate im betroffenen Verfahrensschritt müssen im Einzelfall festgelegt und deren Verfügbarkeit am Markt geprüft werden. Können Tätigkeiten aufgrund der Fertigungsverfahren nicht in geschlossenen Systemen durchgeführt werden, sind hierfür andere, vorhandene oder vorgesehene technische Schutzmaßnahmen, zum Beispiel Lüftungstechnische Maßnahmen und deren Schutzwirkung zu berücksichtigen. Häufig kann erst durch Zusammenwirken verschiedener, technischer Schutzmaßnahmen das benötigte Schutzziel erreicht werden. Ggf. sind hierbei auch zusätzlich ergänzende organisatorische Schutzmaßnahmen zu treffen und persönliche Schutzausrüstungen zu verwenden.
- (3) Bei Kleinchargen ist eine entsprechende Vormischung oder Konfektionierung der Pulver bei dem Lieferanten anzustreben.
- (4) Bei Großchargen ist der Abfüllvorgang als geschlossenes System auszuführen. Ist dies nicht möglich oder nicht ausreichend, um das Schutzziel zu erreichen, sind wirksame Absaugeinrichtungen zu verwenden. Aus prozesstechnischen Gründen ist hierbei die Erhöhung des Absaugvolumens begrenzt (Verwirbelung sowie zum Beispiel Gefahr der Brandentstehung bei Wasserstoff-Speicherlegierungen). Die Wirksamkeit der Lüftungstechnischen Maßnahmen ist durch Messungen in der Luft am Arbeitsplatz und Einhaltung des Arbeitsplatzgrenzwerts bzw. der Toleranzkonzentration zu zeigen.
- (5) Für außergewöhnliche Verunreinigungen in Arbeitsbereichen (z. B. bei unbeabsichtigter Freisetzung von Stäuben oder Pasten) ist eine geeignete mobile Absauganlage im Produktionsbereich vorzuhalten.
- (6) In Bereichen, in denen der Arbeitsplatzgrenzwert bzw. die Toleranzkonzentration trotz Anwendung technischer sowie organisatorischer Maßnahmen nicht eingehalten werden kann, sind geeignete persönliche Schutzausrüstungen einzusetzen. Dies schließt filternden Atemschutz (partikelfiltrierende Atemschutzmasken oder gebläseunterstützte Atemschutzsysteme), Chemikalienschutzanzüge, Typ 5 und Chemikalienschutzhandschuhe mit ein.
- (7) Aufgrund der Expositionsmöglichkeit gegenüber mehreren Metallen wird generell empfohlen, die Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen zusätzlich zu den Gefahrstoffmessungen in der Luft am Arbeitsplatz durch ein regelmäßiges Biomonitoring im Rahmen der arbeitsmedizinischen Vorsorge zu überprüfen (siehe auch Abschnitt 6 dieser TRGS).

5.7 Recycling von Elektro- und Elektronikaltgeräten, PVC-Profilen, Batterien und Solarmodulen

5.7.1 Verfahren und Tätigkeiten mit relevanter Exposition

- (1) Beim Erfassen und Sortieren massiver, metallischer Schrotte wie z. B. Edelstahl ist nicht von relevanter Exposition gegenüber krebserzeugenden Metallen auszugehen.
- (2) Beim Recycling von Elektro- und Elektronikaltgeräten (Reinigungs- und Zerlegearbeitsplätze), in denen 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, Cobaltverbindungen sind in Batterien für Elektroautos enthalten. Nickel (nicht Nickelverbindungen) kommt u.a. in Leiterplatten, Thermoelementen, Akkumulatoren und in den Lochmasken von Bildröhren vor. Nickelverbindungen sind ebenfalls in Batterien für Elektroautos enthalten.
- (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) Gerätebatterien, die mehr als 0,002 Gewichtsprozent Cadmium enthalten, dürfen in der EU gemäß der neuen Batterieverordnung (2023/1542 EU) nicht in Verkehr gebracht werden. Die früheren Ausnahmen aus der Batterierichtlinie (medizinische Ausrüstung, Notbeleuchtung) gelten nicht mehr. Entsprechend ist der Anteil an Nickel-Cadmium-Batterien im Rücklauf aller in Deutschland eingesammelten Batterien von 2014 bis 2023 von 5,7 % auf 0,6 % zurückgegangen. 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. Generell müssen Batterien wieder getrennt vom übrigen Abfallstrom gesammelt werden.
- (5) Lithiumhaltige Gerätebatterien sollen in entsprechenden Sammelbehälter getrennt von anderen Batteriechemikalien gesammelt werden. Sie sollten an den Polen abgeklebt werden, bevor sie in einen Sammelbehälter gegeben werden. Aufgrund der Brandgefahr durch Lithiumbatterien ist in den Sammelstellen besonders auf diese Batteriechemikalie zu achten. Fehlwürfe bei der Sammlung sind dabei ein Risiko und können zu Bränden führen. Die TRGS 520 gibt im Anhang 4 Hinweise zum sicheren Umgang mit Lithiumbatterien an Sammelstellen (nicht Recyclingbetrieben). Darüber hinaus enthält die DGUV Information 205-041 „Brandschutz beim Umgang mit Lithium-Ionen-Batterien (LIB)“ allgemeine Informationen zu Lithium-Ionen-Batterien und möglichen Gefahren beim Umgang mit diesen.
- (6) Beim Recycling von Lithium-Ionen-Batterien kann es sowohl beim Zerkleinern der Batterien und Herstellung der schwarzen Masse als auch bei der nasschemischen Trennung und Reinigung der einzelnen Metalle zu Expositionen gegenüber Cobalt- oder Nickelverbindungen kommen.
- (7) 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 geregelt³¹.

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

5.7.2 Expositionssituation

(1) Beim Elektro- und Elektronikaltgeräte-Recycling kann die Höhe der Exposition von verschiedenen Parametern beeinflusst werden (u. a. Art der Geräte, Alter und Verschmutzungsgrad der Geräte, Gerätedurchsatz am Arbeitsplatz, Art und Gestaltung der Schutztechnik, individuelle Arbeitsweise). Bei Beachtung der in der DGUV-Information 213-737 „Manuelle Zerlegung von Elektro- und Elektronikaltgeräten“³² beschriebenen technischen, organisatorischen, hygienischen und persönlichen Schutzmaßnahmen ist kein relevanter Beitrag zur Exposition zu erwarten.

(2) Beim Absaugen der Leuchtschicht von Bildröhren kann es zu hoher Exposition gegenüber Cadmium kommen, wenn keine ausreichend wirksamen Absaugvorrichtungen eingesetzt werden.

(3) Beim Recycling von Batterien 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. Cadmiumhydroxid, Cobalt- und Nickelverbindungen können dann in einatembare Form ausgetragen und verschleppt werden. Während einer gezielten, destillativen Extraktion von Cadmium bzw. bei der nasschemischen Trennung und Wiedergewinnung von Cobalt und Nickel aus Batterien ist mit Freisetzungen nur dann zu rechnen, wenn die verwendete Anlagentechnik keine hermetische Trennung zwischen dem Destillationsraum bzw. den nasschemischen Verfahrensschritten und dem Arbeitsraum der Beschäftigten gewährleistet. Eine Exposition ist zudem bei Chargierungsvorgängen möglich.

(4) Expositionsdaten beim Recycling von cobalt- und nickelhaltigen Lithiumionenbatterien liegen bisher nur in einem geringen Umfang vor. Viele Anlagen befinden sich zurzeit noch in Planung, Bau oder Inbetriebnahme. Eine Exposition der Beschäftigten gegenüber cobalt- und nickelhaltigen Feinstäuben ist zu erwarten, wenn die Anlagen nicht ausreichend eingehaust und abgesaugt sind. Mit geeigneten Schutzmaßnahmen können Konzentrationen unterhalb der Akzeptanzkonzentration realisiert werden. Generelle Informationen zu den einzelnen Recyclingschritten von Lithiumbatterien können der Broschüre „Recycling von Lithium-Ionen-Batterien“, 2. Auflage 2023, von PEM, RWTH Aachen und VDMA entnommen werden.

(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

³¹ Norm EN 50625-2-4 „Behandlungsanforderungen für Photovoltaikmodule“ und dazugehörige Technische Spezifikation TS 50625-3-5 sind in Vorbereitung.

³² In Bearbeitung, solange siehe: http://www.dguv.de/medien/ifa/de/pr/bg_bgia_empfehlungen/1037-Manuelle_Zerlegung_von_Bildschirm-_und_anderen_Elektrogeraeten.pdf.

Aufarbeitungsmethoden nicht im mechanischen Aufschluss freigesetzt, sondern erst im naschemischen, gekapselten Recycling-Prozess in Lösung gebracht. In diesem Schritt ist das Entstehen von krebserzeugenden Cadmium-Verbindungen nicht auszuschließen.

(6) Beim Recycling von PVC-Profilen lagen die in den Jahren 1996 bis 2003 gemessenen Schichtmittelwerte für Cadmium³³ bei 0,4 µg/m³. Die Werte liegen somit deutlich unter der Akzeptanzkonzentration von 0,9 µg/m³ und sind zudem insbesondere auf das Mischen ohne wirksame Absaugung zurückzuführen. Bei Einhaltung der in der Handlungsanleitung aufgeführten Arbeitsweisen und Schutzmaßnahmen ist eine Konzentration niedriger als 0,4 µg/m³ zu erwarten.

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 Batterieverordnung (2023/1542(EU)).

5.7.4 Schutzmaßnahmen

(1) Beim Elektro- und Elektronikaltgerätrecycling sind staubarme Verfahren für die Demontage und Reinigung der Arbeitsplätze anzuwenden. Geräte und Materialien, die staubbehaftet sind, sollten vor der Demontage gereinigt werden. Gefahrstoffemittierende Bauteile sind nach der Demontage in verschließbare, gekennzeichnete Behälter zu überführen. Beschäftigte müssen für die Demontage entsprechend tätigkeitsbezogen unterwiesen werden, sodass sie bei der Demontage die Bauteile erkennen, die Gefahrstoffe enthalten.

(2) Für das Kunststoffrecycling und die dabei potentiell austretenden Gefahrstoffe (insbesondere Cadmium) wurde ein verfahrens- und stoffspezifisches Kriterium (VSK) definiert, bei dessen Anwendung die Exposition minimiert und der Umgang als sicher angesehen werden kann³².

(3) Beim Zerkleinern (Shreddern und Mahlen) von Lithiumionenbatterien sollte darauf geachtet werden, dass die Partikelgrößen im Mittel größer als die einatembare Fraktion (< 30 µm) ist. Zumindest sollte ein Zerkleinern in den Bereich der alveolaren Fraktion (< 4 µm) vermieden werden.

(4) Beim Batterierecycling ist bei Chargierungsvorgängen mit erhöhten Expositionen zu rechnen. In Bereichen, in denen der Arbeitsplatzgrenzwert bzw. die Toleranzkonzentrationen trotz Anwendung technischer sowie organisatorischer Maßnahmen nicht eingehalten werden können, sind geeignete Persönliche Schutzausrüstungen zu tragen. Dies schließt filtrierenden Atemschutz (partikelfiltrierende Atemschutzmasken oder gebläseunterstützte Atemschutzsysteme), Chemikalienschutzanzüge, Typ 5 und Chemikalienschutzhandschuhe mit ein.

(5) 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 VSK zum Kunststoffrecycling bzw. der BG/BIA-Empfehlung zur manuellen Zerlegung von Bildschirm- und anderen Elektrogeräten (siehe Abschnitt 5.7.2 Absatz 1 dieser TRGS).

³³ LUBW Handlungsanleitung zur guten Arbeitspraxis „Kunststoffverwertung – Tätigkeiten mit Gefahrstoffen und biologischen Arbeitsstoffen bei der werkstofflichen Verwertung von Kunststoffen“.

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 Katalysatorendosierung 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 die 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 geformter 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 Katalysatorenzwischenprodukteinsätzen über Bigbag-Chargierung sind entsprechende Bigbag-Stationen mit schließenden Andockungen (z. B. über Blähmanschetten oder Klemmvorrichtungen) vorzusehen. Entsprechende Einrichtungen sind bei Fassauffüllungen 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 Katalysatorenzwischen- und/oder -endprodukten 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 mit hohem Risiko bei Ausschöpfung technischer sowie organisatorischer Schutzmaßnahmen sind persönliche Schutzausrüstungen (partikelfiltrierende Atemschutzmaske, gebläseunterstützter Atemschutz) einzusetzen.

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

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

5.9 Weitere spezielle Bereiche

In diesem Abschnitt werden 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 2020³⁴ sind Expositionsdaten zu Cobalt in der A-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 zu 2,4 µg/m³ (E-Staub, 95%-Wert) exponiert.
- (5) Das Parallelfraesen von Zahnersatz aus NEM-Legierungen ist eine spezielle Methode der spanenden Bearbeitung von zahntechnischen Werkstücken. In der Expositionsbeschreibung „Parallelfraesen von Zahnersatz aus NEM-Legierungen in Dentallaboratorien“³⁵ der BG ETEM aus dem Jahr 2023 sind Expositionsdaten zu Cobalt in der A-Fraktion und konkrete Schutzmaßnahmen aufgeführt. Eine Unterschreitung der Akzeptanzkonzentration bei Parallelfraesarbeiten an Cobalt-legierten Werkstücken kann nur bei Tätigkeitsdauern von maximal einer Stunde pro Schicht gewährleistet werden.
- (6) Für die Herstellung von Kronen und Brücken können technisch auch Edelmetalllegierungen und Oxidkeramiken eingesetzt werden. Die Entscheidung über die Verwendung der Werkstoffe trifft die behandelnde Zahnärztin oder der behandelnde Zahnarzt.
- (7) 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.
- (8) Bei der Umsetzung der folgenden Schutzmaßnahmen kann der Arbeitgeber davon ausgehen, dass die Toleranzkonzentration für Cobalt und seine Verbindungen sowie 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.

³⁴ <https://www.bgetem.de/redaktion/arbeitssicherheit-gesundheitsschutz/dokumente-und-dateien/themen-von-a-z/gefahrstoffe/expositionsbeschreibungen/expositionsbeschreibung-verarbeitung-von-nichtedelmetall-legierungen-in-dentallaboratorien>.

³⁵ <https://www.bgetem.de/arbeitssicherheit-gesundheitsschutz/themen-von-a-z-1/gefaehrungen-durch-arbeitsstoffe/gefahrstoffe/standardisierte-verfahren-zur-gefaehrungsbeurteilung/expositionsbeschreibung-parallelfraesen-in-dentallaboratorien-2023.pdf>.

(9) 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 Abschnitt 4 dieser TRGS beschriebenen Maßnahmen sind entsprechend anzuwenden.

5.9.3 Thermisch beanspruchte Chrom-legierte Industriekomponenten

(1) Chrom ist aufgrund seiner guten Materialeigenschaften Bestandteil von Stählen und daraus gefertigten Industriekomponenten. Insbesondere in Bereichen mit hoher thermischer Belastung werden Chrom-legierte Stähle eingesetzt.

(2) Erkenntnisse der letzten Jahre haben ergeben, dass sich an thermisch beanspruchten Chrom-legierten Industriekomponenten wie z. B. an Dampfdruckleitungen oder Turbinen Chrom(VI)-Verbindungen bilden können. Je nach Ausgangsmaterialien können sich unterschiedliche Chrom(VI)-Verbindungen bilden, die teilweise sichtbare z. B. gelbe Ablagerungen formieren. Bei thermisch isolierten Industriekomponenten besteht zudem die Möglichkeit, dass sich diese Chrom(VI)-Verbindungen in den Dämmstoffen oder Montagepasten ablagern und bei Demontage- oder Instandhaltungsarbeiten ggf. zu einer Exposition der Beschäftigten gegenüber Chrom(VI)-Verbindungen führen.

(3) Der Bildungsmechanismus ist gegenwärtig noch nicht geklärt. Folgende Faktoren können einen Einfluss auf die Bildung von Chrom(VI)-Verbindungen haben: Stahltemperatur, Chrom-Anteil in der Stahllegierung, Reaktionszeit, Gegenwart von Alkali- und Erdalkalimetall-Oxiden z. B. aus Dämmstoffen oder Montagepasten, Anwesenheit von atmosphärischem Sauerstoff und Luftfeuchtigkeit nahe der Stahlkomponentenoberfläche.

(4) Arbeitsplatzmessungen bei Tätigkeiten an Chrom(VI)-belasteten Industriekomponenten weisen darauf hin, dass es zu einer Exposition oberhalb einer Konzentration von $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für Chrom(VI)-Verbindungen kommen kann. Insbesondere während Anlagen-Revisionen (Instandhaltungsarbeiten), im Rückbau und der Störungsbeseitigung ist eine Exposition der Beschäftigten durch Chrom(VI)-Verbindungen nicht auszuschließen.

(5) Bei Tätigkeiten an Industriekomponenten, an denen eine Chrom(VI)-Belastung vorliegt oder bei denen diese nicht auszuschließen ist, besteht die Notwendigkeit die Schutzmaßnahmen entsprechend den Vorgaben der Kapitel 4.1 und 4.2 umzusetzen und durch folgende technische Schutzmaßnahmen und persönliche Schutzausrüstungen zu ergänzen:

1. Die Entstehung und die Ausbreitung von Stäuben in andere Arbeitsbereiche sind zu minimieren. Gitterroste sind z. B. durch Folien abzudecken.
2. Chemikalienschutzanzüge Typ 5 (EN ISO 13982-1) mit Kapuze, nitrilbeschichtete Textilhandschuhe und Augenschutz sind zu verwenden.

3. Geeigneter Atemschutz mindestens FFP2 ist bei kurzzeitigen Tätigkeiten zu nutzen, für länger andauernde Tätigkeiten sind Halbmasken mit P3 Filtern zu verwenden.
4. Kontaminierte Einwegschutzkleidung ist zu entsorgen.

6 Allgemeine arbeitsmedizinisch-toxikologische Beratung

(1) Bei Tätigkeiten mit krebserzeugenden Metallen hat der Arbeitgeber sicherzustellen, dass die Beschäftigten eine allgemeine arbeitsmedizinisch-toxikologische Beratung erhalten. Ziel ist die Information der gefährdeten Beschäftigten z. B. im Rahmen einer Unterweisung. Sie wird in der Regel in einer Gruppe durchgeführt und ist damit zu unterscheiden von der individuellen Beratung, die Bestandteil der arbeitsmedizinischen Vorsorge ist.

(2) Die arbeitsmedizinisch-toxikologische Beratung erfolgt auf der Grundlage der Gefährdungsbeurteilung ggf. unter Beteiligung der Betriebsärztin oder des Betriebsarztes und soll hauptsächlich die Erläuterung der möglichen, gesundheitlichen Folgen und deren Vermeidung, die Möglichkeit der Verschleppung von Gefahrstoffen sowie die Information über die Ansprüche der Beschäftigten auf arbeitsmedizinische Vorsorge in einer für den Laien verständlichen Beschreibung zum Inhalt haben. Sie soll auch über den Nutzen und Umfang der arbeitsmedizinischen Vorsorge informieren und zur aktiven Beteiligung daran motivieren. Das Beteiligungsgebot der Betriebsärztin oder des Betriebsarztes kann z. B. erfüllt werden durch Schulung von Führungskräften oder durch Mitwirkung bei der Erstellung geeigneter Unterweisungsmaterialien.

(3) Im Rahmen der allgemeinen arbeitsmedizinisch-toxikologischen Beratung (siehe auch AMR 3.2) bei Tätigkeiten mit krebserzeugenden Metallen ist u. a. auf folgende Aspekte hinzuweisen:

1. Die Hauptaufnahmewege für metallhaltige Stäube sind der inhalative und der orale Weg. Einatembarer und alveolengängiger, anorganischer Metallstaub kann dosisabhängig zu einer dauerhaften und schwer behandelbaren Schädigung der Lunge führen. Nach einer Latenz von vermutlich 20-30 Jahren können schwere Schädigungen der Atemorgane und Krebserkrankungen an verschiedenen Organen entstehen. Das Risiko der Krebsentstehung steigt tendenziell mit zunehmender Aufnahmedosis von krebserzeugenden Metallstäuben.
2. Die Umsetzung der in der Betriebsanweisung festgelegten Schutzmaßnahmen, einschließlich der persönlichen Schutzausrüstungen und der Arbeitshygiene kann die Gesundheitsrisiken deutlich reduzieren. Dabei ist unter anderem darauf hinzuweisen, dass durch nicht ausreichende Händehygiene z. B. vor dem Essen, durch Rauchen, Nagelkauen oder Barttragen direkt oder indirekt die Gefahr einer Aufnahme von krebserzeugenden Metallen in den Körper steigen kann.
3. Fortgesetztes, inhalatives Zigarettenrauchen kann die nachteilige Wirkung von Metallstäuben verstärken, da der Selbstreinigungsmechanismus der Lunge nachhaltig gestört wird. Ein Rauchstopp kann eine signifikante Risikoreduktion bewirken.
4. Maßnahmen zur Vermeidung der Verschleppung von Kontaminationen sind zu betonen.
5. Die medizinischen Aspekte des Gebrauchs von persönlichen Schutzausrüstungen (z. B. Schutzhandschuhe, Schutzkleidung, Atemschutz), einschließlich Handhabung, maximale Tragzeiten und Wechselturnus, mögliche Belastungen und Beanspruchungen durch persönliche Schutzausrüstungen sind zu erläutern.

6. Soweit relevant, ist auf die Problematik der Feuchtarbeit einschließlich der Hautschutz- und Hautpflegemaßnahmen hinzuweisen.
7. Für viele krebserzeugende Metalle kann im Rahmen der arbeitsmedizinischen Vorsorge ein Biomonitoring genutzt werden, um zu untersuchen, ob der einzelne Beschäftigte durch seine Tätigkeit mit dem Metall belastet ist und um die Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen zu überprüfen. Biomonitoring darf nur mit Zustimmung der oder des Beschäftigten durchgeführt werden.
8. In der Berufskrankheiten-Liste (Anlage 1 der Berufskrankheitenverordnung³⁶) sind Krankheiten, die durch metallhaltige Stäube entstehen können, aufgeführt.

7 Arbeitsmedizinische Vorsorge

(1) Arbeitsmedizinische Vorsorge richtet sich nach der Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge (ArbMedVV) und den dazu veröffentlichten Arbeitsmedizinischen Regeln (AMR).

(2) Arbeitsmedizinische Vorsorge dient der Beurteilung der individuellen Wechselwirkungen von Arbeit und physischer und psychischer Gesundheit und der Früherkennung arbeitsbedingter Gesundheitsstörungen sowie der Feststellung, ob bei Ausübung einer bestimmten Tätigkeit eine erhöhte gesundheitliche Gefährdung besteht (§ 2 Absatz 1 Nummer 2 ArbMedVV). Dabei stehen die Aufklärung und Beratung der Beschäftigten zur Tätigkeit mit krebserzeugenden Metallen und ihren Verbindungen und den sich daraus ergebenden Gefährdungen für ihre Gesundheit im Vordergrund. Ein wesentlicher Bestandteil der arbeitsmedizinischen Vorsorge ist das Biomonitoring, sofern dafür arbeitsmedizinisch anerkannte Analyseverfahren und geeignete Werte zur Beurteilung zur Verfügung stehen. Dabei sind vorrangig die Äquivalenzwerte in biologischem Material zu Akzeptanz- und Toleranzkonzentrationen nach TRGS 910 heranzuziehen (Tabelle 4). Mittels Biomonitoring wird die individuelle Gesamtbelastung (als Resultat einer möglichen Aufnahme über die Lunge, die Haut oder den Magen-Darm-Trakt) mit einem der in Tabelle 4 genannten Metalle festgestellt. Um zu untersuchen, ob der Beschäftigte durch seine Tätigkeit mit dem Metall belastet ist, muss im Rahmen der arbeitsmedizinischen Vorsorge Biomonitoring vor und nach dieser Tätigkeit angeboten werden. Liegt eine Belastung vor, müssen ggf. weitere Schutzmaßnahmen in Betracht gezogen werden (siehe Absatz 9). Wenn körperliche oder klinische Untersuchungen aus Sicht der Ärztin oder des Arztes für die Aufklärung und Beratung nicht erforderlich sind oder vom Beschäftigten abgelehnt werden, kann sich die arbeitsmedizinische Vorsorge auf ein Beratungsgespräch beschränken.

(3) Arbeitsmedizinische Vorsorge ist für die betroffenen Beschäftigten nach § 4 Absatz 1 in Verbindung mit Anhang Teil 1 Absatz 1 Nummer 1 Buchstabe b und/oder c ArbMedVV durch den Arbeitgeber vor Aufnahme der Tätigkeit und danach in regelmäßigen Abständen (vgl. AMR 2.1) zu veranlassen (Pflichtvorsorge), wenn am Arbeitsplatz eine wiederholte Exposition gegenüber Arsenverbindungen, Beryllium, Cadmium und Cadmiumverbindungen, Chrom(VI)-Verbindungen oder Nickelverbindungen nicht ausgeschlossen werden kann (Arsenverbindungen, Beryllium, Cadmium und Cadmiumverbindungen, Chrom-VI-Verbindungen und Nickelverbindungen sind krebserzeugende Gefahrstoffe der Kategorie 1A bzw. 1B im Sinne der GefStoffV). Der Arbeitgeber darf die Tätigkeit durch die betroffenen Beschäftigten nur ausüben lassen, wenn sie zuvor an der Pflichtvorsorge teilgenommen haben (§ 4 Absatz 2 ArbMedVV).

³⁶ <http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Berufskrankheiten/Rechtsgrundlagen/Anlage-BKV.html>.

(4) Arbeitsmedizinische Vorsorge ist den betroffenen Beschäftigten nach § 5 Absatz 1 in Verbindung mit Anhang Teil 1 Absatz 2 Nummer 1 ArbMedVV durch den Arbeitgeber vor Aufnahme der Tätigkeit und danach in regelmäßigen Abständen (vgl. AMR 2.1) anzubieten (Angebotsvorsorge), wenn er keine Pflichtvorsorge zu veranlassen hat und eine Exposition gegenüber Arsenverbindungen, Beryllium, Cadmium und Cadmiumverbindungen, Chrom(VI)-Verbindungen oder Nickelverbindungen nicht ausgeschlossen werden kann. Arbeitsmedizinische Vorsorge ist den betroffenen Beschäftigten nach § 5 Buchstabe Absatz 1 in Verbindung mit Anhang Teil 1 Absatz 2 Nummer 2 d Doppelbuchstabe aa ArbMedVV durch den Arbeitgeber vor Aufnahme der Tätigkeit und danach in regelmäßigen Abständen (vgl. AMR 2.1) anzubieten (Angebotsvorsorge), wenn am Arbeitsplatz eine wiederholte Exposition gegenüber Cobalt nicht ausgeschlossen werden kann (Cobalt ist ein krebserzeugender Gefahrstoff der Kategorie 1B). Das Ausschlagen eines Angebots entbindet den Arbeitgeber nicht von der Verpflichtung, weiter regelmäßig Angebotsvorsorge anzubieten. Die AMR 5.1 zeigt einen Weg der Angebotsunterbreitung auf.

(5) Neben der Tätigkeit mit krebserzeugenden Metallen und ihren Verbindungen können sich in Abhängigkeit von der Gefährdungsbeurteilung weitere Anlässe für Pflicht- oder Angebotsvorsorge gemäß Anhang der ArbMedVV ergeben. Sofern die betroffenen Beschäftigten Atemschutzgeräte tragen müssen, soll die Pflicht- oder Angebotsvorsorge hierfür (Anhang Teil 4 Absatz 1 Nummer 1 bzw. Absatz 2 Nummer 2 ArbMedVV) mit jener wegen der Tätigkeit mit krebserzeugenden Metallen und ihren Verbindungen kombiniert werden. Die Benutzung von Atemschutzgeräten befreit nicht von den zuvor genannten Verpflichtungen zur arbeitsmedizinischen Vorsorge.

(6) Nach Beendigung der Tätigkeit mit Arsenverbindungen, Beryllium, Cadmium und Cadmiumverbindungen, Chrom(VI)-Verbindungen, Cobalt oder Nickelverbindungen hat der Arbeitgeber betroffenen Beschäftigten nach § 5 Absatz 3 Satz 1 in Verbindung mit Anhang Teil 1 Absatz 3 Nummer 1 ArbMedVV in regelmäßigen Abständen (vgl. AMR 2.1) nachgehende Vorsorge anzubieten. Das Angebot zur arbeitsmedizinischen Vorsorge dient dann der Früherkennung von Erkrankungen. Gesundheitsstörungen durch diese Metalle oder ihre Verbindungen sind insbesondere nach längeren Latenzzeiten zu erwarten. Das Ausschlagen eines Angebots entbindet den Arbeitgeber nicht von der Verpflichtung, weiter regelmäßig Angebotsvorsorge in Form nachgehender Vorsorge anzubieten. Die AMR 5.1 zeigt einen Weg der Angebotsunterbreitung auf. Sofern die Beschäftigten eingewilligt haben, überträgt der Arbeitgeber am Ende des Beschäftigungsverhältnisses die Verpflichtung zum Angebot der nachgehenden Vorsorge an den zuständigen gesetzlichen Unfallversicherungsträger und überlässt diesem die erforderlichen Unterlagen in Kopie (vgl. § 5 Absatz 3 Satz 2 ArbMedVV).

(7) Die Ärztin oder der Arzt hält nach § 6 Absatz 3 ArbMedVV das Ergebnis und die Befunde der arbeitsmedizinischen Vorsorge einschließlich einer ggf. durchgeführten Untersuchung schriftlich fest und berät den Beschäftigten darüber. Auf Wunsch des Beschäftigten stellt er diesem das Ergebnis der Vorsorge zur Verfügung. Die Ärztin oder der Arzt stellt dem Beschäftigten und dem Arbeitgeber eine Bescheinigung über die durchgeführte arbeitsmedizinische Vorsorge aus. Die Bescheinigung enthält Angaben über den Zeitpunkt und den Anlass des aktuellen Vorsorgetermins sowie die Angabe, wann aus ärztlicher Sicht weitere arbeitsmedizinische Vorsorge angezeigt ist (vgl. AMR 6.3). Diese Bescheinigung enthält weder Diagnosen oder andere Informationen über den Gesundheitszustand des Beschäftigten noch eine medizinische Beurteilung zur Eignung für bestimmte Tätigkeiten.

(8) Der Arbeitgeber hat über die durchgeführte, arbeitsmedizinische Vorsorge eine Vorsorgekartei zu führen mit Angaben darüber, wann und aus welchen Anlässen diese für jeden Beschäftigten stattgefunden hat (§ 3 Absatz 4 ArbMedVV).

(9) Die Ärztin oder der Arzt wertet die Erkenntnisse aus der arbeitsmedizinischen Vorsorge aus (§ 6 Absatz 4 ArbMedVV). Ergeben sich Anhaltspunkte dafür, dass die Maßnahmen des Arbeitsschutzes nicht ausreichend sind, so hat die Ärztin oder der Arzt dies dem Arbeitgeber mitzuteilen und ihm (ergänzende) Schutzmaßnahmen für exponierte Beschäftigte vorzuschlagen. Hält die Ärztin oder der Arzt aus medizinischen Gründen, die ausschließlich in der Person des Beschäftigten liegen, einen Tätigkeitswechsel für erforderlich, so bedarf die Mitteilung darüber an den Arbeitgeber der Einwilligung des Beschäftigten. Konkretisierungen enthält die AMR 6.4. Der Arbeitgeber hat als Folge eines solchen Vorschlags vonseiten der Ärztin oder des Arztes nach § 8 Absatz 1 ArbMedVV die Gefährdungsbeurteilung zu überprüfen und unverzüglich die erforderlichen Maßnahmen des Arbeitsschutzes zu treffen. Wird ein Tätigkeitswechsel vorgeschlagen, so hat der Arbeitgeber nach Maßgabe der dienst- und arbeitsrechtlichen Regelungen dem oder der Beschäftigten eine andere Tätigkeit zuzuweisen. Dem Betriebs- oder Personalrat und der zuständigen Behörde sind die getroffenen Maßnahmen mitzuteilen (§ 8 Absatz 2 ArbMedVV).

Tabelle 4: Biomonitoring: arbeitsmedizinisch anerkannte Analyseverfahren und geeignete Werte zur Beurteilung hinsichtlich krebserzeugender Metalle

Metall	Haupt-Zielorgane	Matrix	Beurteilungswerte
Arsen	Blut, Niere, Hämatopoetisches System	Urin ^b	BAR: 0,5/2/10 µg/l * BLW: 10 µg/l EKA-Korrelation
Gemäß Tabelle 2 in Anlage 1 der TRGS 910 auch: Arsenverbindungen, als Carc. 1A, Carc. 1B eingestuft; Parameter Σ Arsen(+III), Arsen(+V), Monomethylarsonsäure und Dimethylarsinsäure; Matrix Urin ^b ; Beurteilungswerte Äquivalenzwert zur Toleranzkonzentration 40 µg/l, Äquivalenzwert zur Akzeptanzkonzentration 14 µg/l;			
Beryllium	Lunge	Urin ^a	BAR: 0,02 µg/l EKA-Korrelation
Cadmium	Niere	Urin ^a Blut ^a Urin ^a	BAR: 0,8 µg/l BAR: 1,0 µg/l EKA-Korrelation BLW: 2 µg/g Kreatinin
Chrom(VI)	Lunge, Nase	Urin ^b Blut ^c (Erythrocyt ^a)	BAR: 0,6 µg/l EKA-Korrelation
Cobalt	Lunge	Urin ^c Urin ^c Urin ^c	EKA-Korrelation BAR: 1,5 µg/l BLW: 35 µg/l
Nickel	Lunge, Nasenhöhlen	Urin ^c	BAR: 3 µg/l EKA-Korrelation

Erläuterungen:

BAR Biologischer Arbeitsstoff Referenzwert

BLW Biologischer Leitwert

EKA Expositionsäquivalente für krebserzeugende Arbeitsstoffe

* je nach Parameter

Probenahmezeitpunkte:

a keine Beschränkung;

b Expositionsende bzw. Schichtende;

c am Schichtende, bei Langzeitexposition nach mehreren vorangegangenen Schichten

Literatur

DIN EN 60335-2-69 „Sicherheit elektrischer Geräte für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke – Teil 2-69: Besondere Anforderungen für Staub- und Wassersauger für den gewerblichen Gebrauch“.

DIN EN 17059:2018: Galvanik- und Anodisieranlagen – Sicherheitsanforderungen

DGUV Regel 109-602 „Branche Galvanik“.

DGUV Regel 109-604 „Branche Metallhütten“.

DGUV Regel 109-601 „Branche Erzeugung von Roheisen und Stahl“.

DGUV Regel 109-002 „Arbeitsplatzlüftung – Lufttechnische Maßnahmen“.

DGUV Regel 112-989 „Benutzung von Schutzkleidung“.

DGUV Regel 112-190 „Benutzung von Atemschutzgeräten“.

BG/BIA-Empfehlung „Manuelle Zerlegung von Bildschirm- und anderen Elektrogeräten“.

DGUV Information 203-082 „Herstellung von Batterien – Handlungshilfe für Tätigkeiten mit krebserzeugenden Metallen und ihren Verbindungen“.

DGUV Test „Grundsätze für die Prüfung und Zertifizierung von Erfassungseinrichtungen und Absaugsystemen für Dentallaboratorien“ GS-IFA-M 20, Ausgabe 12/2012.

BG ETEM Expositionsbeschreibung „Verarbeitung von Nichtelegmetall-Legierungen in Dentallaboratorien“, 2015.

„Leitfaden zur Auslegung von Abluftanlagen an Galvanikanlagen“ Lenkungsgruppe Umwelt (LGU) im Zentralverband Oberflächentechnik e. V. (ZVO), Postfach 10 10 63, 40710 Hilden.

Expositionsdaten zu Beryllium (A-Fraktion) (PDF, 92 kB, nicht barrierefrei) für das Webportal "Tätigkeiten mit krebserzeugenden Gefahrstoffen". IFA, 2022.

Expositionsdaten zu Beryllium (E-Fraktion) (PDF, 83 kB, nicht barrierefrei) für das Webportal "Tätigkeiten mit krebserzeugenden Gefahrstoffen". IFA, 2022.

MEGA-Auswertungen zur Expositionssituation gegenüber Beryllium und seinen Verbindungen in der einatembaren Staubfraktion an Arbeitsplätzen in Deutschland (PDF, 193 kB, nicht barrierefrei).

Expositionsdaten zu Chrom(VI)-Verbindungen (PDF, 113 kB, nicht barrierefrei) für das Webportal "Tätigkeiten mit krebserzeugenden Gefahrstoffen". IFA, 2022.

Expositionsdaten zu Cobalt (PDF, 118 kB, nicht barrierefrei) für das Webportal "Tätigkeiten mit krebserzeugenden Gefahrstoffen". IFA, 2022.

Arbeitsbedingte Expositionen gegenüber krebserzeugenden, erbgutverändernden oder fortpflanzungsgefährdenden Substanzen in Deutschland – Teil 1: Cadmium und seine Verbindungen. Gefahrstoffe - Reinhalt. Luft 71 (2011) Nummer 1/2, S. 47–56.

AMR 2.1 „Fristen für die Veranlassung/das Angebot von arbeitsmedizinischen Vorsorge“.

AMR 5.1 „Anforderungen an das Angebot von arbeitsmedizinischer Vorsorge“.

AMR 6.2 „Biomonitoring“.

AMR 6.3 „Vorsorgebescheinigung“.

AMR 6.4 „Mitteilungen an den Arbeitgeber nach § 6 Absatz 4 ArbMedVV“.

AMR 11.1 „Abweichungen nach Anhang Teil 1 Absatz 4 ArbMedVV bei Tätigkeiten mit krebserzeugenden oder keimzellmutagenen Gefahrstoffen der Kategorie 1A oder 1B“.

AMR 14.2 „Einteilung von Atemschutzgeräten in Gruppen“.

ASR A1.3 „Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnung“.

ASR A3.6 „Lüftung“.

ASR A4.2 „Pausen- und Bereitschaftsräume“.

TRGS 400 „Gefährdungsbeurteilung für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen“.

TRGS 401 „Gefährdung durch Hautkontakt – Ermittlung, Beurteilung, Maßnahmen“.

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

TRGS 410 „Expositionsverzeichnis bei Gefährdung gegenüber krebserzeugenden, keimzellmutagenen oder reproduktionstoxischen Gefahrstoffen der Kategorien 1A oder 1B“.

TRGS 460 „Vorgehensweise zur Ermittlung des Standes der Technik“.

TRGS 500 „Schutzmaßnahmen“.

TRGS 505 „Blei“.

TRGS 509 „Lagern von flüssigen und festen Gefahrstoffen in ortsfesten Behältern sowie Füll- und Entleerstellen für ortsbewegliche Behälter“.

TRGS 510 „Lagerung von Gefahrstoffen in ortsbeweglichen Behältern“.

TRGS 528 „Schweißtechnische Arbeiten“.

TRGS 529 „Tätigkeiten bei der Herstellung von Biogas“.

TRGS 560 „Luftrückführung bei Tätigkeiten mit krebserzeugenden, erbgutverändernden und fruchtbarkeitsgefährdenden Stäuben“.

TRGS 600 „Substitution“.

TRGS 900 „Arbeitsplatzgrenzwerte“.

TRGS 905 „Verzeichnis krebserzeugender, keimzellmutagener oder reproduktionstoxischer Stoffe“.

TRGS 910 „Risikobezogenes Maßnahmenkonzept für Tätigkeiten mit krebserzeugenden Gefahrstoffen“.

IFA-Handbuch, Kennzahl 510210/1 „Maschinen zur Beseitigung gesundheitsgefährlicher Stäube – Positivliste“.

IFA-Arbeitsmappe, Kennzahl 0537 „Anwendung der Luftgrenzwerte bei Herstellung, Be- und Verarbeitung von metallischem Nickel und Nickellegierungen“.

S3-Leitlinie „Gesundheitsüberwachung bei Beryllium-Exposition und diagnostisches Vorgehen bei Beryllium assoziierter Erkrankung“.

LUBW Handlungsanleitung zur guten Arbeitspraxis „Kunststoffverwertung – Tätigkeiten mit Gefahrstoffen und biologischen Arbeitsstoffen bei der werkstofflichen Verwertung von Kunststoffen“.

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