

Ausgabe: Juli 2024

GMBI 2024 S. 536-552 [Nr. 27] (v. 29.7.2024)

Technische Regeln für Gefahrstoffe	Isocyanate – Gefährdungsbeurteilung und Schutzmaßnahmen	TRGS 430
---	--	-----------------

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. Sie werden vom

Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS)

unter Beteiligung des Ausschusses für Arbeitsmedizin (AfAMed) ermittelt bzw. angepasst und vom Bundesministerium für Arbeit und Soziales im Gemeinsamen Ministerialblatt bekannt gegeben.

Diese TRGS konkretisiert im Rahmen ihres Anwendungsbereichs Anforderungen der Gefahrstoffverordnung. 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 Gefährdungsbeurteilung
- 4 Substitution und Schutzmaßnahmen
- 5 Ermittlung der inhalativen Exposition
- 6 Unterrichtung, Unterweisung und Schulung der Beschäftigten
- 7 Arbeitsmedizinische Vorsorge

Literaturhinweise

Anhang 1 Einstufung, Kennzeichnung und Arbeitsplatzgrenzwerte einiger Isocyanate

Anhang 2 Messverfahren und Nicht-messtechnische Ermittlung

Anhang 3 Beschränkung von Diisocyanaten nach der REACH-Verordnung

Inhalt

1	Anwendungsbereich	2
2	Begriffsbestimmungen	3
3	Gefährdungsbeurteilung	4
3.1	Allgemeines	4
3.2	Informationsermittlung	4
3.3	Aufnahmewege, Expositionsmöglichkeiten und Gefährdungsermittlung	6
3.4	Dokumentation	8
4	Substitution und Schutzmaßnahmen	8
4.1	Substitution	8
4.2	Schutzmaßnahmen	9
4.3	Technische Maßnahmen	10
4.4	Zusätzliche technische Maßnahmen bei hoher Gefährdung	11
4.5	Organisatorische Maßnahmen	11
4.6	Persönliche Schutzmaßnahmen	12
4.7	Prüfung der Schutzmaßnahmen	14
5	Ermittlung der inhalativen Exposition	14
6	Unterrichtung, Unterweisung und Schulungen der Beschäftigten	15
7	Arbeitsmedizinische Vorsorge	16
	Literaturhinweise	18
	Anhang 1: Einstufung, Kennzeichnung, Arbeitsplatzgrenzwerte von Isocyanaten	19
	Anhang 2: Messverfahren und Nicht-messtechnische Ermittlung	23
	Anhang 3: Beschränkung von Diisocyanaten nach der REACH-Verordnung	28

1 Anwendungsbereich

(1) Diese TRGS beschreibt Grundlagen für die Gefährdungsbeurteilung und die daraus abgeleiteten Schutzmaßnahmen für Beschäftigte an Arbeitsplätzen, an denen Isocyanate auftreten. Sie stellt auch ein abgestuftes Verfahren zur Ermittlung und Bewertung der Exposition vor. Sie ist bei allen Tätigkeiten mit Isocyanaten anzuwenden. Dazu gehören zum Beispiel die Herstellung von Polyurethanen (PU, PUR), die Anwendungen isocyanathaltiger Klebstoffe, Lacke und Beschichtungen sowie die Freisetzung von Isocyanaten durch Pyrolyse.

(2) Da es derzeit nur für monomere Isocyanate Arbeitsplatzgrenzwerte gibt [1], aber bei Anwendungen auch polymere Isocyanate in der Atemluft vorliegen können, werden in dieser TRGS Verfahren zur Bewertung einer möglichen Gefährdung der Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten durch die gesamte Isocyanatexposition beschrieben.

(3) Neben der in dieser TRGS beschriebenen Isocyanatexposition muss der Arbeitgeber Gefährdungen und mögliche Wechselwirkungen durch weitere Gefahrstoffe wie z. B. Polyole, Katalysatoren, Treib- und Lösemittel und andere Gefährdungen am jeweiligen Arbeitsplatz und die Verarbeitungsbedingungen berücksichtigen [2,3].

2 Begriffsbestimmungen

- (1) Isocyanate sind hochreaktive organische Verbindungen mit unterschiedlicher Grundstruktur, die als gemeinsames Merkmal die Isocyanat-Gruppe (-N=C=O) aufweisen. Unterschieden wird zwischen aromatischen Isocyanaten (z. B. TDI, MDI, NDI) und (cyclo)aliphatischen Isocyanaten (z. B. IPDI, H_{12} MDI oder HDI) ¹. Isocyanate sind Reaktionspartner für Alkohole, Wasser, Amine oder für Polyole bei der Herstellung der technisch vielfältig genutzten Polyurethan-Kunststoffe (PUR, PU).
- (2) Di- oder Tri-Isocyanate tragen zwei bzw. drei NCO-Gruppen im Molekül und können so Polymer-Ketten oder vernetzte Moleküle bilden. Die Bezeichnung „Mono“-, „Di“- oder „Tri“- Isocyanat bezieht sich auf die Zahl der Isocyanatgruppen in einem Molekül, d. h. ein Diisocyanat im Sinne dieser TRGS ist ein Isocyanat mit zwei NCO-Gruppen im Molekül.
- (3) Monoisocyanate besitzen nur eine NCO-Gruppe und werden meist zur chemischen Synthese verwendet wie z. B. Methylisocyanat. Sie werden bei der Herstellung von Polyurethan-Produkten nicht eingesetzt, können aber als Verunreinigung enthalten sein. Sie können bei der thermischen Zersetzung von Kunststoffen, insbesondere Polyurethanen, entstehen und somit unter Arbeitsschutzaspekten von Bedeutung sein.
- (4) Polymere Isocyanate (Polyisocyanat) ist der Oberbegriff für alle Polyadditionsprodukte mit freien NCO-Gruppen, die mehr als ein Isocyanat-Molekülfragment enthalten, d. h. auch für Prepolymere oder Oligomere.
- (5) Prepolymere sind durch Additionsreaktionen gezielt erzeugte vorpolymerisierte Zwischenprodukte aus Isocyanaten und Polyolen. Sie tragen noch reaktive, endständige NCO-Gruppen und können unterschiedliche Anteile an monomeren Diisocyanaten enthalten.
- (6) Dimere, trimere oder oligomere Isocyanate (z. B. Isocyanurate) werden durch Modifizierungsreaktionen aus monomeren Diisocyanaten hergestellt. Die Bezeichnung „monomeres“, „dimeres“, „trimeres“ Isocyanat bezieht sich auf die Zahl der Isocyanat-Molekülfragmente aus denen es gebildet wird. z. B. besteht ein dimeres Isocyanat aus zwei Isocyanat-Molekülfragmenten von monomeren Diisocyanaten, oligomere Isocyanate aus mehreren weiteren Isocyanat-Molekülfragmenten.
- (7) Verkappte bzw. blockierte Isocyanate enthalten in der Lieferform keine freien NCO-Gruppen. Reaktive NCO-Gruppen entstehen erst bei der Verarbeitung nach Abspaltung des Verkappungs- bzw. Blockierungsmittels z. B. durch Erwärmen.
- (8) Tätigkeiten mit Isocyanaten umfassen die Verwendung von Isocyanaten als Stoffe oder in Gemischen. Beispiele sind die Herstellung von PUR-Schaumstoffen oder die Verwendung von PUR-Klebstoffen oder -Lacken. Zudem gibt es Tätigkeiten, bei denen eine unbeabsichtigte Freisetzung von Isocyanaten stattfinden kann, z. B. bei der thermischen Zersetzung von Kunststoffen ², bei der Lagerung oder der mechanischen Bearbeitung nicht vollständig ausreagierter PUR-Produkte.
- (9) Unter Isocyanat-Aerosolen versteht man fein verteilte isocyanathaltige Partikel (Feststoffe oder Flüssigkeiten) in der Luft. Sie können technisch durch das Verarbeitungsverfahren erzeugt werden, z. B. bei Spritz-Applikationen, oder aber durch die Rekondensation erwärmter Isocyanat-Dämpfe in kalter Umgebungsluft entstehen.
- (10) Der Expositionsleitwert (ELW) ist ein Beurteilungsmaßstab für die Summenkonzentration aller reaktiver Isocyanat-Gruppen (TRIG) ³. Er wird in „NCO mg/m³“ angegeben. Die Einhaltung des ELW wird durch Messung der NCO-Gruppen überprüft. Er ist damit auch bei komplexen isocyanat-

¹ Abkürzungen siehe Anhang 1.

² Beispiele sind PUR, Polyamide, Harnstoff-Formaldehyd-Harze und amingehärtete Epoxide.

³ TRIG: „Total concentration of Reactive Isocyanate Groups“.

haltigen Gemischen oder Isocyanaten unklarer Identität anwendbar. Eine Einhaltung des ELW bedeutet immer, dass auch die Arbeitsplatzgrenzwerte eingehalten sind. Für Diisocyanate ist ein neuer EU-Arbeitsplatzgrenzwert (BOELV) in die EU-RL98/24/EU in Form eines TRIG-Wertes aufgenommen worden (siehe Abschnitt 5 Absatz 6). Die TRIG kann dabei in der Regel durch Messung der Diisocyanate und anschließende Umrechnung ermittelt werden (siehe Anhang A 2.4 Absatz 2).

(11) Der Expositionsbeurteilungswert (EBW) ist ein Beurteilungsmaßstab nach der TRGS 402 [4] und dient zur Bewertung der inhalativen Gefährdung durch polymere Isocyanate bei Spritzapplikationen (Lacke, Klebstoffe). Er ist unter Berücksichtigung des geringeren toxischen Potentials polymerer Isocyanate im Vergleich zu monomeren Diisocyanaten nach Anhang 2 Abschnitt A2.5 auszuwählen. Der EBW ist stets produktbezogen und wird in der Regel vom Hersteller im Sicherheitsdatenblatt angegeben. Ist ein EBW vom Hersteller nicht angegeben, so wird zur Beurteilung der ELW oder der AGW des monomeren Isocyanats angewendet, von dem sich das Polymer chemisch ableitet.

(12) Der Aerosolpenetrationsfaktor (APF) ist ein experimentell ermittelter Faktor, welcher der Lungengängigkeit unterschiedlich großer Isocyanat-Aerosolteilchen bei Spritzapplikationsverfahren Rechnung trägt. Er ist entsprechend den Leitlinien in Anhang 2 Abschnitt A2.6 auszuwählen.

3 Gefährdungsbeurteilung

3.1 Allgemeines

Die Gefährdungsbeurteilung insbesondere für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen besteht aus der Ermittlung und Bewertung der potenziellen Gefährdungen am Arbeitsplatz mit dem Ziel, erforderliche Maßnahmen für Sicherheit und Gesundheit entsprechend der Maßnahmenhierarchie festzulegen. Der Arbeitgeber überprüft regelmäßig die Wirksamkeit dieser Maßnahmen und optimiert sie, um verbleibende Restgefährdungen zu minimieren. Die Gefährdungsbeurteilung muss nach GefStoffV fachkundig durchgeführt, schriftlich dokumentiert und regelmäßig oder bei maßgeblichen Veränderungen aktualisiert werden. Ist der Arbeitgeber selbst nicht fachkundig, hat er sich fachkundig beraten zu lassen (z. B. durch die Fachkraft für Arbeitssicherheit und die Betriebsärztin oder den Betriebsarzt). Für weitere Informationen siehe TRGS 400 „Gefährdungsbeurteilung für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen“.

3.2 Informationsermittlung

(1) Bei der Informationsermittlung sind

1. die Gesundheitsgefahren der eingesetzten Produkte, Inhaltsstoffe und ggf. Pyrolyse- und Reaktionsprodukte,
2. die Tätigkeiten unter den konkreten Anwendungsbedingungen und
3. die mögliche Exposition entsprechend der Aufnahmewege

sowie mögliche Brand- und Explosionsgefährdungen [5] zu ermitteln. Dabei sind die Informationen aus den Sicherheitsdatenblättern, Schulungsmaterialien (siehe Abschnitt 6 Absatz 6) und anderen zugänglichen Quellen zu erfassen und Substitutionsmöglichkeiten zu prüfen. Weiterhin müssen die technische Ausstattung und Sicherheitstechnik der eingesetzten Maschinen und Anlagen berück-

sichtigt werden, wenn diese die Exposition beeinflussen. Dies schließt die anwenderseitig zu installierende Be- und Entlüftungstechnik sowie Gefährdungen aus der Arbeitsumgebung (Raumgröße, Lüftungsbedingungen und ggf. weitere Emissionsquellen im Raum) ein.

(2) Gesundheitsgefahren durch Isocyanate: Isocyanate zeigen akute und chronische Wirkungen, vorwiegend am Bronchialsystem. Akute Wirkungen sind Husten, Atemnot, Schnupfen und Augenreizungen (Konjunktivitis). Diese Wirkungen können zeitlich versetzt auftreten und lebensbedrohlich werden (Lungenödem). Chronische Wirkungen umfassen obstruktive Atemwegserkrankungen, spezifische Veränderungen am Immunsystem (Antikörperbildung) unter Ausbildung eines Isocyanat-Asthmas sowie seltener das allergische Kontaktekzem. Nach den vorliegenden Erkenntnissen werden solche Effekte vorwiegend gefunden, wenn die Exposition am Arbeitsplatz regelmäßig über den Arbeitsplatzgrenzwerten lag oder es einmalig oder wiederholt zu hohen Expositionen über die Lunge (Spitzenexpositionen, Unfälle, mangelnde Schutzmaßnahmen etc.) oder über die Haut kam. Die Entwicklung einer Sensibilisierung als Vorstufe einer Allergie kann auch bei Einhaltung des Arbeitsplatzgrenzwertes nicht ausgeschlossen werden. Aus diesem Grund sind insbesondere Tätigkeiten relevant, bei denen kurzzeitige hohe Expositionen möglich sind. Bereits sensibilisierte Personen können auf Expositionen deutlich unterhalb der Arbeitsplatzgrenzwerte reagieren. Bei einigen aromatischen Isocyanaten besteht der Verdacht auf krebserzeugende und mutagene Wirkungen. Bei der Herstellung wasserbasierter Weichschäume mit niedrigem Index (molares Verhältnis Diisocyanat/Reaktand < 1) kann es durch Hydrolyse aromatischer Diisocyanate auch zur Bildung nachweisbarer Mengen krebserzeugender aromatischer Amine kommen (z. B. 4,4'-Methyldianilin (MDA) oder 2,4-Toluyldiamin (TDA)) [6]. Diese Amine reagieren bevorzugt mit weiteren Isocyanaten zu Polyharnstoff. Bei bestimmten Produktionsprozessen wie zum Beispiel der wassergetriebenen Formweichschaumherstellung, deren Entnahme aus Formen, Reinigungsarbeiten an Produktionsanlagen, Arbeitsschritten mit hohen Temperaturen etc. sind Amin-Expositionen nicht auszuschließen. Eine Aufnahme dieser Amine kann über die Haut (z. B. bei der manuellen Entformung) oder die Atemwege (z. B. Heißenwendungen, Sprühverfahren) erfolgen. In solchen Fällen sind die Aminkonzentrationen zu bestimmen und im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung zu bewerten.

(3) Anwendungsgebiete – Tätigkeiten: Isocyanate kommen u. a. in folgenden Bereichen vor:

1. Beschichtungsstoffe,
2. Vernetzer,
3. PUR-Integralschäume,
4. Herstellung und Verwendung von Montageschäumen,
5. Herstellung und Verwendung von Klebstoffen (Buchbindereien, Folienkaschierung, Verlegungen von Parkett und Böden, technische Verklebungen von Textilien, Leder, Glas u.a.),
6. Herstellung und Verwendung von Elastomeren (Scheiben- und Karosserieklebstoffe, Fugendichtmassen),
7. Technische Kunststoffe (Elastomere),
8. Hartschaumsysteme (Hartblockschäume und Dämmplattensysteme),
9. Weichschaumsysteme (Heiß-, Kalt- und Blockschäume),
10. Verfestiger im Bergbau, Tunnel- und Tiefbau,
11. Herstellung von Sandkernen und -formen in Gießereien
12. Herstellung von Prepolymeren sowie chemische Synthese.

Darüber hinaus können Isocyanate bei Prozessen entstehen oder freigesetzt werden wie z. B. bei

der thermischen Zersetzung von Polyurethanen.

(4) Bei industriellen Anwendungen gibt es eine breite Palette von Anlagen, Maschinen und anderen Applikationseinrichtungen. Die Applikationen können bei unterschiedlichen Temperaturen, mit Druck, Lösemitteln oder Schäumungshilfsmitteln erfolgen.

3.3 Aufnahmewege, Expositionsmöglichkeiten und Gefährdungsermittlung

3.3.1 Aufnahmewege und Expositionsmöglichkeiten

(1) Isocyanate können am Arbeitsplatz vorwiegend über die Atemwege, aber auch über die Haut in den Körper gelangen. Aus diesem Grund müssen beide Aufnahmewege bei allen Betriebszuständen von Maschinen und Anlagen betrachtet werden. Bei der Gefährdungsermittlung sind unterschiedliche Expositionsmöglichkeiten zu berücksichtigen. Dazu gehören neben Tätigkeiten mit Isocyanaten zum Beispiel auch Einrichten, Probetrieb, Störungsbeseitigung, Reinigungs- und Wartungsarbeiten.

(2) Die orale Aufnahme spielt keine nennenswerte Rolle, solange die grundsätzlichen Hygienemaßnahmen nach Abschnitt 6.4 der TRGS 500 „Schutzmaßnahmen“ [7] erfüllt werden.

3.3.2 Gefährdungen durch Einatmen

(1) Die gesundheitsgefährdende Wirkung der Isocyanate, ihre Verarbeitungsmenge bzw. Konzentration im Gemisch, ihr temperaturabhängiger Dampfdruck sowie Aerosolbildung bestimmen die möglichen Gefährdungen für den Expositionspfad Atemwege. Monomere Isocyanate können als gasförmige Emissionen und als Rekondensationsaerosole nach Abkühlung heißer gasförmiger Emissionen auftreten. Polymere Isocyanate haben einen so geringen Dampfdruck, dass sie nicht zu einem nennenswerten Anteil in der Gasphase führen. Allerdings können polymere Isocyanate bei Aerosolbildung in einatembarer Form in die Atemluft gelangen. In diesem Fall müssen neben den monomeren auch die polymeren Isocyanate bei der Ermittlung berücksichtigt werden. Aus der Vielfalt der Anwendungen ergibt sich folgende expositionsbezogene Einteilung der Verfahren:

1. Gasförmige Emissionen ohne erhöhte Temperaturen,
2. Gasförmige Emissionen unter Verwendung oder Entstehung von Wärme (70 °C – 250 °C) oder bei der thermischen Zersetzung von Polyurethanen [8] und
3. Verfahren unter Verwendung bzw. mit Bildung von Aerosolen (Sprühverfahren und Rekondensationsaerosole).

(2) Geringe Gefährdungen: Polymere haben in der Regel bei Raumtemperatur einen sehr geringen Dampfdruck. Dies gilt auch für einige monomere Isocyanate. Falls sie nicht als Aerosol eingesetzt oder als staubbildendes Pulver vorliegen oder einer Erwärmung unterliegen, führen sie in der Regel zu einer geringen Exposition und damit Gefährdung. Typische Beispiele hierfür sind Produkte auf Basis von MDI, p-MDI. Dies gilt in der Regel auch für polymere Isocyanate mit einem Monomengehalt unter < 0,1 %, die speziell für höhere Verarbeitungstemperaturen entwickelt wurden. Typische Beispiele hierfür sind bestimmte emissionsarme Schmelzklebstoffe [9].

(3) Sind zum Schutz der Beschäftigten technische Schutzmaßnahmen, persönliche Schutzausrüstungen oder Unterweisungen an Hand von Betriebsanweisungen vorgesehen, liegen keine geringen Gefährdungen vor. Dies gilt auch, wenn mit erhöhten Expositionen bei Nebenarbeiten wie z. B. Reinigungsarbeiten zu rechnen ist, bei Tätigkeiten in engen Räumen oder Behältern oder bei

erhöhten Brand- und Explosionsgefährdungen nach Absatz 6.

(4) Mittlere Gefährdungen: Eine mittlere Gefährdung kann bei vielen Tätigkeiten mit Isocyanaten vorliegen. Dies sind z. B. Tätigkeiten mit MDI oder p-MDI unter Erwärmung (auch durch Reaktionswärme). Diese Stoffe sind typischerweise mit dem H-Satz H332 gekennzeichnet ⁴. Zu den mittleren Gefährdungen gehören auch Anwendungen mit polymeren Isocyanaten, bei denen Aerosole auftreten können (Spritzapplikationen, Folienkaschierung, Stäube bei der Nachbearbeitung).

(5) Hohe Gefährdungen: Eine hohe Gefährdung kann bei vielen Anwendungen mit Isocyanaten vorliegen, welche mit den H-Sätzen H330 oder H331 gekennzeichnet sind ⁵. Dies sind z. B. Tätigkeiten mit TDI, IPDI und HDI oder solche, bei denen die im Absatz 3 genannten monomeren Isocyanate in Folge einer Aerosolbildung oder Erwärmung in hohen Konzentrationen in die Atemluft gelangen.

(6) Das Vorliegen einer geringen Gefährdung nach Absatz 2 kann bei PU-Systemen durch stationäre worst-case-Messungen validiert werden. Die Probenahme erfolgt dabei in unmittelbarer Nähe der möglichen Emissionsquellen. Faktoren wie eine rasch einsetzende Oberflächenhärtung („Hautbildung“), gute Wärmeableitung, geringe Verarbeitungsmengen, kleine Oberflächen und gute Lüftungsbedingungen bewirken, dass in diesem Fall Messwerte unterhalb der Bestimmungsgrenze erhalten werden. Ergänzend sind Messungen im umgebenden räumlichen Bereich nach Verarbeitung der Hauptmenge der Isocyanate durchzuführen, da sich Isocyanate in Räumen anreichern können. Ändern sich die o. g. Faktoren wesentlich, so kann eine erneute Ermittlung erforderlich werden.

(7) Die nach Abschnitt 3.2 Absatz 1 ermittelten Brand- und Explosionsgefährdungen werden unabhängig von den anderen Gefährdungen ermittelt. Wird dabei, etwa durch Einsatz entzündlicher Hilfsstoffe, eine erhöhte Brand- oder Explosionsgefährdung festgestellt, liegt keine geringe Gefährdung vor. Weitere Hinweise finden sich in der Arbeitsstättenrichtlinie ASR 2.2 „Brandschutz“ [10] und im Handbuch Gefährdungsbeurteilung [5].

3.3.3 Gefährdungen durch Hautkontakt

(1) Beim Aufnahmeweg Haut sind alle Tätigkeiten zu berücksichtigen, bei denen direkter Hautkontakt mit isocyanathaltigen Gemischen, Zwischen- oder Endprodukten besteht. Hierzu gehören insbesondere der offene Umgang, das Öffnen von Verpackungen, das Anmischen (2-Komponentensysteme), die Abnahme von fertigen, noch nicht ausreagierten Produkten oder Teilen sowie das Schneiden, Schleifen und Konfektionieren dieser Produkte. Die potenziellen Gefährdungen für den Aufnahmepfad Haut werden durch die Einstufung des Produktes, die Verarbeitungstemperatur und -menge sowie die Konsistenz (Feststoff, Pulver, Schaum, Lösung) bestimmt. Lösemittel mit Carrier-Effekten können die Hautresorption von Isocyanaten deutlich erhöhen. Eine Hautresorption durch Lösemittel z. B. bei Reinigungsarbeiten ist zu beachten.

(2) Geringe Gefährdungen: Die Handhabung und mechanische Bearbeitung von weitgehend ausreagierten PUR-Produkten ⁶ oder der Hautkontakt mit Isocyanaten, die nicht hautgefährdend gekennzeichnet sind ⁷, führt zu einer geringen Exposition der Haut durch Isocyanate. Ein typisches Beispiel sind Tätigkeiten mit Schmelzklebstoffen, die polymere Isocyanate enthalten und in geringen

⁴ Dies entspricht der Einstufung „Akute Toxizität“ mit der Kategorie 4.

⁵ Dies entspricht der Einstufung „Akute Toxizität“ mit den Kategorien 1, 2 und 3 bei inhalativer Aufnahme.

⁶ PUR-Produkte können zeitnah zur Herstellung noch Spuren von Isocyanaten enthalten. Nach vollständiger Aushärtung gehen von PUR-Produkten keine Gefährdungen durch Isocyanate im Sinne der Gefahrstoffverordnung aus.

⁷ Ausschlusskriterien für geringe Gefährdungen sind die in Abschnitt 4 Tabelle 2 der TRGS 401 aufgeführten H-Sätze H310, H311, H312, H314 und H315.

Mengen eingesetzt werden (Diisocyanatgehalt < 0,1 %).

(3) Mittlere Gefährdungen: Hierzu zählt der kurzzeitige Hautkontakt (< 15 Minuten pro Arbeitstag) mit entsprechend gekennzeichneten Isocyanaten sowie der Kontakt mit PUR-Produkten unmittelbar bei und kurz nach der Herstellung ⁷. Typische Beispiele hierfür sind PU-Spritzer an Mischköpfen, das Berühren von Isocyanaten in Block- oder Schuppenform sowie der Kontakt mit gerade entformten Teilen oder frischen, aber nicht heißen Schnittflächen.

(4) Hohe Gefährdungen: Isocyanate werden nach Abschnitt 4.2 Absatz 4 der TRGS 401 „Gefährdungen durch Hautkontakt - Ermittlung, Beurteilung, Maßnahmen“ als Stoffe mit einer hohen Hautgefährdung angesehen. Dies ist bei den unter Absatz 3 genannten Isocyanaten der Fall, wenn ein wiederholter oder andauernder Hautkontakt (> 15 Minuten pro Arbeitstag) besteht oder diese in flüssiger Form, als Sprühstrahl, als verstaubendes Pulver oder bei erhöhter Anwendungstemperatur vorliegen.

(5) Da die Hautgefährdung von weiteren Faktoren wie z. B. dem Umfang möglicher Kontaktflächen, der Aushärtungsgeschwindigkeit, der schichtübergreifenden Anzahl der Hautkontakte oder der Mischexposition abhängt, kann nach genauerer Untersuchung eine Abweichung von der Einteilung nach den Absätzen 2 bis 4 begründet werden.

3.4 Dokumentation

(1) Der Arbeitgeber dokumentiert gemäß Abschnitt 8 der TRGS 400 in der Gefährdungsbeurteilung u. a., bei welchen Tätigkeiten Gefährdungen der Atemwege und der Haut durch Isocyanate auftreten können und welche Maßnahmen zu deren Minimierung durchzuführen sind. Die Form der Dokumentation ist dem Arbeitgeber freigestellt. Sie kann auch elektronisch erfolgen.

(2) Bei geringen Gefährdungen nach Abschnitt 3.3 Absatz 2 ist keine detaillierte Dokumentation der Gefährdungsbeurteilung erforderlich. Sie sollte jedoch die Arbeitsbereiche und Tätigkeiten benennen und die Maßnahmen nach Abschnitt 4.2 Absatz 1 aufführen. Mögliche räumliche oder zeitliche Überlappungen mit anderen Tätigkeiten im gleichen Arbeitsbereich sind zu berücksichtigen.

(3) Der Arbeitgeber kann in die Gefährdungsbeurteilung Verweise auf weitere vorhandene betriebliche Unterlagen aufnehmen. Hierzu gehören das Gefahrstoffverzeichnis, Wartungs-, Prüf- und Reinigungspläne (siehe Abschnitt 4.7), Messberichte, Dokumentationen über Unterweisungen und Schulungen (siehe Abschnitt 6), Daten über die Lüftungstechnik, die Kartei der arbeitsmedizinischen Vorsorge sowie technische Anleitungen.

(4) Das Ergebnis der Substitutionsprüfung (siehe Abschnitt 4.1) ist zu dokumentieren. Der Verzicht auf eine Substitution ist zu begründen (siehe TRGS 600 „Substitution“).

4 Substitution und Schutzmaßnahmen

4.1 Substitution

Der Arbeitgeber muss zunächst ermitteln, ob an Stelle von Isocyanaten andere Stoffe oder Verfahren mit einem geringeren Risiko anwendbar sind (siehe TRGS 600). Ist der Einsatz von Isocyanaten auf Grund technischer Anforderungen notwendig, so ist auch zu prüfen, ob emissionsarme Produkte oder Verfahren zur Verfügung stehen (siehe Abschnitt 3.3.2 Absatz 2). Liegt bereits eine geringe Gefährdung vor oder ist diese durch eine Substitution erreicht worden, ist keine weitere Substitutionsprüfung erforderlich.

4.2 Schutzmaßnahmen

(1) Auswahl und Festlegung der Maßnahmen: Bestimmte Maßnahmen sind bei Tätigkeiten mit Isocyanaten auch bei geringen Gefährdungen durchzuführen. Dazu gehören:

1. Maßnahmen und Überprüfungen nach den folgenden Absätzen 4 bis 6,
2. Unterrichtung der Beschäftigten mit den vorhandenen Informationen über die verwendeten Gefahrstoffe, den vom Arbeitgeber festgelegten Maßnahmen (siehe Abschnitt 4 der TRGS 500) sowie das Verhalten im Notfall und bei Störungen. Andere Rechtsvorschriften wie die Schulungen nach Abschnitt 6 Absatz 6 bzw. Eintrag 74, Anhang XVII REACH-VO (siehe Anhang 3) bleiben unberührt,
3. Wiederkehrende Prüfungen und Wartungen zur Sicherstellung der Funktion technischer Einrichtungen und der Einhaltung der Maßnahmen im Arbeitsbereich. Ein Prüf- und Wartungsplan ist aufzustellen und zu dokumentieren,
4. Vereinfachte Dokumentation der Gefährdungsbeurteilung nach Abschnitt 3.4 Absatz 2.

(2) Bei mittleren und hohen Gefährdungen sind zusätzlich zu Schutzmaßnahmen nach Absatz 4 folgende weitere Maßnahmen erforderlich:

1. Technische, organisatorische und persönliche Schutzmaßnahmen nach den nachfolgenden Absätzen 7 und 8 sowie den Abschnitten 4.3 bis 4.6,
2. Überprüfung der Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen einschließlich der Ermittlung der Exposition nach den Abschnitten 4.7 und 5,
3. Unterweisungen und Schulungen der Beschäftigten nach Abschnitt 6,
4. Arbeitsmedizinische Vorsorge nach Abschnitt 7.

Weitere Hinweise sind der TRGS 500 zu entnehmen.

(3) Für hohe Gefährdungen sind darüber hinaus erforderlich:

1. Zusätzliche Technische Maßnahmen nach Abschnitt 4.4,
2. Organisatorische Maßnahmen nach Abschnitt 4.5 Absatz 7,
3. Prüfung, ob Atemschutz nach Abschnitt 4.6 Absatz 3 erforderlich ist.

(4) Allgemeine Schutzmaßnahmen nach Abschnitt 4 der TRGS 500 sind bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen immer und vollständig anzuwenden. Insbesondere dürfen Isocyanate und isocyanathaltige Gemische nicht in Gefäße abgefüllt werden, die mit Gefäßen für Lebensmittel verwechselt werden können. Gefäße und Behälter, in die Isocyanate abgefüllt werden, sind immer zu kennzeichnen.

(5) Werden geringe Gefährdungen für den Aufnahmeweg Atemwege nach Abschnitt 3.3.2 Absatz 2 ermittelt, können Restgefährdungen durch benachbarte Arbeitsplätze mit höherer Exposition oder in Folge von Betriebsstörungen verbleiben. Maßnahmen sind dann für diese benachbarten Arbeitsplätze bzw. Maschinen und Anlagen mit höheren Gefährdungen zu treffen.

(6) Bei geringen Gefährdungen für den Aufnahmeweg Haut nach Abschnitt 3.3.3 Absatz 2 kann es insbesondere in Kombination mit mechanischen Belastungen zu Hautbeschwerden kommen. In diesem Fall ist eine anlassbezogene betriebsärztliche Beratung zu veranlassen, um individuell abgestimmte Maßnahmen festzulegen [10].

(7) Falls es bei Tätigkeiten mit Isocyanaten zu Brand- oder Explosionsgefahren kommen kann, sind ergänzende Schutzmaßnahmen nach § 11 und Anhang I Nummer 1 Gefahrstoffverordnung und

der Betriebssicherheitsverordnung festzulegen. Kann es durch die Reaktionswärme, Betriebsstörungen oder Variation der Rezeptur zu Bränden kommen, sind Sensoren zur Erkennung von Überhitzungen vorzusehen. Dies gilt auch für Lager, in denen sich PUR-Produkte bei der Aushärtung erwärmen können.

(8) Zusätzliche Informationen: Für Systeme, bei denen es applikationsbedingt zur Bildung von Aerosolen kommt, sind weitere Hinweise in der DGUV Regel 109-013 „Schutzmaßnahmenkonzept für Spritzlackierarbeiten – Lackaerosole“ aufgeführt. Für das Laden, den Transport und die Lagerung von Isocyanaten im Industriebereich liegt ein Maßnahmenkatalog vor [11]. Für Betriebsbereiche im Geltungsbereich der Störfallverordnung sind zusätzlich die Maßnahmen erforderlich, die sich aus den Pflichten nach dieser Verordnung ergeben.

4.3 Technische Maßnahmen

Folgende technische Schutzmaßnahmen werden für Tätigkeiten mit Isocyanaten für mittlere und hohe Gefährdungen festgelegt:

1. Zur Herstellung und Verarbeitung von Isocyanaten dürfen nur dafür geeignete Maschinen und Anlagen verwendet werden. Sie müssen so ausgelegt sein, dass bei maximaler Verarbeitungskapazität die Exposition für die Beschäftigten so weit wie möglich minimiert wird, mindestens jedoch auf das zulässige, nach Abschnitt 5 ermittelte Maß. Dies gilt auch für Kurzzeiteexpositionen, wie sie etwa beim Öffnen von Reaktionsbehältern, Formen oder beim Fasswechsel auftreten. Emissionsarme technische Lösungen müssen bevorzugt werden,
2. Maschinen und Anlagen, die zu einer erhöhten Isocyanatexposition führen können, sind vorzugsweise geschlossen auszuführen oder mit Einhausungen und wirksamen Absaugungen auszurüsten. Hierbei sind alle Emissionsquellen zu berücksichtigen,
3. Bei Sprühanwendungen in ganz oder teilweise geschlossenen Arbeitsbereichen müssen grundsätzlich Absaugvorrichtungen vorgesehen werden ⁸,
4. Absaugungen für stationäre Arbeitsplätze sind so auszulegen, dass die Gefahrstoffe möglichst an der Entstehungsstelle erfasst werden und die Absaugung von Fremdluft vermieden wird. Die Abluft muss ohne Gefährdung anderer abgeführt werden. Außerdem ist für die abgesaugte Luft ein Ausgleich durch Frischluftzufuhr vorzusehen,
5. Bei mobilen Arbeitsplätzen in Räumen wie im Baubereich hat der Arbeitgeber transportable Absaugeinrichtungen und Einrichtungen zur Frischluftzufuhr bereitzustellen und einzusetzen, wenn bei der Verarbeitung eine gesundheitsgefährdende Belastung der Atemluft vorliegt und die natürliche Frischluftzufuhr nicht ausreicht oder eingeschränkt werden muss,
6. Systeme zur Dosierung bzw. Zuführung der Isocyanate müssen so gestaltet sein, dass ein Hautkontakt mit Isocyanaten wirksam verhindert ist. Dazu werden Abdeckungen, Spritzschutzeinrichtungen, selbstreinigende Dosierköpfe usw. verwendet. Wenn technisch möglich, muss die Produktentnahme so gestaltet sein, dass ein Hautkontakt mit frisch gefertigten, noch nicht ausgehärteten Teilen vermieden wird,

⁸ Zusätzlicher Atemschutz kann erforderlich sein. Absaugungen sind nicht erforderlich, wenn sichergestellt ist, dass die Beurteilungsmaßstäbe und ihre Spitzenbegrenzungen für die Inhaltsstoffe eingehalten werden (siehe Abschnitt 3.3.2 Absatz 5). Werden dabei Messergebnisse auf andere Arbeitsplätze übertragen, so müssen die bei den Referenzmessungen verwendeten Produkte zusammen mit den expositionsbestimmenden Randbedingungen wie maximale Verarbeitungsmengen und Lüftungsanforderungen ermittelt und dokumentiert werden. Konzentrationsschwankungen und ungünstige Bedingungen, die bei der Produktanwendung auftreten können, sind dabei zu berücksichtigen.

7. Tankanlagen, Pumpen und andere Aggregate für flüssige Isocyanate müssen unterwannt sein, um bei Leckagen eine gesundheitsgefährdende Freisetzung von Isocyanaten zu begrenzen und eine Gefährdung der Umwelt zu verhindern [12],
8. Es dürfen nur solche Maschinen und Anlagen zur Verarbeitung von Isocyanaten zur Anwendung kommen, bei denen die unbeabsichtigte Freisetzung von Isocyanaten durch eine einfache Fehlbedienung erschwert oder ausgeschlossen ist ⁹,
9. Beheizte Maschinen, Anlagen und Dosiereinrichtungen müssen neben der eigentlichen Temperaturregelung eine davon unabhängig arbeitende Begrenzung der Verarbeitungstemperatur (nach Angaben im Technischen Merkblatt oder nach Herstellerangaben) besitzen, die eine Überschreitung signalisiert und bei Gefahr die Maschine oder Anlage in den sicheren Zustand fährt,
10. Falls es in Folge einer Störung wie etwa dem Ausfall der Absaugung oder Überhitzungen zu Spitzenexposition von Isocyanaten kommen kann, muss die Maschine oder Anlage Einrichtungen zur Erkennung dieser Störungen besitzen, sie anzeigen und bei Gefahr die Maschine bzw. Anlage in einen sicheren Zustand fahren,
11. Bei Nach- und Nebenarbeiten, wie Einrichten, Störungsbeseitigung, Reinigungs- und Wartungsarbeiten sind, soweit möglich technische Maßnahmen, wie Antihaftbeschichtungen, externe Absaugungen, automatische Reinigungssysteme usw. zu bevorzugen,
12. Verrohrungen, Schläuche und Aggregate (Ventile, Pumpen, Rezirkulationsleitungen, Kuppelungen usw.) zur Förderung von Isocyanaten müssen farbig eindeutig markiert oder gekennzeichnet sein und an Stellen bewehrt werden, an denen das Risiko einer Beschädigung besteht (Staplerverkehr, Krane). Bei ortsfesten Isocyanattankanlagen müssen Schlauch- und Rohrkupplungen für Isocyanate verwechselungssicher ausgeführt sein,
13. Für die Lagerung in ortsbeweglichen Behältern sind die Bestimmungen der TRGS 510 „Lagerung von Gefahrstoffen in ortsbeweglichen Behältern“ zu beachten.

4.4 Zusätzliche technische Maßnahmen bei hoher Gefährdung

- (1) Zu den in Abschnitt 4.3 beschriebenen Maßnahmen sind bei hoher Gefährdung zusätzlich folgende technische Maßnahmen erforderlich. Sie müssen vor Aufnahme der Tätigkeit mit Isocyanaten und der erstmaligen Ermittlung der inhalativen Exposition nach Abschnitt 5 Absatz 2 vorhanden sein.
- (2) Anlagen, Maschinen und Tankanlagen für Isocyanate mit hoher Gefährdung für die Atemwege müssen so ausgelegt sein, dass auch bei Ausfall eines Bauteils oder Aggregats eine unkontrollierte Freisetzung von Isocyanaten an Arbeitsplätzen verhindert wird. Zudem ist durch weitere Maßnahmen wie z. B. die Begrenzung der Lager- und Verarbeitungsmengen die Exposition bei einer unvermeidbaren Freisetzung so zu begrenzen, dass keine weiteren Personen gefährdet werden.
- (3) Tätigkeiten mit hoher Hautgefährdung müssen nach Möglichkeit technisch so gestaltet werden, dass ein Hautkontakt mit Isocyanaten wirksam vermieden wird.

4.5 Organisatorische Maßnahmen

- (1) Der Arbeitgeber darf Tätigkeiten mit Isocyanaten nur von Beschäftigten durchführen lassen,

⁹ Beispiele hierfür sind die Verriegelung der Bedienelemente, Einsatz von Tastern (Tippbetrieb) sowie akustische und optische Statusanzeigen (siehe EN 894 Teil 1-3, EN 61310 Teil 1-2 und EN 981).

die über auftretende Gefahren unterwiesen und mit den Schutzmaßnahmen sowie dem Verhalten im Notfall vertraut sind.¹⁰

(2) Jugendliche unter 18 Jahren dürfen nach § 22 Jugendarbeitsschutzgesetz nur zu Ausbildungszwecken Tätigkeiten mit Isocyanaten durchführen, wenn die Aufsicht durch einen Fachkundigen gewährleistet ist und der Arbeitsplatzgrenzwert unterschritten ist. Mit akut toxischen Isocyanaten der Kategorien 1 und 2 dürfen sie alleine keine Tätigkeiten durchführen. Schulungsanforderungen nach Abschnitt 6 Absatz 6 können sowohl für die Jugendlichen als auch das überwachende Lehrpersonal erforderlich sein.

(3) Im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung sind die Vorgaben des Mutterschutzgesetzes umzusetzen¹¹. Für schwangere oder stillende Frauen ist das allergene Potential von Isocyanaten zu berücksichtigen. Ist eine fachkundige Beurteilung speziell für Isocyanate durch den Arbeitgeber nicht möglich, hat er fachkundigen ärztlichen Rat einzuholen. Arbeitnehmerinnen in diesen Arbeitsbereichen sind über mögliche Gesundheitsgefährdungen wie die Entwicklung einer Allergie durch die Einwirkung dieser Stoffe zu informieren.

(4) Für das Verhalten im Notfall hat der Arbeitgeber Maßnahmen festzulegen und in die Betriebsanweisung aufzunehmen.

(5) Bei Wartungs- und Reparaturarbeiten sowie bei Störungsbeseitigungen darf der Arbeitgeber nur Personen einsetzen, die über mögliche Gefährdungen (z. B. nicht entleerte Rohrleitungen, Leckagen) und Schutzmaßnahmen unterwiesen wurden.

(6) Reinigungslösungen, nicht ausgehärtete Produktionsabfälle und Isocyanat-Reste dürfen in den Arbeitsbereichen nicht offen gelagert oder ausgehärtet werden. Der Arbeitgeber hat für diese Zwecke Behälter in ausreichender Menge bereitzustellen und sicherzustellen, dass sie abgedeckt oder abgesaugt werden. Eine mögliche Druckentwicklung durch Selbsterwärmung oder chemische Reaktionen ist zu berücksichtigen. Isocyanatreste können u. a. durch Behandlung zu Polyharnstoff umgesetzt werden, von dem in der Regel nur noch geringe Gefährdungen ausgehen.

(7) Bei hoher Gefährdung hat der Arbeitgeber die Notfall- und Entsorgungsmaßnahmen auf den Fall der Freisetzung von Isocyanaten in größeren Mengen auszudehnen. Falls Ersthelfer oder technisches Personal (Entsorgung, Abfahren von Anlagen) im Notfall selbst gefährdet sein können, ist für sie geeignete persönliche Schutzausrüstung zur Verfügung zu stellen und sie sind in der praktischen Handhabung zu unterweisen. Bei hoher Gefährdung ist außerdem alle zwei Jahre eine Sicherheitsübung durchzuführen, auszuwerten und formlos zu dokumentieren.

4.6 Persönliche Schutzmaßnahmen

(1) Ist eine Gefährdung der Beschäftigten trotz Ausschöpfung technischer und organisatorischer Maßnahmen möglich, so hat der Arbeitgeber geeignete, persönliche Schutzausrüstungen zur Verfügung zu stellen.

(2) Atemschutz: Zum Schutz vor Isocyanaten sollen bevorzugt gebläseunterstützte Atemschutzfiltergeräte eingesetzt werden. Diese Geräte erfordern keine Überwindung des Atemwiderstands, so dass sie einen größeren Tragekomfort bieten als normale Filtermasken. Als zweite Wahl können Voll- oder Halbmasken mit Filter eingesetzt werden. Bei beiden Systemen lassen sich Filter gegen organische Dämpfe und Gase oder Kombinationsfilter einsetzen, die bei Aerosolen oder Stäuben zusätzlich gegen Partikel wirksam sind. Bei der Auswahl der Filter ist die mögliche Exposition gegen weitere Stoffe und ihre Konzentration zu berücksichtigen. Treibmittel wie Pentan erfordern einen AX-

¹⁰ siehe § 7 Arbeitsschutzgesetz.

¹¹ siehe § 11 Mutterschutzgesetz.

Filter für Leichtsieder. Filter müssen spätestens nach Ablauf der vorgesehenen Tragezeit ersetzt werden. Belastender Atemschutz darf keine Dauermaßnahme sein.

(3) Bei hohen Gefährdungen kann es notwendig sein, umluftunabhängige Atemschutzgeräte (Pressluftflaschen oder Druckluft-Schlauchgeräte ¹²) einzusetzen, da diese ein besonders hohes Schutzniveau bieten. Zur eigentlichen Zuführung der Luft an der Person sollten Vollmasken oder bei Überdrucksystemen Hauben mit Visier eingesetzt werden, die das Einatmen von Nebenluft wirksam verhindern [13].

(4) Augen- und Gesichtsschutz: Chemikalienschutzbrillen bieten einen einfachen, Helme mit Gesichtsschild einen erweiterten Schutz vor gelegentlichen Spritzern. Bei höherem Risiko wie bei Wartungsarbeiten an Druckgefäßen und Spritzapplikationen bieten Frischlufthauben oder Vollmasken den besten Schutz.

(5) Körperschutz: Ist mit Spritzern, auslaufenden Flüssigkeiten oder Sprühnebel zu rechnen, hat der Arbeitgeber geeigneten Körperschutz zur Verfügung zu stellen. Chemikalienschürzen bieten einen einfachen Schutz, leichte Schutzanzüge (Overalls) einen erweiterten Schutz. Kontaminierte Arbeitskleidung ist zu wechseln, bei Durchdringung der Kleidung sofort.

(6) Hand- und Hautschutz: Liegen keine konkreten Hinweise für die notwendigen Schutzhandschuhe vor, so müssen diese gemäß TRGS 401 „Gefährdung durch Hautkontakt“ selbst ermittelt werden ¹³. Aufgrund der Tätigkeitsmerkmale und der Gefährdung können auch Schutzhandschuh-Hersteller Empfehlungen für geeignete Schutzhandschuhe abgeben.

(7) Bei der Auswahl der Schutzhandschuhe sind die mechanische und thermische Belastung, die Dauer der Einwirkung und die Möglichkeit der Benetzung zu berücksichtigen. Die Durchbruchzeit (Permeationszeit) in Minuten kann den Informationen der Hersteller der Schutzhandschuhe entnommen werden. Empfohlen wird, die Schutzhandschuhe nur für ein Drittel der angegebenen Durchbruchzeit zu tragen.

1. Für Tätigkeiten mit festen PU-Produkten reichen in der Regel beschichtete Baumwollhandschuhe,
 2. Pulverstäube, nicht ausgehärtete Schäume und flüssige Produkte: Bei Tätigkeiten mit PUR-Systemen (Reaktionsgemisch) ist nicht die Durchbruchzeit, sondern die Reaktivität der Produkte und die mechanische Belastung bei der PUR-Bildung der wesentliche Parameter für die Beständigkeit der Schutzhandschuhe. Der Schutzhandschuh wird an den Stellen angegriffen, an denen die Polyurethane auf dem Handschuh härten, so dass die Schutzschicht brechen oder reißen kann. Bei Tätigkeiten mit Isocyanaten können Handschuhe, deren Durchbruchzeit unter einer Stunde liegt, verwendet werden, wenn nur gelegentlich Spritzer auftreten oder nur mit kurzzeitigem Hautkontakt zu rechnen ist und die Handschuhe nach Benetzung unmittelbar gewechselt werden. Handschuhe mit Durchbruchzeiten über 480 Minuten müssen, wenn sie mit Isocyanaten benetzt wurden, nach Schichtende entsorgt werden,
 3. Bei lösemittelhaltigen Systemen hängt die Handschuhauswahl wesentlich von der Art des Lösemittels ab,
 4. Bei der Herstellung und Verarbeitung heißer PU-Produkte sind thermisch beständige Arbeitshandschuhe zu verwenden (z. B. Lederhandschuhe beim Entnehmen heißer PU-Formteile).
- (8) Bei Arbeitsende und vor Pausen sind die Hände gründlich zu reinigen. Eine ausreichende

¹² Dies sind Druckluft-Schlauchgeräte nach DIN EN 14593 oder DIN EN 14594. Technische Druckluft muss aufbereitet werden, um als Atemluft eingesetzt werden zu können.

¹³ Siehe TRGS 401 Abschnitt 5.5.2 in Verbindung mit den Anhängen 2 und 6, DGUV Information 212-007 „Chemikalienschutzhandschuhe“ sowie GESTIS-Stoffdatenbank (gestis.dguv.de).

Hautpflege der Mitarbeiter ist sicher zu stellen. Bei vorgeschädigter oder krankhaft veränderter Haut sollte generell ein Betriebsarzt aufgesucht werden.

4.7 Prüfung der Schutzmaßnahmen

(1) Ausgehend vom Ergebnis der Ermittlung gemäß Abschnitt 3 führt der Arbeitgeber in angemessenen Abständen, mindestens jedoch einmal im Jahr eine Beurteilung der Arbeitsplätze sowie der persönlichen Schutzausrüstungen durch und prüft die isocyanatführenden Behälter, Schläuche, Verrohrungen und Aggregate auf Beschädigungen und Leckagen. Er dokumentiert die dabei festgestellten Mängel und veranlasst ihre Beseitigung.

(2) Der Arbeitgeber legt für die technischen Schutzmaßnahmen einen Prüf- und Wartungsplan fest und dokumentiert ihn ¹⁴. Schutzmaßnahmen zur Erfassung oder Absaugung von Stäuben, das Not-Halt-System sowie Einrichtungen zur Erkennung oder Abwehr von Brand- und Explosionsgefahren oder gefährlichen Betriebsstörungen müssen bei der Einrichtung der Arbeitsplätze und dann in angemessenen Abständen, in der Regel einmal jährlich, auf ihre Funktion geprüft werden. Die genauen Prüffristen hängen von der Art der Schutzmaßnahme ab und unterliegen verschiedenen Rechtsvorschriften oder Herstellerangaben, die für den Prüf- und Wartungsplan zu ermitteln sind. Das Ergebnis dieser Prüfungen ist schriftlich zu dokumentieren.

(3) Um die Wirksamkeit der vorhandenen Absaugungen zu überprüfen, veranlasst der Arbeitgeber bei mittleren und hohen Gefährdungen für den Aufnahmeweg Atemwege die in Abschnitt 5 und Anhang 2 beschriebene Ermittlung der inhalativen Exposition. Dies erfolgt in der Regel durch Arbeitsplatzmessungen. Nach § 7 Absatz 7 GefStoffV ist hierbei bei mittleren Gefährdungen die Prüfung mindestens alle drei Jahre und bei hohen Gefährdungen in einer kürzeren Frist durchzuführen, wobei sich ein Prüfintervall von zwei Jahren bewährt hat.

(4) Schutzmaßnahmen zur Erfassung oder Absaugung von Stäuben sind nach Anhang 1 Nummer 2.3 Absatz 7 der Gefahrstoffverordnung jährlich auf ihre Funktion zu prüfen. Falls in einem Jahr eine Prüfung nach Absatz 3 vorgesehen ist, ist bis auf die Kontrolle auf offensichtliche Mängel keine zusätzliche Prüfung erforderlich.

(5) Der Arbeitgeber legt unter Berücksichtigung der Herstellerangaben und der Beanspruchung fest, nach welcher Einsatzzeit bzw. Tragedauer die persönlichen Schutzausrüstungen (Chemikalienschutzhandschuhe, Atemschutzfilter) ersetzt werden müssen und welche Wartungen und Funktionsprüfungen durchzuführen sind und dokumentiert diese. Kontaminierte (verschmutzte) Handschuhe sind spätestens nach Schichtende zu entsorgen. Mangelhafte persönliche Schutzausrüstungen dürfen von den Beschäftigten nicht verwendet werden und sind bei Beschädigungen durch den Arbeitgeber zu ersetzen.

5 Ermittlung der inhalativen Exposition

(1) Die Expositionsermittlung von Isocyanaten in der Atemluft erfolgt durch Arbeitsplatzmessungen oder gleichwertige Ermittlungsmethoden nach Anhang 2 Abschnitt A2.3. Zur Beurteilung von Messergebnissen werden Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW) oder andere Beurteilungsmaßstäbe (ELW, EBW) herangezogen. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass nicht immer nur die im SDB angegebenen Isocyanate zu einer Exposition beitragen können. MDI-basierte Isocyanate z. B. können Spuren von Phenylisocyanat enthalten. Auch bei der thermischen Belastung von Polyurethanen können sich Isocyanat-Bruchstücke bilden und freigesetzt werden [14].

¹⁴ Für Maschinen und Anlagen kann er dazu Angaben des Herstellers übernehmen.

- (2) Erstmalige Ermittlung: Der Arbeitgeber führt die Gefährdungsbeurteilung nach Abschnitt 3 durch und richtet die Arbeitsplätze mit den in Abschnitt 4 beschriebenen Schutzmaßnahmen ein. Danach ermittelt er bei mittleren und hohen Gefährdungen die inhalative Exposition nach Anhang 2 unter Beachtung der TRGS 402. Hierbei sind außer den Isocyanaten auch die anderen eingesetzten Gefahrstoffe zu berücksichtigen. Es sind alle Arbeitsplätze, die potenziell exponiert sind, mit einzu-beziehen. Werden Anlagen in einer Halle oder einem Raum betrieben oder werden dort warme unter Einsatz von Isocyanaten gefertigte Teile transportiert oder gelagert, sind auch Ermittlungen im wei-teren Umfeld der Maschinen und Anlagen erforderlich. Dies gilt auch, wenn Isocyanate ohne Absau-gung verarbeitet werden und eine Akkumulation im Arbeitsbereich nicht auszuschließen ist ¹⁵. Die Ergebnisse sind nach Absatz 3 auszuwerten und der erhobene Befund ist nach der TRGS 402 zu dokumentieren.
- (3) Erhebung des Befundes: Liegt der ermittelte Bewertungsindex über 1, so liegt der Befund: „Schutzmaßnahmen nicht ausreichend“ vor (Grenzwertüberschreitung). Dann muss der Arbeitgeber unverzüglich zusätzliche Schutzmaßnahmen nach Abschnitt 4 ergreifen, damit die Arbeitsplatz-grenzwerte eingehalten werden. Außerdem ist für die betroffenen Beschäftigten eine arbeitsmedizi-nische Vorsorge nach Abschnitt 7 zu veranlassen. Die Gefährdungsbeurteilung ist danach erneut durchzuführen.
- (4) Werden Mängel bei der wiederkehrenden Prüfung nach Abschnitt 4.7 festgestellt oder Ände-rungen an den Arbeitsplätzen durchgeführt, die zu einer Erhöhung der Exposition führen können, so ist danach die inhalative Exposition erneut zu ermitteln und nach Absatz 3 auszuwerten.
- (5) Messungen zur Befundsicherung: Ein Ausstieg aus der Messverpflichtung nach TRGS 402 ist nicht möglich. Nach dieser TRGS sind Messungen bei hohen Gefährdungen wiederkehrend alle zwei Jahre, bei mittleren Gefährdungen alle drei Jahre durchzuführen ¹⁶.
- (6) Für Diisocyanate wurde ein EU-Arbeitsplatzgrenzwert (BOELV) in die RL 98/24/EG aufgenom-men. Er tritt nach Umsetzung in nationales Recht in Kraft und ist als TRIG-Konzentrationswert an-gegeben. Bis zum 31.12.2028 gilt ein Wert von 10 µg NCO/m³, danach gilt ein Wert von 6 µg NCO/m³; beide gelten jeweils mit einem Überschreitungsfaktor 2 für Kurzzeitexpositionen (15 Minu-tenwert).

6 Unterrichtung, Unterweisung und Schulungen der Beschäftigten

- (1) Der Arbeitgeber erstellt nach § 14 der Gefahrstoffverordnung vor Aufnahme der Tätigkeit eine schriftliche Betriebsanweisung für die Beschäftigten. Sie ist bei Veränderung der Arbeitsbedingun-gen umgehend zu aktualisieren. Nähere Hinweise finden sich in der TRGS 555 „Betriebsanweisung und Information der Beschäftigten“ [15].
- (2) Der Arbeitgeber macht den Beschäftigten alle Sicherheitsdatenblätter der eingesetzten Stoffe und Produkte zugänglich und unterweist anhand der Betriebsanweisung die Beschäftigten mündlich über Gefährdungen, die bei Tätigkeiten mit Isocyanaten auftreten können und über die vorhandenen Schutzmaßnahmen. Informationen über durchgeführte Messungen und deren Ergebnisse sind den Beschäftigten und ihrer Vertretung zugänglich zu machen.

¹⁵ Die Probenahme bzw. direktanzeigende Messung sollte bei raumbezogenen Messungen nach Verarbei-tung der Hauptmenge der Isocyanate im Arbeitsbereich stattfinden.

¹⁶ Verschleißbedingte Änderungen treten an Anlagen mit intensiver klimatischer Beanspruchung durch wech-selnde Temperaturen, mechanischen Belastungen oder durch schlecht zugängliche Ablagerungen auf. Auch die in langen Zeiträumen üblichen Änderungen der Produkte, der Luftwechselrate sowie Verände-rungen an den raumluftechnischen Anlagen sind zu beachten.

- (3) Der Arbeitgeber stellt sicher, dass die Beschäftigten eine allgemeine arbeitsmedizinisch-toxikologische Beratung nach § 14 der Gefahrstoffverordnung erhalten, in der sie über die von den Isocyanaten ausgehenden Gesundheitsgefahren, die arbeitsmedizinische Vorsorge nach Abschnitt 7 sowie die Maßnahmen zur Allergieprävention informiert werden. Sie soll nach Möglichkeit als Teil der Unterweisung nach Absatz 2 durchgeführt werden.
- (4) Die Unterweisung sowie die arbeitsmedizinisch-toxikologische Beratung muss vor Aufnahme der Beschäftigung und danach mindestens jährlich arbeitsplatzbezogen durchgeführt werden. Sie muss in für die Beschäftigten verständlicher Form und Sprache erfolgen. Inhalt und Zeitpunkt sind schriftlich festzuhalten und vom Unterwiesenen durch Unterschrift zu bestätigen.
- (5) Der Arbeitgeber unterweist in geeigneter Form zusätzlich über die im Notfall durchzuführenden Maßnahmen vor Ort und dokumentiert dies.
- (6) Schulungen nach Eintrag 74 in Anhang XVII REACH-VO zur Beschränkung von Diisocyanaten 17: Werden Stoffe oder Gemische mit einem Gehalt von $\geq 0,1$ Gewichtsprozent an Diisocyanaten in den Verkehr gebracht, so muss der Lieferant sicherstellen, dass Schulungsinhalte bzw. Schulungsmaterialien und Schulungen über die sichere Verwendung dem Anwender zur Verfügung gestellt werden.
- (7) Der Arbeitgeber stellt sicher, dass die Beschäftigten und er selbst, falls er Anwender ist, die für die durchgeführten Tätigkeiten einschlägigen Schulungen erfolgreich absolviert haben. Entsprechende Nachweise sind der zuständigen Behörde auf Nachfrage vorzulegen. Weisungsbefugte, die die Handhabung oder Verwendung entsprechender Produkte anweisen bzw. überwachen aber nicht selbst ausführen, müssen ebenfalls die entsprechenden Schulungen absolviert haben. Die Schulungsinhalte werden im Eintrag 74 in Anhang XVII REACH-VO konkretisiert. Die Schulungen müssen mindestens alle 5 Jahre wiederholt werden. Anhang 3 dieser TRGS enthält weitere Informationen zu diesen Schulungen.
- (8) Eine Schulung gemäß des REACH-Beschränkungseintrages und eine Unterweisung nach GefStoffV können kombiniert werden, wenn dabei die jeweiligen Anforderungen beider Rechtsvorschriften erfüllt werden. In der Regel können Schulungen gemäß Absatz 6 die Unterweisungen nach Absatz 2 nicht vollständig ersetzen, da sowohl der Tätigkeitsbezug als auch die individuellen betrieblichen Bedingungen zumeist nicht berücksichtigt werden.

7 Arbeitsmedizinische Vorsorge

- (1) Die allgemeinen Vorgaben in Abschnitt 4 der AMR 3.2 sind zu berücksichtigen. Der folgende Absatz enthält hierzu spezielle Ausführungen. Unberührt bleiben Vorgaben in anderen Arbeitsmedizinischen Regeln, insbesondere in der AMR „Abweichungen nach Anhang Teil 1 Absatz 4 ArbMedVV bei Tätigkeiten mit krebserzeugenden oder keimzellmutagenen Gefahrstoffen der Kategorie 1A oder 1B“ (AMR 11.1).
- (2) Vorsorgeanlässe für die in dieser Technischen Regel angesprochenen Tätigkeiten und Gefährdungen sind insbesondere:
1. Pflichtvorsorge
 - a) Tätigkeiten mit Exposition gegenüber Isocyanaten, bei denen ein regelmäßiger Hautkontakt nicht

17 Geltungsbereich der Beschränkung: Diisocyanate mit der generellen Strukturformel $O=C=N-R-N=C=O$, wobei R eine aliphatische oder aromatische Kohlenwasserstoffeinheit beliebiger Länge ist.

ausgeschlossen werden kann oder eine Luftkonzentration von 0,05 Milligramm pro Kubikmeter überschritten wird¹⁸ (Anhang Teil 1 Absatz 1 Nummer 2 Buchstabe d ArbMedVV);

b) Tätigkeiten mit aromatischen Aminoverbindungen, wenn deren Arbeitsplatzgrenzwert nicht eingehalten wird oder, bei krebserzeugenden aromatischen Aminoverbindungen der Kategorien 1A oder 1B im Sinne der Gefahrstoffverordnung, eine wiederholte Exposition nicht ausgeschlossen werden kann oder eine Gesundheitsgefährdung durch Hautkontakt nicht ausgeschlossen werden kann (Anhang Teil 1 Absatz 1 Nummer 1 ArbMedVV; aromatische Amine können durch Hydrolyse von aromatischen Diisocyanaten bei der Herstellung wasserbasierter Weichschäume gebildet werden.);

c) Tätigkeiten, die das Tragen von Atemschutzgeräten der Gruppen 2 und 3 erfordern (Anhang Teil 4 Absatz 1 Nummer 1 ArbMedVV; AMR 14.2 – Einteilung von Atemschutzgeräten in Gruppen);

2. Angebotsvorsorge

a) Tätigkeiten mit Exposition gegenüber Isocyanaten, bei denen ein Hautkontakt nicht ausgeschlossen werden kann oder eine Luftkonzentration von 0,05 Milligramm pro Kubikmeter eingehalten wird (Anhang Teil 1 Absatz 2 Nummer 2 Buchstabe h ArbMedVV);

b) Tätigkeiten mit aromatischen Aminoverbindungen, wenn eine Exposition nicht ausgeschlossen werden kann und der Arbeitgeber keine Pflichtvorsorge zu veranlassen hat (Anhang Teil 1 Absatz 2 Nummer 1 ArbMedVV);

c) Tätigkeiten, die das Tragen von Atemschutzgeräten der Gruppe 1 erfordern (Anhang Teil 4 Absatz 2 Nummer 2 ArbMedVV; AMR 14.2 – Einteilung von Atemschutzgeräten in Gruppen).

¹⁸ Die Luftkonzentration von 0,05 Milligramm Isocyanat pro Kubikmeter ist überschritten, wenn sie nicht eingehalten ist. Für diese Feststellung ist die TRGS 402 Abschnitt 5.3.3 i.d.F. vom 11.9.2023 sinngemäß anzuwenden. Dabei gilt ein Beurteilungszeitraum von 8 Stunden. Der Überschreitungsfaktor gemäß TRGS 900 Abschnitt 2.3 Kategorie I beträgt 1 bei einer Spitzenbegrenzung von 2. Der Stoff wird als Gas gemessen. Im Falle von polymeren Isocyanaten erfolgt die Bestimmung im Gesamtstaub.

Literaturhinweise

- 1 TRGS 900 „Arbeitsplatzgrenzwerte“
- 2 TRGS 400 „Gefährdungsbeurteilung für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen“
- 3 DGUV Information 213-078 „Polyurethane – Isocyanate“
- 4 TRGS 402 „Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen: Inhalative Exposition“
- 5 Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (2021) Handbuch Gefährdungsbeurteilung, Kapitel 3.4 „Brand- und Explosionsgefährdung“
- 6 Jones K, Johnson PD, Baldwin PEJ, Coldwell M, Cooke J, Keen C, Harding AH, Smith D, Cocker J. Exposure to Diisocyanates and Their Corresponding Diamines in Seven Different Workplaces. *Ann Work Expo Health*. 2017 Apr 1;61(3):383-393
- 7 TRGS 500 „Schutzmaßnahmen“
- 8 Karlsson D, Dahlin J, Skarpin G, Dalene M: Determination of isocyanates, aminoisocyanates and amines in air formed during the thermal degradation of polyurethane. *J. Environ. Monit.*, 2002, 4, 216–222
- 9 DGUV Information 213-715 Verwendung von reaktiven PUR-Schmelzklebstoffen bei der Verarbeitung von Holz, Papier und Leder
- 10 DGUV Vorschrift 2 „Betriebsärzte und Fachkräfte für Arbeitssicherheit“
- 11 Richtlinien für sicheres Be- und Entladen, Transport und Lagerung von TDI und MDI als Massengut, https://www.isopa.org/wp-content/uploads/2023/01/ISOPA_Bulk_Guidelines_2021_DE.pdf
- 12 Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (AwSV)
- 13 DGUV Regel 112-190 „Benutzung von Atemschutzgeräten“
- 14 MICHEL BOUTIN et. al.: Determination of Airborne Isocyanates Generated During the Thermal Degradation of Car Paint in Body Repair Shops, *The Annals of Occupational Hygiene*, 2006, 50 (4), June 2006, 385–393.
- 15 TRGS 555 „Betriebsanweisung und Information der Beschäftigten“
- 16 DGUV Information 213-731 „Vergießen elektronischer Bauteile mit Vergussmassen, die Methylendiphenyldiisocyanat (MDI) enthalten“
- 17 J. Pauluhn: Pulmonary Irritant Potency of Polyisocyanate Aerosols in Rats: Comparative Assessment of Irritant Threshold Concentrations by Bronchoalveolar Lavage. *J. Appl. Toxicol.* 2004, 24, 231-247.
- 18 L. Ma-Hock, A. O. Gamer, K. Deckardt, E. Leibold, B. van Ravenzwaay: Determination of pulmonary irritant threshold concentrations of hexamethylene-1,6-diisocyanate (HDI) prepolymers by bronchoalveolar lavage in acute rat inhalation studies according to TRGS 430. *Food and Chemical Toxicology* 2007, 45, 237-243.
- 19 Pauluhn J. and Mohr U: Inhalation studies in laboratory animals - current concepts and alternatives. *Toxicological Pathology* 2000, 28(5): 734-753
- 20 Projekt-Nr. FFFF 0219, Bestimmung des Aerosolpenetrationsfaktors APF. Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und Automatisierung, Stuttgart. Gefördert durch: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Industrie, Abschlussbericht vom 22.10.2003.

Anhang 1: Einstufung, Kennzeichnung, Arbeitsplatzgrenzwerte von Isocyanaten

1. Einstufung von Isocyanaten:

Die Vorgehensweise zur Einstufung und Kennzeichnung von Isocyanaten ist in der Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:32008R1272> beschrieben.

In Anhang VI, Tabelle 3 dieser Verordnung sind harmonisierte Einstufungen für Isocyanate aufgeführt. Aktuelle Änderungsverordnungen zur o.g. EU-Verordnung sind zu berücksichtigen. Isocyanate, die nicht in Anhang VI der CLP-Verordnung aufgeführt sind, sind von dem Hersteller oder Lieferanten einzustufen und zu kennzeichnen.

Die Einstufungen können auch z. B. über folgende Datenbanken ermittelt werden. Diese Daten sind nicht amtlich und werden regelmäßig an die aktuelle Rechtslage angepasst.

ECHA (<https://echa.europa.eu/information-on-chemicals>),

GisChem (<https://www.gischem.de/suche/index.htm>),

Gestis (<https://gestis.dguv.de/search>)

Die o.g. EU-Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 ist auch bei der Einstufung und Kennzeichnung von isocyanathaltigen Gemischen anzuwenden. Dabei sind die Allgemeinen Konzentrationsgrenzen für die Einstufung nach Anhang I der CLP-Verordnung sowie ggf. vorhandene Spezifische Konzentrationsgrenzen aus Anhang VI der CLP-Verordnung oder dem Einstufungs- und Kennzeichnungsverzeichnis (CL Inventory) der ECHA anzuwenden. Diese Daten sind auch über „CL Inventory“ in der Datenbank der ECHA verfügbar. Die Datenbank GisChem ermöglicht darüber hinaus die konzentrationsabhängige rechnerische Ermittlung der Einstufung und Kennzeichnung von isocyanathaltigen Gemischen unter Berücksichtigung weiterer Gefahrstoffe in einem Gemisch.

Der Arbeitgeber erhält vom Lieferanten über das Sicherheitsdatenblatt des Isocyanats oder des isocyanathaltigen Gemischs die Einstufung des Stoffs bzw. Gemischs sowie weitere Informationen für die sichere Verwendung.

2. Arbeitsplatzgrenzwerte und weitere Beurteilungsmaßstäbe:

Die Arbeitsplatzgrenzwerte für Isocyanate sind in der TRGS 900 in der jeweils aktuellen Fassung aufgeführt. Diese Werte können in der Regel auch über die unter 1 genannten Datenbanken GisChem und Gestis erhalten werden.

Darüber hinaus werden durch Abschnitt 2 Absatz 10 und 11 dieser TRGS 430 der ELW (siehe auch Anhang 2 Abschnitt A2.4) und EBW (siehe auch Anhang 2 Abschnitt A2.5) als weitere ergänzende Beurteilungsmaßstäbe eingeführt.

3. Die folgende Liste enthält eine Auswahl von technisch bedeutenden Isocyanaten zusammen mit ihren Abkürzungen und Arbeitsplatzgrenzwerten.

Stand der Information:

1. Einstufung: Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen, Anhang VI, Tabelle 3 (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02008R1272-20230731>)
2. Arbeitsplatzgrenzwerte: TRGS 900, Ausgabe: Januar 2006; zuletzt geändert und ergänzt: GMBI 2024 S. 411-412 [Nr. 21] (v. 17. Juni 24) (<https://www.baua.de/DE/Angebote/Regelwerk/TRGS/TRGS-900>)

Stoffidentität EG-Nr. CAS-Nr.	Einstufung	Arbeitsplatzgrenzwerte			
		mg/m³	ml/m³ (ppm)	Spitzenbe- grenzung	Bemerkungen (bzgl. TRGS 900 nur Auszug)
Aromatische Diisocyanate					
Diphenylmethan-4,4'-diisocy- anat (4,4'-MDI) 202-966-0 101-68-8	Acute Tox. 4 i; H332 Skin irrit. 2; H315 Eye irrit. 2 ; H319 Skin sens 1; H317 Resp. sens 1; H334 Carc. 2; H351 STOT SE 3 ; H335 STOT RE 2 ; H373	0,05		1;=2=(I)	CLP, 11, 12, Sa
Diphenylmethan-2,4'- Diisocyanat (2,4'-MDI) 227-534-9 5873-54-1	Acute Tox. 4 i; H332 Skin irrit 2; H315 Eye irrit. 2 ; H319 Skin sens 1; H317 Resp. sens 1; H334 Carc. 2; H351 STOT SE 3 ; H335 STOT RE 2 ; H373	0,05		1;=2=(I)	CLP, 11, 12, Sa
Diphenylmethan-2,2'- Diisocyanat (2,2'-MDI) 219-799-4 2536-05-2	Acute Tox. 4 i; H332 Skin irrit 2; H315 Eye irrit. 2 ; H319 Skin sens 1; H317 Resp. sens 1; H334 Carc. 2; H351 STOT SE 3 ; H335 STOT RE 2 ; H373	0,05		1;=2=(I)	CLP, 11, 12, Sa
Diphenylmethan-diisocyanat, Isomeregemisch (MDI) 247-714-0 26447-40-5	Acute Tox. 4 i; H332 Skin irrit 2; H315 Eye irrit. 2 ; H319 Skin sens 1; H317 Resp. sens 1; H334 Carc. 2; H351 STOT SE 3 ; H335 STOT RE 2 ; H373				CLP, 11,12, Sa Es gelten die AGW der Einzelisomere
Diphenylmethan- diisocyanat, Isomere und Homologe (p-MDI), (techn. MDI) 9016-87-9	Acute Tox. 4 i; H332 Skin irrit 2; H315 Eye irrit. 2 ; H319 Skin sens 1; H317 Resp. sens 1; H334 Carc. 2; H351 STOT SE 3 ; H335 STOT RE 2 ; H373				Für den Monomer-An- teil gelten die AGW der Einzelisomere (4,4'-MDI, 2,4'-MDI, 2,2'-MDI); für den Ho- mologen-Anteil ist der EBW (Herstelleran- gabe) heranzuziehen
Naphthylen-1,5- Diisocyanat (NDI) 221-641-4 3173-72-6	Acute Tox. 2 i; H330 Skin irrit 2; H315 Eye irrit. 2 ; H319 Skin sens 1; H317 Resp. sens 1; H334 STOT SE 3 ; H335 Aquatic chr. 2 ; H412	0,05		1;=2=(I)	CLP, 11, 12, Sa Die Einstufung Acute Tox 2 i gilt, wenn Par- tikel mit einem aerod. Durchmesser < 50 µm und > 0,1 Gewichts- prozent vorliegen.

Stoffidentität EG-Nr. CAS-Nr.	Einstufung	Arbeitsplatzgrenzwerte			
		mg/m³	ml/m³ (ppm)	Spit- zenbe- grenzung	Bemerkungen (bzgl. TRGS 900 nur Auszug)
Aromatische Diisocyanate					
2,4-Diisocyanattoluol (2,4-TDI) 209-544-5 584-84-9	Acute Tox. 2 i; H330 Skin irrit 2; H315 Eye irrit. 2 ; H319 Skin sens 1; H317 Resp. sens 1; H334 Carc. 2; H351 STOT SE 3 ; H335 Aquatic chr. 3 ; H412	0,035	0,005	1;=4=(I)	CLP, 12, Sa
2,6-Diisocyanattoluol (2,6-TDI) 202-039-0 91-08-7	Acute Tox. 2 i; H330 Skin irrit 2; H315 Eye irrit. 2 ; H319 Skin sens 1; H317 Resp. sens 1; H334 Carc. 2; H351 STOT SE 3 ; H335 Aquatic chr. 3 ; H412	0,035	0,005	1;=4=(I)	CLP, 12, Sa
m-Diisocyanattoluol (1,3-/2,4-/2,6-TDI) (m-TDI) 247-722-4 26471-62-5	Acute Tox. 2 i; H330 Skin irrit 2; H315 Eye irrit. 2 ; H319 Skin sens 1; H317 Resp. sens 1; H334 Carc. 2; H351 STOT SE 3 ; H335 Aquatic chr. 3 ; H412				Für das 2,4-/2,6-TDI Isomerengemisch sind die AGW der Ein- zelisomere 2,4-TDI bzw. 2,6-TDI heranzu- ziehen
Aliphatische Diisocyanate					
Hexamethylen-1,6-diisocya- nat (HDI) 212-485-8 822-06-0	Acute Tox. 4 o; H302 Acute Tox. 1 i; H330 Skin Corr. 1C ; H314 Eye Dam. 1 ; H318 Skin sens 1; H317 Resp. sens 1; H334 STOT SE 3 ; H335	0,035	0,005	1;=2=(I)	CLP, 12, Sa
2,2,4-Trimethylhexa-methy- len-1,6-diisocyanat (TMDI) 241-001-8 16938-22-0	Acute Tox. 3 i; H331 Skin irrit 2; H315 Eye irrit. 2 ; H319 Resp. sens 1; H334 STOT SE 3 ; H335				CLP, 12, Sa
2,4,4-Trimethylhexa-methy- len-1,6-diisocyanat (TMDI) 239-714-4 15646-96-5	Acute Tox. 3 i; H331 Skin irrit 2; H315 Eye irrit. 2 ; H319 Resp. sens 1; H334 STOT SE 3 ; H335				CLP, 12, Sa
1,3-Tetramethylxylylen-diiso- cyanat (m-TMXDI) 220-474-4 2778-42-9	Acute Tox. 3 i; H331 Skin irrit 2; H315 Eye irrit. 2 ; H319 Resp. sens 1; H334 STOT SE 3 ; H335				CLP, 12, Sa
1,4-Tetramethylxylylen-diiso- cyanat (p-TMXDI) 220-473-9 2778-41-8	Herstellereinstufung beachten				Herstellerempfehlung beachten

Stoffidentität EG-Nr. CAS-Nr.	Einstufung	Arbeitsplatzgrenzwerte			
		mg/m³	ml/m³ (ppm)	Spit- zenbe- grenzung	Bemerkungen (bzgl. TRGS 900 nur Auszug)
Cycloaliphatische Diisocyanate					
3-Isocyanatmethyl-3,5,5-tri- methylcyclohexylisocyanat (Isophorondiisocyanat) (IPDI) 223-861-6 4098-71-9	Acute Tox. 3 i; H331 Eye irrit. 2 ; H319 Skin sens 1; H317 Resp. sens 1; H334 STOT SE 3 ; H335 Aquatic chr. 2 ; H411	0,046	0,005	1;=2=(I)	CLP, 12, Sa
Dicyclohexylmethan-4,4'- diisocyanat (H ₁₂ MDI), (PICM) 225-863-2 5124-30-1	Acute Tox. 3 i; H331 Eye irrit. 2 ; H319 Skin sens 1; H317 Resp. sens 1; H334 STOT SE 3 ; H335	0,054			CLP, 11, 12 Sa
2,5-(und 2,6-)Bis(isocya nato- methyl)-bicyclo[2.2.1] heptan (Norbomandiisocyanat) (NBDI) 411-280-2 74091-64-8	Acute Tox. 4 o; H302 Acute Tox. 2 i; H330 Skin Corr. 1B; H314 Eye Dam. 1 ; H318 Skin sens 1A; H317 Resp. sens 1; H334 STOT RE 1 i; H372 Aquatic chr. 3 ; H412	0,045	0,005		CLP, 12 Sa
Monoisocyanate					
Methylisocyanat (MIC) 210-866-3 624-83-9	Flam. Liq. 2; H225 Acute Tox. 3 o; H302 Acute Tox. 2 i; H330 Skin Corr. 1C.; H314 Eye Dam. 1 ; H318 Skin sens 1; H317 Resp. sens 1; H334 Repr 2 ; H361d STOT SE 3; H335	0,024	0,01	1(I)	CLP, H, 12
Phenylisocyanat (PhI) 203-137-6 103-71-9	Flam. Liq. 3; H226 Acute Tox. 3 o; H302 Acute Tox. 3 d; H311 Acute Tox. 2 i; H330 Skin irrit. 2; H315 Eye Dam. 1 ; H318 Skin sens 1; H317 Resp. sens 1; H334 STOT SE 3; H335 Aquatic akute 1; H400 Aquatic chr. 2 ; H411	0,05	0,01	1(I)	CLP v, 11, 12, Sa
4-Toluensulfonylisocyanat 223-810-8 4083-64-1	Skin irrit. 2; H315 Eye Irrit. 2 ; H319 Resp. sens 1; H334 STOT SE 3; H335				CLP, 11,12, Sa

Bemerkungen:

11: Summe aus Dampf und Aerosolen.

12: Der Arbeitsplatzgrenzwert gilt in der Regel nur für die Monomeren.

Zur Beurteilung von Oligomeren oder Polymeren siehe TRGS 430 „Isocyanate“.

H: (hautresorptiv),

Sa: atemwegssensibilisierende Stoffe.

CLP: Aufnahme in die CLP-Stoffliste

CLP v: vorläufige Einstufung, Harmonisierung nicht abgeschlossen

i: inhalativ, d: dermal, o: oral

Anhang 2: Messverfahren und Nicht-messtechnische Ermittlung

Die messtechnische Überwachung von Isocyanaten in der Luft am Arbeitsplatz stellt hohe Anforderungen an Messplanung, Probenahme und Analytik. Zurückzuführen ist dies auf die hohe Reaktivität von Isocyanaten und die im ppb-Bereich liegenden Grenzwerte. In dieser TRGS wird nur ein Überblick gegeben¹⁹.

A2.1 Sorptive Probenahme mit Derivatisierung

(1) Während der Probenahme werden die Isocyanate mit einem sekundären Amin derivatisiert, das chromophore Gruppen besitzt. Die analytische Bestimmung erfolgt dann in der Regel mit HPLC und DAD-Detektion. Es stehen unterschiedliche Derivatisierungsreagenzien zur Verfügung. Geeignete Messverfahren zur Ermittlung von Isocyanaten sind in der Liste des AGS „Bewertung von Verfahren zur messtechnischen Ermittlung von Gefahrstoffen in der Luft am Arbeitsplatz“ zusammen mit den Bestimmungsgrenzen aufgeführt²⁰. Fehlen Angaben zur Bestimmungsgrenze, so sollten Probenahmedauer und Messverfahren so ausgewählt werden, dass die Bestimmungsgrenze 10% des Beurteilungsmaßstabs unterschreitet.

(2) Das unter Absatz 1 genannte Messprinzip kann sowohl zur Ermittlung der Konzentration von spezifischen Diisocyanaten ($\beta_{\text{Diisocyanat}}$), der Totalkonzentration Reaktiver Isocyanat Gruppen (β_{TRIG}) und spezifischen polymeren bzw. oligomeren Isocyanaten (β_{Poly}) eingesetzt werden.

(3) Bei der direkten Messung der NCO-Gruppen wird zur Ermittlung der TRIG zunächst der NCO-Gehalt des Einsatzmaterials z. B. durch Titration bestimmt. Dann wird das derivatisierte Einsatzmaterial chromatografisch untersucht und isocyanatstämmige Peaks werden identifiziert. Die Peaksumme der isocyanatstämmigen Peaks der Luftprobe wird ins Verhältnis zur Peaksumme des Einsatzmaterials gesetzt und mit diesem als Referenz quantifiziert. Bei monomerdominierten Systemen kann die TRIG auch durch Umrechnung der unter (1) ermittelten Konzentrationen der monomeren Isocyanate nach der folgenden Gleichung erfolgen:

$$\beta_{\text{TRIG}} = 2 * M_{\text{NCO}} * \beta_{\text{Diisocyanat}} / M_{\text{Diisocyanat}}$$

β : Massenkonzentration [$\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$]

M: relative Molmasse [$\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$]

A2.2 Weitere Messverfahren

(1) Total Aerosol Mass Method (TAMM): Diese Methode zur Bestimmung von polymeren Isocyanaten und Aerosolen beim Spritzlackieren und verwandten Anwendungen beruht auf einer Staubmessung. Eine Obergrenze der Konzentration an Isocyanaten wird über die Rezeptur und die Angaben im Sicherheitsdatenblatt ermittelt. Die Methode ist nur anwendbar, wenn die gemessene Staubkonzentration die Bestimmungsgrenze (siehe A2.1) des gewählten Verfahrens zur Staubprobenahme überschreitet.

¹⁹ Weitere Informationen siehe ISO/TR 17737:2007 „Guidelines for selecting analytical methods for sampling and analysing isocyanates in air“.

²⁰ <https://www.baua.de/DE/Aufgaben/Geschaeftsfuehrung-von-Ausschuessen/AGS/pdf/Messverfahren.pdf>.

(2) Direktanzeigende Messgeräte: Bei Papierbandgeräten (Tape Monitor) reagieren NCO-Gruppen mit einem imprägnierten Papierband zu einer farbigen Verbindung, die photometrisch bestimmt und als Konzentration angezeigt wird. Beim Ionenmobilitätsspektrometer (IMS) werden Isocyanate ionisiert und nach Durchwanderung eines elektrischen Feldes durch ihre charakteristische Flugzeit identifiziert. Für Isocyanate mit höherem Dampfdruck wie TDI sind beide Gerätetypen geeignet. Bei schwerflüchtigen Isocyanaten sind die Geräte in der Regel nur für orientierende Messungen und zur Suche von Leckagen geeignet.

A2.3 Nicht-Messtechnische Ermittlung

Änderungen der Luftströmungen, Temperaturen, Rezepturen, Mengen, Aushärtungszeiten sowie kleine offene Expositionsquellen können sich gravierend auf die Exposition auswirken. Daher sind nicht-messtechnische Ermittlungsmethoden wie die Übertragung von Messergebnissen von einem auf vergleichbare Arbeitsplätze oder eine Berechnung der Konzentration in den meisten Fällen nicht möglich. Arbeitsplatzmessungen sind nicht erforderlich, wenn die Tätigkeiten nach einem vom Ausschuss für Gefahrstoffe ermittelten und vom Bundesministerium für Arbeit und Soziales veröffentlichten verfahrens- und stoffspezifischen Kriterium (VSK, Beispiel siehe [16]) durchgeführt werden. Auf Messungen basierende branchenspezifische Expositionsbeschreibungen können als Hilfe herangezogen werden, um insbesondere Arbeitsplätze, Verfahren und Tätigkeiten mit geringer Gefährdung zu identifizieren. Speziell bei mobilen Arbeitsplätzen können sie auch dazu dienen, tätigkeitstypische mittlere und hohe Gefährdungen zu ermitteln. Hierbei können unter Berücksichtigung der möglichen Konzentrationsschwankungen Maßnahmen abgeleitet werden, die auch unter ungünstigen Bedingungen ein ausreichendes Schutzniveau garantieren.

A2.4 Bestimmung des Bewertungsindex BI

(1) Die Bestimmung der TRIG dient der Abschätzung einer potenziellen Exposition durch Isocyanate an Arbeitsplätzen. Isocyanat-Monomere mit zwei oder mehreren NCO-Gruppen, Prepolymere und komplexe Gemische wechselnder Zusammensetzung, die während des Polymerisierungsprozesses entstehen können, finden bei der Bestimmung gleichermaßen Berücksichtigung, so dass auch Isocyanate ohne AGW erfasst werden. Für die Beurteilung der Exposition durch Isocyanate wird ein Expositionsleitwert (ELW) von 0,010 mg NCO/m³ als nationale Regelung in dieser TRGS festgelegt.

$$\text{ELW} = 0,010 \text{ mg NCO/m}^3.$$

Der ELW entspricht in seiner Höhe dem EU-Arbeitsplatzgrenzwert (BOELV) für Diisocyanate, wie er in der EU-Richtlinie 2024/869/EU aufgeführt ist, besitzt aber einen erweiterten Anwendungsbereich. Mit dem ELW wird die gemäß Abschnitt A2.1 ermittelte Gesamtkonzentration der reaktionsfähigen NCO-Gruppen (TRIG) bewertet. Isocyanat-Monomere mit zwei oder mehreren NCO-Gruppen, Prepolymere und komplexe Gemische wechselnder Zusammensetzung, die während des Polymerisierungsprozesses entstehen können, finden gleichermaßen Berücksichtigung, so dass auch Isocyanate ohne AGW oder BOELV beurteilt werden können. Bei einem monomerdominierten System kann die TRIG durch Messung der Diisocyanate und Umrechnung auf β_{TRIG} bestimmt werden²¹. Bei den oben genannten komplexen Gemischen oder Isocyanaten unklarer Identität wird dagegen

²¹ Spätestens zum 13. März 2026 ist der EU-BOELV („Binding Occupational Exposure Level Value“) nach der RL 98/24/EG, geändert durch (EU)2024/869 anzuwenden.

die Summe der NCO-Gruppen selbst bestimmt.

Die Gesamtexposition als Summenwert der reaktiven NCO-Gruppen berechnet sich dann nach:

$$BI = \beta_{\text{TRIG}}/\text{ELW}.$$

(2) Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW) bestehen für einige wichtige monomere Diisocyanate. Ist eine Belastung durch andere Isocyanate praktisch ausgeschlossen, (z. B. TDI-Systeme zur Herstellung von Weichschäumen) genügt häufig die Messung der Monomere. In solchen Fällen („monomerdominierte Systeme“) können die AGW direkt zur Beurteilung der Gesamtexposition durch Dämpfe und Rekondensationsaerosole herangezogen werden. Der Bewertungsindex für die Gesamtexposition berechnet sich dann nach ²²:

$$BI_{\text{AGW}} = \sum \beta_i/\text{AGW}_i.$$

(3) Expositionsbeurteilungswert (EBW) und Aerosolpenetrationsfaktor (APF): Bei Lack- oder Klebstoffsystemen, die applikationsbedingt Aerosole bilden, stehen die polymeren Isocyanate im Vordergrund. Die Probenahme erfolgt in der Regel gravimetrisch und die Analyse nach Abschnitt A2.2 Absatz 1 oder Abschnitt A2.1. Der Bewertungsindex BI für die Gesamtexposition berechnet sich dann als Summe von gasförmiger Dampf- sowie partikelförmiger Aerosolexposition:

$$BI = \sum \beta_i/\text{AGW}_i + \beta_{\text{Poly}} \cdot \text{APF}/\text{EBW}.$$

(4) Der EBW wird nach Abschnitt A2.5 bestimmt und berücksichtigt das geringere toxische Potential der dabei eingesetzten isocyanathaltigen Polymere. Fehlen Angaben zum EBW, ist im Sinne des Anwenders bei der Gefährdungsermittlung der ELW oder der Arbeitsplatzgrenzwert nach TRGS 900 für das entsprechende Monomer anzuwenden, von dem sich das Polymer chemisch ableitet. Produkthersteller können auf den EBW des Rohstoffs zurückgreifen; werden mehrere Isocyanate im Produkt gemischt, gilt der gewichtete Mittelwert als EBW für die Gesamtmischung. Angaben zum NCO-Gehalt, dem Expositionsbeurteilungswert und dem Polymergehalt werden vom Hersteller im Sicherheitsdatenblatt angegeben. Bei Zweikomponentensystemen kann das Mischungsverhältnis der beiden Komponenten in der Regel aus dem technischen Merkblatt entnommen werden. Der Aerosolpenetrationsfaktor (APF) wird nach Abschnitt A2.6 bestimmt und ist eine rein physikalische Größe, die die Partikelgröße bei Spritzapplikationen und damit die Lungengängigkeit der auftretenden Aerosole berücksichtigt.

(5) Kurzzeiteexpositionen: Zu den AGW liegen ergänzend Regelungen für 15-Minutenwerte sowie Momentanwerte vor. Die zur Messung von Kurzzeiteexpositionen erforderlichen absoluten Nachweisgrenzen, Wandeffekte und eingeschränkte Kalibriermöglichkeiten können dazu führen, dass eine messtechnische Überprüfung dieser Werte nicht immer möglich ist. Die Messstrategie sollte daher alle Möglichkeiten ausschöpfen, die zur Überprüfung der Spitzenbegrenzung erforderlichen Bestimmungsgrenzen zu erreichen, z. B. durch Verlängerung der Probenahmedauer und Wiederholung des Arbeitsvorgangs sowie Zurück-/Hochrechnen auf die 15-minütige Exposition.

A2.5 Bestimmung des Expositionsbeurteilungswertes (EBW) für polymere Isocyanate

²² Die Berechnung nach Absatz 1 wird analog auch für weitere Beurteilungsmaßstäbe angewendet, die sich auf β_{TRIG} beziehen wie z. B. ein EU-BOELV^{21,22} oder daraus abgeleiteter AGW_{TRIG} . Es gilt dann $BI = \beta_{\text{TRIG}}/\text{BOELV}$ bzw. $BI = \beta_{\text{TRIG}}/\text{AGW}_{\text{TRIG}}$.

- (1) Toxikologische Untersuchungen mit Polyisocyanat-Aerosolen vom HDI-Typ haben gezeigt, dass das Lungenreizpotential des Aerosols bestimmend für die Festlegung eines Beurteilungswertes ist. Wird die Reizschwelle unterschritten, wird auch das Auftreten von Entzündungsreaktionen und den damit verbundenen regenerativen Reaktionen verhindert (z. B. Fibrose oder Pneumonitis).
- (2) Der Expositionsbeurteilungswert für Polyisocyanat-Aerosole berücksichtigt deren im Vergleich zu den monomeren Diisocyanaten geringere Wirkung im akuten Inhalationsversuch [17,18]. Basis für die Ableitung des EBW ist ein akuter Inhalationsversuch an der Ratte.
- (3) Der Expositionsbeurteilungswert für die polymeren Aerosole kann folgende Werte annehmen:
1. Entspricht dem AGW des zugrundeliegenden monomeren Diisocyanats (zugleich Vorgabewert bei fehlender Angabe im SDB).
 2. Entspricht $10 \cdot \text{AGW}$ des zugrundeliegenden monomeren Diisocyanats.
 3. Ist $> 10 \cdot \text{AGW}$ des zugrundeliegenden monomeren Diisocyanats.
- (4) Für Mischungen aus unterschiedlichen Polyisocyanaten, für deren Einzelkomponenten bereits EBW-Werte vorliegen, erfolgt die Festlegung des EBW durch eine arithmetisch gewichtete Mittelwertbildung unter Berücksichtigung der individuellen Massenanteile in der Mischung und des EBW der verwendeten Polyisocyanate.

A2.6 Bestimmung des Aerosolpenetrationsfaktors (APF) für polymere Isocyanate

(1) Polymere Isocyanate liegen je nach Applikationsart in unterschiedlichen Aerosolgrößen vor. Je größer die durch die Applikation entstandenen Aerosolteilchen sind, desto geringer ist ihr Penetrationspotential in die Luftwege und Alveolen. Der Aerosolpenetrationsfaktor stellt das durch Untersuchungen am applikationsfähigen Lack-/Klebstoffsystem ermittelte Verhältnis der Penetrationsfähigkeit des Polyisocyanat-Aerosols in der Atemluft zum tatsächlich lungengängigen Anteil der polymeren Isocyanat-Aerosole dar. Er ist nach Absatz 2 für jedes isocyanathaltige Produkt und jede Applikationsart auszuwählen [19].

(2) Der Aerosolpenetrationsfaktor kann die Werte 1,0 / 0,4 / 0,2 annehmen.

Im Rahmen eines u. a. durch den HVBG geförderten Forschungsprojekts [20] wurden folgende APF ermittelt:

Applikationsverfahren	Einsatzmaterial	APF
Druckluft	alle Lacke alle Klebstoffe	1
HVLP	2K-Lacke	0,4
	2K-Wasserlacke	0,4
Airmix	2K-Lacke	0,4
	2K-Klebstoffe	0,2
Airless	Korrosionsschutz-Lacke (ohne Eisenglimmer)	0,2
	1K-Klebstoffe	0,2

Kann kein Aerosolpenetrationsfaktor zugeordnet werden, ist er gleich 1 zu setzen.

Anhang 3: Beschränkung von Diisocyanaten nach der REACH-Verordnung

Ergänzend zu Abschnitt 6 Absatz 6 können über die nachfolgenden Links weiterführende Informationen zur Beschränkung von Diisocyanaten und den erforderlichen Schulungen für die Anwender erhalten werden:

- Rechtstext der Beschränkung von Diisocyanaten:

Siehe Eintrag 74 Anhang XVII der REACH-Verordnung, konsolidierte Fassung siehe:

https://www.reach-clp-biozid-helpdesk.de/DE/REACH/Rechtstexte/_functions/_01_Rechtstexte_REACH_Konsolidiert.html

bzw. EU-Verordnung 2020/1149 (REACH-Änderungsverordnung zu Eintrag 74)

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020R1149>.

- Information der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA):

BAuA-Helpdesk kompakt: Beschränkung von Diisocyanaten unter REACH: Was industrielle und gewerbliche Verwender und Lieferanten beachten müssen <https://www.baua.de/DE/Angebote/Publicationen/Praxis/Diisocyanate.html>

- DGUV Fachbereich Rohstoffe und chemische Industrie: FBRCI-024: Verpflichtende Schulungen bei Tätigkeiten mit Diisocyanat haltigen Produkten –

Handlungshilfe <https://publikationen.dguv.de/regelwerk/fachbereich-aktuell/>

- Leitlinien zu Schulungen zur sicheren Verwendung von Diisocyanaten gemäß Eintrag Nr. 74 Anhang XVII REACH-Verordnung:
https://www.blac.de/documents/blac-leitlinien-diisocyanate-endg-202311_1705073206.pdf.

Weitere Informationen sind über den BAUA-Helpdesk zu erhalten (https://www.reach-clp-biozid-helpdesk.de/DE/Home/Home_node.html).