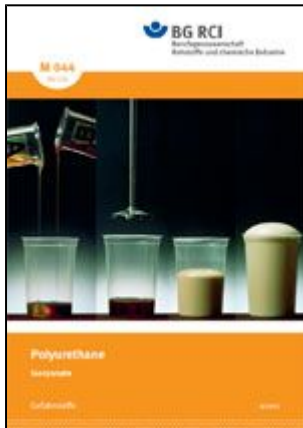


Gefahrstoffe

Polyurethane Isocyanate



M 044
Stand: September 2013

Inhaltsverzeichnis dieses Ausdrucks

1 Anwendungsbereich des Merkblatts	4
2 Was sind Polyurethane?	5
2.1 Rohstoffe	6
2.2 Hilfsstoffe	7
3 Physikalische und chemische Eigenschaften ausgewählter PU-Roh- und Hilfsstoffe	7
3.1 Monomere Diisocyanate	7
3.2 Polyole	8
3.3 Hilfsstoffe	8
3.3.1 Katalysatoren	8
3.3.2 Treibmittel	8
3.3.3 Sonstige	9
4 Herstellung und Verwendung von Polyurethanen	9
4.1 PU-Schaumstoffe	10
4.2 PU-Klebstoffe	11
4.3 PU-Gieß-Elastomere	11
4.4 Thermoplastisches Polyurethan (TPU)	11
4.5 PU-Beschichtungsstoffe	12
5 Gesundheitsgefahren	12
5.1 Isocyanate	12
5.2 Aufnahme und Wirkungsweise	13
5.3 Akute Gesundheitsgefahren	13
5.4 Chronische Gesundheitsgefahren	14
5.5 Berechnung der Gesamtexposition	14
5.6 Art der Gefährdung	15
5.6.1 Gefährdung der Atemwege	15
5.6.2 Gefährdung der Haut	16
5.7 Weitere PU-Roh- und Hilfsstoffe	16
5.7.1 Polyole	16
5.7.2 Amine	16
5.7.3 Zinnverbindungen	17
5.7.4 Sonstige	17
5.8 Berufskrankheiten	17
6 Gefährdungsbeurteilung	18
6.1 Rechtsgrundlagen	18
6.2 Informationsermittlung	19
6.2.1 Erfassung der verwendeten Stoffe und Gemische – Gefahrstoffverzeichnis	19
6.2.2 Substitutionsprüfung	19
6.2.3 Inhalative und dermale Gefährdung (25) (21) (22)	19
6.2.4 Physikalisch-chemische Wirkungen	21
6.3 Schutzmaßnahmen (16) (25) (26)	21
6.4 Dokumentation und Wirksamkeitskontrolle	21
7 Arbeitsbereichsüberwachung, Messtechnik	22
7.1 Probenahme und Messverfahren (25)	22
7.2 Bestimmung des Expositionsbeurteilungswerts (EBW) für polymere Isocyanate (25)	22
7.3 Penetration von Isocyanaten in die Atemwege (25)	23
8 Schutzmaßnahmen	23
8.1 Gesetzliche Grundlagen (16) (26)	23
8.2 Festlegung notwendiger Schutzmaßnahmen nach Gefahrstoffverordnung (16) (26) (25)	24
8.3 Technische Schutzmaßnahmen	26
8.3.1 Allgemeines	26
8.3.2 Werkstoffe für Anlagen und Betriebsmittel	27
8.3.3 Kontinuierliche ortsfeste Anlagen (Hart- und Weichschaumanlagen)	28
8.3.4 Diskontinuierliche ortsfeste Anlagen (Formschaumanlagen)	28
8.3.5 Tätigkeiten auf Baustellen, handwerkliche Tätigkeiten	29

8.3.6 Umgang mit PU-Beschichtungsstoffen und PU-Klebstoffen	30
8.3.7 Laboratorien	30
8.3.8 Arbeits- und Lagerräume	30
8.3.9 Umfüllen	31
8.3.10 Aufbewahren, Lagern, Transport	32
8.3.11 Aufschmelzen und Erwärmen fester Isocyanate	33
8.3.12 Vernichten von Isocyanatresten, Reinigung und Entsorgung von Abfällen und Rückständen	33
8.3.13 Recycling, Verwertung	36
8.3.14 Betriebliche Störungen, Notfälle	36
8.3.14.1 Druckaufbau in Gebinden (Fässer, Kannen)	36
8.3.14.2 Undichte Isocyanatbehälter	37
8.3.14.3 Maßnahmen bei Auslaufen von Isocyanat	37
8.3.14.4 Maßnahmen bei Auslaufen sonstiger Stoffe	38
8.4 Organisatorische Schutzmaßnahmen	38
8.4.1 Allgemeines	38
8.4.2 Arbeitsmedizinische Vorsorge	40
8.4.3 Kennzeichnungspflichten	41
8.4.4 Hygiene	41
8.5 Personenbezogene Schutzmaßnahmen	42
8.5.1 Atemschutz	42
8.5.2 Augenschutz	43
8.5.3 Körperschutz	43
8.5.3.1 Allgemeines	43
8.5.3.2 Handschutz (51) (54) (59)	43
8.6 Brand- und Explosionsschutz	44
8.6.1 Brandgefahr und Brandgase	45
8.6.2 Maßnahmen zum Schutz vor Bränden	45
8.6.3 Brandbekämpfung	45
8.6.4 Explosionsgefährdung	46
8.6.5 Explosionsschutzmaßnahmen	47
8.6.6 Explosionsgefahr bei der Verwendung von Pentan und Lösemitteln	47
8.6.7 Staubexplosionsgefahr	48
8.7 Überprüfung der Schutzmaßnahmen	48
9 Ausgewählte Beispiele für Gefährdungsbeurteilungen	49
9.1 Lagern und Bereitstellen von Rohstoffen, Umfüllen	50
9.2 Mischen und Formulieren	50
9.3 Geschlossene Herstellungsprozesse	50
9.4 Offene Herstellungsprozesse	51
9.5 Nachbearbeitung	51
9.6 Abfallentsorgung	51
9.7 Reinigung	51
9.8 Qualitätssicherung/Laborarbeiten	52
9.9 Wartungs- und Reparaturarbeiten	52
9.10 Beispiel Herstellung von Formschaumteilen als Dämmmaterial für die Kfz-Industrie	52
10 Erste Hilfe	53
10.1 Allgemeines	54
10.2 Augen	54
10.3 Atmungsorgane	54
10.4 Haut	55
10.5 Verschlucken	55
11 Hinweise für den Arzt	55
Anhang 1: - Kenndaten	55
Anhang 2: - Beispiel Betriebsanweisung 4,4'-Isocyanat	83
Literaturverzeichnis	85
Bildnachweis	91
Sonstiges	92

Das vorliegende Merkblatt konzentriert sich auf wesentliche Punkte einzelner Vorschriften und Regeln. Es nennt deswegen nicht alle im Einzelfall erforderlichen Maßnahmen. Seit Erscheinen des Merkblatts können sich darüber hinaus der Stand der Technik und die Rechtsgrundlagen geändert haben.

Das Merkblatt wurde sorgfältig erstellt. Dies befreit nicht von der Pflicht und Verantwortung, die Angaben auf Vollständigkeit, Aktualität und Richtigkeit selbst zu überprüfen.

Das Arbeitsschutzgesetz spricht vom Arbeitgeber, das Sozialgesetzbuch VII und die Unfallverhütungsvorschriften der Berufsgenossenschaften vom Unternehmer. Beide Begriffe sind nicht völlig identisch, weil Unternehmer/innen nicht notwendigerweise Beschäftigte haben. Im Zusammenhang mit der vorliegenden Thematik ergeben sich daraus keine relevanten Unterschiede, sodass „die Unternehmerin/der Unternehmer“ verwendet wird.

Die Nummern am Seitenrand verweisen auf das Literaturverzeichnis.

1 Anwendungsbereich des Merkblatts

Dieses Merkblatt gilt für Tätigkeiten bei der Polyurethanherstellung und -verarbeitung, insbesondere in den Anwendungsbereichen

- Schaumstoffe
- Klebstoffe
- Elastomere
- Beschichtungsstoffe und
- PU-Kautschuk.

Unter den Ausgangsstoffen finden die Isocyanate besondere Berücksichtigung. Im Sinne dieses Merkblatts werden darunter Di-, Tri- und Polyisocyanate verstanden.

Unter besonderer Berücksichtigung der physikalisch-chemischen und toxikologischen Eigenschaften der Roh- und Hilfsstoffe soll es die Vorgesetzten unterstützen bei der

- Ermittlung und Beurteilung der Gefahren, einschließlich der Prüfung, ob Ersatzstoffe oder -verfahren vorhanden sind und angewendet werden können
- Festlegung der zum Schutz des Menschen und der Umwelt erforderlichen Maßnahmen und Verhaltensregeln
- Festlegung des Verhaltens im Gefahrenfall
- Festlegung der Erste-Hilfe-Maßnahmen
- Festlegung der sachgerechten Entsorgung
- Ausarbeitung der Betriebsanweisungen
- Durchführung der Unterweisungen.

Als Ergänzung der Betriebsanweisung kann das Merkblatt den Beschäftigten auszugsweise zur Information über die Gefährdungsmöglichkeiten und Schutzmaßnahmen dienen.

Definition wichtiger Begriffe

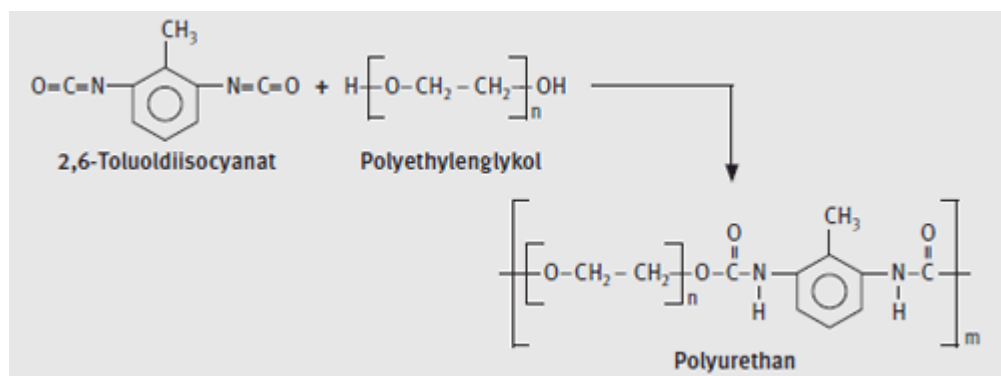
- PU-Produkte: Unter Polyurethan-Produkten werden verwendungsfertige Erzeugnisse, z. B. Schäume oder Elastomere verstanden. Es handelt sich dabei um ausreagierte Polymere, die durch Polymerisation eines Isocyanats mit mindestens zwei Isocyanatgruppen mit einem anderen Monomer mit mindestens zwei Hydroxylgruppen entstanden sind.

2 Was sind Polyurethane?

Unter dem Begriff Polyurethane (PU) fasst man makromolekulare Stoffe zusammen, die durch Polyaddition von Isocyanaten und Polyolen (Polyethern und Polyestern) entstehen. Polyurethane lassen sich durch die Auswahl der in großer Zahl zur Verfügung stehenden Roh- und Hilfsstoffe gezielt mit nahezu beliebigen Eigenschaftsspektren (z. B. hart, weich, flexibel, elastisch) herstellen. (76)

Die Polyurethanchemie ist auf Otto Beyer (1902 bis 1982) zurückzuführen, der im Jahr 1937 das Bildungsprinzip der Polyurethane erfand. In den letzten 30 Jahren haben Polyurethane einen Anteil von ca. 5 bis 6 % am Weltverbrauch aller Kunststoffe erlangt.

Abbildung 1: Reaktionsgleichung: Herstellung von Polyurethanen



PU-Produkte sind weit verbreitet. Viele dieser Produkte begegnen uns in unserem täglichen Leben und sind überhaupt nicht mehr wegzudenken. Eine Auswahl zeigt die folgende Übersicht:

Abbildung 2: Produkte aus PU-Hartschaum



Wegen der Vielzahl der eingesetzten Roh- und Hilfsstoffe kann nur ein zusammenfassender Überblick über die aus der Sicht des Arbeitsschutzes wichtigen Stoffe gegeben werden. Weitere wichtige Informationen sind z. B. in Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, im Kunststoff-Handbuch, Band VII (Polyurethane) und in den Sicherheitsdatenblättern zu finden. [\(80\)\(81\)](#)

2.1 Rohstoffe

Isocyanate werden in verschiedenster Form als Reaktionspartner eingesetzt:

- **in nicht modifizierter Form als monomere Diisocyanate:**
 - aromatische:
 - TDI (Toluylendiisocyanat)
 - MDI (Diphenylmethandiisocyanat), wobei vorwiegend das polymere MDI (PMDI) Anwendung findet
 - NDI (Naphthylendiisocyanat)
 - aliphatische:
 - HDI (Hexamethylendiisocyanat)
 - TMDI (Trimethylhexamethylendiisocyanat)
 - TMXDI (Tetramethylxylylendiisocyanat)
 - cycloaliphatische:
 - IPDI (Isophorondiisocyanat)
 - HMDI (Dicyclohexylmethandiisocyanat; H12MDI)
 - NBDI (2,5-Bis-isocyanatomethylbicyclo(2.2.1)heptan)
- **in modifizierter Form:**
 - als di- und trimere Addukte der monomeren Diisocyanate
 - als prepolymeren Reaktionsprodukte zwischen Diisocyanaten und Polyolen, die noch freie NCO-Gruppen aufweisen. Prepolymere und andere Addukte können unterschiedliche Anteile an monomerem Disocyanat enthalten.
- **in verkappter Form/blockierter Form:**

die NCO-Gruppen müssen durch Abspaltung des Verkappungsmittels für die weitere Reaktion mit anderen Reaktionspartnern wie Hydroxylgruppen oder Aminogruppen freigesetzt werden.

Die wichtigsten Stoffklassen bei den eingesetzten Polyolen sind Polyether- und Polyesterpolyole, kurz- bis langkettige, auch verzweigte Verbindungen mit endständigen Hydroxylgruppen sowie Aminopolyole. Darunter versteht man auch Diole und Triole, z. B. Butandiol. Daneben werden insbesondere in der Lackindustrie hydroxylgruppenhaltige Polyacrylate eingesetzt.

2.2 Hilfsstoffe

Je nach Einsatzgebiet können für die Herstellung von Polyurethanen neben den Isocyanaten und Polyolen eine Vielzahl weiterer Hilfs- und Zuschlagstoffe erforderlich sein, insbesondere

- Katalysatoren, meist tertiäre Amine und deren Zubereitungen (Mischungen), Organozinnverbindungen, Titanverbindungen und Kaliumacetat;
- Treibmittel, wie Kohlenwasserstoffe (z. B. Pentan), Kohlendioxid, Fluorkohlenwasserstoffe (z. B. Pentafluorpropan);
- Flammschutzmittel, z. B. Aluminiumhydroxid, Ammoniumpolyphosphat, Melamin, Tetrabromphthalsäureester; Trichlorpropylphosphat (TCPP); Triethylphosphat (TEP);
- Füllstoffe und Verstärker, z. B. Ruß, Kreide, Schwerspat, Silikate;
- Farbgebende Stoffe, z. B. anorganische und organische Pigmente, Ruß, Titandioxid;
- Lösemittel, z. B. Ethylacetat, Methylethylketon, Kohlenwasserstoffe;
- Schaumstabilisatoren, z. B. Polyethersiloxane;
- Trennmittel, z. B. Wachse, Silikone, Metallseifen;
- Alterungsschutzmittel, z. B. sterisch gehinderte Phenole, Benzoxazole, Polycarbodiimid;
- Verkappungsmittel, z. B. Oxime, Phenol, ϵ -Caprolactam;
- Spezielle Zusatzstoffe, z. B. Antistatika.

Probleme, die sich aus dem Umgang mit den Hilfsstoffen ergeben können, sind im [Abschnitt 5.7](#) näher beschrieben.

3 Physikalische und chemische Eigenschaften ausgewählter PU-Roh- und Hilfsstoffe

Die Kenndaten wichtiger Roh- und Hilfsstoffe der Polyurethan-Herstellung sind im [Anhang 1](#) aufgeführt.

3.1 Monomere Diisocyanate

Diisocyanate sind in reiner Form bei Raumtemperatur farblose bis gelbliche Flüssigkeiten (HDI, TDI, IPDI) oder Feststoffe (NDI, MDI monomer). Das polymere MDI (PMDI) ist ein flüssiges Gemisch aus MDI-Isomeren und höheren Homologen (3-Kern, 4-Kern usw.).

Diisocyanate sind sehr reaktive Substanzen. Es können heftige Reaktionen u. U. schon durch Verunreinigungen oder Überhitzung ausgelöst werden.

Isocyanate sind löslich z. B. in Dimethylformamid, N-Methylpyrrolidon, Aceton, Ethylacetat und Halogenkohlenwasserstoffen.

In Wasser sind Di-, Tri- und Polyisocyanate nicht löslich. Bei Temperaturen unter 50 °C reagieren sie nur langsam mit Wasser, wobei Kohlendioxid und fester, unlöslicher Polyharnstoff gebildet wird. Bei Temperaturerhöhung (z. B. bei adiabatischen Bedingungen infolge nicht abgeführter Reaktionswärme), durch Anwesenheit von Tensiden oder durch starkes Rühren wird die Reaktion beschleunigt. Diese Reaktionen können auch bei Verwendung wasserhaltiger organischer Lösemittel, z. B. Aceton, auftreten.

Isocyanate reagieren mit alkalischen Stoffen, z. B. Natriumhydroxid, Ammoniak, primären und sekundären Aminen, ferner mit Säuren und Alkoholen. Diese Umsetzungen laufen im Allgemeinen sehr rasch, möglicherweise unkontrolliert, und stark exotherm ab. Bei der Reaktion mit Wasser, Alkalien und Säuren entsteht Kohlendioxid, was zu einem erheblichen Druckanstieg und in dessen Folge zum Bersten des Anlagenteils führen kann.

3.2 Polyole

Polyole sind klare, farblose bis bräunliche, flüssige bis feste, meist hygroskopische Produkte. Sie sind gut löslich in aromatischen Kohlenwasserstoffen, Alkoholen, Ketonen und Estern.

Wegen der Vielzahl der verwendeten Polyole wird hinsichtlich der Kenndaten auf die Angaben in den Sicherheitsdatenblättern bzw. in Datenbanken (z. B. ISI, GESTIS, GisChem) verwiesen. [\(92\)\(90\)\(89\)](#)

Die zu den Polyolen zählenden Diole und Triole werden im [Abschnitt 3.3.3](#) aufgeführt.

3.3 Hilfsstoffe

3.3.1 Katalysatoren

Tertiäre aliphatische Amine werden vielfach als Katalysatoren zur Steuerung der PU-Herstellung eingesetzt. Typische Beispiele sind: Triethylamin und höhere Trialkylamine, 2-Dimethylaminoethanol (DMEA), N-Methylmorpholin (NMM), Diazabicyclo(2.2.2)octan (DABCO) oder N,N-Dimethylcyclohexyl-amin (DMCHA).

Solche Aminkatalysatoren sind meist relativ flüchtige, meist brennbare Substanzen mit einem typischen, ammoniakartigen Geruch.

Aber auch zinnorganische Verbindungen, z. B. Zinn-2-ethylhexoat (Zinndioctoat) und DBTL (Dibutylzinndilaurat) werden verwendet.

Die zinnorganischen Katalysatoren sind nicht flüchtige Flüssigkeiten, die unter dem Einfluss von Feuchtigkeit an katalytischer Aktivität verlieren.

3.3.2 Treibmittel

Als physikalische Treibmittel werden leicht flüchtige, zum Teil brennbare Substanzen, z. B. Pentan, Kohlendioxid und Fluorkohlenwasserstoffe eingesetzt.

Bei chemischen Treibmitteln werden die Gase durch chemische Reaktion erzeugt, z. B. Kohlendioxid als Treibmittel durch die Reaktion von Wasser mit Isocyanaten.

3.3.3 Sonstige

Als Vernetzer bzw. Kettenverlängerer werden Diole und Triole, z. B. 1,2-Ethandiol, 1,4-Ethandiol, Butandiol, Glycerin, Diethylenglykol oder Amine, z. B. Diethyltoluoldiamin (DETDA) verwendet.

In Beschichtungsstoffen, Klebstoffen und Trennmitteln können verschiedene Lösemittel verwendet werden, z. B. Toluol, Xylole, Kohlenwasserstoff-Gemische, Butyl- und Methoxypropylacetat sowie Ethylacetat. Über die Eigenschaften von Lösemitteln und über Gefahren und Schutzmaßnahmen beim Umgang mit ihnen informieren das Merkblatt M 017 „Lösemittel“ (BGI 621), die zugehörigen Sicherheitsdatenblätter sowie Stoffdatenbanken (z. B. GESTIS, GisChem). (62)(90)(89)

4 Herstellung und Verwendung von Polyurethanen (76)

Bei der Herstellung von Polyurethanen werden die Roh- und Hilfsstoffe in vielfältiger Weise zur Reaktion gebracht.

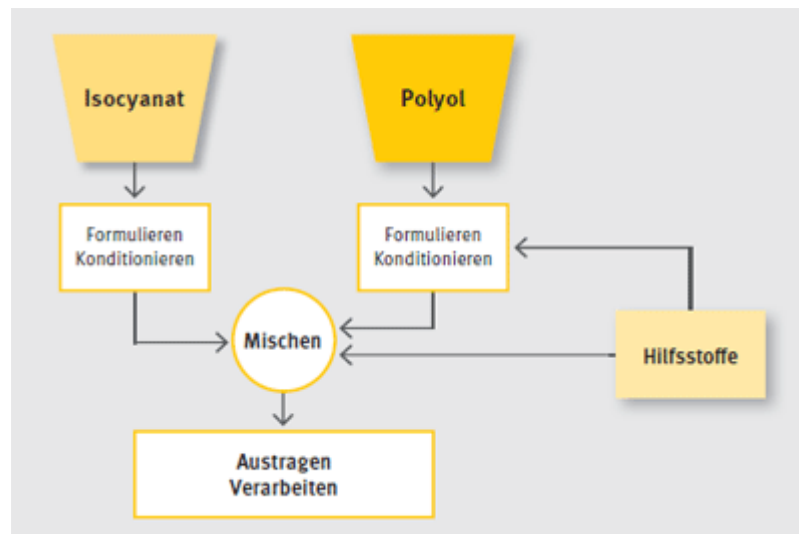
Prinzipiell existieren zwei Möglichkeiten der Reaktionsführung: (79)

- alle Komponenten reagieren gleichzeitig miteinander („One-Shot-Verfahren“)
- die Komponenten reagieren nacheinander in zwei Stufen („Prepolymer-Verfahren“)

Die Hauptkomponenten (Isocyanat und Polyol) werden meist aus Tankanlagen in Arbeitsbehälter überführt und auf die gewünschte Temperatur gebracht. Durch Zudosieren der Zuschlagsstoffe lassen sich die Eigenschaften des Produkts gezielt steuern. Über den Mischkopf wird das Reaktionsgemisch auf eine Unterlage oder in eine Form ausgetragen. Die verfahrenstechnischen Möglichkeiten (Wahl der Temperatur, Druck, Mengenverhältnisse, Austragstechniken) sind dabei sehr vielfältig.

Die Anlagen zur Herstellung von Polyurethanen können kontinuierlich und diskontinuierlich betrieben werden.

Abbildung 3: Schema Polyurethan-Herstellung



4.1 PU-Schaumstoffe

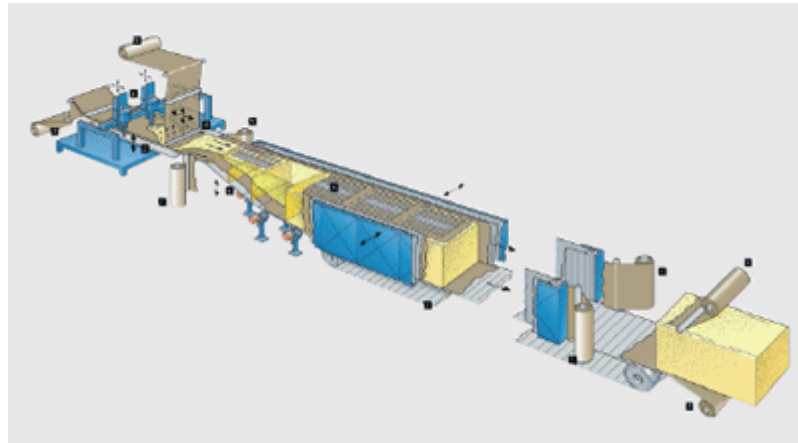
PU-Schaumstoffe werden überwiegend als Weichschaum in Blockform und als Hartschaum in Plattenform im kontinuierlichen und diskontinuierlichen Verfahren hergestellt. Rechteckige Querschnitte von größer 2 Meter und Höhen von größer 1 Meter sind heute Stand der Technik. Die Blocklängen können dabei von wenigen Metern bis größer 100 Meter variieren. Anschließend werden die hergestellten Schaumblöcke auf die erforderlichen Konturen zugeschnitten.

Weichschäume werden z. B. zur Herstellung von Matratzen, Polstern für Sitzmöbel, Schalldämmmaterial und Kfz-Sitzen verwendet; Hartschäume werden vor allem zur Wärmedämmung von Gebäuden, Fernwärmeleitungen und Kühlschränken eingesetzt.

Die Reaktionsgemische für Integralschäume (sowohl hart als auch flexibel möglich) werden häufig in geschlossene Formen gespritzt. Nach diesem Verfahren werden zahlreiche Teile für den Automobilbau (z. B. Spoiler, Kopfstützen, Lenkradummantelung) aber auch Schuhsohlen, Fahrradsättel und Polsterungen für Sportgeräte hergestellt.

Die für die Herstellung der PU-Schaumstoffe überwiegend eingesetzten Isocyanate sind MDI, TDI (beide auch modifiziert) sowie PMDI.

Abbildung 4: Blockschaumanlage



4.2 PU-Klebstoffe

PU-Klebstoffe können als 1-Komponentensystem und als 2-Komponentensystem, lösemittelhaltig oder lösemittelfrei formuliert werden. Die Klebstoffe werden mit verschiedener Viskosität hergestellt, sodass diese entweder bei Raumtemperatur flüssig sind oder als Schmelzklebstoff erst bei höheren Temperaturen, bis zu 150 Grad, verarbeitet werden können. Die verschiedenen Anwendungsbereiche machen es notwendig, Klebstoffe entweder als Schaum, flächig, versprüht oder als Raupe auf die Substrate aufzutragen.

Die für die Herstellung der PU-Klebstoffrohstoffe überwiegend eingesetzten Isocyanate sind MDI, TDI, HDI und IPDI und TMXDI, überwiegend in modifizierter Form, als sogenannte NCO-Prepolymere.

4.3 PU-Gieß-Elastomere

Aus PU-Elastomeren werden kompakte, hoch beanspruchbare Formteile, Halbzeuge oder Beschichtungen nach dem „Prepolymer“- oder „One-Shot“-Verfahren hergestellt.

Beim „Prepolymer“-verfahren werden heiße NDI-, MDI-, TDI- oder PMDI-Prepolymere mit Vernetzern vermischt und zu Formteilen, Halbzeugen oder Beschichtungen vergossen. Typische Produkte sind beispielsweise Skateboardrollen, Zahnriemen oder Dichtungen.

Beim „One-Shot“-Verfahren werden die Reaktionsrohstoffe vermischt und anschließend zu Formteilen vergossen. Großflächige Beschichtungen von Beton- oder Metallobjekten erfolgen meist durch maschinelles Spritzen im Freien oder in Spritzkabinen.

PU-Kautschuk stellt eine verfahrenstechnische Variante der PU-Elastomere dar.

4.4 Thermoplastisches Polyurethan (TPU)

Im Gegensatz zu anderen PU-Rohstoffen erfolgt die Polyaddition zur Herstellung von thermoplastischem Polyurethan beim Hersteller der Grundprodukte. Der verarbeitende Betrieb erhält TPU als würfel-, zylinder- oder

linsenförmiges Granulat, das durch Spritzguss- oder Blasverfahren in die gewünschte Form gebracht werden kann. Zu den Hauptanwendungen gehören Kabelummantelungen sowie hochelastische Schläuche und Folien.

4.5 PU-Beschichtungsstoffe

Unter diesem Begriff werden sehr unterschiedliche Produktgruppen zusammengefasst. Hierzu zählen 1-Komponenten-Lacke, 2-Komponenten-Lacke und Pulverlacke.

Bei den 2-Komponenten-Lacken werden ein Polyisocyanat und die Polyolkomponente, meist in Lösemittel oder wässrigem Medium gelöst bzw. dispergiert zu einem PU-Lack mit begrenzter Verarbeitungszeit gemischt.

Der Aufbau der 1-Komponenten-Lacke ist analog zu den 2-Komponenten-Lacken, lösemittelhaltig oder wässrig. Die Isocyanatgruppen sind jedoch mit sog. Blockierungsgruppen (hauptsächlich Oxime und Caprolactam) maskiert, sodass die Mischung aus blockiertem Härter und Stammlack bei Raumtemperatur nicht reaktive Gemische darstellen. Erst beim Einbrennvorgang erfolgt die Reaktion.

Bei den Einbrennlacken reagieren die Isocyanatgruppen mit Hydroxyl- oder Aminogruppen, wobei der vernetzte Lackfilm entsteht. Pulverlacke stellen eine Sonderform der 1-Komponenten-Lacke dar.

Feuchtigkeitshärtende Lacke werden häufig auch als 1-Komponenten-Lacke bezeichnet. Sie reagieren nach der Applikation mit der Luftfeuchtigkeit zu vernetzten Lackfilmen.

Physikalisch trocknende Lacke, z. B. Dispersionen, bilden den Lackfilm durch Verdunsten des Lösemittels und/oder Wassers aus.

PU-Beschichtungsstoffe finden beispielsweise bei der Herstellung von Kunstleder, im Bereich der Automobilindustrie oder der Schuhindustrie Verwendung.

Die für die Herstellung von PU-Lackrohstoffen überwiegend eingesetzten Isocyanate sind HDI (monomer) oder HDI-Polyisocyanate, IPDI-Monomer oder -Polyisocyanat, TDI-Monomer oder -Polyisocyanat, H₁₂-MDI-Monomer, TMDI-Monomer, TMXDI-Monomer, MDI-Monomer und PMDI-Polyisocyanat.

5 Gesundheitsgefahren

5.1 Isocyanate

Die hier beschriebenen Gesundheitsgefahren beziehen sich auf Diisocyanate als Reinstoffe, in Lösemitteln, als höhermolekulare Polyisocyanate oder als Gemische.

Die in Betracht kommenden monomeren Diisocyanate unterscheiden sich in ihren akut-toxischen Eigenschaften. Dementsprechend sind sie gemäß EG-Verordnung 1272/2008 in die Gefahrenkategorien der akuten Toxizität 1, 2, 3 oder 4 eingestuft. Sie sind ferner als augen- und hautreizend Kategorie 1 und 2 (NBDI ätzend Kategorie 1B) sowie haut- und atemwegssensibilisierend Kategorie 1 eingestuft. Aliphatische Polyisocyanate werden nicht als atemwegssensibilisierend eingestuft. (1)

MDI und TDI sind ferner als „karzinogen der Kategorie 2“⁽¹⁾ (Verdacht auf karzinogene Wirkung beim Menschen) eingestuft.

 MDI	 „Gefahr“
 TDI	 „Gefahr“

Durch Isocyanate sensibilisierte Personen dürfen zu Tätigkeiten mit Isocyanaten und isocyanathaltigen Gemischen nicht herangezogen werden.

Personen, die gegenüber anderen Allergenen sensibilisiert sind, sollten ebenfalls nicht für Tätigkeiten mit Isocyanaten herangezogen werden.

5.2 Aufnahme und Wirkungsweise

Eine Aufnahme in den Körper ist überwiegend durch Einatmen als Dampf, Aerosol oder Staub, in geringeren Mengen auch über die Haut oder den Magen-Darm-Trakt möglich. (84)

Isocyanate wirken auf Haut und Schleimhaut, Augen und Atemwege.

Die geruchliche Wahrnehmungsschwelle liegt im Bereich von 20 bis 50 ppb (2,4-TDI).

5.3 Akute Gesundheitsgefahren

Bei Überexposition besteht die Gefahr einer konzentrationsabhängigen Reizwirkung auf Augen, Nase, Rachen und Luftwege, die bei leichter Exposition reversibel sind.

- 1) Entsprechend der Richtlinie 67/548/EWG (altes Kennzeichnungsrecht) wurde unterschieden zwischen Kategorie 1 (Stoffe, die beim Menschen bekanntermaßen krebserzeugend wirken), Kategorie 2 (Stoffe, die als krebserzeugend für den Menschen angesehen werden sollten) und Kategorie 3 (Stoffe, die wegen möglicher krebserzeugender Wirkung beim Menschen Anlass zur Besorgnis geben, über die jedoch nicht genügend Informationen für eine befriedigende Beurteilung vorliegen). Nach EG-Verordnung 1272/2008 (CLP-Verordnung) erfolgt die Einstufung in die Kategorien 1A (alt 1), 1B (alt 2) und 2 (alt 3). (3)

In besonderen Fällen, z. B. der störungsbedingten Freisetzung größerer Mengen an MDI, können sogar lebensbedrohliche Lungenfunktionsstörungen auftreten.

Verzögertes Auftreten der Beschwerden und Entwicklung einer Überempfindlichkeit sind möglich. Bei überempfindlichen Personen können Reaktionen schon bei sehr geringen Isocyanatkonzentrationen ausgelöst werden, auch unterhalb des Arbeitsplatzgrenzwertes. Bei intensiver Exposition kann es zu einem zunehmenden Reizzustand auch der unteren Atemwege, zu Bronchitis und lebensbedrohlichen Lungenödem kommen. Bei Hyperreagibilität oder einer erworbenen spezifischen Isocyanat-Überempfindlichkeit kann bereits eine geringe Exposition unterhalb der Grenzwerte genügen, um Hustenreiz bis hin zum ausgeprägten Asthmaanfall auszulösen. Bei intensivem Hautkontakt sind Reizzustände der Haut oder in seltenen Fällen Sensibilisierungen (Kontaktekzem) möglich.

Isocyanathaltige Spritzer können Hornhautschäden am Auge verursachen.

5.4 Chronische Gesundheitsgefahren

Ganz im Vordergrund steht die Gefahr der Atemwegssensibilisierung gegenüber Isocyanaten. Eine solche Überempfindlichkeit der Atemwege entsteht im Allgemeinen erst bei Überschreitung des Arbeitsplatzgrenzwerts. Bei Reexposition können auch mit sehr niedrigen Isocyanat-Konzentrationen Reizhusten, Brustbeklemmung, Atemnot, eine Alveolitis oder Asthma auftreten. Anhaltendes wiederholtes Einatmen überhöhter Konzentrationen von Isocyanaten kann zur chronischen Bronchitis, zur Einschränkung der Lungenfunktion oder zu asthmatischen Beschwerdebildern führen. Ein allergisches Kontaktekzem ist selten. Nach stärkerer Exposition ist in Abhängigkeit von den Beschwerden und der Krankheitsdauer eine vorübergehende Meidung jeglicher Exposition über einen Zeitraum von etwa drei Monaten anzuraten, um einer eventuellen Sensibilisierung vorzubeugen. Beim Verdacht auf das Vorliegen einer Sensibilisierung bzw. Überempfindlichkeit ist die sofortige, dauernde Vermeidung jeglicher Exposition gegenüber Isocyanaten notwendig.

TDI und MDI sind als potenziell krebserzeugend eingestuft worden (Karz. Kat. 2) (EG-Verordnung 1272/2008; siehe auch [Abschnitt 5.1](#)). (1)(32)

Die Einstufung vom MDI basiert auf Tierversuchen, in denen Ratten über lange Zeiträume sehr hohen Konzentrationen – 100fach über dem Arbeitsplatzgrenzwert – an synthetisch hergestellten Aerosolen ausgesetzt waren. Derart hohe Isocyanat-Aerosolkonzentrationen treten in der Praxis unter Berücksichtigung der einschlägigen Schutzmaßnahmen nicht auf. Bei Einhalten der Arbeitsplatzgrenzwerte sind akute und chronische Auswirkungen auf die Gesundheit im Allgemeinen nicht zu erwarten. (84)

Allergiker/innen, Asthmatiker/innen und Personen, die zu Erkrankungen der Atemwege neigen, sowie durch Isocyanate sensibilisierte Personen dürfen zu Tätigkeiten mit Isocyanaten und isocyanathaltigen Gemischen nicht herangezogen werden.

5.5 Berechnung der Gesamtexposition

In der TRGS 900 sind Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW) für Isocyanate von 0,035 (TDI, HDI) bzw. 0,05 mg/m³ (MDI, NDI, IPDI) ausgewiesen. Die Werte für die einzelnen Isocyanate sind im [Anhang 1](#) aufgeführt. (31)

In „monomerdominierten Systemen“ (Belastung durch andere Isocyanate praktisch ausgeschlossen) kann der AGW direkt zur Beurteilung der Gesamtexposition durch Dämpfe und Rekondensationsaerosole herangezogen werden. Der Bewertungsindex für die Gesamtexposition berechnet sich nach $BI(AGW) = \sum c(i)/AGW(i)$. (25)

Da in der Praxis auch komplexe Gemische wechselnder Zusammensetzung, Prepolymere und Isocyanate ohne **Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)** auftreten, wurde alternativ zu den AGW das Konzept des **Expositionsleitwertes (ELW)** entwickelt.

Überlegung war hierbei, dass die toxische Wirkung von Isocyanaten weitgehend von der Summe aller reaktionsfähigen NCO-Gruppen abhängt. Diese Bestimmung der TRIG (Totalkonzentration Reaktiver Isocyanat-Gruppen) dient der Abschätzung einer Exposition durch Isocyanate am Arbeitsplatz.

Als Expositionsleitwert (ELW) wurde eine TRIG von 0,018 mg NCO/m³ festgelegt. Dieser Wert ist aus den Arbeitsplatzgrenzwerten für monomere Diisocyanate nach TRGS 402 als Summenmesswert so abgeleitet, dass bei Einhaltung des ELW die Arbeitsplatzgrenzwerte eingehalten sind. (22)

Der Bewertungsindex BI für die Gesamtexposition als Summenwert der reaktiven NCO-Gruppen berechnet sich nach $BI = c(TRIG)/ELW$. (25)

Bei Lack- oder Klebstoffsystemen, die applikationsbedingt Aerosole bilden, stehen die polymeren Isocyanate im Vordergrund. Für sie ist der Expositionsbeurteilungswert (ELW) vorgesehen, der vom Hersteller im Sicherheitsdatenblatt angegeben wird.

Der **Bewertungsindex BI** für die Gesamtexposition berechnet sich dann als Summe von gasförmiger Dampf- sowie partikelförmiger Aerosolexposition nach $BI = \sum c(i)/AGW + c(Poly)*APF/EBW$. (25)

APF: Aerosolpenetrationsfaktor, kann aus der TRGS 430 „Isocyanate – Gefährdungsbeurteilung und Schutzmaßnahmen“ entnommen werden

EBW: Expositionsbeurteilungswert (wird vom Hersteller im SDB angegeben)

Eine ausführliche Darstellung der Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW), Ersatzwerte (Expositionsbeurteilungswert (EBW), Expositionsleitwert (ELW)) sowie der Messungen findet sich in der TRGS 430. (25)

5.6 Art der Gefährdung

5.6.1 Gefährdung der Atemwege

Die toxikologischen Eigenschaften, die Verarbeitungsmenge bzw. Konzentration der Isocyanate im Gemisch, die Höhe des Dampfdrucks, Verarbeitungstemperatur sowie die Möglichkeit der Aerosolbildung bestimmen den Grad der Gefährdung für die Atemwege.

Es sind je nach Verfahren zu unterscheiden:

- gasförmige Emissionen bei Raumtemperatur,
- gasförmige Emissionen bei erhöhter Temperatur bzw. Entstehung von Wärme,
- Verfahren mit der Bildung von Aerosolen (Sprühverfahren oder Rekondensation).

Es wird unterschieden zwischen geringer, mittlerer und hoher Gefährdung.

Detaillierte Informationen hierzu enthält [Abschnitt 6.2.3](#).

5.6.2 Gefährdung der Haut

Bezüglich der Hautgefährdung sind sämtliche Tätigkeiten zu berücksichtigen, bei denen ein direkter Hautkontakt mit isocyanathaltigen Gemischen, Zwischen- oder noch nicht ausreagierten Endprodukten besteht. Als Beispiele sind das Öffnen von Verpackungen, das Herstellen von Gemischen (2-Komponentensysteme), das Handhaben noch nicht vollständig ausreagerter Produkte oder des Nachbearbeiten (z. B. Schneiden, Schleifen) von Erzeugnissen. Es ist zu beachten, dass bei Verwendung von Lösemitteln die Hautresorption der Isocyanate deutlich erhöht werden kann.

Eine geringe Gefährdung kann für die mechanische Bearbeitung von weitgehend ausreagierten Produkten angenommen werden.

Eine mittlere Gefährdung ist für den Hautkontakt mit Isocyanaten bzw. PU-Produkten unmittelbar bei und kurz nach der Herstellung anzunehmen.

Bei einem wiederholtem oder lang andauerndem Hautkontakt muss von einer hohen Gefährdung ausgegangen werden (siehe TRGS 401 „Gefährdung durch Hautkontakt – Ermittlung, Beurteilung, Maßnahmen“). (21)

5.7 Weitere PU-Roh- und Hilfsstoffe

5.7.1 Polyole

Polyole sind nach dem derzeitigen Erkenntnisstand im Allgemeinen toxikologisch weitgehend unbedenklich.

Eine Exposition der Haut, insbesondere der Schleimhäute, kann z. B. bei Aminopolyethern zu mäßigen Reizungen führen.

Eine Aufnahme der Polyole über die Atemwege und eine damit verbundene Gefährdung ist aufgrund der außerordentlich niedrigen Dampfdrücke bei Normalbedingungen nicht möglich.

Bei Polyol-Gemischen (oft nur als Polyol oder Polyolkomponente bezeichnet) können die toxikologischen Eigenschaften durch die enthaltenen Hilfsstoffe (Katalysatoren, Emulgatoren, Stabilisatoren, Flammschutzmittel und Lösemittel) beeinflusst werden.

5.7.2 Amine

Vielen bei der Polyurethan-Herstellung verwendeten Amine ist eine starke Basizität und eine gute Fettlöslichkeit gemeinsam. Sie sind in flüssiger Form sehr aggressiv und zeigen aufgrund ihrer Fettlöslichkeit eine ausgeprägte Tiefenwirkung in den Organismus. Bei Exposition insbesondere gegenüber aliphatischen Aminen kann es an Haut und Schleimhäuten schnell zu Reizungen bis hin zu tiefgehenden Verätzungen kommen.

Gelangen Amine in die Augen, treten starke Reizungen und Verätzungen des äußeren Auges auf, die unter Umständen eine Hornhauttrübung bis hin zur Erblindung zur Folge haben können.

In einigen seltenen Fällen traten Blauschleier- und Hofsehen bei Beschäftigten auf, die Entgratungsarbeiten an nicht vollständig ausgehärteten PU-Produkten ausführten.

Gesundheitsschädigungen durch Einatmen höherer Aminkonzentrationen sind im Allgemeinen nicht zu befürchten, da diese Verbindungen einen intensiven, äußerst unangenehmen Eigengeruch aufweisen, der eine

deutliche Warnwirkung ausübt. Kommt es jedoch infolge von Unfällen oder anderen Ereignissen zu einer zwangsweisen Einatmung höherer Aminkonzentrationen, so sind Reizungen, Entzündungen und schwere Schädigungen der Atemwege die Folge.

Bei der Herstellung von PU-Schäumen mit Wasser als Treibmittel können sich die entsprechenden Diamine der eingesetzten Diisocyanate bilden [4,4'-Methyldianilin (MDA) oder 2,4-Toluylendiamin (TDA)]. Der europäische Verband der Blockweichschaumhersteller (EUROPUR) hat für die Vergabe des „CertiPUR-Siegels“ eine Obergrenze von 5 ppm Diamin im Weichschaum festgelegt. Die sehr schwer flüchtigen Amine MDA und TDA treten nur in frisch hergestellten Schaumstoffen und dann auch nur in sehr geringen Mengen auf, sodass eine Gefährdung über die Atemluft nicht anzunehmen ist. Da MDA und TDA jedoch über die Haut aufgenommen werden können, müssen bei manuellen Tätigkeiten mit frischen Weichschaumstoffen geeignete Schutzhandschuhe getragen werden. (97)

5.7.3 Zinnverbindungen

Für die eingesetzten Zinn(II)- und Zinn(IV)-Verbindungen sind Arbeitsplatzgrenzwerte festgesetzt (TRGS 900 „Arbeitsplatzgrenzwerte“). Sie werden durch die Haut aufgenommen. Bei Haut- und Schleimhautkontakt (insbesondere Augen) können mit Verzögerung auch Reizungen auftreten. Weitere Informationen können den Sicherheitsdatenblättern bzw. Datenbanken entnommen werden. (31)(89)(90)(92)

5.7.4 Sonstige

Die toxikologischen Eigenschaften von Flammschutzmitteln, Füllstoffen, Verstärkern, farbgebenden Komponenten, Lösemitteln, Schaumstabilisatoren, Trennmitteln, Alterungsschutzmitteln und Verkappungsmitteln sind den entsprechenden Sicherheitsdatenblättern bzw. Datenbanken zu entnehmen, da eine Beschreibung dieser Stoffe den Rahmen dieses Merkblatts sprengen würden.

Bei der Verwendung von mineralischen Verstärkern und der Nachbearbeitung der Polyurethanprodukte ist der allgemeine Staubgrenzwert von 3 mg/m^3 einzuhalten.

Weiterführende Informationen zu Lösemitteln können dem Merkblatt M 017 „Lösemittel“ (BGI 621) entnommen werden. (62)

5.8 Berufskrankheiten

Folgende Erkrankungen durch Isocyanate sind meldepflichtige Berufskrankheiten nach der Anlage zur Berufskrankheitenverordnung (BKV) (Reihenfolge nach Relevanz und Häufigkeit): (33)

- **Nr. 1315** „Erkrankungen durch Isocyanate, die zur Unterlassung aller Tätigkeiten gezwungen haben, die für die Entstehung, die Verschlimmerung oder das Wiederaufleben der Krankheit ursächlich waren oder sein konnten“.
- **Nr. 5101** „Schwere oder wiederholt rückfällige Hauterkrankungen, die zur Unterlassung aller Tätigkeiten gezwungen haben, die für die Entstehung, die Verschlimmerung oder das Wiederaufleben der Krankheit ursächlich waren oder sein können“.
- **Nr. 4301** „Durch allergisierende Stoffe verursachte obstruktive Atemwegserkrankungen (einschließlich Rhinopathie), die zur Unterlassung aller Tätigkeiten gezwungen haben, die für die Entstehung, die Verschlimmerung oder das Wiederaufleben der Krankheit ursächlich waren oder sein können“.
- **Nr. 4201** „Exogen allergische Alveolitis“.

6 Gefährdungsbeurteilung

Beim Umgang mit Isocyanaten können die Beschäftigten durch die Stoffeigenschaften und auch durch die Art der Arbeitsweise gefährdet werden. (20)(25)

6.1 Rechtsgrundlagen

Das Arbeitsschutzgesetz verpflichtet in § 5 jede Unternehmerin/jeden Unternehmer (5)

- zu beurteilen, welche Gefährdungen/Belastungen für seine Beschäftigten mit ihrer Arbeit verbunden sind und
- zu ermitteln, welche Arbeitsschutzmaßnahmen erforderlich sind.

Darüber hinaus wird der Unternehmer/die Unternehmerin in § 3 verpflichtet, Maßnahmen des Arbeitsschutzes auf ihre Wirksamkeit zu überprüfen und erforderlichenfalls sich ändernden Gegebenheiten anzupassen.

Das Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung und die erforderlichen Wirksamkeitskontrollen sind zu dokumentieren.

Die Forderungen des Arbeitsschutzgesetzes werden in § 6 der Gefahrstoffverordnung und § 3 der Betriebssicherheitsverordnung konkretisiert. (11)(12)

Zusätzlich ist für Teilbereiche die Verpflichtung zur Beurteilung von Gefährdungen in weiteren Regelwerken festgeschrieben, z. B. der Störfallverordnung (12. BImSchV). (39)

Das Arbeitsschutzgesetz und die Gefahrstoffverordnung sprechen von „Gefährdung“ und „Gefährdungsbeurteilung“, die REACH-Verordnungen von „Risiko“ und „Risikobeurteilung“. Da der Schwerpunkt dieses Merkblatts Arbeits- und Gesundheitsschutz ist, werden durchgängig die Begriffe Gefährdung und Gefährdungsbeurteilung verwendet. (5)(16)(4)

Grundsätzliches zur Durchführung von Gefährdungsbeurteilungen kann dem Merkblatt A 016 „Gefährdungsbeurteilung – Sieben Schritte zum Ziel“ der BG RCI entnommen werden. Inhaltliche Basis der Gefährdungsbeurteilung kann der allgemeine Gefährdungskatalog des Merkblatts A 017 „Gefährdungsbeurteilung – Gefährdungskatalog“ (BGI 571) der BG RCI sein. (57)(58)

In der Gefahrstoffverordnung kommt der Gefährdungsbeurteilung eine bedeutende Rolle zu. (16)

Die Unternehmerin/der Unternehmer ist verantwortlich für die Durchführung der Gefährdungsbeurteilung. Sie ist von fachkundigen Personen vor Aufnahme der Tätigkeiten durchzuführen. (16)

Die mit den Tätigkeiten verbundenen inhalativen, dermalen und physikalisch-chemischen Gefährdungen sind unabhängig voneinander zu beurteilen und in der Gefährdungsbeurteilung zusammenzuführen (§ 6 Abs. 6 Satz 1 GefStoffV). (16)

Dabei müssen über den normalen Betrieb hinaus auch Instandhaltungs- und Wartungsarbeiten sowie die Beseitigung von Betriebsstörungen betrachtet werden. Bei der Zusammenarbeit mehrerer Firmen kann die Möglichkeit der gegenseitigen Gefährdung bestehen. Deshalb muss die Fremdfirmenkoordination ebenfalls Bestandteil der Gefährdungsbeurteilung sein. (16)

Die Gefährdungsbeurteilung gliedert sich in folgende Schritte:

- Informationsermittlung

- Festlegung notwendiger Schutzmaßnahmen (siehe [Kapitel 8](#) und [9](#))
- Dokumentation und Wirksamkeitskontrolle.

6.2 Informationsermittlung

6.2.1 Erfassung der verwendeten Stoffe und Gemische – Gefahrstoffverzeichnis

Es muss ermittelt werden, ob es sich bei den verwendeten Stoffen um Gefahrstoffe handelt. Entsprechende Angaben enthalten die zugehörigen Sicherheitsdatenblätter.

Weitere Informationen zu Stoffen können Datenbanken, z. B. GESTIS oder GisChem, entnommen werden. ([90](#)) ([89](#))

Die verwendeten Stoffe sind in einem Gefahrstoffverzeichnis aufzuführen. Das Verzeichnis ist auf aktuellem Stand zu halten und allen betroffenen Beschäftigten zugänglich zu machen. Eine Möglichkeit zur Erstellung des Gefahrstoffverzeichnisse bietet z. B. GisChem. ([89](#))

An Angaben sollten im Gefahrstoffverzeichnis enthalten sein:

- Bezeichnung der Gefahrstoffe
- Einstufung bzw. Angabe der gefährlichen Eigenschaften
- Vorhandene Mengen
- Arbeitsbereiche, in denen mit den Gefahrstoffen umgegangen wird
- Aktueller Stand des Sicherheitsdatenblatts, Hersteller

Die Sicherheitsdatenblätter müssen den Beschäftigten zugänglich sein.

6.2.2 Substitutionsprüfung

Bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen hat der Unternehmer/die Unternehmerin zu prüfen, ob durch Substitution oder Änderung des Verwendungsverfahrens Gefährdungen vermieden oder zumindest vermindert werden können. Der Verzicht auf eine mögliche Substitution ist in der Dokumentation zu begründen. Weitere Hinweise können der TRGS 430 entnommen werden. (29)(24)

Für in Anhang XIV der Reach-Verordnung gelisteten Stoffe muss für eine weitere Verwendung vor Ablauf des „Verfalldatums“ („sunset date“; in der Regel 18 Monate) eine Zulassung bei der ECHA beantragt werden. (4)([93](#))

6.2.3 Inhalative und dermale Gefährdung (25)(21)(22)

Die Gefährdung durch toxische Eigenschaften wird bestimmt durch

- die toxischen Eigenschaften der eingesetzten Isocyanate und Hilfsstoffe

- die verwendete Menge
- Art der Verarbeitung

Die Gefährdungen sind getrennt für Atemwege und Haut zu ermitteln und in der Dokumentation zusammenzuführen.

Die Einstufung, die Verarbeitungsmenge bzw. Konzentration im Gemisch, der temperaturabhängige Dampfdruck sowie die Möglichkeit der Aerosolbildung bestimmen den Grad der Gefährdung für die Atemwege.

Es sind je nach Verfahren zu unterscheiden:

- gasförmige Emissionen ohne erhöhte Temperaturen,
- gasförmige Emissionen unter Anwendung/Entstehung von Wärme (80–250 °C) und
- Verfahren mit der Bildung von Aerosolen (Sprühverfahren).

Es wird unterschieden zwischen geringer, mittlerer und hoher Gefährdung.

Eine **geringe Gefährdung** ist beispielsweise anzunehmen bei der Verwendung von polymeren Isocyanaten bzw. Isocyanaten mit einem sehr niedrigen Dampfdruck, beispielsweise der Verwendung von MDI bei Raumtemperatur. Voraussetzung für die Annahme einer geringen Exposition ist der Ausschluss der Bildung von Aerosolen bzw. Stäuben. Für höhere Verarbeitungstemperaturen entwickelte monomerreduzierte polymere Isocyanate, z. B. emissionsarme Schmelzklebstoffe, führen zu vernachlässigbaren Expositionen.

Werden die Tätigkeiten in Behältern oder engen Räumen ausgeführt, kann nicht mehr von einer geringen Gefährdung ausgegangen werden. Hier für ist dann eine mittlere Gefährdung anzunehmen.

Eine **mittlere Gefährdung** kann bei Tätigkeiten mit Isocyanaten vorliegen, die hinsichtlich ihrer akut toxischen Eigenschaften in die Kategorie 4 eingestuft sind. Hierzu zählen beispielsweise MDI, NDI und p-MDI. Auch Anwendungen mit polymeren Isocyanaten, bei denen Aerosole bzw. Stäube auftreten können (z. B. Spritzapplikation, Folienkaschierung) sind dem Bereich der mittleren Gefährdung zuzuordnen.

Eine **hohe Gefährdung** ist für Tätigkeiten mit Isocyanaten, die hinsichtlich ihrer akut toxischen Eigenschaften in die Kategorien 1, 2 und 3 eingestuft sind, anzunehmen. Dies sind z. B. Tätigkeiten mit TDI, HDI, IPDI sowie auch Tätigkeiten aus dem Bereich der mittleren Gefährdung, bei denen jedoch infolge einer Aerosolbildung oder Erwärmung hohe Konzentrationen an Isocyanaten in die Atemluft gelangen.

Bezüglich der **Hautgefährdung** sind sämtliche Tätigkeiten zu berücksichtigen, bei denen ein direkter Hautkontakt mit isocyanathaltigen Gemischen, Zwischen- oder Endprodukten besteht. Als Beispiele sind das Öffnen von Verpackungen, das Herstellen von Gemischen (2-Komponentensysteme), das Abnehmen noch nicht vollständig ausreagierter Produkte oder des Nachbearbeiten (z. B. Schneiden, Schleifen) von Erzeugnissen. Es ist zu beachten, dass bei Verwendung von Lösemitteln die Hautresorption der Isocyanate deutlich erhöht werden kann.

Eine **geringe Gefährdung** kann für die mechanische Bearbeitung von weitgehend ausreagierten Produkten angenommen werden.

Eine **mittlere Gefährdung** ist für den Hautkontakt mit Isocyanaten bzw. PU-Produkten unmittelbar bei und kurz nach der Herstellung anzunehmen.

Bei einem wiederholtem oder lang andauerndem Hautkontakt muss von einer **hohen Gefährdung** ausgegangen werden (siehe TRGS 401). (21)

6.2.4 Physikalisch-chemische Wirkungen

Für die Bewertung der Gefährdungen (Brände und Explosionen sowie durchgehende Reaktionen und Druckaufbau) ist die Kenntnis der physikalisch-chemischen Kenngrößen erforderlich. Relevante Kenngrößen sind den Sicherheitsdatenblättern zu entnehmen.

Es ist zu prüfen, ob die Bildung einer gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre möglich ist. Explosionsfähige Atmosphäre kann durch unterschiedliche Arten von Zündquellen, z. B. mechanisch erzeugte Funken, heiße Oberflächen, elektrostatische Entladungsvorgänge, offene Flammen usw. entzündet werden.

Weiterführende Informationen hierzu enthalten z. B. die TRBS 2152, Teil 1 „Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre – Beurteilung der Explosionsgefahren“ sowie die BG-Regel „Explosionsschutz-Regeln“ (BGR 104). (13)(44)

Bei der Durchführung der Polymerisationsreaktionen in Reaktionskesseln oder geschlossenen Behältern ist zu prüfen, ob die Reaktionswärme und die gebildeten Gase sicher abgeleitet werden können und es nicht zu einem unzulässigen Wärme- oder Druckstau kommen kann.

6.3 Schutzmaßnahmen (16)(25)(26)

Unter Berücksichtigung der bei der Gefährdungsbeurteilung ermittelten Gefahren sind geeignete Maßnahmen zum Schutz der Beschäftigten festzulegen.

Die Schutzmaßnahmen sind nach den geltenden Arbeitsschutz- und Unfallverhütungsvorschriften sowie nach den allgemein anerkannten Regeln der Sicherheitstechnik, der Arbeitsmedizin und der Hygiene, dem Stand der Technik und den sonstigen gesicherten arbeitswissenschaftlichen Erkenntnissen zu treffen. Weitere Hinweise sind in den Kapiteln 8 und 9 enthalten.

In den erweiterten Sicherheitsdatenblättern sind bereits Schutzmaßnahmen beschrieben, die anzuwenden sind. Weiterhin können in den erweiterten Sicherheitsdatenblättern Gefahrstoff-Konzentrationen beschrieben sein, die für bestimmte Tätigkeiten unter Anwendung der beschriebenen Schutzmaßnahmen beispielhaft ermittelt wurden. Weiterhin können die Erkenntnisse aus Gefährdungsbeurteilungen, die von Dritten geliefert werden, genutzt werden, soweit diese auf die eigenen Verhältnisse übertragbar sind.

6.4 Dokumentation und Wirksamkeitskontrolle

Die Dokumentation hat außer beim Vorliegen einer nur geringen Gefährdung schriftlich zu erfolgen.

Die Wirksamkeit der getroffenen Maßnahmen ist zu überprüfen. Hierzu zählen insbesondere

- die Überprüfung der Einhaltung der Grenzwerte (AGW/ELW/EBW) (21)(25)
- Funktion und Wirksamkeit technischer Schutzmaßnahmen
- Überprüfung und Einhaltung organisatorischer und persönlicher Schutzmaßnahmen (z. B. Tragen von Handschuhen).

Die Ergebnisse von Vorsorgeuntersuchungen sind in die Wirksamkeitskontrolle einzubeziehen.

7 Arbeitsbereichsüberwachung, Messtechnik

7.1 Probenahme und Messverfahren (25)

Die messtechnische Überwachung von Isocyanaten in der Luft am Arbeitsplatz stellt hohe Anforderungen an die ausführenden Personen (Fachkunde gemäß § 7 Abs. 10 GefStoffV). Es sind spezielle Kenntnisse sowohl in der Messplanung, der Probenahme und der Analytik erforderlich. (16)

Mit dem vorliegenden Verfahren können die in der Luft am Arbeitsplatz auftretenden gas- und partikelförmigen Diisocyanate stationär und personenbezogen erfasst werden. Weitere Hinweise können auch der TRGS 430 entnommen werden. (25)

Bei der **sorptiven Probenahme** werden die Isocyanate mit einem sekundären Amin derivatisiert, das chromophore Gruppen besitzt. Die analytische Bestimmung erfolgt dann meist mittels HPLC. Diese Methode ist mit Einschränkungen bei polymeren Isocyanaten und Kurzzeitwerten für alle Isocyanate geeignet.

Polymere Isocyanate und Isocyanat-Aerosole, wie sie beispielsweise Spritzlackieren auftreten, werden nach der **Total Aerosol Mass Method (TAMM)** als Staubmessung bestimmt. Die Methode ist jedoch nur anwendbar, wenn die gemessene Staubkonzentration die Bestimmungsgrenze des gewählten Verfahrens zur Staubprobenahme überschreitet.

Für die Bestimmung der **Gesamt-NCO-Konzentration (TRIG)** erfolgt die Probenahme nach dem sorptiven Verfahren. Nach erfolgter Identifizierung isocyanatstämmiger Peaks durch Vergleich der Chromatogramme des derivatisierten Einsatzmaterials mit dem Chromatogramm der Luftprobe und bekanntem NCO-Gehalt im Einsatzmaterial, kann die Quantifizierung polymerer Isocyanate als Gesamt-NCO erfolgen.

Auch die Bestimmung mit **direktanzeigenden Messgeräten** ist möglich.

Bei Papierbandgeräten reagieren NCO-Gruppen mit einem imprägnierten Papierband zu einer farbigen Verbindung, die fotometrisch bestimmt und als Konzentration angezeigt wird.

Beim Ionenmobilitätsspektrometer werden Isocyanate ionisiert und nach Durchwanderung eines elektrischen Felds durch ihre charakteristische Flugzeit identifiziert.

Für Isocyanate mit höherem Dampfdruck, wie beispielsweise TDI, sind beide Gerätetypen geeignet. Bei schwer flüchtigen Isocyanaten sind die Geräte nur für orientierende Messungen und zur Suche von Leckagen geeignet.

7.2 Bestimmung des Expositionsbeurteilungswerts (EBW) für polymere Isocyanate (25)

Für Aerosole von Polyisocyanaten ist das Lungenreizpotenzial bestimmend für die Festlegung eines Beurteilungswertes. Bei Unterschreiten der Reizschwelle ist nicht mit dem Auftreten von Entzündungsreaktionen und den damit verbundenen regenerativen Reaktionen, wie z. B. Fibrose oder Pneumonitis, zu rechnen.

Der Expositionsbeurteilungswert (EBW) für Polyisocyanat-Aerosole berücksichtigt deren im Vergleich zu monomeren Diisocyanaten geringere Wirkung im Inhalationsversuch. Der Expositionsbeurteilungswert sollte im Sicherheitsdatenblatt aufgeführt sein.

Der Expositionsbeurteilungswert für polymere Aerosole kann folgende Werte annehmen:

- EBW = AGW des zugrunde liegenden monomeren Diisocyanats (zugleich Vorgabewert bei fehlenden Angaben im Sicherheitsdatenblatt)
- EBW = 10 · AGW des zugrunde liegenden monomeren Diisocyanats
- EBW > 10 · AGW des zugrunde liegenden monomeren Diisocyanats

Für Gemische aus unterschiedlichen Polyisocyanaten, für deren Einzelkomponenten bereits Expositionsbeurteilungswerte vorliegen, erfolgt die Festlegung des EBW durch eine arithmetische gewichtete Mittelwertbildung unter Berücksichtigung der individuellen Massenanteile im Gemisch und des EBW der verwendeten Polyisocyanate.

7.3 Penetration von Isocyanaten in die Atemwege (25)

Der Grad der Penetration von Isocyanat-Aerosolteilchen in die Luftwege und Alveolen ist abhängig von der Größe der Aerosolteilchen. Je größer die Aerosolteilchen sind, desto geringer ist deren Potenzial zum Eindringen in die tiefen Atemwege. Dies spielt insbesondere beim Auftragen von Lack/Klebstoffsystemen eine bedeutende Rolle. Das Airless-Verfahren stellt hierbei die beste Methode dar, gefolgt vom Airmix-Verfahren, vom HVLP-Verfahren und als ungünstigste, das Druckluft-Verfahren.

8 Schutzmaßnahmen

8.1 Gesetzliche Grundlagen (16)(26)

Die Schutzmaßnahmen sind nach dem Stand der Technik, nach den geltenden Arbeitsschutz- und Unfallverhütungsvorschriften sowie nach den allgemein anerkannten Regeln der Sicherheitstechnik, der Arbeitsmedizin und der Hygiene, einschließlich der Regeln über Einstufung, Sicherheitsinformation und Arbeitsorganisation und den sonstigen gesicherten arbeitswissenschaftlichen Erkenntnissen zu treffen. Das Ziel dieser Schutzmaßnahmen ist es, eine Gesundheitsgefährdung durch Roh- und Hilfsstoffe bei der PU-Herstellung zu vermeiden.

Wesentlich sind das Vermeiden von Hautkontakt und das Einhalten der Grenzwerte.

Um eine Gefährdung der Beschäftigten zu vermeiden, sind zunächst alle technischen und organisatorischen Maßnahmen zu treffen. Lassen sich dadurch nicht alle Gefährdungen vermeiden, sind wirksame persönliche Schutzausrüstungen bereitzustellen und zu benutzen.

Allgemeine rechtliche Grundlagen für die beim Umgang mit Gefahrstoffen zu treffenden Schutzmaßnahmen sind z. B. zu finden in:

- Chemikaliengesetz und seine Verordnungen, insbesondere (37)
- Gefahrstoffverordnung mit den Technische Regeln für Gefahrstoffe (TRGS), insbesondere TRGS 430 „Isocyanate – Gefährdungsbeurteilung und Schutzmaßnahmen“ (16)(25)
- Betriebssicherheitsverordnung mit den Technischen Regeln für Betriebssicherheit (TRBS) (12)
- Arbeitsstättenverordnung mit den Technischen Regeln für Arbeitsstätten (ASR) (7)
- Bundes-Immissionsschutzgesetz und Störfallverordnung(38)(39)

- Wasserhaushaltsgesetz (42)
- Unfallverhütungsvorschrift „Grundsätze der Prävention“ (BGV A1) (43)

Allgemeine rechtliche Grundlagen für Bau, Ausrüstung und Betrieb von Maschinen und Anlagen zur Herstellung von Polyurethanen sind im Produktsicherheitsgesetz zu finden. (40)

8.2 Festlegung notwendiger Schutzmaßnahmen nach Gefahrstoffverordnung (16)(26)(25)

Die Festlegung der Schutzmaßnahmen ist abhängig vom Grad der Gefährdung, die von den jeweiligen Stoffen und Arbeitsverfahren ausgehen.

Grundpflichten nach § 7 der Gefahrstoffverordnung sind immer durchzuführen. Darüber hinaus sind

- allgemeine Schutzmaßnahmen (§ 8 GefStoffV),
- zusätzliche Schutzmaßnahmen (§ 9 GefStoffV) bzw.
- besondere Schutzmaßnahmen bei Tätigkeiten mit krebserzeugenden und erbgutverändernden Gefahrstoffen (§ 10 GefStoffV) durchzuführen.

Grundpflichten für die Verhütung von Gefährdungen (§ 7 GefStoffV)

- Aufnahme der Tätigkeit erst nach Durchführung der Gefährdungsbeurteilung und Festlegung der erforderlichen Schutzmaßnahmen
- Substitution durch einen weniger gefährlichen Stoff, soweit dies möglich ist, bzw. Verwendung eines anderweitigen, besser geeigneten Arbeitsverfahrens (29)
- Festlegung von Schutzmaßnahmen in folgender Rangfolge:
 - Gestaltung geeigneter Verfahren, geeigneter Arbeitsmittel und Materialien nach dem Stand der Technik
 - Durchführung kollektiver Schutzmaßnahmen technischer Art an der Gefahrenquelle, wie z. B. angemessene Be- und Entlüftung, sowie die Durchführung geeigneter organisatorischer Maßnahmen, wie z. B. die Erstellung von Betriebsanweisungen und Durchführen von Unterweisungen
 - Durchführung individueller Schutzmaßnahmen, wie z. B. die Bereitstellung, Prüfung, sachgerechte Aufbewahrung und Reinigung geeigneter persönlicher Schutzausrüstungen
- Benutzung der bereitgestellten persönlichen Schutzausrüstungen durch die Beschäftigten
- Regelmäßige Überprüfung der technischen Schutzmaßnahmen
- Sicherstellen der Einhaltung der Arbeitsplatzgrenzwerte, z. B. durch fachkundig durchgeführte Messungen (31)(21)

Allgemeine Schutzmaßnahmen (§ 8 GefStoffV)

- Geeignete Gestaltung des Arbeitsplatzes und Bereitstellen geeigneter Arbeitsmittel und Arbeitsmethoden
- Begrenzen der Anzahl der Beschäftigten, die mit Gefahrstoffen umgehen
- Begrenzen der Dauer und des Ausmaßes der Exposition
- Angemessene Hygienemaßnahmen, insbesondere zur Vermeidung der Kontamination sowie die regelmäßige Reinigung des Arbeitsplatzes
- Begrenzung der am Arbeitsplatz vorhanden Menge an Gefahrstoffen
- Kennzeichnung der verwendeten Stoffe und Zubereitungen
- Ess- und Trinkverbot in Bereichen, in denen mit Gefahrstoffen umgegangen wird

- Geeignete Lagerung von Gefahrstoffen (27)
- Geeignete Entsorgung von Abfällen
- Auf flüssigkeitsdichte Lagerung achten (siehe [Abschnitt 8.3.10](#) dieses Merkblatts)
- Das ungehinderte Ausbreiten von Flüssigkeitsleckagen verhindern. Hierzu können Auffangeinrichtungen wie Tassen undwannen dienen
- Verschüttete und ausgelaufene Gefahrstoffe auf geeignete Weise umgehend beseitigen
- Beim Umfüllen von Gefahrstoffen, die Gase, Dämpfe Rauche oder Aerosole freisetzen können, sicherzustellen, dass
 - die Freisetzung durch sachgerechte Arbeitstechniken vermieden wird,
 - Gebinde stets geschlossen gehalten und nur zum Umfüllen geöffnet werden,
 - beim Umfüllen eine ausreichende Lüftung und geeignete Luftführung gewährleistet ist.

Zusätzliche Schutzmaßnahmen (§ 9 GefStoffV)

Zusätzliche Maßnahmen sind erforderlich, wenn die Grundpflichten und allgemeinen Schutzmaßnahmen nach §§ 7 und 8 der Gefahrstoffverordnung nicht ausreichend sind. Dies ist z. B. der Fall, wenn Arbeitsplatzgrenzwerte oder biologische Grenzwerte überschritten sind oder wenn bei haut- oder augenschädigenden Stoffen eine Gefährdung besteht.

- Verwendung von Gefahrstoffen im geschlossenen System, wenn eine Substitution nicht möglich ist und eine erhöhte Gefährdung der Beschäftigten durch Inhalation besteht. Ist die Anwendung eines geschlossenen Systems technisch nicht möglich, ist die Exposition so weit als möglich zu minimieren
- Erneute Durchführung der Gefährdungsbeurteilung bei Überschreiten von Arbeitsplatzgrenzwerten und Festlegung geeigneter zusätzlicher Schutzmaßnahmen
- Schaffung getrennter Aufbewahrungsmöglichkeiten für Arbeits- und Schutzkleidung einerseits und Straßenkleidung andererseits
- Zutrittsverbot für Beschäftigte und Dritte, die nicht unmittelbar mit der Ausführung der Tätigkeiten betraut sind
- Festlegung zusätzlicher Schutzmaßnahmen bei der Durchführung von Tätigkeiten mit Gefahrstoffen durch einen Beschäftigten alleine oder Sicherstellung einer angemessenen Aufsicht
- Beim Abfüllen toxischer Flüssigkeiten:
 - Gebinde direkt am Spundloch absaugen
 - Bei größeren Abfüllstellen eine Gaspendelung vorsehen
 - Große Mengen werden am besten durch fest verlegte, dichte Rohrleitungen zugeführt.

Besondere Schutzmaßnahmen bei Tätigkeiten mit krebserzeugenden und erbgutverändernden Gefahrstoffen (§ 10 GefStoffV)

Bei Einhaltung des Arbeitsplatzgrenzwertes oder Anwendung verfahrens- und stoffspezifischer Kriterien sind besondere Schutzmaßnahmen nicht erforderlich, anderenfalls:

- Gefahrstoffmessung insbesondere zur frühzeitigen Ermittlung erhöhter Expositionen durchführen
- Gefahrenbereiche abgrenzen, Warn- und Sicherheitszeichen anbringen (8)
- Abgesaugte Luft nur in den Arbeitsbereich zurückführen, wenn sie mit behördlich oder berufsgenossenschaftlich anerkannten Verfahren oder Geräten ausreichend von krebserzeugenden oder erbgutverändernden Stoffen der Kategorien 1 oder 2 gereinigt wurde.

Gemäß TRGS 430 sind die Schutzmaßnahmen entsprechend des Grads der Gefährdung (gering, mittel, hoch) auszuwählen. (25)

8.3 Technische Schutzmaßnahmen

8.3.1 Allgemeines

Es müssen geeignete Maschinen und Anlagen verwendet werden. Diese sind derart auszulegen, dass auch bei maximaler Verarbeitungskapazität die Exposition der Beschäftigten so niedrig wie möglich gehalten wird. Dies gilt auch für Kurzzeitexpositionen, wie sie z. B. beim Öffnen von Reaktionsbehältern, Formen oder beim Gebindewechsel auftreten.

Es sind vorzugsweise geschlossene Maschinen und Anlagen, insbesondere bei der Gefahr einer erhöhten Isocyanatexpositionen, zu realisieren. Anderenfalls sind wirksame Lüftungs- und Absaugeinrichtungen zu installieren, wobei alle Emissionsquellen zu berücksichtigen sind (z. B. auch das Umfüllen von Aminen). Bei der Installation von Absaugungen ist zu berücksichtigen, dass Gefahrstoffe möglichst direkt an der Entstehungsstelle erfasst und ohne Gefährdung Dritter abgeführt werden. Die abgesaugte Luft ist durch Frischluft zu ersetzen. Die Wirksamkeit der Absauganlagen ist regelmäßig zu prüfen. (45)

Abbildung 5: Moderne Mischköpfe mit integrierter Auftragseinheit



Die Dosierung bzw. Zuführung der Isocyanate ist derart zu gestalten, dass ein Hautkontakt vermieden wird. Hierfür sind beispielsweise selbstreinigende Dosierköpfe, Abdeckungen, Spritzschutz oder Probennahmesysteme, bei denen ein Hautkontakt vermieden wird. (67)

Maschinen und Anlagen müssen so gestaltet sein, dass auch bei Fehlbedienungen schwerwiegende Konsequenzen ausgeschlossen oder zumindest gemildert werden. Tankanlagen, Pumpen und andere Aggregate sind zum Schutz der Umwelt in Auffangwannen zu stellen.

Beheizte Maschinen, Anlagen und Dosiereinrichtungen müssen eine von der Temperaturregelung unabhängig arbeitende Begrenzung der Verarbeitungstemperatur besitzen, die eine Temperaturüberschreitung signalisieren oder die Anlage in den sicheren Zustand fahren.

Falls bei einer technischen Störung Spitzenexpositionen von Isocyanaten möglich sind, müssen Einrichtungen vorhanden sein, die solche Störungen erkennen, anzeigen und bei Gefahr die Anlage bzw. Maschine in einen sicheren Zustand bringen. Für Nach- und Nebenarbeiten, Arbeiten zur Störungsbeseitigung sowie für das Reinigen sind Expositionen von Beschäftigten durch technische und oder organisatorische Maßnahmen so niedrig wie möglich zu halten.

Verrohrungen, Schläuche und Aggregate zur Förderung von Isocyanaten und Polyol müssen farblich eindeutig gekennzeichnet sein (Isocyanate: rot; Polyol blau oder zu rot deutlich unterscheidbare Farbe). Schlauch- und Rohrkupplungen für Isocyanate müssen verwechslungssicher ausgeführt sein. Die ordnungsgemäße Funktion von Schläuchen ist jederzeit sicherzustellen.

Anlagen, Maschinen und Tankanlagen für Isocyanate mit **hoher Gefährdung für die Atemwege** müssen so ausgelegt sein, dass auch bei Ausfall eines Bauteils oder Aggregats die 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. Für die Lagerung in ortsbeweglichen Behältern ist die TRGS 510 „Lagerung von Gefahrstoffen in ortsbeweglichen Behältern“ zu beachten. (27)

Tätigkeiten mit **hoher Hautgefährdung** müssen nach Möglichkeit derart gestaltet werden, dass ein Hautkontakt mit Isocyanaten wirksam vermieden wird.

8.3.2 Werkstoffe für Anlagen und Betriebsmittel

Werkstoffe für Anlagen und Lagerbehälter müssen für den vorgesehenen Verwendungszweck geeignet sein. Geeignete Werkstoffe für Isocyanate, Amine und Polyole sind z. B.:

- für Behälter, Rohre und Pumpen:
 - Edelstahl 1.4301, 1.4401 oder 1.4571 (76)(78)
 - ferritischer Stahl St 37.2 (73)
 - Kesselblech H2 (74)(75)

Kupfer, andere Buntmetalle und Zink sollten nicht verwendet werden.

- für Schläuche:
 - für Betriebsdrücke bis 16 bar: mit Textilgewebe oder Stahldraht verstärkte Gummischläuche mit PTFE-Seele
 - für Hochdruckschläuche: mit Stahldrahtgewebe ummantelte PE-Hochdruckschläuche

Armierte Druckschläuche dürfen zur Erhaltung ihrer Funktionsfähigkeit nicht geknickt werden, da anderenfalls Brüche und frühzeitiges Versagen an den Knickstellen bei Druckspitzen nicht ausgeschlossen werden können. Zusätzlich wird empfohlen, Schläuche regelmäßig auf Versprödungen und undichte Stellen zu überprüfen.

- als Dichtungsmaterialien:
 - Polytetrafluorethylen (PTFE)
 - Fluorierter Polymerkautschuk (FPK, FKM, FFKM)

Bei der Auswahl von Werkstoffen für Schläuche und Dichtungen sollten die Hinweise der Isocyanat-Hersteller berücksichtigt werden.

Viele Kunststoffe und Gummisorten werden von Isocyanaten angegriffen und verspröden nach kurzer Zeit. Dadurch werden die Festigkeitswerte verringert, und es entsteht die Gefahr von Undichtigkeiten.

Hinweise zur sicheren Verwendung von Schlauchleitungen gibt das Merkblatt T 002 „Schlauchleitungen – Sicherer Einsatz mit Gefährdungskatalog“ (BGI 572) der BG RCI. (64)

8.3.3 Kontinuierliche ortsfeste Anlagen (Hart- und Weichschaumanlagen)

Zur Abführung der bei der kontinuierlichen Herstellung von Weich- und Hartschaumblöcken sowie Hartschaumplatten anfallenden Gase und Dämpfe sind ortsfeste Absauganlagen erforderlich, um die Arbeitsplatzgrenzwerte einzuhalten. Diese Absauganlagen sind entsprechend den verwendeten Einsatzstoffen sowie den verfahrensbedingten unterschiedlichen Emissionen in den einzelnen Abschnitten der Produktionsanlagen auszulegen. Produktionsanlagen (Weichschaumanlagen), in denen TDI eingesetzt wird, erfordern effektivere Absauganlagen als solche, in denen PMDI verarbeitet wird (Hartschaumanlagen). Gleiches gilt für den Einsatz leichtflüchtiger teilhalogener Halogenkohlenwasserstoffe (z. B. H-FCKW 141b) als Treibmittel.

Bei besonderen Tätigkeiten, z. B. der Störungsbeseitigung oder der Durchführung von Reinigungsarbeiten an kontinuierlichen ortsfesten Anlagen (Hart- und Weichschaumanlagen), müssen zusätzlich zu den genannten technischen Maßnahmen Atemschutzgeräte getragen werden.

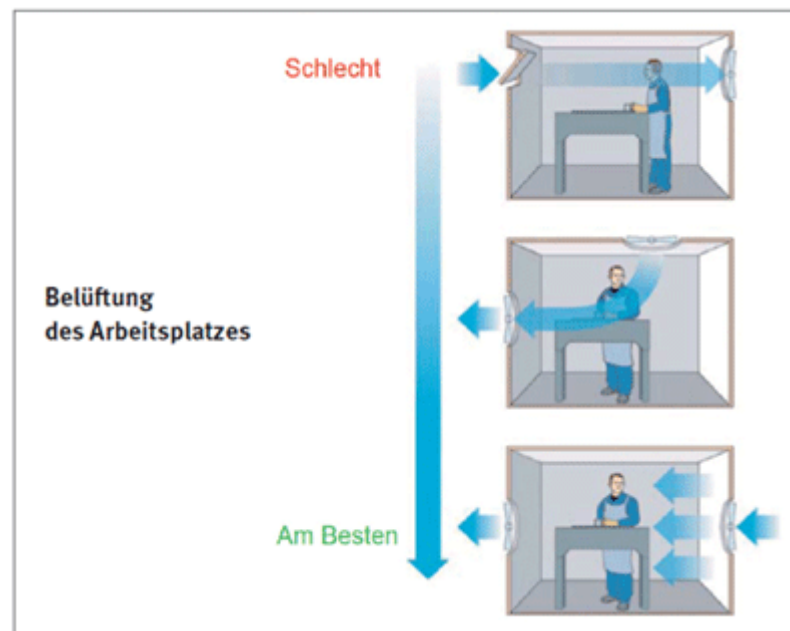
8.3.4 Diskontinuierliche ortsfeste Anlagen (Formschaumanlagen)

Diese Anlagen arbeiten im Allgemeinen nach dem Kreislaufprinzip. Die einzelnen Formen durchlaufen dabei folgende Abschnitte:

- Einfüllen der Reaktionsmischung
- Öffnen der Form
- Aufschäumen
- Entnehmen der Formteile
- Heizen (evtl. Heiztunnel)
- Vorbereiten der Form zum Einfüllen
- Kühlen
- Nacharbeiten der Formteile.

Um die in den einzelnen Abschnitten in Abhängigkeit von Arbeitsbedingungen und Dampfdruck austretenden Schadstoffe abzuführen, ist es zweckmäßig, hinter den Formen, gegenüber den Arbeitsplätzen, eine Flächenabsaugung anzubringen. Sie sollte so ausgeführt sein, dass auch oberhalb und unterhalb der Form abgesaugt werden kann.

Abbildung 6: Arbeitsplatzlüftung (oben ungünstig, unten gut)



In Abhängigkeit vom Isocyanat, insbesondere bei TDI, und in Abhängigkeit vom Endprodukt sind beim Einfüllen und beim Öffnen der Form erhöhte Isocyanatmissionen möglich, da das sich ausdehnende Reaktionsgemisch Luft aus der Form verdrängt. An diesen Stationen sind effektive Absauganlagen erforderlich. Gleiches trifft auch auf Anlagen zum Ausschäumen von Hohlräumen zu, z. B. bei der Herstellung von Kühlschränken, Kühltheken und Wohnmobilen.

Eine effektive Absauganlage ist auch bei Walkstationen notwendig, da beim Aufbrechen der Zellen verstärkt mit Emissionen von Gasen und Dämpfen zu rechnen ist.

8.3.5 Tätigkeiten auf Baustellen, handwerkliche Tätigkeiten

Ortsveränderliche Verschäumungsanlagen können in bestimmten Anwendungsfällen nicht mit Absauganlagen ausgerüstet werden. Beispiele sind Isolierungsarbeiten auf Baustellen, die Isolierung von Tanks, der Umgang mit Montageschaum aus Druckgasdosen und das Aufbringen von PU-Beschichtungsstoffen sowie das thermische Entfernen von Beschichtungsstoffen.

In diesen Fällen sind je nach den vorhandenen örtlichen und eventuell räumlichen Bedingungen zum Schutz der Beschäftigten Filtermasken oder von der Umgebungsluft unabhängige Atemschutzgeräte vorzusehen.

Filtermasken sollen nur für kurzzeitige Arbeiten Verwendung finden, da die Gebrauchsdauer begrenzt ist und die Schadstoffkonzentration maximal 1 Vol.-% betragen darf (Abschnitt 8.5.1).

Ungeeignet sind Filtermasken, soweit das PU-Reaktionsgemisch im Sprühverfahren verarbeitet wird und es zum Teil zu einer beträchtlichen Aerosolbildung kommen kann. Hierbei besteht die Gefahr der schnellen Verstopfung der Filter.

Bei Arbeiten im Freien und auf Baustellen darf auf Atemschutzmaßnahmen unter der Voraussetzung verzichtet werden, dass durch ausreichenden natürlichen Luftwechsel die Einhaltung der Luftgrenzwerte gesichert ist. Bei der Arbeit ist die Windrichtung zu berücksichtigen. Beim Einsatz von PU-Sprühschaumstoffsystemen sind besondere Regelungen der Systemhersteller zu beachten.

Um Unfälle durch den Zerknall von Druckgasdosen zu vermeiden, sind die Hinweise auf der Druckgasdose zu befolgen.

8.3.6 Umgang mit PU-Beschichtungsstoffen und PU-Klebstoffen

Beim Umgang mit PU-Beschichtungsstoffen und -lacken sowie mit isocyanathaltigen Klebstoffen sind wegen möglicher Isocyanat- und Lösemittelexpositionen effektive Be- und Entlüftungsmaßnahmen zu ergreifen.

Damit ist sicherzustellen, dass die Beschäftigten Gasen, Dämpfen und Aerosolen in gesundheitsgefährlicher Konzentration nicht ausgesetzt werden. Dies gilt unter anderem auch für das Abdunsten und Trocknen frisch lackierter Teile und für Arbeiten an Fassschmelzanlagen. Mit besonders hohen Schadstoffkonzentrationen ist beim Auftragen von Beschichtungsstoffen und Klebstoffen auf erhitzte Teile, beim Einbrennen sowie beim Verspritzen und Versprühen erwärmter isocyanathaltiger Zubereitungen zu rechnen. Bei diesen Arbeiten müssen in der Regel zusätzlich geeignete persönliche Schutzausrüstungen getragen werden.

Ist bei Beschichtungs- und Klebearbeiten in geringem Umfang mit Grenzwertüberschreitungen zu rechnen, genügt die Verwendung persönlicher Schutzausrüstungen.

Weitere Informationen enthält die BGI/GUV-I 5152 „Sicheres Arbeiten beim Herstellen von Beschichtungsstoffen“. (53)

8.3.7 Laboratorien

Arbeiten, bei denen Dämpfe, Stäube oder Aerosole (fest oder flüssig) von Isocyanaten, Aminen, Lösemitteln und anderen Gefahrstoffen in gefährlicher Konzentration oder Menge auftreten können, dürfen grundsätzlich nur in Abzügen durchgeführt werden. Die Frontschieber sind hierbei grundsätzlich soweit möglich geschlossen zu halten. (68)

Isocyanate der Kategorie 1 (z. B. TDI, HDI), die gesundheitsgefährliche Dämpfe abgeben, sind an dauerabgesaugten Orten aufzubewahren.

Weitere Einzelheiten enthält die BGI/GUV-I 850-0 „Sicheres Arbeiten in Laboratorien“. (50)

8.3.8 Arbeits- und Lagerräume

Räume, in denen mit Isocyanaten, Aminen, Lösemitteln und anderen Gefahrstoffen umgegangen wird, müssen gut durchlüftet sein. Gleiches gilt auch für Räume, in denen offenzellige Polyurethane, insbesondere Weichschäume, zur Ausgasung und Abkühlung gelagert werden. Reicht natürliche Lüftung nicht aus, so ist eine technische Lüftung erforderlich (Zu- und Abluft). Die Ablufführung ist derart zu gestalten, dass schadstoffhaltige Luft nicht durch den Atembereich der Beschäftigten geführt wird.

Das schnelle und sichere Verlassen der Räume muss durch Anzahl, Lage, Bauart und Zustand von Rettungswegen und Ausgängen gewährleistet sein.

Fußböden sollen gegen die verwendeten Stoffe beständig und, zur besseren Reinigung, dicht, fugenlos und nicht saugfähig sein. Der Ableitwiderstand von Fußböden in explosionsgefährdeten Bereichen (Zone 0 und 1) darf den Wert von 10^8 Ohm nicht überschreiten. (15)

Bei der baulichen Ausführung und bei der Ausrüstung von Lagerräumen ist die Technische Regel TRGS 510 „Lagerung von Gefahrstoffen in ortsbeweglichen Behältern“ zu beachten. Es sind beispielsweise Möglichkeiten

zum Auffangen auslaufender Gefahrstoffe, z. B. Wannen bzw. Gestaltung des Lagerraums als Auffangraum, zu realisieren. (27)

Unbefugte dürfen die Räume nicht betreten.

8.3.9 Umfüllen

Beispiele für sicheres Umfüllen von Flüssigkeiten sind im Merkblatt T 025 „Umfüllen von Flüssigkeiten“ der BG RCI zusammengestellt. (42)

Eine Gefährdung der Beschäftigten wird z. B. durch Umpumpen im geschlossenen System unter Anwendung des Gaspindelverfahrens vermieden. Gebräuchlich ist bei offenen Systemen auch die Verwendung eines Aktivkohlefilters an der Behälteröffnung. In diesem Fall muss bei der Entladung von MDI/TDI trockene Luft oder Stickstoff eingeleitet werden.

Alle Kupplungen müssen durch einen Blindflansch oder Schutzkappe sowie einer geeigneten Dichtung oder einem anderen gleichwertigen Schutzsystem (Trockenkupplung) geschützt sein. Mannlöcher von Tankcontainern und Tankzügen sollten einen Mindestdurchmesser von 450 mm und Scharnierbolzen haben. (95)

Zur Vermeidung falscher Tankbefüllungen (Gefahr unkontrollierter Reaktionen) sind entsprechende Maßnahmen zu treffen: (95)

- Unterschiedliche Anschlussysteme für Polyol und Isocyanat, z. B. Bajonettverschluss für Polyol, Flansche für Isocyanat (DIN EN 14420-6:2007-04, DIN EN 1092-1:2008-09). (77)(72)
- Farbliche Unterscheidung der Rohrleitungen, Schläuche und Aggregate zur Förderung von Isocyanaten und Polyol (Isocyanat: rot; Polyol: blau oder zu rot deutlich unterscheidbare Farbe).
- Räumliche Trennung der Lager- und Fördereinrichtungen für Isocyanate und Polyole.
- Tankcontainer und Tankzüge oben befüllen und entleeren über DN 50-Kugelhahn mit DN 50 4-Lochflansch (Dampfrückführung ebenfalls über DN 50 Kugelhahn mit DN 50 4-Lochflansch).
- Sicherstellen, dass das Fassungsvermögen der zu befüllenden Behälter ausreichend ist.
- Unterwahrung der Umfülleinrichtungen, um bei Leckagen austretende Gefahrstoffe aufzufangen.
- Fahrer des Fahrzeugs mit erfolgreich absolvierter MDI/TDI-Schulung.
- Ständige Überwachung des Umfüllvorgangs durch eine geeignete Person.

Abbildung 7: Unterschiedliche farbliche Kennzeichnung Isocyanat-Tank (rot) und Polyol-Tank (weiß)



8.3.10 Aufbewahren, Lagern, Transport

Isocyanate, Amine, Lösemittel und andere Gefahrstoffe sind unter Beachtung der einschlägigen Vorschriften und Technischen Regeln so aufzubewahren und zu lagern, dass Mensch und Umwelt nicht gefährdet werden.

Behälter, durch deren Form oder Kennzeichnung der Inhalt mit Lebensmitteln verwechselt werden kann, dürfen nicht zur Aufbewahrung und Lagerung verwendet werden. (16)

Hinsichtlich geeigneter Behältermaterialien siehe [Abschnitt 8.3.2](#). Zur Kennzeichnung von Behältern und Rohrleitungen siehe [Abschnitt 8.4.3](#).

Bei der Lagerung der Rohstoffe, insbesondere der Isocyanate, sind die in den Sicherheitsdatenblättern angegebenen Lagertemperaturen und Toleranzen einzuhalten. Werden Isocyanate in beheizten Behältern gelagert, muss die Heizungssteuerung ausfallsicher sein und beim Überschreiten der Maximaltemperatur Alarm geben. Fässer und Container sind vor Sonneneinstrahlung zu schützen.

Zum Umfüllen siehe [Abschnitt 8.3.9](#). Hinweise zur Handhabung von Fässern enthält das Fassmerkblatt T 005 (BGI 535). (65)

Ausführliche Hinweise enthalten die Merkblätter M 062 und M 063 der BG RCI. (63)

Den Transport von Gefahrstoffen auf öffentlichen Verkehrswegen regeln eine Reihe nationaler und internationaler verkehrsrechtlicher Vorschriften. Eine Übersicht enthält das Merkblatt A 013 „Transport gefährlicher Güter“ (BGI 671). (41)(56)

Die Durchführung vorgeschriebener Reinigungsmaßnahmen bei Tankfahrzeugen ist vor Ort nachzuweisen.

An Arbeitsplätzen dürfen Gefahrstoffe nur in Mengen vorhanden sein, die für den Fortgang der Arbeit erforderlich sind. (16)

8.3.11 Aufschmelzen und Erwärmen fester Isocyanate

Unabhängig von der Methode des Aufschmelzens ist sicherzustellen, dass die Fässer unbeschädigt, drucklos und fest verschlossen sind. Bei nicht fest verschlossenen Fässern kann nicht ausgeschlossen werden, dass Feuchtigkeit eingedrungen ist. Diese kann beim Erwärmen zu einer heftigen Reaktion führen.

Das Erwärmen in Fässern erfolgt entweder in gasdichten Fassschmelzanlagen oder in Wärmekammern (40–80 ° C).

Überhitzungen von Fässern, auch lokale Überhitzungen, sind zu vermeiden. Diese Gefahr besteht z. B. beim Einsatz von Fassheizhauben.

Das Beschicken der Fassschmelzanlagen und Öffnen der erwärmten Fässer darf nur unter Absaugung und mit geeigneter Schutzausrüstung erfolgen. Bei Arbeitsgängen, bei denen kurzfristig mit Überschreitung von Arbeitsplatzgrenzwerten zu rechnen ist, z. B. beim Wechseln einer Fasspumpe, muss zusätzlich Atemschutz getragen werden.

Weitere Informationen hierzu enthält [Abschnitt 8.5.1](#).

Abbildung 8: Fassschmelzanlage



8.3.12 Vernichten von Isocyanatresten, Reinigung und Entsorgung von Abfällen und Rückständen

Isocyanate und isocyanathaltige Stoffe können wie folgt vernichtet werden:

- Durch Umsetzen mit Vernichterlösung. Hierzu wird das Isocyanat langsam unter Rühren in einen Überschuss von Vernichterlösung I oder II gegeben. Nach ca. 48 Stunden ist die Umsetzung zu in Wasser unlöslichem Polyharnstoff abgeschlossen.
- Durch gezielte Umsetzung zu Polyurethan.

Diese Reaktionsprodukte, wie auch Isocyanate und isocyanathaltige Stoffe selbst, können unter Berücksichtigung der abfallrechtlichen Bestimmungen entsorgt werden.

Für das Vernichten und das Entsorgen isocyanathaltiger Abfälle sollte eine gesonderte Betriebsanweisung erstellt werden.

Bei der Vernichtung und Beseitigung isocyanathaltiger Abfälle sind persönliche Schutzausrüstungen zu tragen.

Verschüttete feste oder durch Abkühlen fest gewordene Isocyanate werden trocken aufgenommen und entweder wiederverwendet oder entsorgt. Lose Pulver- oder Staubreste sollten nicht aufgefegt, sondern mit einem zugelassenen Staubsauger aufgenommen werden. Die kontaminierten Flächen sind mit Vernichterlösung nachzubehandeln.

Abbildung 9: Für Stäube geeigneter Industriestaubsauger



Dünne Schichten verschütteter flüssiger Isocyanate können mit einer ausreichenden Menge mit Vernichterlösung angefeuchtetem Bindemittel (Sand, Sägespäne, PU-Mehl) vollständig abgedeckt, nach mehrmaligem mechanischen Durchmischen und weiterem Anfeuchten zur gleichmäßigen Benetzung aufgenommen und in metallische Abfallbehälter eingefüllt werden. Mit lose aufliegendem Deckel sollten die Behälter an einem für unbefugten Zutritt abgesperrten Ort im Freien bis zum merklichen Abklingen der exothermen Umsetzungsreaktionen unter regelmäßiger Beobachtung und ständigem Feuchthalten gelagert werden.

Die meist fest gewordene Masse ist unter Beachtung der abfallrechtlichen Bestimmungen zu vernichten.

Es werden vier Vernichterlösungen empfohlen:

- **Lösung I**
Wasser 90–95 Gew.-%
Ammoniak (conc.) 3–8 Gew.-%
flüssiges Netzmittel 0,2–0,5 Gew.-%
- **Lösung II**
Wasser 90–95 Gew.-%
Natriumcarbonat (Soda) 5–10 Gew.-%
flüssiges Netzmittel 0,2–0,5 Gew.-%
- **Lösung III**
Industrialkohol (Ethanol, Isopropanol, Butanol) 50 Gew.-%
Wasser 45 Gew.-%
Ammoniak (conc.) 5 Gew.-%
- **Lösung IV**
Wasser 89,9 Gew.-%
Natriumcarbonat 9 Gew.-%
Spülmittel 0,1 Gew.-%

Für die Reinigung von Maschinen und Anlagenteilen kann es erforderlich sein, diese zuerst zu spülen. Ansonsten können komplexe Aggregate durch die Bildung von Polyharnstoff erheblich beschädigt werden.

Achtung: Lösung III ist brennbar! Lösung I und III enthalten Ammoniak (ätzend (H314) und sehr giftig für Wasserorganismen (H400))! Wenn möglich, sollten die ammoniakhaltigen Vernichterlösungen nicht verwendet werden. Bei Verwendung der Vernichterlösungen I und III ist die Einhaltung des Arbeitsplatzgrenzwertes für Ammoniak sicherzustellen. Die Konzentrationsangaben sind dabei genau einzuhalten, da bei einer zu hohen Ammoniakkonzentration eine unkontrollierte Reaktion mit Isocyanat eintreten kann. Als Netzmittel können die üblichen Haushaltsspülmittel verwendet werden.

Abfälle und Rückstände, die weitere Gefahrstoffe, z. B. Amine und Lösemittel, enthalten, müssen sachgemäß beseitigt werden.

Restentleerte Fässer von isocyanathaltigen Produkten sollen mit den Vernichterlösungen I oder III behandelt werden, für die übrigen sind auch die Vernichterlösungen II und IV geeignet.

Da bei der Reaktion der isocyanathaltigen Reste mit den wässrigen Vernichterlösungen u. a. CO₂ entsteht, dürfen die Gebinde nicht fest verschlossen werden, da es andernfalls zu gefährlichem Druckaufbau in den Gebinden kommen kann. Nach Beendigung des Vorganges ist das Fass zu öffnen. Die Menge der Vernichterlösung muss mindestens der Restmenge Isocyanat entsprechen.

Die anderweitige Verwendung ungereinigter leerer Isocyanatfässer ist wegen der noch enthaltenen Restmengen und der damit verbundenen Gefahren nicht zulässig.

Auch gereinigte Fässer dürfen nicht zur Aufbewahrung von Nahrungs- und Genussmitteln verwendet werden.

Anlagenteile, Apparaturen und Einrichtungen, in denen mit Gefahrstoffen, z. B. Isocyanaten, Aminen und Lösemitteln umgegangen wird, sowie deren Umgebung sind so zu gestalten, dass sie leicht zu reinigen sind und möglichst selten von Hand gereinigt werden müssen. Für die Reinigung sind bevorzugt technische Maßnahmen zu treffen, z. B. Auskochen, Flüssigkeitsstrahler, Spülstutzen.

Beim Auskochen von Anlagenteilen ist darauf zu achten, dass primäre aromatische Amine freigesetzt werden können (hydrolytische Freisetzung). Die entstehende wässrige Lösung ist dann gesondert zu entsorgen.

Werden dazu organische Lösemittel verwendet, sind besondere Schutzmaßnahmen entsprechend der Sicherheitsdatenblätter der Hersteller zu treffen. Ferner ist sicherzustellen, dass mit der Reinigung beauftragte Personen umfassend über die mit dem Vorgang verbundenen Gefahren und welche Schutzmaßnahmen zu ergreifen sind, informiert werden. (62)

8.3.13 Recycling, Verwertung

Das Recycling von PU-Produkten aus vielen Anwendungsgebieten ist umfassend untersucht, eine Vielzahl von Verfahren ist entwickelt und teilweise in der Praxis erprobt. Die wichtigsten Methoden sind:

1. energetisches Recycling,
2. werkstoffliches Recycling (z. B. Flockenverbund bei Weichschaum, Klebpressen bei Hartschaum),
3. chemisches Recycling (Glykolyse bei Weichschaum, Elastomeren, RIM-Produkten, Automobilteilen).

Bei der Auswahl der Methode ist das Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz mit Verordnungen zu beachten.

8.3.14 Betriebliche Störungen, Notfälle

Bei allen auftretenden Notfällen ist als erste Schutzmaßnahme der Gefahrenbereich angemessen abzusperren sowie organisatorische Maßnahmen nach Abschnitt 8.4 zu treffen. In dem abgesperrten Bereich dürfen sich nur Personen aufhalten, die beauftragt sind, Störungen zu beheben und zu helfen.

Bei der Beseitigung der im Folgenden beschriebenen Störungen sind geeignete persönliche Schutzausrüstungen zu benutzen.

8.3.14.1 Druckaufbau in Gebinden (Fässer, Kannen)

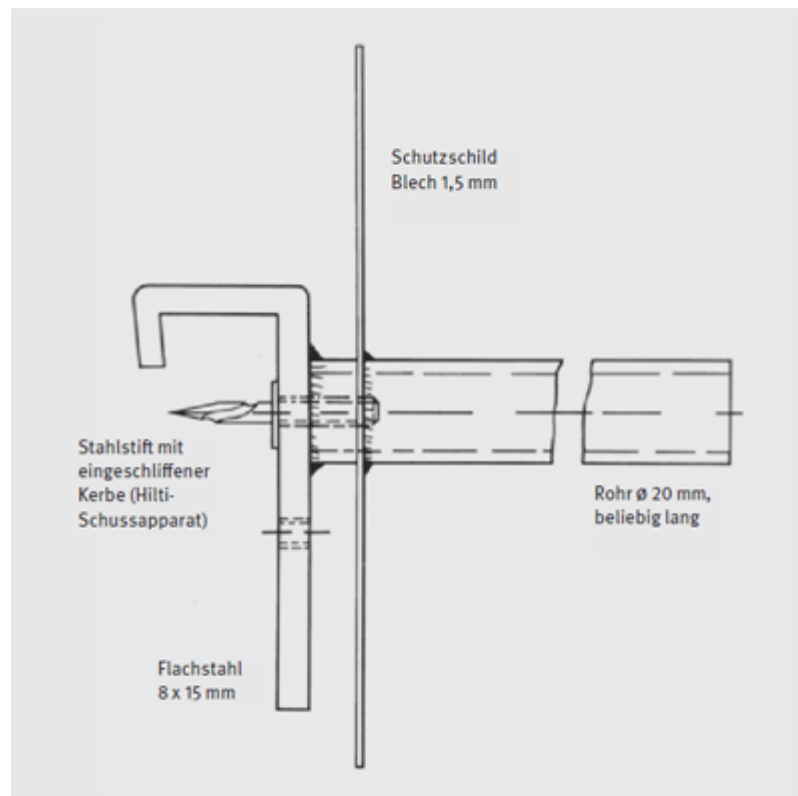
Durch Vorhandensein bzw. Eintritt von Wasser – auch schon in sehr geringen Mengen – und nachfolgender Bildung von Kohlendioxid kann sich in Isocyanatgebinden Druck aufbauen. Meist wird dies durch Bombierung der Behälter erkannt. Da nicht ohne weiteres feststellbar ist, ob direkte Berstgefahr besteht, sollte ein unter Druck stehendes Gebinde an seinem bisherigen Ort verbleiben.

Je nach Stärke der Ausbeulung ist zu entscheiden, mit welcher Maßnahme der Gebindedruck entspannt wird:

- durch Öffnen der Belüftungsöffnung des Gebindes oder
- durch Lochen des Gebindes mit einem geeigneten Werkzeug (siehe Abb. 10),

das Arbeiten aus Deckung bzw. sicherer Entfernung erlaubt. Sofern es sich um Isocyanate, gelöst in brennbaren Lösemitteln, handelt, sind Zündquellen im Arbeitsbereich strikt zu vermeiden.

Abbildung 10: Vorrichtung zum Anstechen von bombierten Gebinden



Vom Produktlieferanten sind im Einzelfall Empfehlungen zur Entsorgung einzuholen.

8.3.14.2 Undichte Isocyanatbehälter

Der Austritt von Isocyanat ist schnellstmöglich abzustellen.

Ausgelaufenes Isocyanat muss gemäß [Abschnitt 8.3.14.3](#) behandelt werden. Beschädigte Behälter können provisorisch abgedichtet werden, z. B. mit geeigneten Bandagen, bis der Inhalt in einen sauberen trockenen Behälter überführt werden kann. Beschädigte Fässer sollten in Überfässer gestellt werden. Bevor beschädigte Behälter verschrottet werden, müssen Isocyanatreste unschädlich gemacht werden ([Abschnitt 8.3.12](#)).

8.3.14.3 Maßnahmen bei Auslaufen von Isocyanat

Ob das Auslaufen von Isocyanat als leichter oder schwerwiegender Unfall zu bewerten ist, lässt sich nur von den Umständen des Ereignisses, von den spezifischen Eigenschaften des Isocyanats und den Folgen für die im betroffenen Bereich anwesenden Personen und die Umwelt ableiten.

Als Leitlinie kann gelten: Ein Auslaufen von Isocyanat mit großflächiger Ausbreitung ist, unabhängig von den Produkteigenschaften, immer als schwerwiegender Vorfall einzuordnen. Ebenso muss jegliches Auslaufen relativ flüchtiger Isocyanate (z. B. TDI, HDI), die bezüglich des Einatmens in Kategorie 1, akut toxisch, eingestuft sind, oder von erhitzten Isocyanat-Produkten, die eine rasche Überschreitung der für Arbeitsplatz gültige Grenzwerte mit sich bringen, als schwerwiegender Vorfall gewertet werden, und zwar sowohl im Freien als auch in Gebäuden.

Bei schwerwiegenden Fällen sollen die nicht betroffenen Beschäftigten den Bereich verlassen.

Das ausgelaufene Isocyanat ist möglichst einzudämmen und mit einem Adsorbens (kann auch Sand sein) zu bedecken. Der kontaminierte Bereich wird anschließend mit Vernichterlösung eingesprüht und gegebenenfalls mit einem Besen eingearbeitet, um die Reaktion zu beschleunigen. Nach der Reaktion wird die Mischung aus Bindemittel, Vernichterlösung, Reaktionsprodukten und möglichen Isocyanatresten in einen geeigneten Behälter überführt. Wenn die Reaktion abgeklungen ist, kann der Inhalt einer geregelten Entsorgung zugeführt werden.

8.3.14.4 Maßnahmen bei Auslaufen sonstiger Stoffe

Kleinere Mengen von Polyolen und Hilfsstoffen können mit geeigneten Bindemitteln aufgenommen werden.

Größere Mengen sind z. B. mit Sand einzudämmen und abzupumpen. Es ist darauf zu achten, dass die genannten Stoffe nicht in die Kanalisation gelangen.

Zu Hinweisen zur ordnungsgemäßen Abfallbeseitigung siehe [Abschnitte 8.3.12](#) und [8.3.13](#).

Bei der Beseitigung tertiärer Amine sind aufgrund deren hoher Flüchtigkeit besondere Maßnahmen, z. B. Körperschutz und Atemschutz umzusetzen. Die Informationen der Sicherheitsdatenblätter sind zu beachten.

8.4 Organisatorische Schutzmaßnahmen

8.4.1 Allgemeines

Tätigkeiten mit Isocyanaten dürfen nur von Beschäftigten durchgeführt werden, die dafür geeignet sind. Jugendliche unter 18 Jahren dürfen derartige Tätigkeiten nur zu Ausbildungszwecken durchführen, wenn die Aufsicht durch einen fachkundigen Beschäftigten gewährleistet ist und der Arbeitsplatzgrenzwert eingehalten wird. Mit toxischen Isocyanaten (Kategorie 1–3) dürfen sie alleine keine Tätigkeiten durchführen. werdende oder stillende Mütter dürfen Tätigkeiten mit Isocyanaten nicht durchführen, wenn die Gefahr der Entwicklung einer Allergie nicht ausgeschlossen werden kann (offener Umgang; Hautkontakt möglich). (34)(35)(36)

Isocyanate und die anderen bei der PU-Herstellung eingesetzten Gefahrstoffe sind in dem Verzeichnis der im Betrieb verwendeten Gefahrstoffe aufzuführen (Gefahrstoffverzeichnis oder Gefahrstoff-Kataster). An Angaben müssen darin enthalten sein: (16)

- Produktname, chemische Bezeichnung
- Einstufung oder Angabe der gefährlichen Eigenschaften
- Vorhandene Menge im Betrieb
- Arbeitsbereiche, in denen mit diesen Gefahrstoffen umgegangen wird.

Das Verzeichnis ist auf aktuellem Stand zu halten.

Die Beschäftigten müssen auf mögliche Gefährdungen beim Umgang mit Isocyanaten und weiteren bei der PU-Herstellung verwendeten Gefahrstoffen aufmerksam gemacht und über die zu treffenden Schutzmaßnahmen eingehend unterrichtet werden. Die Unterweisungen müssen vor der Beschäftigung und danach mindestens einmal jährlich mündlich und arbeitsplatzbezogen erfolgen. Inhalt und Zeitpunkt der Unterweisung sind schriftlich festzuhalten und von den Unterwiesenen durch Unterschrift zu bestätigen. Der Nachweis der Unterweisung ist zwei Jahre aufzubewahren. Grundlage für die Unterweisung ist die arbeitsbereichs- und stoffbezogene Betriebsanweisung nach § 14 Gefahrstoffverordnung. Sie muss genaue Angaben über die im Einzelfall für Mensch und Umwelt möglichen Gefahren sowie die zu deren Abwehr erforderlichen Schutzmaßnahmen und Verhaltensregeln enthalten. Auf die sachgerechte Entsorgung gefährlicher Abfälle, das Verhalten im Gefahrenfall

und Erste-Hilfe-Maßnahmen ist ebenfalls einzugehen. Die Betriebsanweisung ist in verständlicher Form abzufassen und an geeigneter Stelle in der Arbeitsstätte bekanntzumachen. Die Betriebsanweisung muss jederzeit von den Beschäftigten eingesehen werden können. (16)(28)(55)

Abbildung 11: Betriebsanweisung an einem Isocyanat-Tank



Es kann erforderlich sein, die Unterweisung durch praktische Vorführung einzelner Maßnahmen vor Ort und durch Einüben seitens der Beschäftigten unter sachkundiger Anleitung zu ergänzen, z. B. durch Anlegen von Schutzanzügen, von Atemschutzgeräten, durch Übungen für den Schadensfall und Feuerlöschübungen. Weiterhin kann eine eingehende Arbeits- und Sicherheitsabsprache vor Ort erforderlich sein. Sinnvoll ist auch eine Erfolgskontrolle, z. B. durch Beantworten eines arbeitsplatzbezogenen Fragebogens. (60)

Betriebsanweisungen und Unterweisungen sind auch erforderlich beim Umgang mit kraftbetriebenen Arbeitsmitteln, z. B. Extrudern und Farbwalzwerken.

Die Unternehmerin/der Unternehmer hat für die Arbeitsstätte einen Flucht- und Rettungsplan aufzustellen, wenn Lage, Ausdehnung und Art der Nutzung der Arbeitsstätte dies erfordern. Der Flucht- und Rettungsplan ist an geeigneter Stelle in der Arbeitsstätte bekannt zu machen. In angemessenen Zeitabständen ist nach diesem Plan zu üben, wie sich die Beschäftigten im Gefahr- oder Katastrophenfall in Sicherheit bringen oder gerettet werden können. (7)(10)

Für genehmigungspflichtige Anlagen, die der Störfall-Verordnung unterliegen, sind die nach Art und Ausmaß der möglichen Gefahren erforderlichen Vorkehrungen zu treffen, um Störfälle zu verhindern und Auswirkungen von Störfällen so gering wie möglich zu halten. In Abhängigkeit von der Anlagenart sind zusätzliche Bestimmungen, wie z. B. Erstellung eines betrieblichen Alarm- und Gefahrenabwehrplans, Erstellung und Fortschreibung einer Sicherheitsanalyse und die Benennung eines/einer Störfallbeauftragten zu beachten. (39)

Vergibt die Unternehmerin/der Unternehmer Arbeiten an andere Unternehmer/innen (Fremdunternehmen), muss die Unternehmerin/der Unternehmer die Fremdunternehmer/innen über mögliche Gefahren informieren, mit ihnen die erforderlichen Schutzmaßnahmen vereinbaren und im einzelnen schriftlich festlegen. In Abstimmung mit den Fremdunternehmer/innen ist schriftlich eine Koordinatorin/ein Koordinator zu bestellen, der Weisungsbefugnis gegenüber allen beteiligten Arbeitsgruppen hat. (5)(43)

Bei Wartungs- und Reparaturarbeiten sowie bei Tätigkeiten zur Störungsbeseitigung dürfen nur Beschäftigte eingesetzt werden, die über die möglichen Gefährdungen und die zu treffenden Schutzmaßnahmen geschult sind und diese Kenntnisse selbständig anwenden können.

Bei **hoher Gefährdung** sind die Notfall- und Entsorgungsmaßnahmen auf den Fall der Freisetzung größerer Mengen an Isocyanaten auszudehnen. Erforderlichenfalls sind Ersthelfer/innen oder technisches Personal mit geeigneten persönlichen Schutzausrüstungen (siehe [Abschnitt 8.5](#)) auszustatten. Alle zwei Jahre ist eine Sicherheitsübung durchzuführen, auszuwerten und zu dokumentieren.

Informationen zur Durchführung von Unterweisungen zum Thema dieses Merkblatts sind z. B. unter folgenden Links zu finden: www.isopa.org/walkthetalk/package1.htm; www.alipa.org/index.php?page=alipa-safeguard---we-care-thatyou-care. [\(95\)](#)[\(96\)](#)

8.4.2 Arbeitsmedizinische Vorsorge

Trotz technischer, organisatorischer und persönlicher Schutzmaßnahmen können Gesundheitsschäden oder Beeinträchtigungen durch Isocyanate (und weitere PU-Rohstoffe) nicht in allen Fällen ausgeschlossen werden.

Daher sind arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen erforderlich, um Beeinträchtigungen der Gesundheit rechtzeitig zu erkennen und ihnen vorbeugen zu können.

Gemäß des Anhangs Teil 1 Abs. 1 Punkt 2. der Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge (ArbMedVV) müssen bei Tätigkeiten mit Exposition gegenüber Isocyanaten, bei denen ein regelmäßiger Hautkontakt nicht vermieden werden kann oder eine Luftkonzentration von $0,05 \text{ mg/m}^3$ überschritten wird, arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen (Pflichtuntersuchungen) veranlasst werden. [\(6\)](#)

Die Ärztin/der Arzt hat die Untersuchungen unter Beachtung der dem Stand der Arbeitsmedizin entsprechenden Regeln und Erkenntnisse durchzuführen. Es wird aus diesem Grund die Anwendung des DGUV Grundsatzes für arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen G 27 „Isocyanate“ empfohlen. [\(82\)](#)

Nach dem DGUV Grundsatz G 27 soll eine Erstuntersuchung vor Beginn der Tätigkeit, eine erste Nachuntersuchung nach 3 bis 12 Monaten sowie weitere Nachuntersuchungen nach 12 bis 24 Monaten und bei Beendigung der Tätigkeit erfolgen. Vorzeitige Nachuntersuchungen sind auch nach schwerer oder längerer Erkrankung, nach ärztlichem Ermessen oder auf Wunsch des Beschäftigten unter bestimmten Umständen möglich.

Für Benutzer/innen von Atemschutzgeräten, für die arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchungen nach dem Grundsatz G 26 „Atemschutzgeräte“ zu veranlassen sind, müssen Tragzeitbegrenzungen gemäß Abschnitt 3.2.2 der BG-Regel „Benutzung von Atemschutzgeräten“ (BGR/GUV-R 190) eingehalten werden. Dies gilt nicht für gebläseunterstützte Atemschutzhauben. [\(82\)](#)[\(49\)](#)

Bei Vorliegen von Hautkontakt sind arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen entsprechend des Grundsatzes G 24 „Hauterkrankungen mit Ausnahme von Hautkrebs“ zu veranlassen. [\(82\)](#)

Arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen nach dem Grundsatz G 24 sind auch beim regelmäßigen Tragen von Schutzhandschuhen zu veranlassen (ArbMedVV Anh. Teil 1 Abs. 1 Punkt 2 „Feuchtarbeit von regelmäßig 4 Stunden oder mehr je Tag“) bzw. anzubieten (ArbMedVV Anh. Teil 1 Abs. 2 Punkt 2 „Feuchtarbeit von regelmäßig mehr als 2 Stunden je Tag“). [\(6\)](#)

Mit der Durchführung der arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchungen ist entweder eine Fachärztin/ein Facharzt für Arbeitsmedizin oder ein Arzt/eine Ärztin mit Zusatzbezeichnung „Betriebsmedizin“ zu beauftragen.

8.4.3 Kennzeichnungspflichten

Werden gefährliche Stoffe und Zubereitungen in den Verkehr gebracht oder verwendet, ist die Verpackung nach der Gefahrstoffverordnung bzw. CLP-Verordnung zu kennzeichnen. (16)(4)

Sichtbar verlegte Rohrleitungen sind in ausreichender Häufigkeit und gut sichtbar in unmittelbarer Nähe der gefahrträchtigen Stellen, z. B. Schieber, Anschlussstellen, zu kennzeichnen. Behälter sind eindeutig, deutlich erkennbar und dauerhaft zu kennzeichnen, wenn durch Inhalt, Temperatur oder durch Verwechseln Gefahren entstehen können.

Die Kennzeichnung, auch von Abfällen, regelt die TRGS 201 „Einstufung und Kennzeichnung bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen“. (18)

Aufgrund der langjährigen bewährten Praxis zur Vermeidung von Verwechslungen sind Anlagenteile, Rohrleitung, Schläuche usw. für Isocyanate rot und für Polyole blau bzw. in einer von rot deutlich zu unterscheidenden Farbe zu kennzeichnen.

Abbildung 12: Kennzeichnung Isocyanat-Leitung mit Angabe der Durchflussrichtung



8.4.4 Hygiene

Technische und organisatorische Maßnahmen sollen die Aufnahme gesundheitsgefährdender Stoffe verhindern, Hygienemaßnahmen sollen das unterstützen. Dazu sind vor Pausen und nach der Arbeit angemessene Hautreinigungs- und Hautschutzmaßnahmen gemäß Hautschutzplan durchzuführen. Empfehlungen dazu gibt das Merkblatt A 023 „Hand- und Hautschutz“ (BGI 540). (59)

Arbeitskleidung, Schutzkleidung und persönliche Schutzausrüstungen, die durch Isocyanate, Amine, Halogenalkane, Zinnverbindungen oder gebrauchsfertige Polyolzubereitungen verunreinigt sind, müssen sofort,

gegebenenfalls unter Benutzung von Atemschutz, gewechselt und gründlich gereinigt oder erforderlichenfalls vernichtet werden.

In Arbeitsräumen oder an Arbeitsplätzen, in bzw. an denen mit Isocyanaten und PU-Rohstoffen umgegangen wird, dürfen Beschäftigte Nahrungs- und Genussmittel weder aufbewahren noch zu sich nehmen. (16)

Es kann angebracht sein, getrennte Aufbewahrungsmöglichkeiten für Arbeitskleidung und private Kleidung zu schaffen.

8.5 Personenbezogene Schutzmaßnahmen

Wenn eine Gefährdung der Beschäftigten beim Umgang mit den oben genannten Stoffen, vor allem durch Isocyanate, durch technische Maßnahmen allein nicht ausgeschlossen werden kann, müssen geeignete persönliche Schutzausrüstungen zur Verfügung gestellt, in gebrauchsfertigem, hygienisch einwandfreiem Zustand gehalten und bei Bedarf benutzt werden. Das Tragen von Atemschutz und Vollschutzanzügen darf keine ständige Maßnahme sein. (16)

8.5.1 Atemschutz

Besteht die Gefahr des Einatmens von Isocyanaten oder weiteren bei der PU-Herstellung verwendeten Gefahrstoffen, sind geeignete Atemschutzgeräte bereitzustellen und zu benutzen. Die Bereitstellung und Benutzung muss erfolgen, wenn der Arbeitsplatzgrenzwert nicht eingehalten werden kann. Die Gefahr des Einatmens dieser Stoffe in gefährlichen Konzentrationen besteht z. B. bei der Beschichtung größerer Flächen, auch im Freien, häufig auch bei Arbeiten mit PU-Beschichtungsstoffen, sowie bei Probenahme, Reparaturarbeiten und bei unkontrollierten Betriebszuständen.

Folgende Atemschutzgeräte sind für den Umgang mit Isocyanaten geeignet:

- Isoliergeräte (unabhängig von der Umgebungsatmosphäre wirkend)
- Filtergeräte (abhängig von der Umgebungsatmosphäre wirkend)

Geeignete Filtergeräte sind:

- Nur Dämpfe: Gasfilter
 - Filtertyp A, Kennfarbe braun, oder auch
 - Filtertyp B, Kennfarbe grau
- Stäube und/oder Aerosole: Partikelfilter
 - Filterklasse P2 SL, Kennfarbe weiß
- Stäube, Aerosole und Dämpfe: Kombinationsfilter
 - A P2 SL, Kennfarbe braun/weiß, oder auch
 - B P2 SL, Kennfarbe grau/weiß

Bei hohen Konzentrationen giftiger Isocyanate in der Atemluft kann auch die Verwendung eines AP2- bzw. AP3-Filters angezeigt sein.

Die Herstellerangaben in den Sicherheitsdatenblättern sind zu berücksichtigen.

Es ist zu beachten, dass die Filter durch Aerosole schnell verstopfen können.

Die verwendeten Filter müssen spätestens nach Ablauf der vorgesehenen Tragezeit ersetzt werden.

Die Filtergeräte sind außerhalb der gefährdeten Bereiche, jedoch für die Beschäftigten schnell erreichbar, aufzubewahren.

In allen Fällen können auch Isoliergeräte (von der Umgebungsluft unabhängige Atemschutzgeräte) verwendet werden. Beim Vorliegen höherer Konzentrationen an Gefahrstoffen in der Umgebungsluft (hohe Gefährdung) oder wenn keine Kenntnisse über die Gefahrstoff- und Sauerstoffkonzentrationen vorliegen sind vorzugsweise Isoliergeräte zu verwenden. Isoliergeräte sind z. B. Schlauchgeräte und Pressluftatmer.

Bei Arbeiten mit PU-Beschichtungsstoffen in engen oder schlecht belüfteten Räumen, Tanks, Kesseln und anderen Behältern darf nur mit Isoliergeräten gearbeitet werden.

Alle Benutzer von Atemschutzgeräten, die unter die Tragezeitbegrenzung nach BG-Regel „Benutzung von Atemschutzgeräten“ (BGR/GUV-R 190) fallen, sind arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchungen nach dem Grundsatz G 26 zu unterziehen. (48)(82)

Für gebläseunterstützte Atemschutzhauben ist keine arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchung erforderlich; sie sind auch keinen Tragezeitbegrenzungen unterworfen. Deshalb sind derartige Geräte zu bevorzugen.

8.5.2 Augenschutz

Beim Umgang mit Isocyanaten und ihren Zubereitungen, mit Aminen, Halogenalkanen, zinnorganischen Verbindungen und gebrauchsfertigen Polyolzubereitungen muss ausreichender Augenschutz getragen werden. (50)

Das sind z. B. Gestellbrillen mit Seitenschutz (bei Überwachungstätigkeiten in Betrieb und Labor), Korbbrillen (wenn mit verspritzenden Flüssigkeiten zu rechnen ist, z. B. beim Beseitigen von Störungen mit MDI), Vollmasken (wenn augenschädigende Dämpfe oder Aerosole auftreten können, z. B. beim Beseitigen von Störungen mit TDI). (54)(95)

Schutzschirme sollten nur zusammen mit Gestellbrillen mit Seitenschutz oder Korbbrillen (vor allem bei Arbeiten über Kopf) getragen werden.

8.5.3 Körperschutz

8.5.3.1 Allgemeines

Zum Schutz des Gesichtes sind Schutzschirme und Vollmasken geeignet. In Abhängigkeit von dem Ausmaß der möglichen Gefährdung sind zusätzlich Schürzen, Stiefel und Vollschutzanzüge aus geeigneten Materialien zu tragen; Hinweise gibt die BG-Regel „Benutzung von Schutzkleidung“ (BGR 189). Es ist darauf zu achten, dass keine Schadstoffe in die Stiefel gelangen können. Arbeitskleidung, einschließlich der Unterwäsche, sollte wie beim Umgang mit anderen brennbaren Stoffen nicht aus Textilien bestehen, die im Brandfall ein gefährliches Schmelzverhalten zeigen können. (48)

8.5.3.2 Handschutz (51)(54)(59)

Isocyanate reagieren bei Hautkontakt mit Bestandteilen der Haut und führen so zu schlecht entfernbaren Verschmutzungen. Darüber hinaus können insbesondere durch HDI und IPDI Hautallergien hervorgerufen

werden. Deshalb sind beim Umgang mit Isocyanaten geeignete Schutzhandschuhe zu tragen, wenn Hautkontakt nicht sicher ausgeschlossen ist.

Die Reaktivität der Produkte sowie die mechanische Belastung bei der Ausübung der Tätigkeit sind bei der Testlegung der maximalen Tragezeit zu berücksichtigen.

Treten bei den Tätigkeiten mit Isocyanaten nur gelegentlich Spritzer auf oder muss nur mit kurzfristigem Hautkontakt gerechnet werden, können Handschuhe verwendet werden, deren Durchbruchzeit unter einer Stunde liegt.

Kontaminierte Handschuhe sind zu entsorgen.

In nachfolgender Tabelle sind geeignete Handschuhmaterialien für den Umgang mit verschiedenen Isocyanaten aufgeführt:

Tabelle 1: Für den Umgang mit bestimmten Isocyanaten geeignete Handschuhmaterialien

	Naturlatex	Polychloropren	Polyvinylchlorid	Nitrilkautschuk	Butylkautschuk	Fluorkautschuk
MDI	•	•	•	•	•	•
TDI					•	•
HDI					•	•
IPDI			•	•	•	•
H-MDI				•	•	•

Für Tätigkeiten mit festen PU-Produkten reichen in der Regel beschichtete Baumwollhandschuhe.

Bei lösemittelhaltigen Systemen hängt die Handschuhwahl wesentlich von der Art des Lösemittels ab.

Bei der Herstellung bzw. Verarbeitung heißer PU-Produkte sind thermisch beständige Arbeitshandschuhe zu verwenden (z. B. Lederhandschuhe beim Entnehmen heißer PU-Formteile).

Weitere Hinweise zu geeigneten Handschuhen sind den Sicherheitsdatenblättern der Hersteller zu entnehmen.

8.6 Brand- und Explosionsschutz

Bei der Herstellung, Verarbeitung und Lagerung von Polyurethan-Produkten sind Fragen des Brand- und Explosionsschutzes zu prüfen.

Wesentliche Vorschriften zum Brand- und Explosionsschutz sind z. B. zu finden in

- den Bauordnungen der Länder
- der Verordnung über Arbeitsstätten (7)(9)

- der TRGS 800 „Brandschutzmaßnahmen“ (30)
- der Betriebssicherheitsverordnung sowie Technischen Regeln zur BetrSichV (12)
- den Explosionsschutz-Regeln (BGR 104). (44)

8.6.1 Brandgefahr und Brandgase

Polyurethan-Produkte sind wie alle organischen Produkte brennbar. Darüber hinaus kann es bei der Fertigung von Weichschaumblöcken in seltenen Fällen zur Selbstentzündung kommen, insbesondere bei Überdosierung von Isocyanat oder von Wasser bzw. bei Erhöhung der Dicke von Hartschaumstoffteilen ohne vorherige Prüfung. Die Entzündung kann bis zu einigen Stunden nach dem Schäumen eintreten. Deshalb sollen frisch produzierte Blöcke bis zum deutlichen Rückgang der Reaktionstemperatur unter guter Belüftung und getrennt vom Schaumstoffblocklager aufbewahrt werden. Bei anderen Fertigungsmethoden besteht im Allgemeinen keine Selbstentzündungsgefahr. Brandgefahr besteht darüber hinaus beim Einsprühen von Formen mit Trennmitteln.

Die Schädlichkeit von Brandatmosphären wird bei allen Bränden durch eine Reihe von Faktoren bestimmt:

- heiße Brandgase,
- Sauerstoffmangel,
- sichtbehindernder Rauch,
- giftige Komponenten im Brandgas.

Bei der Verbrennung oder Verschmelzung von Polyurethan-Materialien entstehen – wie bei der Verbrennung jeder stickstoffhaltigen organischen Substanz, wie z. B. Holz und Wolle – sichtbare rußartige Spaltprodukte, Wasserdampf und Kohlendioxid sowie Kohlenmonoxid und stickstoffhaltige Verbindungen, darunter Stickstoffoxide und in Spuren Cyanwasserstoff sowie unter Umständen Isocyanatdämpfe. Enthalten Polyurethane halogen- und/oder phosphorhaltige Flammschutzmittel, so können auch in den Brandgasen Halogen- und/oder Phosphorverbindungen enthalten sein. (81)

Die Untersuchung von Brandopfern, auch bei PU-Bränden, hat gezeigt, dass gesundheitliche Effekte bis hin zum Tod, die nicht durch direkte Flammen- oder Hitzeeinwirkung verursacht werden, nahezu ausschließlich auf extrem hohe Konzentrationen von Kohlenmonoxid zurückzuführen sind.

8.6.2 Maßnahmen zum Schutz vor Bränden

- In feuergefährdeten Bereichen sollte die Brandlast so niedrig wie möglich gehalten werden, z. B. auch durch regelmäßiges Beseitigen von Staubablagerungen.
- Vermeidung von Zündquellen (z. B. offenes Feuer, Rauchverbot).
- Für den Brandfall ist ein Alarmplan aufzustellen.
- Feuerarbeiten nur mit schriftlicher Erlaubnis ausführen.

8.6.3 Brandbekämpfung

Zum Löschen von Bränden sind Feuerlöscheinrichtungen entsprechend der Art und Größe des Betriebes bereitzustellen und gebrauchsfertig zu halten. Geeignet sind: (9)

- Wasser im Sprühstrahl,
 - Pulver- und Schaumlöscher,
- daneben für kleinere Brände CO₂-Löscher.

Die Installation stationärer Löschanlagen ist im Einzelfall zu prüfen. Beim Einsatz von CO₂-Löschanlagen sind die Regeln für Sicherheit und Gesundheitsschutz beim Einsatz von CO₂-Feuerlöschanlagen zu beachten. (47)

Von Hand zu betätigende Feuerlöscheinrichtungen müssen jederzeit schnell und leicht zu erreichen sein.

Die Stellen, an denen sich Feuerlöscheinrichtungen befinden, sind deutlich und dauerhaft zu kennzeichnen, soweit die Feuerlöscheinrichtungen nicht automatisch oder zentral von Hand betätigt werden. (8)

Selbsttätige ortsfeste Feuerlöscheinrichtungen, bei deren Einsatz Gefahren für die Beschäftigten auftreten können, müssen mit selbsttätig wirkenden Warneinrichtungen ausgerüstet sein.

Eine ausreichende Zahl von Beschäftigten ist mit der Handhabung der Feuerlöscheinrichtungen vertraut zu machen.

Im Brandfall ist der Brandherd stets in Windrichtung zu bekämpfen, benachbarte Behälter bzw. Gebinde sind sofort mit Sprühwasser zu kühlen, wenn möglich aus der Gefahrenzone zu bringen.

Bei der Bekämpfung von Bränden sind in der Regel geeignete persönliche Schutzausrüstungen zu benutzen, z. B. von der Umgebungsatmosphäre unabhängig wirkende Atemschutzgeräte. Dies trifft insbesondere wegen der generell gegebenen Vergiftungsgefahr bei der Brandbekämpfung in geschlossenen Räumen zu.

8.6.4 Explosionsgefährdung

Bei der Beurteilung des Explosionsschutzes und der zu ergreifenden Maßnahmen wird vom bestimmungsgemäßen Betrieb der Anlage ausgegangen. Der Bruch einer Leitung z. B. fällt somit nicht unter dieses Kriterium.

Dämpfe von Isocyanaten sind zwar brennbar, bei Raumtemperaturen können sich aber keine explosionsfähigen Gemische bilden, da die Flammpunkte über 100 °C liegen. Dies gilt nicht für Aerosole.

Explosionsgefahr kann bestehen bei der Herstellung, Verwendung und Lagerung von Roh- und Hilfsstoffen sowie Polyurethan-Produkten, insbesondere durch

- die Verwendung leichtflüchtiger brennbarer Treib-, Spül- und Lösemittel oder Amine, (62)
- die Verwendung lösemittelhaltiger PU-Klebstoff- und PU-Lackkomponenten,
- die Verwendung von Trennmitteln (Lösungen oder Dispersionen von Wachsen in Wasser oder niedrig siedenden organischen Lösemitteln),
- die Entstehung von Sprühnebeln, Aerosolen, unabhängig vom Flammpunkt und
- PU-Feinstaubablagerungen bei der Nachbearbeitung, insbesondere von Hartschäumen.

Es ist zu ermitteln, ob eine explosionsfähige Atmosphäre in gefahrdrohender Menge entstehen kann.

Die Bereiche sind in Zonen einzuteilen. (14)

Die Beurteilung der Explosionsgefahr sowie die abgeleiteten Maßnahmen sind im Explosionsschutzdokument nach Betriebssicherheitsverordnung zu dokumentieren. Hinweise zur Ermittlung der Explosionsgefahr finden sich z. B. in den Explosionsschutz-Regeln (BGR 104). (12)(44)

8.6.5 Explosionsschutzmaßnahmen

Die Maßnahmen des Explosionsschutzes lassen sich in drei Gruppen aufteilen:

- die die Bildung von explosionsfähiger Atmosphäre verhindern (z. B. Arbeiten deutlich unterhalb des Flammpunkts durchführen oder Inertisieren) oder
- die Entzündung einer explosionsfähigen Atmosphäre sicher verhindern (Ausschluss sämtlicher Zündquellen, z. B. Vermeiden heißer Oberflächen, Funken und Flammen, Erdung) bzw.
- die Auswirkungen einer Explosion durch konstruktive Maßnahmen auf ein ungefährliches Maß verhindern.

Weitere Erläuterungen sind den Explosionsschutz-Regeln (BGR 104) zu entnehmen. (44)

8.6.6 Explosionsgefahr bei der Verwendung von Pentan und Lösemitteln

Bei Polyurethan-Systemen, in denen n-, iso- oder cyclo-Pentan als Treibmittel eingesetzt werden, werden die Treibmittel in der Regel separat als dritte Komponente geliefert. Nur in wenigen Anwendungen werden die jeweiligen Pentane den Polyolen vorher bis zu 10 % zugemischt. Pentan bzw. Pentan-Polyolgemische haben häufig Flammpunkte unter 21 °C und sind somit als extrem entzündbar oder leicht entzündbar einzustufen.

Bei der Verwendung von Pentan ist zu bedenken, dass Pentan-Luftgemische schwerer als Luft sind, sodass sie am Boden entlangkriechen und sich in Vertiefungen sammeln können. An kritischen Stellen sollten deshalb Gaswarnsensoren angebracht sein, die bei Erreichen einer Pentankonzentration von 20 % der unteren Explosionsgrenze Alarm geben und bei höheren Konzentrationen die Pentandosierung automatisch abschalten. Vorratsbehälter für Pentan oder pentanhaltige Gemische können z. B. auch mit Stickstoff inertisiert werden.

Untersuchungen an Hartschaumanlagen haben gezeigt, dass in der Regel nicht mehr als 5 % des eingesetzten Pentans bei der Produktion freigesetzt werden.

Bei halbhartem PU-Integralschäumen diffundiert das Pentan beim Lagern langsam aus den Schäumen heraus. Dabei ist die Emissionsrate in den ersten 48 Stunden am größten. Eine Lagerung bzw. Verpackung dieser Teile in verschlossenen, nicht belüftbaren Behältnissen oder in engen Räumen muss vermieden werden. In Lagern ist auf eine gute Be- und Entlüftung zu achten, gegebenenfalls ist das Lager an eine zentrale Absaugung anzuschließen.

Abbildung 13: Pentan-Dosierstation



Die hinsichtlich des Pentans gemachten Aussagen treffen im gleichen Maße auch auf die Verwendung leichtflüchtiger niedrig siedender Lösemittel in Spül- und Trennmitteln sowie in Klebstoffen und Lacken zu.

Generell ist davon auszugehen, dass bei Einhaltung des Arbeitsplatzgrenzwertes für die beschriebenen Komponenten zu keinem Zeitpunkt die untere Explosionsgrenze eines Gas-Luftgemisches erreicht werden kann.

8.6.7 Staubexplosionsgefahr

Beim Umgang mit Pulverlacken und bei der Nachbearbeitung von Polyurethan- Kunststoffen, insbesondere beim Sägen oder Schleifen von Hartschaum, entsteht Staub. Da nicht für alle Kunststoffstäube sicherheitstechnische Kennzahlen vorliegen, ist stets eine individuelle Untersuchung und Bewertung einer Kunststoffstaubprobe, z. B. Institut für Arbeitssicherheit (IFA) in St. Augustin vornehmen zu lassen. (91)

Grundsätzlich geht man davon aus, dass Staubexplosionsgefahr immer besteht bei Korngrößen $< 0,5$ mm.

Bei Mindestzündenergien < 5 mJ reicht Erdung aller Anlagenteile zur Vermeidung von Entzündungen durch elektrostatische Entladungen nicht aus.

Bei der Einhaltung des allgemeinen Staubgrenzwertes von 3 mg/m^3 ist nicht mit der Gefahr einer Staubexplosion zu rechnen. (31)

Als Zündquellen kommen bei Staubexplosionen vor allem elektrostatische Entladungen, mechanisch erzeugte Funken, Glimmnester und heiße Oberflächen in Betracht.

Zur Vermeidung von Staubexplosionen sind die Arbeitsräume sauber zu halten und Staubablagerungen auf Böden, Apparateilen usw. zu vermeiden bzw. regelmäßig zu entfernen. Abblasen mit Druckluft ist verboten.

Darüber hinaus sind die Schutzmaßnahmen der Explosionsschutz-Regeln zu beachten. (44)

8.7 Überprüfung der Schutzmaßnahmen

Die Beurteilung der Arbeitsplätze ist in angemessenen Zeitabständen, jedoch mindestens jährlich durchzuführen.

Die isocyanatführenden Behälter und Anlagenteile sind auf Beschädigungen und Leckagen zu prüfen. Das Ergebnis der Prüfung ist zu dokumentieren, festgestellte Mängel sind zu beseitigen.

Für die technischen Schutzmaßnahmen ist ein Prüf- und Wartungsplan festzulegen. Sicherheitseinrichtungen wie z. B. Absaugungen, Not-Aus-Systeme oder Einrichtungen zum Schutz vor Bränden und Explosionen sind vor deren Inbetriebnahme sowie in angemessenen Zeitabständen, in der Regel jedoch mindestens jährlich, zu prüfen. Das Ergebnis der Prüfung ist schriftlich zu dokumentieren.

Bei mittleren und hohen Gefährdungen sind Gefahrstoffmessungen nach TRGS 402 „Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen: Inhalative Exposition“ durchzuführen. (22)

Es ist festzulegen, nach welcher Einsatzzeit bzw. Tragedauer persönliche Schutzausrüstungen ersetzt werden muss und welche Wartungen und Funktionsprüfungen durchzuführen sind.

Die Beschäftigten haben die persönliche Schutzausrüstungen vor jeder Benutzung auf Mängel zu prüfen. (43)

9 Ausgewählte Beispiele für Gefährdungsbeurteilungen

Ein wesentlicher Aspekt der Gefährdungsermittlung ist die Informationsermittlung bezüglich der Eigenschaften der verwendeten Stoffe. Hierzu sind unter anderem die Sicherheitsdatenblätter der verwendeten Stoffe heranzuziehen.

Tätigkeiten dürfen nur dann ausgeübt werden, wenn sie im erweiterten Sicherheitsdatenblatt als „safe use“ ausgewiesen sind.

Im Rahmen der Stoffsicherheitsbewertung hat die Europäische Chemikalienagentur (ECHA) Verfahrenskategorien (PROC: Process categories) beschrieben und Empfehlungen zu Maßnahmen bei Tätigkeiten mit Isocyanaten gegeben. Die in den Verfahrenskategorien beschriebenen Maßnahmen sollen den sicheren Umgang mit Gefahrstoffen gewährleisten. (93)(94)

Bezüglich der Thematik „Gefahrstoffe“ sind folgende wesentlichen Gefährdungen relevant:

- Unkenntnis über die Eigenschaften von Gefahrstoffen
- Freisetzung von Gefahrstoffen in die Atmosphäre und Einatmen dieser Stoffe
- Hautkontakt zu Gefahrstoffen
- Unkontrollierte Reaktionen von Gefahrstoffen miteinander
- Bildung von explosionsfähiger Atmosphäre

Für die einzelnen Tätigkeiten und Arbeitsprozesse sind die nachfolgend aufgeführten Maßnahmen geeignet, die Gefährdung zu beseitigen bzw. zu minimieren.

Im Rahmen der durchzuführenden Gefährdungsbeurteilung sind die Schutzmaßnahmen zu beschreiben.

In den Abschnitten 9.1–9.9 sind mögliche Schutzmaßnahmen für einzelne Tätigkeiten beschrieben. Weitere Hinweise können den Sicherheitsdatenblättern entnommen werden.

9.1 Lagern und Bereitstellen von Rohstoffen, Umfüllen

Transfer von Stoffen oder Zubereitungen in Behälter mit Tätigkeiten wie z. B. Füllen, Abladen, Probenahme (PROC 8a, 8b, 9).

Maßnahmen:

- Verwendung geschlossener Behälter
- Umfüllen nach dem Gaspendelverfahren
- Ausschließen von Verwechslungen (Flansche und Schläuche eindeutig zuordnen und kennzeichnen)
- Verwenden von Überfüllsicherungen
- Gefahrstoffaustritt vermeiden
- Verwenden von Absaugeinrichtungen
- Vorhalten von Auffangeinrichtungen
- Ausgelaufene bzw. verschüttete Stoffe unverzüglich aufnehmen bzw. vernichten
- Bildung von gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre verhindern bzw. Zündquellen ausschließen
- Verwendung geeigneter persönlicher Schutzausrüstungen.

9.2 Mischen und Formulieren

Mischen oder Vermengen in Chargen zur Formulierung von Zubereitungen und Erzeugnissen in einem oder mehreren Schritten (PROC 4, 5).

Maßnahmen:

- Nach Erfordernis geschlossene Systeme verwenden
- Verspritzen von Stoffen vermeiden
- Absaugeinrichtungen verwenden
- Geeignete Mischköpfe verwenden
- Verwendung geeigneter persönlicher Schutzausrüstungen.

9.3 Geschlossene Herstellungsprozesse

Herstellen in geschlossenem kontinuierlichen bzw. diskontinuierlichen Verfahren ohne bzw. nur mit geringer Expositionsmöglichkeit (PROC 1, 2, 3).

Maßnahmen:

- Beim Öffnen des Prozesses Absaugeinrichtungen und geeignete persönliche Schutzausrüstungen verwenden
- Störungsbeseitigung unter Nutzung geeigneter persönlicher Schutzausrüstungen
- Unter Druck stehende Anlagen vor dem Öffnen sicher entlasten.

9.4 Offene Herstellungsprozesse

Tätigkeiten wie z. B. Sprühen, Auftragen durch Rollen oder Streichen bzw. Tauchen und Gießen (PROC 7, 10, 11, 13).

Maßnahmen:

- Nach Erfordernis Absaugeinrichtungen verwenden
- Räumliche Trennung von anderen Produktionsbereichen
- Verwenden energiearmer Beschichtungs-, Vernebelungs- und Tauchtechnologien
- Ausschließen von Zündquellen
- Verwenden geeigneter persönlicher Schutzausrüstungen.

9.5 Nachbearbeitung

Tätigkeiten wie z. B. manuelles Schneiden, Montieren (PROC 21).

Maßnahmen

- Verwenden geeigneter Absaugeinrichtungen, gegebenenfalls explosionsgeschützt
- Verwenden geeigneter Messer
- Verwenden geeigneter persönlicher Schutzausrüstungen
- Berücksichtigung ergonomischer Fragestellungen.

9.6 Abfallentsorgung

Transfer von Stoffen in Behälter (PROC 8a, 8b).

Maßnahmen:

- Vernichten nicht ausreagierter Isocyanate
- Verwenden geeigneter Absaugeinrichtungen
- Sammlung von Abfällen in geeigneten Behältnissen
- Behälter abdecken
- Verwenden geeigneter persönlicher Schutzausrüstungen.

9.7 Reinigung

Reinigen von Arbeitsgeräten (PROC 0a, 0b, 0c).

Maßnahmen:

- Absaugen entstehender Dämpfe
- Verwenden geeigneter persönlicher Schutzausrüstungen.

9.8 Qualitätssicherung/Laborarbeiten

Verwendung von Stoffen und Zubereitungen im Labor, Durchführung von Qualitätsprüfungen (PROC 15).

Maßnahmen:

- Durchführen der Arbeiten unter einem Abzug bei möglichst geschlossenem Frontschieber
- Minimieren der Gefahrstoffmenge (möglichst < 1 kg bzw. 1 Liter)
- Tragen der vorgeschriebenen persönlichen Schutzausrüstungen.

9.9 Wartungs- und Reparaturarbeiten

Maßnahmen:

- Soweit möglich, Absaugeinrichtungen verwenden
- Falls erforderlich Druckentlastung durchführen
- Behälter, Leitungen, Pumpen usw. vor dem Ausbau spülen und dekontaminieren
- Absperren und Kennzeichnen des Wartungs- und Reparaturbereichs bei möglicher Freisetzung von Isocyanaten
- Vor Wiederinbetriebnahme der Anlagen ordnungsgemäße Funktionstüchtigkeit prüfen
- Reaktion von Isocyanaten mit anderen Prozessmedien verhindern.

9.10 Beispiel Herstellung von Formschaumteilen als Dämmmaterial für die Kfz-Industrie

Allgemeines:

- Gefahrstoff : MDI < 50 %
- Sicherheitsdatenblatt: aktueller Stand (sollte nicht älter als 2 Jahre sein)

• Einstufung:  Signalwort „Gefahr“

- H-Sätze: 315, 317, 319, 332, 334, 335, 351, 373 (1)
- P-Sätze: 261, 280, 303+352, 305+351+338, 333+313, 342+311
- Arbeitsplatzgrenzwert: 0,05 mg/m³(TRGS 900)(31)
- Wassergefährdungsklasse: WGK 1 (schwach wassergefährdend) (42)
- Verwendung: Komponente B (Härter) bei der Herstellung von PU-Schaumstoff - formteilen
- Arbeitsbereich: Schäumerei
- Jahresverbrauch: 500 t

- Lagermenge: 50 t
- Mittlere Gefährdung Atemwege und Haut.

Gefährdungsbeurteilung nach Gefahrstoffverordnung:

- Ersatzstoffprüfung/Substitution: Wurde durchgeführt. Alternativ-Stoffe sind zurzeit nicht verfügbar. Eine Substitution ist nicht möglich.
- Ersatzverfahren: Nicht vorhanden
- Zusätzlicher Informationsbedarf: Nein
- Eintrag in das Gefahrstoffkataster: Erfolgt (Datum)
- Betriebsanweisung gemäß GefStoffV: Erstellt (aktuell, Datum)
- Technische Maßnahmen:
 - Kennzeichnung der Anlagen und Behälter ist erfolgt
 - Schäumenanlagen entsprechen dem Stand der Technik (weitgehend geschlossenes System)
 - Technische Lüftung vorhanden
 - Absaugung hinter den Formen vorhanden
- Organisatorische Maßnahmen:
 - regelmäßige Unterweisungen der Beschäftigten
 - Dokumentation der Unterweisungen
 - Aushang der Betriebsanweisung
 - Anweisung zum Geschlossenhalten von Gebinden
 - Entnommene Formteile auf dem abgesaugten Tisch einige Minuten verweilen lassen
 - Bereitstellen von Augendusche und Notdusche
 - Bereitstellen von geschlossenen Schutzbrillen und Schutzhandschuhen (NBR, Typ ...)
 - Ess- und Trinkverbot am Arbeitsplatz
 - Durchführung regelmäßiger Prüfungen der Anlagen
 - Erstellen eines Wartungsplans
 - Einhaltung des Arbeitsplatzgrenzwerts von $0,05 \text{ mg/m}^3$ wurde messtechnisch überprüft
 - Hautschutz- und Pflegemaßnahmen gemäß Hautschutzplan
 - Durchführen von arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchungen nach G 27 und G 24
- Persönliche Schutzausrüstungen
 - geschlossene Schutzbrille tragen
 - NBR-Schutzhandschuhe (Typ ...) tragen; täglicher Wechsel der Handschuhe
- Explosionsschutz: Nicht relevant (keine Bildung von explosionsfähiger Atmosphäre da keine Erwärmung über den Flammpunkt)
- Abfallentsorgung: Gemäß Anweisung „Abfallentsorgung Isocyanat“.

10 Erste Hilfe

10.1 Allgemeines

Alle Personen, die mit Isocyanaten umgehen, müssen über Erste-Hilfe-Maßnahmen unterrichtet sein und über das Verhalten bei Arbeitsunfällen unterwiesen werden. (43)

Die von den Berufsgenossenschaften anerkannten Anleitungen zur Ersten Hilfe sind entsprechend dem jeweiligen Gefährdungsgrad an geeigneten Stellen auszuhängen. (71)(69)

Über jede Erste-Hilfe-Leistung sind Aufzeichnungen zu führen, z. B. in einem Verbandbuch, und fünf Jahre lang aufzubewahren. (70)

Bei Verdacht auf eine Gesundheitsschädigung durch Isocyanate muss die/der Betroffene den Gefahrenbereich verlassen bzw. aus dem Gefahrenbereich gebracht werden. Die Helfer/innen haben sich dabei vor Kontakt mit Isocyanaten zu schützen (Atemschutz, Schutzhandschuhe usw.).

Ärztliche Hilfe ist unverzüglich zu veranlassen. Der Ärztin/Dem Arzt sind der chemische Stoff und die bereits durchgeführten Erste-Hilfe-Maßnahmen anzugeben.

Um wirksame Hilfe leisten zu können, kann eine Absprache zwischen Betrieb, Betriebsärztin/Betriebsarzt, Krankenhaus oder Rettungsdienst erforderlich sein.

Erste-Hilfe-Maßnahmen, die Gegenstand der Erste Hilfe-Ausbildung sind, wie „Stabile Seitenlage“, „Herz-Lungen-Wiederbelebung“, „Schockbekämpfung“ werden in diesem Merkblatt nicht angesprochen. (69)

Bei besonderen betrieblichen Gefährdungen z. B. infolge Einwirkens von Isocyanaten können zusätzliche Maßnahmen und Mittel der Ersten Hilfe notwendig sein.

Diese Maßnahmen verlangen von den Ersthelfer/innen bestimmte Kenntnisse und Fähigkeiten, die in der Grundausbildung nicht vermittelt werden.

Die Weiterbildung geeigneter Ersthelfer erfolgt insbesondere durch die Betriebsärztin/den Betriebsarzt entsprechend der im Einzelnen vorhandenen Stoffe.

10.2 Augen

- Auge unter Schutz des unverletzten Auges sofort ausgiebig (ca. 10 Minuten) bei geöffneten Augenlidern mit möglichst lauwarmen Wasser spülen
- Steriler Schutzverband
- Augenärztliche Behandlung

10.3 Atmungsorgane

- Verletzte unter Selbstschutz aus dem Gefahrenbereich bringen
- Bei Atemstillstand künstliche Beatmung nach Möglichkeit mit einer Atemhilfe (z. B. Beatmungsbeutel), auf jeden Fall Einatmen von Gefahrstoffen vermeiden
- Unmittelbar nach dem Unfall, auch bei fehlenden Krankheitszeichen, ein inhalatives Steroid (Dosieraerosol) einatmen lassen: Dosierung, Art der Anwendung und weitere Behandlung nach betriebsärztlicher Anordnung

- Bei Atemnot Sauerstoff inhalieren lassen
- Für Körperruhe sorgen, vor Wärmeverlust schützen
- Ärztliche Behandlung

10.4 Haut

- Verunreinigte Kleidung, auch Unterwäsche und Schuhe, sofort ausziehen, auf Selbstschutz achten
- Haut bevorzugt mit Reiniger auf Basis von Polyethylenglycol waschen oder mit viel warmem Wasser und Seife reinigen. Bei großflächiger Kontamination Notdusche verwenden
- Wunden keimfrei bedecken
- Für Körperruhe sorgen, vor Wärmeverlust schützen
- Ärztliche Behandlung

10.5 Verschlucken

- Sofortiges kräftiges Ausspülen des Mundes
- Wasser in kleinen Schlucken trinken lassen
- Für Körperruhe sorgen, vor Wärmeverlust schützen
- Ärztliche Behandlung

11 Hinweise für den Arzt

Bei Exposition gegen Isocyanate ist zu beachten, dass sich die Symptome unter Umständen im Verlauf einiger Stunden verstärken können.

Reizerscheinungen an Augen und Atemwegen sowie asthmatische Zustände werden symptomatisch therapiert.

Bei Hinweisen auf die Entstehung eines Lungenödems können klinische Überwachung, Röntgenthoraxkontrollen, Vitalographie, Beatmung und die Gabe von Sauerstoff und Glukokortikoiden, Bronchodilatoren, Antitussiva, Sedativa, Herzglykosiden und Antibiotika (Pneumonieprophylaxe) sinnvoll sein.

Anhang 1: Kenndaten

Die Kenndaten sind gegliedert in Tabellen zu

- Isocyanaten
- Katalysatoren

- Treibmittel
- sonstige Roh- und Hilfsstoffe

Physikalisch-chemische Kenndaten:

In die Tabellen wurden die physikalisch-chemischen Kenndaten aus gebräuchlichen Datenbanken und Nachschlagewerken übernommen. Lagen in diesen Nachschlagewerken keine Angaben vor, wurden – soweit vorhanden – Herstellerangaben eingesetzt (gelb unterlegt). (89)(90)(87)

Kenndaten aus Regelwerken:

In die Tabellen wurden die Daten aus gesetzlichen Regelwerken, z. B. Gefahrstoffverordnung mit Technischen Regelwerken für Gefahrstoffe, z. B. TRGS 900 und TRGS 430 verwendet. Aktuelle Herstellerangaben sind gelb unterlegt. (16)(31)(25)

Für die Herstellung von Zubereitungen bzw. Gemischen ist die Kennzeichnung gemäß Zubereitungs-Richtlinie (1999/45 EG) bzw. CLP-Verordnung (EG-Verordnung 1272/2008) vorzunehmen. (2)(1)

Tabelle 2a: Physikalische und chemische Kenndaten von Isocyanaten

	Diphenylmethan- 2,4'- diisocyanat 2,4'-MDI	Diphenylmethan- 2,2'- diisocyanat 2,2'-MDI	Diphenylmethan- 4,4'- diisocyanat 4,4'-MDI	MDI-Isomerenge- misch	Toluol-2,4-diiiso- cyanat 2,4-TDI
Summenformel	C ₁₅ H ₁₀ N ₂ O ₂	C ₁₅ H ₁₀ N ₂ O ₂	C ₁₅ H ₁₀ N ₂ O ₂	C ₁₅ H ₁₀ N ₂ O ₂	C ₉ H ₆ N ₂ O ₂
CAS-Nr.	5873-54-1	2536-05-2	101-68-8	26447-40-5	584-84-9
Molekularmasse [g/ mol]	250,26	250,26	250,26	250,26	174,16
Siedepunkt [°C]	154 (bei 1,3 mbar)	145 (bei 1,3 mbar)	196 (bei 7 mbar)		251
Schmelzpunkt [°C]	37	40	40		21
Dampfdruck bei 20 °C [hPa]	0,000014		0,000062		0,0134
Dichte [g/cm ³] bei 20 ° C	1,18 (bei 40 °C)	1,18 (bei 40 °C)	1,18 (bei 40 °C)		1,22
Dampfdichte bezogen auf Luft	8,64	8,64	8,5		6,02
Flammpunkt [°C] (geschlossener Tiegel)	195	> 160	196		127
Zündtemperatur [°C]	> 550			520	620
Explosionsgrenzen					
- uEG [Vol-%]			0,4		0,9
- uEG [g/cm ³]					64

-oEG [Vol-%]	9,5
oEG [g/cm ³]	685

	Toluol-2,6-diisocyanat 2,6-TDI	m-Tolyliden-diisocyanat m-TDI	Naphthylen-1,5-diisocyanat NDI	Hexamethylen-1,6-diisocyanat HDI	2,2,4-Trimethyl-1,6-hexadiylisocyanat 2,2,4-TMDI
Summenformel	C ₉ H ₆ N ₂ O ₂	C ₉ H ₆ N ₂ O ₂	C ₁₂ H ₆ N ₂ O ₂	C ₈ H ₆ N ₂ O ₂	C ₁₁ H ₁₈ N ₂ O ₂
CAS-Nr.	91-08-7	26471-62-5	3173-72-6	822-06-0	16938-22-0
Molekularmasse [g/mol]	174,16	174,16	210,19	168,20	210,28
Siedepunkt [°C]	129-133 (bei 1,3 mbar)	247	244 (bei 133 mbar)	Zersetzung ab 255 °C	149
Schmelzpunkt [°C]	18,3	12-14	126,9	-67	-80
Dampfdruck bei 20 °C [hPa]	0,02	< 0,03	0,000025	0,007	< 0,01
Dichte [g/cm ³] bei 20 °C	1,23	1,218	1,45	1,05	1,011
Dampfdichte bezogen auf Luft	6,02	6,02	7,26	5,81	7,26
Flammpunkt [°C] (geschlossener Tiegel)	127	132	192	130	148
Zündtemperatur [°C]		620	660	400	440
Explosionsgrenzen					
- uEG [Vol-%]	0,9	0,9 (bei 118 °C)		0,9	1,1
- uEG [g/cm ³]		65		64	

-oEG [Vol-%]	9,5		9,5	
oEG [g/cm ³]		9,5 (bei 150 °C)	688	676

	2,4,4-Trimethyl-1,6-hexadiylisocyanat 2,4,4-TMDI	1,3-Bis(1-iso-cyanato-1-methyl-ethyl)benzol m-TMXDI	Isophoron-diiisocyanat IPDI	4,4'-Methylen-dicyclohexyldiisocyanat H12MDI	2,5-Bis-isocyanato-methylbicyclo(2.2.1)heptan NBDI
Summenformel	C ₁₁ H ₁₈ N ₂ O ₂	C ₁₄ H ₁₆ N ₂ O ₂	C ₁₂ H ₁₈ N ₂ O ₂	C ₁₅ H ₂₂ N ₂ O ₂	C ₉ H ₁₀ N ₂ O ₂
CAS-Nr.	15646-96-5	2778-42-9	4098-71-9	5124-30-1	74091-64-8
Molekularmasse [g/mol]	210,28	244,3	222,29	262,35	178,19
Siedepunkt [°C]	149	292	303,7	> 300	
Schmelzpunkt [°C]	-80	-10	-60	19,5-21,5	
Dampfdruck bei 20 °C [hPa]	< 0,01	0,004 (bei 25 °C)	0,0004	0,000021	
Dichte [g/cm ³] bei 20 °C	1,01	1,07 (bei 25 °C)	1,06	1,2244	
Dampfdichte bezogen auf Luft	7,26	8,45	7,67	9,06	
Flammpunkt [°C] (geschlossener Tiegel)	< 148	153	155	ca. 200	
Zündtemperatur [°C]	440	> 450	430	415	
Explosionsgrenzen					
- uEG [Vol-%]	1,1		0,7		
- uEG [g/cm ³]			92		

4,5	416
-oEG [Vol-%]	oEG [g/cm ³]

Anmerkung zu Tabelle 2a:

Isocyanate weisen einen temperaturabhängigen Dampfdruck auf. In Abhängigkeit von der Temperatur steigt die Gleichgewichtskonzentration. Dies wird am Beispiel des 4,4'-MDI dargestellt:

Temperatur °C	Dampfdruck (hPa)	Dampfkonzentration (µg/m ³) (im geschlossenen System)
0	0,000028	3,1
20	0,000062	64

50	0,0025	2400
100	0,024	200000

Tabelle 2b: Kenndaten Isocyanate aus Regelwerken






	Diphenylmethan-2,4'-diisocyanat 2,4'-MDI	Diphenylmethan-2,2'-diisocyanat 2,2'-MDI	Diphenylmethan-4,4'-diisocyanat 4,4'-MDI	MDI-Isomerenmisch	Toluol-2,4-diiisocyanat 2,4-TDI
Index-Nummer	615-005- 00-9	615-005- 00-9	615-005- 00-9	615-005- 00-9	615-006- 00-4
EG-Nummer	227-534-91	219-799-4	202-966-0	247-714-0	209-544-5
AGW-Wert [mg/m ³]	0,05	0,05	0,05	0,05	0,035
Spitzenbegrenzung	1	1	1	1	1
Karzinogenität (Kategorie)	2	2	2	2	2
STOT wiederholte Exposition (Kategorie)	2	2	2	2	
STOT einmalige Exposition (Kategorie)	3	3	3	3	3
akute Toxizität (Kategorie)	4	4	4	4	2
Sensibilisierung Atemwege (Kategorie)	1	1	1	1	1
Sensibilisierung Haut (Kategorie)	1	1	1	1	1
Hautreizung (Kategorie)	2	2	2	2	2
Augenreizung (Kategorie)	2	2	2	2	2

GHS-Piktogramme		Gefahr	H351, H330, H319, H335, H315, H334, H317, H412
Signalwort	Gefahr	Gefahr	H351, H332, H373, H319, H335, H315, H334, H317
H-Sätze	H351, H332, H373, H319, H335, H315, H334, H317	Gefahr	H351, H332, H373, H319, H335, H315, H334, H317
		Gefahr	H351, H332, H373, H319, H335, H315, H334, H317
		Gefahr	H351, H332, H373, H319, H335, H315, H334, H317
		Gefahr	H351, H332, H373, H319, H335, H315, H334, H317

	Toluol-2,6-diisocyanat 2,6-TDI	m-Tolyliden-diisocyanat m-TDI	Naphthylen-1,5-diisocyanat NDI	Hexamethylen-1,6-diisocyanat HDI	2,2,4-Trimethyl-1,6-hexadiyldiisocyanat 2,2,4-TMDI
Index-Nummer	615-006-00-4	615-006-00-4	615-007-00-X	615-011-00-1	615-010-00-6
EG-Nummer	202-039-0	247-722-4	221-641-4	212-485-8	241-001-8
AGW-Wert [mg/m ³]	0,035	0,035	0,05	0,035	
Spitzenbegrenzung	1	1	1	1	
Karzinogenität (Kategorie)	2	2			
STOT wiederholte Exposition (Kategorie)					
STOT einmalige Exposition (Kategorie)	3	3	3	3	3
akute Toxizität (Kategorie)	2	2	4	3	3
Sensibilisierung Atemwege (Kategorie)	1	1	1	1	1
Sensibilisierung Haut (Kategorie)	1	1		1	
Hautreizung (Kategorie)	2	2	2	2	2
Augenreizung (Kategorie)	2	2	2	2	2

GHS-Piktogramme		Gefahr	H331, H319, H335, H315, H334
Signalwort	Gefahr	Gefahr	H331, H319, H335, H315, H334, H317
H-Sätze	H351, H330, H319, H335, H315, H334, H317, H412	Gefahr	H332, H319, H335, H315, H334, H412
		Gefahr	H351, H330, H319, H335, H315, H334, H317, H412
		Gefahr	H351, H330, H319, H335, H315, H334, H317, H412

	2,4,4-Trimethyl-1,6-hexa diylisocyanat 2,4,4-TMDI	1,3-Bis(1-isocyanato-1-methylethyl)-benzol m-TMXDI	Isophoron-diisocyanat IPDI	4,4'-Methylen-dicyclohexyldiisocyanat H12MDI	2,5-Bis-isocyanato-methylbicyclo(2.2.1)heptan NBDI
Index-Nummer	615-010- 00-6		615-008-00-5	615-009-00-0	615-029-00-X
EG-Nummer	239-714-4	220-474-4	223-861-6	225-863-2	411-280-2
AGW-Wert [mg/m ³]			0,046	0,054	0,045
Spitzenbegrenzung			1		
Karzinogenität (Kategorie)					
STOT wiederholte Exposition (Kategorie)					
STOT einmalige Exposition (Kategorie)	3	3	3	3	
akute Toxizität (Kategorie)	3	1	3	3	3
Sensibilisierung Atemwege (Kategorie)	1	1	1	1	1
Sensibilisierung Haut (Kategorie)		1	1	1	1
Hautreizung (Kategorie)	2	2	2	2	1B
Augenreizung (Kategorie)	2	2	2	2	1B

	Gefahr	H330, H302, H314, H334, H317, H412
	Gefahr	H331, H319, H335, H315, H334, H317
	Gefahr	H331, H319, H335, H315, H334, H317, H411
	Gefahr	H315, H317, H319, H330, H334, H335, H400
	Gefahr	H331, H319, H335, H315, H334
GHS-Piktogramme	Signalwort	H-Sätze

Anmerkung zu Tabelle 2b:

H-Sätze:

- H302 Gesundheitsschädlich bei Verschlucken
- H314 Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden
- H315 Verursacht Hautreizungen
- H317 Kann allergische Hautreaktionen verursachen
- H319 Verursacht schwere Augenreizung
- H330 Lebensgefahr bei Einatmen
- H331 Giftig bei Einatmen
- H332 Gesundheitsschädlich bei Einatmen

- H334 Kann bei Einatmen Allergie, asthmaartige Symptome oder Atembeschwerden verursachen
- H335 Kann die Atemwege reizen
- H351 Kann vermutlich Krebs erzeugen
- H373 Kann die Organe schädigen bei längerer oder wiederholter Exposition
- H400 Sehr giftig für Wasserorganismen
- H411 Giftig für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung
- H412 Schädlich für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung

Tabelle 3a: Physikalische und chemische Kenndaten von Katalysatoren

	2-(Dimethyl- amino)ethanol	4-Methylmorpho- lin	1,4-Diazabicyclo (2.2.2)octan	Cyclohexyl(di- methylamin	Benzyl-dimethyl- amin	Dibutylzinn-dilau- rat	Zinn-dioctoat
Summenformel	C ₄ H ₁₁ NO	C ₅ H ₁₁ NO	C ₆ H ₁₂ N ₂	C ₈ H ₁₇ N	C ₉ H ₁₃ N	C ₃₂ H ₆₄ O ₄ Sn	C ₁₆ H ₃₀ O ₄ Sn
CAS-Nr.	108-01-0	109-02-4	280-57-9	98-94-2	103-83-3	77-58-7	301-10-0
Molekularmasse [g/ mol]	89,14	101,15	112,18	127,23	135,21	631,55	405,11
Siedepunkt [°C]	131	116	174	161	181	> 250	> 400
Schmelzpunkt [°C]	< -40	-66	159,8	< -60	-75	< -10	9
Dampfdruck bei 20 °C [hPa]	39,9 (bei 50 °C)	30	3	3,6	2,4	< 0,1	< 0,1
Dichte [g/cm ³] bei 20 ° C	0,89	0,91	1,14 (bei 25 °C)	0,85	0,9	1,05	1,25
Dampfdichte bezogen auf Luft	3,03	3,49		4,39	4,66	21,8	13,99
Flammpunkt [°C] (geschl. Tiegel)	31	13	62,2	40	55	149	> 200
Zündtemperatur [°C]	220	165	350	215	410	> 200	> 200
Explosionsgrenzen							
- uEG [Vol-%]	1,6	2,2		0,8			
- uEG [g/cm ³]	59,3			61			

								7	
									370
								11,8	
								11,9	
									441,8
- oEG [Vol-%]									
- oEG [g/cm ³]									

Tabelle 3b: Kenndaten Katalysatoren aus Regelwerken

	2-(Dimethylamino)ethanol	4-Methylmorpholin	1,4-Diazabicyclo (2.2.2)octan	Cyclohexyl(methylamin	Benzylidimethylamin	Dibutylzinnlaurat	Zinndioctoat
Index-Nummer	603-047-00-0	203-640-0	205-999-9	202-715-5	612-074-00-7	201-039-8	206-108-6
EG-Nummer	203-542-8				203-149-1		2
Reproduktionstoxizität (Kat.)							
STOT wiederholte Exposition (Kat.)						2	
akute Toxizität (Kategorie)	3	4	4	3	4	3	
Hautreizung (Kategorie)	1B	1B	2	1B	1B	2	
Sensibilisierung Haut (Kategorie)							1
Augenreizung (Kategorie)			2			2	1
GHS-Piktogramme							
Signalwort	Gefahr	Gefahr	Gefahr	Gefahr	Gefahr	Gefahr	Gefahr
H-Sätze	H226 H331 H312	H225 H302 H312	H228 H302 H315	H226 H332 H311	H226 H302 H312	H301 H373 H315	H317 H318

H361d
H319 H410
H332 H314 H412
H301 H314 H290
H319 H412
H314
H302 H314

Anmerkung zu Tabelle 3b:

H-Sätze:

- H225 Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar
- H226 Flüssigkeit und Dampf entzündbar
- H228 Entzündbarer Feststoff
- H290 Kann gegenüber Metallen korrosiv sein

- H301 Giftig bei Verschlucken
- H302 Gesundheitsschädlich bei Verschlucken
- H311 Giftig bei Hautkontakt
- H312 Gesundheitsschädlich bei Hautkontakt
- H314 Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden
- H315 Verursacht Hautreizungen
- H317 Kann allergische Hautreaktionen verursachen.
- H318 Verursacht schwere Augenschäden
- H319 Verursacht schwere Augenreizung
- H331 Giftig bei Einatmen
- H332 Gesundheitsschädlich bei Einatmen
- H361d Kann vermutlich das Kind im Mutterleib schädigen
- H410 Sehr giftig für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung
- H412 Schädlich für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung

Tabelle 4a: Physikalische und chemische Kenndaten von Treibmitteln

	n-Pentan	Cyclopentan	1,1-Dichlor-1-fluor-ethan (R141b)	Chlordifluormethan (R22)	1,1,1,2-Tetrafluor-ethan (R134a)	Kohlendioxid	Dimethylether
Summenformel	C ₅ H ₁₂	C ₅ H ₁₀	C ₂ H ₃ C ₂ F	CHClF ₂	C ₂ H ₂ F ₄	CO ₂	C ₂ H ₆ O
CAS-Nr.	109-66-0	287-92-3	1717-00-6	75-45-6	811-97-2	124-38-9	115-10-6
Molekularmasse [g/mol]	72,15	70,13	116,95	86,47	102,04	44,01	46,07
Siedepunkt [°C]	36	49	32	-40,85	-26,1	-78,5 (Sublimation)	-24,82
Schmelzpunkt [°C]	-129,7	-94	103,5	-157,3	-101		-141,5
Dampfdruck bei 20 °C [hPa]	562	346	648	9081	2 bar (bei -10 °C)	57,258 bar	5,102 bar
Dichte [g/cm ³] bei 20 °C	0,62638	0,74	1,25 (bei 10 °C)	3,9357 kg/m ³ (0 °C, 1013 mbar)	1,21 (bei 25 °C)	1,9767 kg/m ³ (0 °C, 1013 mbar)	2,1146 kg/m ³ (0 °C, 1013 mbar)
Dampfdichte bezogen auf Luft	2,49	2,42	4,04	3,0	3,52	1,5289	1,63
Flammpunkt [°C] (geschl. Tiegel)	-49	-51					-42,2
Zündtemperatur [°C]	260	320	532	635	> 750		240
Explosionsgrenzen							
- uEG [Vol-%]	1,4	1,5	5,6				2,7
- uEG [g/cm ³]	41		360				51

- oEG [Vol-%]	7,8	8,7	17,7				32
- oEG [g/cm ³]	235		863				610

Tabelle 4b: Kenndaten Treibmittel aus Regelwerken

	n-Pentan	Cyclopentan	1,1-Dichlor-1-fluor-ethan (R141b)	Chlordifluor-methan (R22)	1,1,1,2-Tetrafluor-ethan (R134a)	Kohlendioxid	Dimethylether
Index-Nummer	601-006-00-1	601-030-00-2	602-084-00-X				603-019-00-8
EG-Nummer	203- 692-4	206- 016-6	404- 080-1	200- 871-0	212- 377-0	204- 696-9	204- 065-8
AGW-Wert [mg/m ³]	3000			3600	4200	9100	1900
Spitzenbegrenzung	2					2	
STOT einmalige Exposition (Kat.)	3						
Aspirationsgefahr	1						
GHS-Piktogramme							
Signalwort	Gefahr	Gefahr	Achtung	Achtung	Achtung	Achtung	Gefahr
H-Sätze	H225 H336 H304 H411 EUH066	H225 H412	H412 H420	H280 H420	H280	H280	H220 H280

Anmerkung zu Tabelle 4b:

H-Sätze:

- H220 Extrem entzündbares Gas
- H225 Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar
- H280 Enthält Gas unter Druck; kann bei Erwärmung explodieren
- H304 Kann bei Verschlucken und Eindringen in die Atemweg tödlich sein

- H336 Kann Schläfrigkeit und Benommenheit verursachen
- H411 Giftig für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung
- H412 Schädlich für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung
- H420 Schädigt die öffentliche Gesundheit und die Umwelt durch Ozonabbau in der äußeren Atmosphäre
- EUH066 Wiederholter Kontakt kann zu spröder oder rissiger Haut führen

Tabelle 5a: Physikalische und chemische Kenndaten von sonstigen Roh- und Hilfsstoffen

	1,2-Ethandiol	1,4-Butandiol	Glycerin	Diethylmethylbenzoldiamin	Diethylenglykol	2,2'-Dichlor-4,4'-methylendianilin
Summenformel	C ₂ H ₆ O ₂	C ₄ H ₁₀ O ₂	C ₃ H ₈ O ₃	C ₁₁ H ₁₈ N ₂	C ₄ H ₁₀ O ₃	C ₁₃ H ₁₂ Cl ₂ N ₂
CAS-Nr.	107-21-1	110-63-4	56-81-5	68479-98-1	111-46-6	101-14-4
Molekularmasse [g/mol]	62,07	90,12	92,09	178,28	106,12	267,16
Siedepunkt [°C]	197	230	Zersetzung ab 290 °C	> 300	244	> 140
Schmelzpunkt [°C]	-16	20	18	-32	-6	110
Dampfdruck bei 20 °C [hPa]	0,053	< 0,1	0,00121 (bei 40 °C)	< 1	0,03	< 0,000013 (bei 25 °C)
Dichte [g/cm ³] bei 20 °C	1,11	1,02	1,26	1,02	1,12	1,44
Dampfdichte bezogen auf Luft	2,14	3,1	3,17	1,01	3,66	
Flammpunkt [°C] (geschl. Tiegel)	111	130	191	> 130	140	113
Zündtemperatur [°C]	410	370	400	430	355	> 200
Explosionsgrenzen						
- uEG [Vol-%]	3,2	1,8	2,6		1,7	
- uEG [g/cm ³]	80	67	99		75	

-oEG [Vol-%]	43	15,7	11,3	37	
-oEG [g/cm ³]	1090	585	435	1635	

Tabelle 5b: Kenndaten sonstiger Roh- und Hilfsstoffe aus Regelwerken


	1,2-Ethandiol	1,4-Butandiol	Glycerin	Diethylmethylbenzoldiamin	Diethylenglykol	2,2'-Dichlor-4,4'-methylendianilin
Index-Nummer	603-027-00-1			612-130-00-0	603-140-00-6	612-078-00-9
EG-Nummer	203-473-3	203-786-5	200-289-5	270-877-4	203-872-2	202-918-9
AGW-Wert [mg/m ³]	26	200			44	
Spitzenbegrenzung	2	4			4	
Karzinogenität (Kategorie)						1B
STOT wiederholte Exposition (Kat.)				2		
Akute Toxizität (Kategorie)	4	4		4	4	4
Augenreizung (Kategorie)				2		
GHS-Piktogramme						
Signalwort	Achtung	Achtung		Achtung	Achtung	Gefahr
H-Sätze	H302	H302		H312, H302, H373, H319, H410	H302	H350, H302, H410

Anmerkung zu Tabelle 5b:

H-Sätze:

- H302 Gesundheitsschädlich bei Verschlucken
- H312 Gesundheitsschädlich bei Hautkontakt
- H319 Verursacht schwere Augenreizung
- H350 Kann Krebs erzeugen
- H373 Kann die Organe schädigen bei längerer oder wiederholter Exposition
- H410 Sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung

Anhang 2: **Beispiel Betriebsanweisung 4,4'-Isocyanat**

Dieser Betriebsanweisungsentwurf muss noch betriebsspezifisch ergänzt werden!	
(Firma)	BETRIEBSANWEISUNGSENTWURF
Nr.: Stand: 17.07.2013 Unterschrift:	
gilt für: (Betrieb, Gebäude, Arbeitsplatz, Tätigkeit)	
GEFAHRSTOFFBEZEICHNUNG	
4,4'-MDI	
GEFAHREN FÜR MENSCH UND UMWELT	
 <p style="text-align: center; font-weight: bold;">GEFAHR</p>	<p>Gesundheitsschädlich bei Einatmen. (H332) Verursacht Hautreizungen. (H315) Kann allergische Hautreaktionen verursachen. (H317) Verursacht schwere Augenreizung. (H319) Kann bei Einatmen Allergie, asthmaartige Symptome oder Atembeschwerden verursachen. (H334) Kann die Atemwege reizen. (H335) Kann vermutlich Krebs verursachen. (H351) Kann die Organe schädigen bei längerer oder wiederholter Exposition. (H373)</p> <p>Die im Folgenden aufgeführten Gefahren und Maßnahmen beziehen sich auf den monomeren Feststoff.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Einatmen, Verschlucken oder Hautkontakt kann zu Gesundheitsschäden führen. Reizt Atemwege, Augen, Magen-Darm-Trakt und Haut. Vorübergehend Husten, Kopfschmerzen, Übelkeit möglich. Kann Fieber, Bronchialasthma verursachen. Kann zu Allergien führen. Personen mit MDI-Allergie sollten keinen Kontakt mit diesem Stoff haben. Krebs erzeugende Wirkung von MDI in Form atembare/verneblungsängiger Aerosole wird vermutet! - Gefahr durch Ansammlung explosionsfähiger Atmosphäre in Bodennähe bei Erwärmung! Reagiert unter heftiger Wärmeentwicklung z.B. mit Wasser, Säuren, Alkalien, Alkoholen, primären und sekundären Aminen sowie Ammoniak. Bei der Reaktion entsteht Kohlendioxid; Berstgefahr durch Druckaufbau in geschlossenen Behältern! Polymerisiert unter heftiger Wärmeentwicklung bei erhöhten Temperaturen sowie bei Kontakt mit tertiären Aminen und organischen Zinnverbindungen. Bei unkontrollierter Reaktion besteht Explosionsgefahr. - Gefährliche Reaktionen am Arbeitsplatz sind möglich mit: - Eindringen in Boden, Gewässer und Kanalisation vermeiden!
SCHUTZMASSNAHMEN UND VERHALTENSREGELN	
<ul style="list-style-type: none"> - Bei Stäuben, Dämpfen oder Nebeln Absaugung einschalten und in ihrem Wirkungsbereich arbeiten. Arbeitsbereiche arbeitstäglich reinigen. Gefäße nicht offen stehen lassen! Beim Ab- und Umfüllen bzw. beim Mischen Staubeentwicklung vermeiden. Vor dem Aufschmelzen des kristallisierten Stoffes überprüfen, dass Fässer unbeschädigt, drucklos und fest verschlossen sind, erst dann den Verschluss lösen. Beim Aufschmelzen und Erwärmen Überhitzen von Fässern, z.B. beim Einsatz von Fassheizhauben vermeiden. Erwärmte Fässer nur unter Absaugung mit Schutzausrüstung öffnen, siehe "Persönliche Schutzmaßnahmen". Reaktionsfähige Stoffe fern halten bzw. nur kontrolliert zugeben. Räumliche Trennung sowie Kennzeichnung der Arbeitsplätze - Aufenthalt nur soweit notwendig. Arbeitsgeräte einsetzen, die Hautkontakt verhindern oder verringern. - Erwärmung vermeiden, sonst Brand- und Explosionsgefahr. - Nicht Essen, Trinken, Rauchen oder Schnupfen. Berührung mit Augen, Haut und Kleidung vermeiden! Einatmen von Stäuben vermeiden! Einatmen von Dämpfen und Aerosolen vermeiden! Nach Arbeitsende und vor jeder Pause Hände und andere verschmutzte Körperstellen gründlich reinigen. Hauptpflegemittel verwenden! Vorbeugend Hautschutzsalbe auftragen, um die Hautreinigung zu erleichtern. Produktreste sofort von der Haut entfernen. <p>nen, Haut schonend reinigen und sorgfältig abtrocknen. Keinen Arm- oder Handschmuck tragen. Kontaminierte Arbeitskleidung im Betrieb lassen. Straßenkleidung getrennt von Arbeitskleidung aufbewahren! Verschmutzte Arbeitskleidung sofort wechseln. Separate Putzlappen und Reinigungstücher für Haut und Maschinen oder Geräte verwenden.</p> <p>- Beschäftigungsbeschränkungen beachten!</p> <p>Vorratsmenge am Arbeitsplatz:</p> <p>Augenschutz: Bei Überwachungsstätigkeit: Gestellbrille mit Seitenschutz! Bei Staubeentwicklung oder Spritzgefahr: Korbbrille. Handschutz: Handschuhe aus: ... (Bitte wählen Sie aus dem GHS-Chem-Datenblatt oder anderen Ihnen vorliegenden Informationen unter Berücksichtigung der Tätigkeit einen geeigneten Schutzhandschuh aus und geben diesen hier an.) Beim Tragen von Schutzhandschuhen sind Baumwollunterziehhandschuhe empfehlenswert! Tragezeit von Schutzhandschuhen beachten! Bei längerfristigem Tragen von Schutzhandschuhen: spezielle Hautschutzmittel vor der Arbeit verwenden.</p> <p>Atemschutz: Kombinationsfilter A-P2 (braun/weiß) oder Kombinationsfilter B-P2 (grau/weiß). Körperschutz: Bei Spritzverfahren: Vollschutzanzug und Kunststofftiefl!</p>	
VERHALTEN IM GEFAHRFALL	
<ul style="list-style-type: none"> - Gefahrenbereich räumen und absperren, Vorgesetzten informieren. - Bei der Beseitigung von ausgelaufenem/verschüttetem Produkt immer Schutzbrille, Handschuhe sowie bei größeren Mengen Atemschutz tragen. Ausgelaufenes oder verschüttetes Produkt sofort mit Schaum überdecken, anschließend mit feuchtem Absorbionsmittel (z.B. Sand, Erde, Kieselgur, Sägespäne, PUR-Mehl) eindämmen und abdecken. Abgedecktes Material mit Vermichterlösung (9 Teile Wasser, 1 Teil Soda (Natriumcarbonat), 0,1 Teil Spülmittel) übergießen und diese mindestens 30 min. einwirken lassen! Dabei gut durchmischen und mit Wasser feuchthalten. Anschließend in einen offenen Behälter geben und lose abdecken, nicht verschließen (Berstgefahr!); nach 2 Tagen Ablagerung auf geordneter Deponie möglich. Schadenstelle mit viel Wasser oder Vermichterlösung nachwaschen! - Produkt ist brennbar. Entstehungsbrand: Tragbaren Feuerlöscher einsetzen. Nicht zu verwenden: Wasser im Vollstrahl! Bei Anwendung von Kohlendioxid als Löschmittel für Feststoffe besteht Rückzündungsgefahr. Bei Brand entstehen gefährliche Dämpfe (z.B. Kohlenmonoxid, Kohlendioxid, Stickoxide und in Spuren Cyanwasserstoff)! Bei Brand in der Umgebung verschlossene Behälter und Gebinde mit Sprühwasser kühlen, eindringendes Wasser führt zu Gasbildung; Berstgefahr! Brandbekämpfung nur mit persönlichen Schutzausrüstungen! - Alarm-, Flucht- und Rettungspläne beachten. Feuerwehr alarmieren. <p>Zuständiger Arzt: Unfalltelefon:</p>	
ERSTE HILFE	
<p>Bei jeder Erste-Hilfe-Maßnahme: Auf Selbstschutz achten, ärztliche Behandlung. Lebensrettende Sofortmaßnahmen, wie 'Stabile Seitenlage', 'Herz-Lungen-Wiederbelebung', 'Schockbekämpfung' müssen situationsabhängig durchgeführt werden. Wunden keimfrei bedecken. Für Körperruhe sorgen, vor Wärmeverlust schützen.</p> <p>Nach Augenkontakt: Sofort unter Schutz des unverletzten Auges ausgiebig (ca. 10 Minuten) bei geöffneten Lidern mit Wasser spülen. Nach Hautkontakt: Verunreinigte Kleidung, auch Unterwäsche und Schuhe, sofort ausziehen. Mit viel Wasser und Seife reinigen. Nach Einatmen: Verletzten aus dem Gefahrenbereich bringen. Frischluftzufuhr durch Einatmen von frischer Luft oder Beatmung. Beatmungshilfen benutzen (Selbstschutz). Sofort, auch bei fehlenden Krankheitszeichen, ein Dosieraerosol (inhalatives Steroid) einatmen lassen. Nach Verschlucken: Sofortiges kräftiges Ausspülen des Mundes. Wasser in kleinen Schlucken trinken lassen. Ersthelfer:</p>	
SACHGERECHTE ENTSORGUNG	
<p>Nicht in Aussaug oder Mülltonne schütten! Ausgehärtete Kunststoffabfälle sammeln: Verpackungen mit ausgehärteten Restinhalten/Stoff/Produkt-Abfälle zur Entsorgung sammeln in: Verunreinigtes Aufsaugmaterial und Putzlappen sammeln in: Verpackungen mit Restinhalten:</p>	

Literaturverzeichnis

Verbindliche Rechtsnormen sind Gesetze, Verordnungen und der Normtext von Unfallverhütungsvorschriften. Abweichungen sind nur mit einer Genehmigung der zuständigen Behörde bzw. des zuständigen Unfallversicherungsträgers (z. B. Berufsgenossenschaft) erlaubt. Voraussetzung für die Erteilung einer Ausnahme ist, dass die Ersatzmaßnahme ein mindestens ebenso hohes Sicherheitsniveau gewährleistet.

Keine verbindlichen Rechtsnormen sind Technische Regeln zu Verordnungen, Durchführungsanweisungen von Unfallverhütungsvorschriften, BG-Regeln, BG-Informationen, Merkblätter, DIN-/VDE-Normen. Sie gelten als wichtige Bewertungsmaßstäbe und Regeln der Technik, von denen abgewichen werden kann, wenn die gleiche Sicherheit auf andere Weise erreicht wird.

Fundstellen im Internet

Die Merkblattreihen der BG RCI sowie ein umfangreicher Teil des staatlichen und berufsgenossenschaftlichen Vorschriften- und Regelwerkes (rund 1 750 Titel) sind im Kompendium Arbeitsschutz der BG RCI verfügbar. Die Nutzung des Kompendiums im Internet ist kostenpflichtig. Ein kostenfreier, zeitlich begrenzter Probezugang wird angeboten. Weitere Informationen unter www.kompendium-as.de.

Zahlreiche aktuelle Informationen bietet die Homepage der BG RCI unter www.bgrci.de/praevention.

Detaillinformationen zu Schriften und Medien der BG RCI sowie Bestellung siehe medienshop.bgrci.de.

Ausgewählte Anhänge und Vordrucke aus Merkblättern und BG-Regeln sowie ergänzende Arbeitshilfen werden im Downloadcenter Prävention unter downloadcenter.bgrci.de zur Verfügung gestellt.

Aktuelle Unfallverhütungsvorschriften, BG-Regeln, BG-Grundsätze und viele BG-Informationen sind auf der Homepage der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) unter publikationen.dguv.de zu finden.

Nachstehend sind die im Zusammenhang mit diesem Merkblatt insbesondere zu beachtenden einschlägigen Vorschriften, Regeln und andere Schriften zusammengestellt.

1. Veröffentlichungen der Europäischen Gemeinschaften im Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften

Volltext unter eur-lex.europa.eu/de/index.htm

- (1) 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, zur Änderung und Aufhebung der Richtlinien 67/548/EWG und 1999/45/EG und zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006, zuletzt geändert durch Verordnung (EU) Nr. 517/2013
- (2) Richtlinie 1999/45/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 31. Mai 1999 zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten für die Einstufung, Verpackung und Kennzeichnung gefährlicher Zubereitungen, zuletzt geändert durch Richtlinie 2013/21/EU
- (3) Richtlinie 67/548/EWG vom 27. Juni 1967 zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften für die Einstufung, Verpackung und Kennzeichnung gefährlicher Stoffe mit Anpassungs- und Änderungsrichtlinien, zuletzt geändert durch Richtlinie 2013/21/EU

- (4) Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Dezember 2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH), zur Schaffung einer Europäischen Chemikalienagentur, zur Änderung der Richtlinie 1999/45/EG und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 1488/94 der Kommission, der Richtlinie 76/769/EWG des Rates sowie der Richtlinien 91/155/EWG, 93/67/EWG, 93/105/EG und 2000/21/EG der Kommission, zuletzt geändert durch Verordnung (EU) Nr. 517/2013

2. Gesetze, Verordnungen, Technische Regeln

Bezugsquelle: Buchhandel

Freier Download unter www.gesetze-im-internet.de (Gesetze und Verordnungen) bzw. www.baua.de (Technische Regeln)

- (5) Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit (Arbeitsschutzgesetz – ArbSchG)
- (6) Verordnung zur Arbeitsmedizinischen Vorsorge (ArbMedVV) mit Arbeitsmedizinischen Regeln (AMR)
- (7) Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung – ArbStättV) mit Technischen Regeln für Arbeitsstätten (ASR):
- (8) ASR A1.3: Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnung
- (9) ASR A2.2: Maßnahmen gegen Brände
- (10) ASR A2.3: Fluchtwege und Notausgänge, Flucht- und Rettungsplan
- (11) ASR A3.6 Lüftung
- (12) Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Bereitstellung von Arbeitsmitteln und deren Benutzung bei der Arbeit, über Sicherheit beim Betrieb überwachungsbedürftiger Anlagen und über die Organisation des betrieblichen Arbeitsschutzes (Betriebssicherheitsverordnung – BetrSichV)
- (13) TRBS 2152 Teil 1: Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre – Beurteilung der Explosionsgefahren
- (14) TRBS 2152 Teil 2/TRGS 722: Vermeidung oder Einschränkung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre
- (15) TRBS 2153: Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen
- (16) Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (Gefahrstoffverordnung – GefStoffV) mit Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS), insbesondere
- (17) TRGS 200: Einstufung und Kennzeichnung von Stoffen, Zubereitungen und Erzeugnissen
- (18) TRGS 201: Einstufung und Kennzeichnung bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen
- (19) Bekanntmachung 220: Sicherheitsdatenblatt

- (20) TRGS 400: Gefährdungsbeurteilung für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen
- (21) TRGS 401: Gefährdung durch Hautkontakt – Ermittlung, Beurteilung, Maßnahmen
- (22) TRGS 402: Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen: Inhalative Exposition
- (23) Bekanntmachung 409: Nutzung der REACH-Informationen für den Arbeitsschutz
- (24) TRGS 420: Verfahrens- und stoffspezifische Kriterien (VSK) für die Gefährdungsbeurteilung
- (25) TRGS 430: Isocyanate Gefährdungsbeurteilung und Schutzmaßnahmen
- (26) TRGS 500: Schutzmaßnahmen
- (27) TRGS 510: Lagerung von Gefahrstoffen in ortsbeweglichen Behältern
- (28) TRGS 555: Betriebsanweisung und Information der Beschäftigten
- (29) TRGS 600: Substitution
- (30) TRGS 800: Brandschutzmaßnahmen
- (31) TRGS 900: Arbeitsplatzgrenzwerte
- (32) TRGS 905: Verzeichnis krebserzeugender, erbgutverändernder oder fortpflanzungsgefährdender Stoffe
- (33) Berufskrankheiten-Verordnung (BKV)
- (34) Gesetz zum Schutz der arbeitenden Jugend (Jugendarbeitsschutzgesetz JArbSchG)
- (35) Gesetz zum Schutze der erwerbstätigen Mutter (Mutterschutzgesetz MuSchG)
- (36) Verordnung zum Schutze der Mütter am Arbeitsplatz (MuSchArbV)
- (37) Gesetz zum Schutz vor gefährlichen Stoffen (Chemikaliengesetz ChemG)
- (38) Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG)
- (39) Zwölfte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Störfall-Verordnung – 12. BImSchV)
- (40) Gesetz über die Bereitstellung von Produkten auf dem Markt (Produktsicherheitsgesetz – ProdSG)

- (41) Verordnung über die innerstaatliche und grenzüberschreitende Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße, mit Eisenbahnen und auf Binnengewässern (Gefahrgutverordnung Straße, Eisenbahn und Binnenschifffahrt GGVSEB)
- (42) Wasserhaushaltsgesetz (WHG) mit zugehörigen Verordnungen

3. Berufsgenossenschaftliche Unfallverhütungsvorschriften, Regeln, Grundsätze, Informationen und Merkblätter

Bezugsquellen: Jedermann-Verlag GmbH, Postfach 10 31 40, 69021 Heidelberg und Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie, Postfach 10 14 80, 69004 Heidelberg, medienshop.bgrci.de
Mitgliedsbetriebe der BG RCI können die folgenden Schriften (bis zur nächsten Bezugsquellenangabe) bei der BG RCI in einer der Betriebsgröße angemessenen Anzahl kostenlos beziehen.

- (43) Unfallverhütungsvorschrift: Grundsätze der Prävention (BGV A1)

Bezugsquellen: E&B engelhardt und bauer Druck und Verlag GmbH, Niederlassung Rhein-Neckar, Roßlauer Weg 5, 68309 Mannheim und Max Dorn Presse GmbH & Co. KG, Georg-Kerschensteiner-Straße 6, 63179 Obertshausen
Freier Download unter publikationen.dguv.de

- (44) BG-Regel: Explosionsschutz-Regeln (EX-RL) (BGR 104)

Bezugsquelle: Max Dorn Presse GmbH & Co. KG, Georg-Kerschensteiner-Straße 6, 63179 Obertshausen
Freier Download unter publikationen.dguv.de

- (45) BG-Regel: Arbeitsplatzlüftung Lufttechnische Maßnahmen (BGR 121)

- (47) BG-Regel: Einsatz von Feuerlöschanlagen mit sauerstoffverdrängenden Gasen (BGR 134)

- (48) BG-Regel: Benutzung von Schutzkleidung (BGR 189)

- (49) BG-Regel: Benutzung von Atemschutzgeräten (BGR/GUV-R 190)

- (50) BG-Regel: Benutzung von Augen- und Gesichtsschutz (BGR 192)

- (51) BG-Regel: Benutzung von Schutzhandschuhen (BGR 195)

Bezugsquellen: Jedermann-Verlag GmbH, Postfach 10 31 40, 69021 Heidelberg und Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie, Postfach 10 14 80, 69004 Heidelberg, medienshop.bgrci.de
Mitgliedsbetriebe der BG RCI können die folgenden Schriften (bis zur nächsten Bezugsquellenangabe) bei der BG RCI in einer der Betriebsgröße angemessenen Anzahl kostenlos beziehen.

- (52) Sicheres Arbeiten in Laboratorien (BGI/GUV-I 850-0)

- (53) Sicheres Arbeiten beim Herstellen von Beschichtungsstoffen (BGI/GUV-I 5152)

- (54) Merkblatt A 008: Persönliche Schutzausrüstungen
 - (55) Merkblatt A 010: Betriebsanweisungen für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen (BGI 566)
 - (56) Merkblatt A 013: Transport gefährlicher Güter (BGI 671)
 - (57) Merkblatt A 016: Gefährdungsbeurteilung Sieben Schritte zum Ziel (BGI 570)
 - (58) Merkblatt A 017: Gefährdungsbeurteilung Gefährdungskatalog (BGI 571)
 - (59) Merkblatt A 023: Hand- und Hautschutz (BGI 540)
 - (60) Merkblatt A 026: Unterweisung: Gefährdungsorientierte Handlungshilfe (BGI/GUV-I 8697)
 - (61) Merkblatt A 030: Unfallbeispiele aus der Praxis Foliensätze aufgearbeiteter Arbeitsunfälle als Unterweisungshilfe auf CD-ROM
 - (62) Merkblatt M 017: Lösemittel (BGI 621)
 - (63) Merkblatt M 062: Lagerung von Gefahrstoffen
Merkblatt M 063: Lagerung von Gefahrstoffen Häufig gestellte Fragen
 - (64) Merkblatt T 002: Schlauchleitungen Sicherer Einsatz mit Gefährdungskatalog (BGI 572)
 - (65) Merkblatt T 005: Fassmerkblatt: Umgang mit entleerten gebrauchten Gebinden (BGI 535)
 - (66) Merkblatt T 025: Umfüllen von Flüssigkeiten
 - (67) Merkblatt T 026: Probenahme Flüssigkeiten (BGI 640)
 - (68) Merkblatt T 032: Laborabzüge Bauarten und sicherer Betrieb (BGI 850-2)
- Bezugsquelle: Max Dorn Presse GmbH & Co. KG, Georg-Kerschensteiner-Straße 6, 63179 Obertshausen
Freier Download unter publikationen.dguv.de
- (69) BG-Information: Anleitung zur Ersten Hilfe (BGI/GUV-I 503)
 - (70) BG-Information: Erste Hilfe im Betrieb (BGI/GUV-I 509)
 - (71) Plakat: Erste Hilfe (BGI/GUV-I 510)

4. Normen

Bezugsquelle: Beuth-Verlag GmbH, Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin, www.beuth.de

- (72) DIN EN 1092-1: Flansche und ihre Verbindungen Runde Flansche für Rohre, Armaturen, Formstücke und Zubehörteile, nach PN bezeichnet Teil 1: Stahlflansche
- (73) DIN EN 10025: Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen Teil 1: Allgemeine technische Lieferbedingungen
- (74) DIN EN 10028-1: Flacherzeugnisse aus Druckbehälterstählen; Teil 1: Allgemeine Anforderungen
- (75) DIN EN 10028-2: Flacherzeugnisse aus Druckbehälterstählen; Teil 2: Unlegierte und legierte Stähle mit festgelegten Eigenschaften bei erhöhten Temperaturen
- (76) DIN EN 10278: Maße und Grenzabmaße von Blankstahlerzeugnissen
- (77) DIN EN 14420-6: Schlaucharmaturen mit Klemmfassungen Teil 6: TW Tankwagenkupplungen
- (78) DIN EN ISO 1127: Nichtrostende Stahlrohre Maße, Grenzabmaße und längenbezogene Masse

5. Andere Schriften und Medien

Bezugsquelle: Buchhandel oder Herausgeber

- (79) K. Uhlig: „Polyurethan-Taschenbuch“; ISBN-10:3-446-40307-8; ISBN-13:978-3-446- 40307-9; Carl Hanser Verlag München Wien
- (80) Ullmanns Encyclopedia of Industrial Chemistry, Wiley-VCH Verlag, ISBN: 978-3-527- 32943-4
- (81) D. Braun, G.W.Becker, G. Oertel: „Kunststoffhandbuch“, Band VII (Polyurethane), Hanser, ISBN 978-3-446-16263-1
- (82) DGUV-Grundsätze für arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen (ISBN: 978-3- 87247-733-0), insbesondere
G 24: Hauterkrankungen (mit Ausnahme von Hautkrebs)
G 26: Atemschutzgeräte
G 27: Isocyanate
- (84) DFG (Hrsg.): The MAK Collection for Occupational Health and Safety, Wiley, Online ISBN: 978-3-527- 60041-0
- (85) DECHEMA-Werkstofftabelle: Korrosionsverhalten von Werkstoffen. ISBN 3-89746- 062-9
- (86) A. Hartwig (Hrsg): Analytische Methoden zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe Band 1: Luftanalysen. Wiley-VCH, Weinheim, ISBN 978-3-527-31600-7
- (87) G. Hommel: Handbuch der gefährlichen Güter, Springer, ISBN: 978-3-642-34570-8

- (88) IFA-Arbeitsmappe: Messung von Gefahrstoffen, Erich Schmidt Verlag, ISBN 978-3- 503-13089-4, www.ifa-arbeitsmappedigital.de

6. Online-Datenbanken und Informationen im Internet

- (89) Gefahrstoffinformationssystem GisChem der BG RCI: www.gischem.de
- (90) GESTIS-Stoffdatenbank: Gefahrstoffinformationssystem der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) www.dguv.de/ifa/stoffdatenbank/
- (91) Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), www.dguv.de/ifa
- (92) Isi – Informationssystem für Sicherheitsdatenblätter: www.dguv.de/ifa/de/gestis/isi-db/index.jsp
- (93) European Chemicals Agency (ECHA): echa.europa.eu
Broschüre: Leitlinien zu Informationsanforderungen und Stoffsicherheitsbeurteilung
Kapitel R.12: System der Verwendungsdeskriptoren
- (94) Verband der chemischen Industrie (VCI): www.vci.de
Broschüre: REACH Praxisführer zur Expositionsbewertung und zur Kommunikation in den Lieferketten
- (95) European Diisocyanate and Polyol Producers Association (ISOPA): www.isopa.org
– Musterunterweisungen unter www.isopa.org/walkthetalk/package1.htm
Broschüre: Guidelines for Safe Loading/Unloading Transportation, Storage of TDI and MDI in Bulk
- (96) European Aliphatic Isocyanates Producers Association (ALIPA), alipa.org Musterunterweisungen unter www.alipa.org/index.php?page=alipa-safeguard---wecare- that-you-care
- (97) European Association of Flexible Polyurethane Foam Blocks Manufacturers (EUROPUR):
www.europur.com; CertiPUR-Label

Bildnachweis

Die im Merkblatt verwendeten Bilder dienen nur der Veranschaulichung. Eine Produktempfehlung seitens der BG RCI wird damit ausdrücklich nicht beabsichtigt.

Die Abbildungen wurden freundlicherweise zur Verfügung gestellt von

Titelbild:

BASF Polyurethanes GmbH
Elastogranstraße 60
49448 Lemförde

Bilder für Abbildung 2:

Fachverband Schaumkunststoffe und Polyurethane e. V.
Stammheimer Str. 35
70435 Stuttgart

Abbildung 4:

Hennecke GmbH
Birlinghovener Straße 30
53757 Sankt Augustin

Abbildungen 5, 7, 11, 12 und 13:
Paul Bauder GmbH & Co. KG
Brehnaer Straße 10
06188 Landsberg b. Halle

Abbildung 6:
ISOPA – European Diisocyanate
and Polyol Producers Association
Av. E. Van Nieuwenhuysse Laan 4
B-1160 Brüssel

Abbildung 8:
DCA Deckert-Anlagenbau GmbH
Theodor-Marwitz-Str. 7
21337 Lüneburg

Abbildung 9:
RUWAC Industriesauger GmbH
Westhoyeler Str. 25
49328 Melle

Abbildung 10:
Bayer AG
51368 Leverkusen

Ausgabe 9/2013

Dieses Merkblatt können Sie über den Medienshop unter medienshop.bgrci.de beziehen.
Haben Sie zu diesem Merkblatt Fragen, Anregungen, Kritik?
Dann nehmen Sie bitte mit uns Kontakt auf.

- Schriftlich:
Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie,
Prävention, Wissens- und Informationsmanagement
Postfach 10 14 80, 69004 Heidelberg
- Kontaktformular im Internet: www.bgrci.de/kontakt-schriften
- E-Mail: praevention@bgrci.de