

<b>Technische Regeln für Gefahrstoffe</b>	<b>Isocyanate - Exposition und Überwachung</b>	<b>TRGS 430</b>
---	--	-----------------

Die Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS) geben den Stand der sicherheitstechnischen, arbeitsmedizinischen, hygienischen sowie arbeitswissenschaftlichen Anforderungen an Gefahrstoffe hinsichtlich Inverkehrbringen und Umgang wieder. Sie werden vom

### **Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS)**

aufgestellt und von ihm der Entwicklung entsprechend angepasst.

Die Technischen Regeln für Gefahrstoffe werden vom Bundesministerium für Arbeit und Sozialordnung im Bundesarbeitsblatt (BArbBl.) bekannt gegeben.

---

Diese TRGS enthält die Beschreibung der Expositionssituation an typischen Arbeitsplätzen, an denen Isocyanate auftreten, sowie ein Verfahren zur Ermittlung und Überwachung der Expositionssituation. Ergänzend zu dieser TRGS sind Expositionsszenarien für typische Arbeitsbereiche im Internet unter der Adresse [www.baua.de/prax/ags/](http://www.baua.de/prax/ags/) veröffentlicht.

### **Inhalt**

- 1 Anwendungsbereich
- 2 Erläuterungen und Begriffsbestimmungen
- 3 Gefährdungen am Arbeitsplatz
- 4 Expositionsstufen
- 5 Ermittlung und Überwachung der Exposition
- 6 Arbeitsmedizinische Vorsorge

### **Anlagen**

## 1 Anwendungsbereich

(1) Die TRGS beschreibt das Verfahren zur Ermittlung und Überwachung der Expositionssituation an Arbeitsplätzen bei der Herstellung und Verwendung von Polyurethanen (PU, PUR). Je nach dem Expositionsrisiko sind die verschiedenen Arbeitsplätze bzw. Tätigkeiten unterschiedlichen Expositionsstufen zugeordnet. Diese Informationen können vom Arbeitgeber zur Ermittlung der Gefährdungssituation durch Isocyanate an seinen Arbeitsplätzen bei der Durchführung der Gefährdungsbeurteilung herangezogen werden. Betrachtet werden die Handhabung von isocyanathaltigen Produkten sowie die mögliche Freisetzung von Isocyanaten bei Arbeitsabläufen. Dies ist Umgang mit Isocyanaten im Sinne der Gefahrstoffverordnung.

(2) Da es nur Luftgrenzwerte für monomere Isocyanate gibt<sup>1</sup>, aber bei vielen Anwendungen auch polymere Isocyanate in der Atemluft vorliegen können, wird in dieser TRGS ein Verfahren zur Bewertung der Isocyanat-Gesamtexposition vorgesehen unter entsprechender Anwendung des Bewertungsverfahrens der TRGS 403 für Stoffgemische.

(3) In der Gefährdungsbeurteilung muss der Arbeitgeber neben der in dieser TRGS beschriebenen Isocyanat-Gesamtexposition noch die durch weitere Arbeitsstoffe wie z.B. Polyole, Katalysatoren, Treibmittel, Lösemittel verursachte Exposition mit bewerten unter Berücksichtigung des Bewertungsverfahrens der TRGS 403. Darüber hinaus sind die Regelungen der TRGS 540 „Sensibilisierende Stoffe“ zu beachten.

(4) In den ergänzend zu dieser TRGS im Internet unter der Adresse [www.baua.de/prax/ags/](http://www.baua.de/prax/ags/) veröffentlichten Expositionsszenarien für typische Arbeitsbereiche (Inhaltsverzeichnis siehe Anlage 9) werden die zutreffenden Expositionsstufen und Beispiele für erforderliche Schutzmaßnahmen zur Vermeidung von Gesundheitsschäden aufgeführt<sup>2</sup>.

## 2 Erläuterungen und Begriffsbestimmungen

(1) Umgang mit isocyanathaltigen Produkten ist die Verwendung von Isocyanaten als Stoffe sowie in Zubereitungen bei der Herstellung von z. B. Polyurethan-Schaumstoffen und der Verwendung von z. B. Polyurethan-Klebstoffen oder Polyurethan-Lacken. Umgang liegt auch vor, wenn Polyurethan-Produkte (PU, PUR) einer thermischen Belastung bis zur Zersetzung bei der Bearbeitung ausgesetzt sind; z. B. Schweißen an Bauteilen, die in Elastomere oder Isolierschaum eingebettet oder mit Polyurethan-Lacken beschichtet sind. Umgang liegt auch vor, wenn z. B. nicht vollständig ausgehärtete Polyurethane geschnitten werden.

(2) Polyurethane ist eine Sammelbezeichnung für alle Kunststoffprodukte, die durch Polyaddition von Diisocyanaten und Polyolen entstehen.

---

<sup>1</sup> Siehe TRGS 900

<sup>2</sup> Darüber hinaus sind Informationen und sicherheitstechnische Hinweise im Merkblatt „Polyurethan-Herstellung und Verarbeitung / Isocyanate“ der BG Chemie (BGI 524, bisher ZH1/34) enthalten

- (3) Isocyanate sind eine Familie von organisch-chemischen Substanzen mit unterschiedlichen Grundstrukturen. Gemeinsames Merkmal ist die reaktive Isocyanat-Gruppe mit folgender Kurzdarstellung  $R-(N=C=O)$ , wobei R die organisch-chemische Grundstruktur ist. Unterschieden wird zwischen aliphatischen Isocyanaten (z. B. HDI, TMDI, TMXDI), aromatischen Isocyanaten (z. B. TDI, MDI, NDI) und cycloaliphatischen Isocyanaten (z. B. IPDI, H-MDI).
- (4) Monoisocyanate haben nur eine NCO-Gruppe im Molekül; sie werden meist zur chemischen Synthese verwendet z.B. Methylisocyanat. Sie werden bei der Herstellung von Polyurethan-Produkten nicht eingesetzt, da sie keine Polymer-Ketten bilden können. Monoisocyanate können bei der thermischen Rückspaltung entstehen und können unter Arbeits- und Gesundheitsschutzaspekten von Bedeutung sein.
- (5) Di- oder Tri-Isocyanate haben 2 bzw. 3 NCO-Gruppen im Molekül und können so Polymer-Ketten oder Netzwerke mit den technischen Eigenschaften dieser Kunststoffklasse bilden. Die Bezeichnung "Mono"-, "Di"- oder "Tri"- Isocyanat bezieht sich auf die Zahl der Isocyanatgruppen in einem Molekül, d.h. ein Diisocyanat ist ein Isocyanat mit zwei NCO-Gruppen im Molekül.
- (6) Dimere, trimere oder oligomere Isocyanate (z.B. Isocyanurate) werden durch Modifizierungsreaktionen aus monomeren Diisocyanaten hergestellt. Die Bezeichnung "Monomeres", "Dimeres", "Trimeres" Isocyanat bezieht sich auf die Zahl der Isocyanat-Molekülteile aus denen es gebildet wird. Z. B. besteht ein dimeres Isocyanat aus 2 Molekülteilen von monomeren Diisocyanaten.
- (7) Prepolymere sind durch Additionsreaktionen gezielt erzeugte vorpolymerisierte Zwischenprodukte aus Isocyanaten und Polyolen. Sie enthalten endständige NCO-Gruppen und unterschiedliche Anteile an monomeren Diisocyanaten.
- (8) Polymere Isocyanate (Polyisocyanat) ist der Oberbegriff für alle Polyadditionsprodukte mit endständigen NCO-Gruppen, die mehr als ein Isocyanat-Molekülteil enthalten, d. h. auch für Prepolymere oder Oligomere.
- (9) Bei einem verkappten bzw. blockierten Isocyanat sind dessen NCO-Gruppen mit bestimmten Chemikalien umgesetzt. Das Produkt enthält in seiner Lieferform in der Regel keine freien NCO-Gruppen. NCO-typische Reaktionen beginnen erst nach Abspaltung des Verkappungs- bzw. Blockierungsmittels bei der Verarbeitung durch Herbeiführen der dazu erforderlichen Bedingungen.
- (10) Aerosole sind mehrphasige Systeme von Gasen, insbesondere Luft und darin dispers verteilten Partikeln (Feststoffen oder Flüssigkeiten). Sie können entstehen durch das Verarbeitungsverfahren der Isocyanate, z. B. bei einer Applikation durch Versprühen, oder durch die Kondensation erwärmter Isocyanat-Dämpfe in kalter Umgebungsluft.
- (11) Expositionsbeurteilungswert (EBW) ist der zur Bewertung der Gefährdung durch polymere Isocyanate heranzuziehende Grenzwert. Er ist auf der Basis des Luftgrenzwertes nach TRGS 900 für das betreffende Diisocyanat unter Berücksichtigung des geringeren toxischen Potenzials der polymeren Isocyanate entsprechend den Leitlinien in Anlage 2 zu ermitteln.

(12) Mit dem Aerosolpenetrationsfaktor (APF) können die bei den verschiedenen Applikationsverfahren entstehenden unterschiedlich großen Isocyanat-Aerosolteilchen in ihrem Penetrationspotenzial in die Luftwege und Alveolen unterschieden werden. Er ist entsprechend den Leitlinien in Anlage 3 zu ermitteln.

### 3 Gefährdungen am Arbeitsplatz

(1) Die allen Isocyanaten gemeinsame NCO-Gruppe reagiert mit Wasser über verschiedene Zwischenstufen (Carbaminsäure, Aminoisocyanate, Amine) zu Oligo- und Polyharnstoffen. Unter bestimmten Bedingungen (z.B. pH < 5 oder Lösung in wässrigen organischen Medien wie H<sub>2</sub>O / DMSO oder Aceton) ist die weitgehende Hydrolyse zu Aminen möglich. Konkurrierend damit können Isocyanate mit Gewebebestandteilen selbst reagieren, z. B. bei Berührung mit der Haut oder beim Einatmen von Dämpfen oder Aerosolen.

(2) Am Arbeitsplatz ist die Inhalation der relevantere Aufnahmeweg. Der Hautkontakt kann ebenfalls eine erhebliche Rolle spielen, insbesondere beim Vorliegen von Hautverletzungen.

(3) Isocyanate haben das Potenzial, durch Reaktionen mit körpereigenen Eiweißmolekülen zu spezifischen Veränderungen am Immunsystem (Antikörperbildung), Atemwegsensibilisierung und Schädigungen der Atemwege (Bronchitis) zu führen. Dies wird durch eine große Zahl von Berichten und Studien am Menschen bestätigt. Expositionsbezogene Symptome sind Husten, Atemnot, Schnupfen und Augenreizungen (Konjunktivitis). Im Vordergrund stehen chemisch-reizende oder toxische Wirkungen, seltener auch allergische Wirkungen am Bronchialsystem. Nach den bisher vorliegenden Erkenntnissen werden solche Effekte vorwiegend gefunden, wenn die Exposition am Arbeitsplatz regelmäßig über den heute üblichen Grenzwerten lag oder wenn es durch äußere Umstände (Unfall, mangelnde Schutzmaßnahmen) einmalig oder wiederholt zu besonders hohen Expositionen über die Lunge oder über die Haut kam (Spitzenexpositionen). Dies kann z. B. bei unsachgemäßem Umgang mit Klebstoffen, Montageschäumen, Lacken vorkommen<sup>3</sup>. Es wurden auch Erkrankungsfälle beschrieben, bei denen eine Exposition messtechnisch nicht nachweisbar ist. Auch nicht gekennzeichnete Isocyanathaltige Zubereitungen können bei bereits sensibilisierten Personen allergische Reaktionen auslösen.

---

<sup>3</sup> Au M. et al.: Sicherer Umgang mit isocyanathaltigen Produkten – Vorschläge zur Erfassung der Exposition und Verbesserung der Prävention  
Zbl. Arbeitsmedizin 50 (2000) 335-341

(4) Informationen über krebserzeugende, erbgutverändernde, reproduktionstoxische Wirkungen von Isocyanaten sind zu finden in der TRGS 905, über sensibilisierende Wirkungen in der TRGS 907. Begründungen für die Einstufung von Stoffen als krebserzeugend, erbgutverändernd, fortpflanzungsgefährdend oder sensibilisierend sind ebenfalls veröffentlicht<sup>4,5</sup>. Einstufung und Luftgrenzwerte einiger Isocyanate siehe [Anlage 1](#).

## 4 Expositionsstufen

(1) Die Isocyanatexposition ist abhängig vom Expositionspfad über den Atemweg oder die Haut und der Expositionsintensität, die z. B. durch die Sättigungsdampfkonzentration bei Verarbeitungstemperatur, die Aerosolbildung durch das Applikationsverfahren, die Dauer und Häufigkeit des Hautkontakts, die Lüftungsbedingungen, die Abdampfungsfläche, die Raumgröße oder die Schutzmaßnahmen charakterisiert wird.

(2) Die Expositionsintensität auf Isocyanate am Arbeitsplatz bei bestimmungsgemäßem Umgang wird über Expositionsstufen charakterisiert. Die möglichen Expositionsstufen in Abhängigkeit von Expositionspfad, der Aerosolbildung und der Expositionswahrscheinlichkeit sind in der Tabelle aufgeführt. Mit den Expositionsstufen wird die Expositionssituation bei Betriebsstörungen, die zusätzliche Exposition durch Lösemittel und die Exposition durch das noch nicht ausreagierte Produkt nicht erfasst, da diese nicht allgemeingültig beschrieben werden können.

(3) Steht am Arbeitsplatz die Exposition durch den Isocyanatdampf im Vordergrund, ist der Arbeitsplatz einer der Expositionsstufen für den Expositionspfad „Atemweg Dampf (AD)“ zuzuordnen, auch wenn durch Kondensation Aerosole entstehen können. Die Zuordnung zur Expositionsstufe „Atemweg Aerosol (AA)“ ist nur vorzunehmen, wenn durch das Applikationsverfahren verursachte Aerosolbildung vorliegt, z. B. bei einer Spritzapplikation.

---

<sup>4</sup> Veröffentlicht im Internet auf der Homepage des Ausschusses für Gefahrstoffe unter der Adresse [www.baua.de/prax/ags/begr\\_905.htm](http://www.baua.de/prax/ags/begr_905.htm)

<sup>5</sup> Veröffentlicht im Internet auf der Homepage des Ausschusses für Gefahrstoffe unter der Adresse [www.baua.de/prax/ags/begr\\_907.htm](http://www.baua.de/prax/ags/begr_907.htm)

**Tabelle:** Expositionsstufen zur Bewertung der Isocyanatexposition an Arbeitsplätzen

Expositionspfad	Expositionsstufen	Expositionswahrscheinlichkeit
<b>Haut</b> (z. B. auch über kontaminierte Kleidung)	<b>H0</b>	Kein Hautkontakt möglich Z. B. geschlossene Systeme
	<b>H1</b>	Hautkontakt selten, kleinflächig und sofort in geeigneter Weise entfernt Z. B. Spritzer
	<b>H2</b>	Regelmäßiger kurzzeitiger Hautkontakt Max. 4 x 15 Minuten pro Schicht
	<b>H3</b>	Regelmäßiger länger andauernder Hautkontakt Insgesamt max. 2 Stunden pro Schicht
	<b>H4</b>	Ständiger Hautkontakt Mehr als 2 Stunden pro Schicht
<b>Atemweg Dampf</b>  (Keine Aerosolbildung durch das Applikationsverfahren, jedoch Kondensationsaerosole)	<b>AD0</b>	Sehr geringe Dampf- oder Kondensationsbildung
	<b>AD1</b>	Geringe Dampf- oder Kondensationsbildung
	<b>AD2</b>	Mittlere Dampf- oder Kondensationsbildung
	<b>AD3</b>	Hohe Dampf- oder Kondensationsbildung
<b>Atemweg Aerosol</b>  (Applikationsverfahren mit Aerosolbildung, z. B. Versprühen, Walzen)	<b>AA0</b>	Sehr geringe Aerosolbildung
	<b>AA1</b>	Geringe Aerosolbildung
	<b>AA2</b>	Mittlere Aerosolbildung
	<b>AA3</b>	Hohe Aerosolbildung

(4) Für typische Arbeitsplätze und Tätigkeiten sind die bei bestimmungsgemäßem Umgang üblicherweise auftretenden Expositionsstufen und Beispiele für geeignete Schutzmaßnahmen in einem Katalog von Expositionsszenarien zusammengestellt. Dieser Katalog ist im Internet unter der Adresse [www.baua.de/prax/ags/](http://www.baua.de/prax/ags/) verfügbar (Inhaltsverzeichnis siehe Anlage 9). Die darin enthaltenen Angaben können vom Arbeitgeber bei der durchzuführenden Gefährdungsbeurteilung/Arbeitsbereichsanalyse zur Abschätzung der Größenordnung der zu erwartenden Gefährdung der Arbeitnehmer herangezogen werden. Sie sind Bausteine für die Beschaffung der Vorinformation in der vom Arbeitgeber für jeden Arbeitsplatz durchzuführende Arbeitsbereichsanalyse gemäß TRGS 402. Darüber hinaus ist auch die Exposition gegenüber

den anderen ggf. am Arbeitsplatz vorhandenen Gefahrstoffen zu beurteilen. Hinweise dazu sind in Branchenregelungen, wie z. B. dem Produktgruppen-System für Polyurethanharz-Produkte (GISCODE PU) für den Baubereich, für Bodenbeläge (GISCODE RU1-4) oder für Parkettklebstoffe (GISCODE DD1-2) enthalten.

(5) Eine Steigerung der Hautresorption durch Lösemittel ist bei der Gefährdungsbeurteilung für den Expositionspfad Haut zu berücksichtigen. Sie ist insbesondere zu erwarten, wenn bei Reinigungsarbeiten Lösemittel eingesetzt werden.

## 5 Ermittlung und Überwachung der Exposition

(1) Für Arbeitsplätze, an denen mit Isocyanaten umgegangen wird, hat der Arbeitgeber eine Gefährdungsbeurteilung durchzuführen, schriftlich zu dokumentieren und regelmäßig zu überprüfen. Die Schutzmaßnahmen sind vom Arbeitgeber so auszuwählen, dass die Isocyanatexposition nach dem Stand der Technik minimiert ist. Die Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen ist danach anhand einer Arbeitsbereichsanalyse nach TRGS 402 unter Heranziehung der nachfolgenden Regelungen zu ermitteln. Die Regeln für die Befundermittlung nach TRGS 402<sup>6</sup> sind dabei zu beachten. Ist die Sicherheitstechnik eines Arbeitsverfahrens fortentwickelt worden, hat sich diese bewährt und erhöht sich die Arbeitssicherheit hierdurch erheblich, so hat der Arbeitgeber das nicht entsprechende Arbeitsverfahren soweit zumutbar innerhalb einer angemessenen Frist dieser Fortentwicklung anzupassen; siehe hierzu TRGS 540 „Sensibilisierende Stoffe“.

(2) Am Arbeitsplatz ist die Isocyanat-Gesamtexposition zu ermitteln. Dazu ist der Bewertungsindex  $I_{\text{Isoc}}$  als Summenwert der Schadstoffindices für die auftretenden monomeren Diisocyanate  $I_{\text{Monomere}}$  und polymeren Isocyanate  $I_{\text{Polymere}}$  zu bestimmen, siehe Gleichung (A). Für den Schadstoffindex der Monomerenkonzentration ist der Luftgrenzwert des monomeren Diisocyanats nach TRGS 900 heranzuziehen, für den der Polymerkonzentration der Expositionsbeurteilungswert des Isocyanats. In Abhängigkeit vom Applikationsverfahren kann die Penetration der polymeren Aerosolteilchen in die unteren Atemwege durch den Aerosolpenetrationsfaktor berücksichtigt werden.

---

<sup>6</sup> Gemäß Anhang 1 zur TRGS 402 sind zur Befundermittlung in aller Regel Messergebnisse aus 3 verschiedenen Schichten erforderlich.

$$(A) \quad I_{\text{Isoc.}} = I_{\text{Polymere}} + I_{\text{Monomere}} = \frac{C_{\text{Polymere}} \times \text{APF}}{\text{EBW}} + \frac{C_{\text{Monomere}}}{\text{MAK}}$$

$I_{\text{Isoc.}}$	Bewertungsindex für die Isocyanat-Gesamtexposition am Arbeitsplatz
$I_{\text{Polymere}}$	Schadstoffindex für die polymeren Isocyanate
$I_{\text{Monomere}}$	Schadstoffindex für das monomere Diisocyanat
$C_{\text{Monomere}}$	ermittelte Konzentration an monomerem Diisocyanat in der Atemluft [mg/m <sup>3</sup> ]
$C_{\text{Polymere}}$	ermittelte Konzentration an polymerem Isocyanat in der Atemluft [mg/m <sup>3</sup> ]
EBW	Expositionsbeurteilungswert für das auftretende polymere Isocyanat lt. Angabe des Herstellers oder Inverkehrbringers im Sicherheitsdatenblatt EBW = MAK bei fehlenden Angaben des Herstellers oder Inverkehrbringers
APF	Aerosolpenetrationsfaktor für das auftretende polymere Isocyanat APF = 1 bei fehlenden Angaben des Herstellers oder Inverkehrbringers bzw. bei fehlenden eigenen Ermittlungen des Anwenders
MAK	Luftgrenzwert des auftretenden monomeren Diisocyanats laut TRGS 900

(3) Der Expositionsbeurteilungswert soll vom Hersteller oder Inverkehrbringer gemäß den Leitlinien in Anlage 2 bestimmt und im Sicherheitsdatenblatt angegeben werden. Fehlt eine Herstellerangabe, ist im Sinne einer worst-case-Abschätzung vom Anwender des Produktes bei der Gefährdungsermittlung an Stelle des Expositionsbeurteilungswertes der Luftgrenzwert nach TRGS 900 der entsprechenden monomeren Diisocyanate anzuwenden.

(4) Die unterschiedliche Penetration von verschiedenen großen Aerosolteilchen in die Lunge wird in ihrer Gefährdungswirkung durch den Aerosolpenetrationsfaktor berücksichtigt. Zu dessen Bestimmung sind die Leitlinien in Anlage 3 anzuwenden. Er soll vom Hersteller für das jeweilige Produkt und Applikationsart bestimmt und im Sicherheitsdatenblatt angegeben werden. Fehlt eine Angabe des Herstellers und liegen eigene Ermittlungen nicht vor, ist im Sinne einer worst-case-Abschätzung ein Aerosolpenetrationsfaktor von 1 zu verwenden.

(5) Für die Messung der Konzentrationen an monomeren Diisocyanaten und polymeren Isocyanaten sind bewährte Messverfahren<sup>7</sup> zu verwenden, z. B. die Verfahren der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG), OSHA-Methoden Nr. 42 oder Nr. 47, NIOSH-Methode Nr. 5522.

(6) Bei Vorliegen einer Aerosol-Exposition am Arbeitsplatz durch Anwendung eines Applikationsverfahrens mit Aerosolbildung (Expositionsstufen AA0 bis AA3) kann die Konzentration an polymeren Isocyanaten auch aus der gravimetrisch bestimmten Konzentration an einatembarem Staub unter Anwendung der Gleichung (B) berechnet werden (Total Aerosol Mass Method – TAMM)<sup>8</sup>; siehe Beispielrechnung in Anlage 4. Die TAMM darf nicht angewendet werden, wenn die gemessene E-Staub-Konzentration unterhalb der Bestimmungsgrenze des verwendeten Messverfahrens liegt.

$$(B) \quad C_{\text{Polymere}} = C_{\text{E-Staub}} \times \frac{\text{Massenanteil Isocyanate}}{\text{Massenanteil Festkörper}}$$

$C_{\text{Polymere}}$  aus der gemessenen E-Staub-Konzentration berechnete Konzentration an polymerem Isocyanat im Aerosol [mg/m<sup>3</sup>]

$C_{\text{E-Staub}}$  gemessene Konzentration an einatembaren Staub (E-Fraktion) am Arbeitsplatz [mg/m<sup>3</sup>]

$C_{\text{E-Staub}} \geq$  Bestimmungsgrenze des verwendeten Messverfahrens

Massenanteil Isocyanate Anteil an Isocyanat an der Gesamtmasse des angemischten Produkts

Massenanteil Festkörper Anteil an Isocyanat zuzüglich Anteil der sonstigen Festkörper an der Gesamtmasse im angemischten Produkt

(7) Qualitative Messverfahren<sup>9</sup> sind geeignet zur Ermittlung von Expositionsquellen am Arbeitsplatz. Auf eine quantitative messtechnische Bestimmung der Konzentration an Isocyanaten in der Arbeitsbereichsanalyse nach TRGS 402 kann verzichtet werden, wenn der Arbeitsplatz den Expositionsstufen AA0 und AD0 zuzuordnen ist

<sup>7</sup> Eine weitere Methode zur Bestimmung polymerer Isocyanate in der Luft an Arbeitsplätzen wird z. Z. von den Berufsgenossenschaften und dem Berufsgenossenschaftlichen Institut für Arbeitssicherheit (BIA) in der Praxis erprobt. Die Veröffentlichung der Methodenbeschreibung ist zu Beginn des Jahres 2002 geplant.

<sup>8</sup> England et al.: Comparison of Sampling Methods for Monomer and Polyisocyanates of 1,6-Hexamethylene Diisocyanate During Spray Finishing Operations  
Applied Occupational and Environmental Hygiene, Vol. 15(6), 2000, 472-478

<sup>9</sup> Z. B. Sure Spot von GMD System

und das qualitative Messverfahren keinen Hinweis auf das Vorhandensein von Isocyanaten in der Luft am Arbeitsplatz ergibt<sup>10</sup>. Beim Verzicht auf die quantitative Expositionsermittlung sind vom Arbeitgeber als Kontrollverfahren im Sinne der TRGS 402 die Verarbeitungsbedingungen jährlich zu überprüfen und zu dokumentieren.

(8) Ergibt die Bewertung der Isocyanat-Gesamtexposition gemäß Absatz 2, dass der Bewertungsindex kleiner oder gleich 1 ist, und ist eine geringe Hautexposition nicht zu vermeiden (Expositionsstufen H0 oder H1), kann der Arbeitgeber anstelle von Kontrollmessungen nach TRGS 402 als Kontrollverfahren die Verarbeitungsbedingungen jährlich überprüfen und dokumentieren. Für die Überwachung der Konzentration an monomeren Diisocyanaten sind darüber hinaus die Regelungen der TRGS 402 anzuwenden, wenn der Bewertungsindex

$I_{\text{Monomere}} > 0,25$  ist.

(9) Ergibt die Bewertung der Isocyanat-Gesamtexposition gemäß Absatz 2, dass der Bewertungsindex größer 1 ist, oder ist ein regelmäßiger bzw. ständiger Hautkontakt nicht zu vermeiden (Expositionsstufen H2 bis H4), hat der Arbeitgeber erneut den Stand der Technik im Hinblick auf die Minimierung der Atemwegs- und Hautexposition unter Heranziehung der Leitlinien in Anlage 6 zu ermitteln und den Arbeitsplatz entsprechend anzupassen. Erfolgen dabei Änderungen an den Arbeitsplatzverhältnissen, ist eine erneute Bewertung der Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen gemäß Absatz 2 durchzuführen. Sind dann die Anforderungen von Absatz 8 erfüllt, ist entsprechend Absatz 8 zu verfahren. Ansonsten hat der Arbeitgeber die zusätzlichen Maßnahmen gemäß den Absätzen 10 und 11 zu treffen, als Kontrollverfahren die Verarbeitungsbedingungen jährlich zu überprüfen und zu dokumentieren und spätestens nach einem Jahr eine erneute Überprüfung des Standes der Technik und entsprechende Anpassung des Arbeitsplatzes gemäß Satz 1 und 2 durchzuführen.

(10) Wenn ein regelmäßiger oder ständiger Hautkontakt mit Isocyanaten am Arbeitsplatz nicht zu vermeiden ist (Expositionsstufen H2 bis H4), sind vom Arbeitgeber geeignete Schutzhandschuhe lt. Sicherheitsdatenblatt bereitzustellen und vom Arbeitnehmer zu tragen. Außerdem ist eine arbeitsmedizinische Bewertung der Gefährdung der Arbeitnehmer vorzunehmen; ein Biomonitoring ist nur bei vorhandenem und für die Bewertung der Hautexposition geeignetem BAT-Wert vorzunehmen.

(11) Bei einem Bewertungsindex der Isocyanat-Gesamtexposition größer als 1 sind vom Arbeitgeber geeignete Atemschutzgeräte<sup>11</sup> bereitzustellen und von den Arbeitnehmern zu verwenden. Eine Ausnahmegenehmigung von § 19 Abs. 5 in Verbindung mit § 44 Abs. 1 GefStoffV ist bei der zuständigen Behörde zu beantragen, wenn die erforderliche Tragezeit 20% der wöchentlichen Arbeitszeit überschreitet. Für Tragezeitbegrenzungen der Atemschutzgeräte während einer Arbeitsschicht siehe Nummer 6.3 der „Regeln für den Einsatz von Atemschutzgeräten“ (BGR 190, bisher ZH1/701).

---

<sup>10</sup> Anwendung des Systems Sure Spot von GMD System für die Isocyanate MDI, NDI, TDI und HDI. Kein Farbumschlag und keine Farbspots bei einer Probenahmedauer von 30 Minuten

<sup>11</sup> Siehe hierzu auch die Expositionsszenarien, bei fehlenden Angaben mindestens Kombinationsfilter A2P2

(12) Der Arbeitgeber hat die Gefährdungsbeurteilung nach Absatz 1 erneut durchzuführen, wenn bei den regelmäßigen Kontrollen gemäß Absätzen 7, 8 oder 9 Veränderungen in den unter Beachtung der Leitlinien in Anlage 7 ermittelten Verarbeitungsbedingungen festgestellt worden sind oder wenn isocyanatbedingte Erkrankungen am Arbeitsplatz aufgetreten sind.

## 6 Arbeitsmedizinische Vorsorge

(1) Der Arbeitgeber hat die arbeitsmedizinische Betreuung aller Arbeitnehmer, die Umgang mit Isocyanaten haben, sicherzustellen. Dazu gehören gemäß dem Arbeitssicherheitsgesetz neben einer allgemeinen Untersuchung und Beratung auch regelmäßige Begehungen des Arbeitsplatzes und die Bewertung der Arbeitsbedingungen.

(2) Vor Aufnahme und während der Tätigkeit mit Isocyanaten sind die Beschäftigten vom Arbeitgeber auf die Möglichkeit einer speziellen arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchung hinzuweisen. Für die Beschäftigten, die unter die Auslösekriterien (Anlage 8) fallen, muss der Arbeitgeber die speziellen arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchungen als Pflichtuntersuchung veranlassen unabhängig von einer Überschreitung der Luftgrenzwerte für Isocyanate am Arbeitsplatz. Eine Pflichtuntersuchung ist ebenfalls erforderlich, wenn am Arbeitsplatz der ermittelte BewertungsindeX für die Isocyanat-Gesamtkonzentration größer als 1 ist oder ein regelmäßiger bzw. ständiger Hautkontakt (Expositionsstufen H2 bis H4) vorliegt. Nähere Hinweise über den Untersuchungsumfang und die Beurteilung der Befunde finden sich in den Berufsgenossenschaftlichen Grundsätzen G 27 „Isocyanate“ und G 24 „Hauterkrankungen mit Ausnahme von Hautkrebs“.

(3) Die Arbeitnehmer sind in der Unterweisung und der Betriebsanweisung nach § 20 GefStoffV vom Arbeitgeber insbesondere darüber zu unterrichten, dass sie bei Auftreten von Atemwegsbeschwerden oder Hautveränderungen umgehend ärztlichen bzw. betriebsärztlichen Rat suchen.

- Anlage 1: Daten zu Einstufung, Kennzeichnung und Grenzwerten von Isocyanaten
- Anlage 2: Leitlinien zur Bestimmung des Expositionsbeurteilungswertes (EBW) für polymere Isocyanate
- Anlage 3: Leitlinien zur Bestimmung des Aerosolpenetrationsfaktors (APF) für polymere Isocyanate
- Anlage 4: Berechnungsbeispiel zur Total Aerosol Mass Method (TAMM)
- Anlage 5: Beispiel zur Bewertung der Isocyanat-Gesamtexposition
- Anlage 6: Leitlinien zur Ermittlung des Standes der Technik im Hinblick auf die Minimierung der Atemwegs- und Hautexposition durch Isocyanate
- Anlage 7: Leitlinien zur Ermittlung der Verarbeitungsbedingungen von Isocyanaten

- [Anlage 8:](#) Auslösekriterien für spezielle arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen
- [Anlage 9:](#) Inhaltsverzeichnis des Katalogs der Expositionsszenarien

## Anlage 1 Daten zu Einstufung, Kennzeichnung und Grenzwerten einiger Isocyanate

(Stand: 01.01.2001<sup>12</sup>)

Stoffidentität EG-Nr. CAS-Nr.	Einstufung	Luftgrenzwerte			Bemerkungen H, S
		mg/m <sup>3</sup>	ml/m <sup>3</sup> (ppm)	Spitzenbe- grenzung	
<b>aromatische Diisocyanate</b>					
Diphenylmethan-4,4'- diisocyanat <b>(MDI)</b> 202-966-0 101-68-8	(K3 TRGS 905) Xn; R20 Xi; R36/37/38 R42/43	0,05	0,005	=1=	S
Diphenylmethan-2,4'- diisocyanat <b>(MDI)</b> 227-534-9 5873-54-1	Xn; R20 Xi; R36/37/38 R42/43				S
Diphenylmethan-2,2'- diisocyanat <b>(MDI)</b> 219-799-4 2536-05-2	Xn; R20 Xi; R36/37/38 R42/43				S
Naphthylen-1,5- diisocyanat <b>(NDI)</b> 221-641-4 3173-72-6	Xn; R20 Xi; R36/37/38 R42	0,09	0,01	=1=	S
2,4-Diisocyanattoluol <b>(TDI)</b> 209-544-5 584-84-9	C3; R40 T+; R26 Xi; R36/37/38 R 42/43 R 52-53	0,07	0,01	=1=	S
2,6-Diisocyanattoluol <b>(TDI)</b> 202-039-0 91-08-7	C3; R40 T+; R26 Xi; R36/37/38 R 42/43 R 52-53	0,07	0,01	=1=	S
m-Diisocyanattoluol (1,3-) <b>(TDI)</b> 247-722-4 2641-62-5	C3; R40 T+; R26 Xi; R36/37/38 R 42/43 R 52-53	0,07	0,01	=1=	S
1,3.-Tetramethylxylylen- diisocyanat <b>(TMXDI)</b> 220-474-4 2778-42-9	Herstellereinstu- fung beachten				Herstellerein- stufung beachten
1,4-Tetramethylxylylen- diisocyanat <b>(TMXDI)</b> 2778-41-8	Herstellereinstu- fung beachten				Herstellerein- stufung beachten

<sup>12</sup> Die in dieser Tabelle aufgeführten Daten unterliegen ständigen Änderungen. Die jeweils zutreffenden aktuellen Angaben sind den als Quellen herangezogenen Regelwerken TRGS 900, TRGS 905, TRGS 907 und den Richtlinien der Europäischen Gemeinschaften zur Einstufung, Verpackung und Kennzeichnung gefährlicher Stoffe und Zubereitungen (insbes. Anhang I der RL 67/548/EWG) zu entnehmen.

Stoffidentität EG-Nr. CAS-Nr.	Einstufung	Luftgrenzwerte			
		mg/m <sup>3</sup>	ml/m <sup>3</sup> (ppm)	Spitzenbe- grenzung	Bemerkungen H, S
<b>Aliphatische Diisocyanate</b>					
Hexamethylen- 1,6-diisocyanat (HDI) 212-485-8 822-06-0	T; R23 Xi; R36/37/38 R42/43	0,035	0,005	=1=	S
2,2,4-Trimethylhexa- methylen-1,6-diisocyanat (TMDI) 241-001-8 16938-22-0	T; R23 Xi; R36/37/38 R42	0,04			S
2,4,4-Trimethylhexa- methylen-1,6-diisocyanat (TMDI) 239-714-4 15646-96-5	T; R23 Xi; R36/37/38 R42	0,04			S
<b>Cycloaliphatische Diisocyanate</b>					
3-Isocyanatmethyl-3,5,5- trimethylcyclohexyl- isocyanat (Isophorondiisocyanat) Anm. 2 (IPDI) 223-861-6 4098-71-9	T; R23 Xi; R36/37/38 R42/43 N; R51-53	0,09	0,01	=1=	S
Dicyclohexylmethan- 4,4'-diisocyanat (HMDI) (PICM) 225-863-2 5124-30-1	T; R23 Xi; R36/37/38 R42/43	0,054			H, S
<b>Monoisocyanate</b>					
Methylisocyanat 210-866-3 624-83-9	F+;R12 T;R23/24/25 Xi; R36/37/38	0,024	0,01	=1=	H Sh (DFG)
Phenylisocyanat 203-137-6 103-71-9	Herstellereinstu- fung beachten	0,05	0,01	=1=	Herstellerein- stufung beachten
4-Toluensulfonylisocyanat 223-810-8 4083-64-1	R14 Xi; R36/37/38 R42				S

## Anlage 2: Leitlinien für die Bestimmung des Expositionsbeurteilungswertes (EBW) für polymere Isocyanate

Monomere Diisocyanate können am Arbeitsplatz je nach physikalisch-chemischen Eigenschaften als Dampf oder Aerosol vorkommen. Die Festlegung der Luftgrenzwerte für die monomeren Diisocyanate beruht auf den reizenden/sensibilisierenden Eigenschaften. Polyisocyanate weisen keinen bedeutsamen Dampfdruck auf. Sie können jedoch Monomeranteile enthalten, die nach Versprühen in die Dampfphase übergehen.

Toxikologische Untersuchungen mit Polyisocyanat-Aerosolen vom HDI-Typ haben gezeigt, dass das Lungenreizpotenzial des Aerosols bestimmend für die Festlegung eines Beurteilungswertes ist<sup>13 14</sup>. Wird die Reizschwelle unterschritten, wird auch das Auftreten von Entzündungsreaktionen und den damit verbundenen regenerativen Reaktionen verhindert (z. B. Fibrose oder Pneumonitis). Alveolengängige Aerosole dringen bis in die Alveolarregion vor und entfalten dort lokale Effekte. Erste funktionelle Veränderungen manifestieren sich in Form erhöhter Proteinkonzentrationen in der bronchoalveolären Lavage. Die bisherigen wissenschaftlichen Befunde lassen die Schlussfolgerung zu, dass die Intensität dieses Effekts von der inhalierten Tagesdosis und nicht von der Expositionshäufigkeit abhängt<sup>15 16</sup>. In Versuchen für die akute Exposition ermittelte Schwellenkonzentrationen unterscheiden sich nicht bedeutsam von den in Untersuchungen für die subchronische Exposition ermittelten schädigungslos vertragenen Konzentrationen.

Der Expositionsbeurteilungswert für Polyisocyanat-Aerosole berücksichtigt deren im Vergleich zu den monomeren Diisocyanaten geringere Wirkung im akuten Inhalationsversuch. Die Ableitung ist für jedes isocyanathaltige Produkt nach folgenden Leitlinien vorzunehmen:

- Basis ist ein akuter Inhalationsversuch an der Ratte mit 6-stündiger Expositionsdauer mit folgenden Randbedingungen:
  - Beachtung der Rahmenbedingungen der OECD-Richtlinie 403<sup>17</sup>.
  - Maximierung der Respirabilität durch Generierung eines Testaerosols mit einem medianen massenbezogenen aerodynamischen Durchmesser (MMAD) von 1 –3 µm und einer geometrischen Standardabweichung von 1,5 – 2.

---

<sup>13</sup> Pauluhn J. (2000). Acute Inhalation Toxicity of Polymeric Diphenyl-methane-4,4'-diisocyanate (MDI) in Rats: Time Course of Changes in Bronchoalveolar Lavage. Arch. Toxicol. 74: 257-269

<sup>14</sup> Pauluhn J. (2000). Inhalation Toxicity of 1,6-Hexamethylene diisocyanate-Homopolymer (HDI-IC) Aerosol: Results of Single inhalation Exposure Studies. Toxicological Sciences 58: 173-181

<sup>15</sup> Pauluhn J. and Mohr U. (2001). Inhalation toxicity of 1,6-hexamethylene diisocyanate-homopolymers (HDI-IC and HDI-BT): results of subacute and subchronic repeated exposure inhalation exposure studies. Inhalation Toxicology 13: 513-532

<sup>16</sup> Pauluhn J. (2002). Short-term inhalation toxicity of polyisocyanate aerosols: comparison of relative pulmonary irritation potency in rats using lung lavage. Inhalation Toxicology (eingereicht zur Publikation)

<sup>17</sup> Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) - Guideline for Testing of Chemicals No. 403. "Acute Inhalation Toxicity", adopted May 12 (1981)

- Lungenlavageuntersuchungen mit Bestimmung von Anzahl der Zellen in der bronchoalveolären Lavage, Protein und LDH sind 3 h, 1 d und 7 d nach Expositionsende durchzuführen.
- Aus der Konzentrationsabhängigkeit des Proteinanstiegs in der Lunge relativ zu einer nicht exponierten Kontrollgruppe ist die Reizschwellenkonzentration zu ermitteln und daraus der Expositionsbeurteilungswert entsprechend den folgenden Regeln abzuleiten:
  - Bei einer Reizschwellenkonzentration  $\leq 10 \times \text{MAK}$  des monomeren Diisocyanats ist als Expositionsbeurteilungswert für die polymeren Aerosole bei diesem Produkt der Luftgrenzwert des monomeren Diisocyanats zu Grunde zu legen.
  - Bei einer Reizschwellenkonzentration  $> 10 \times \text{MAK}$  des monomeren Diisocyanats ist als Expositionsbeurteilungswert eine Konzentration von  $10 \times \text{MAK}$  des monomeren Diisocyanats zu Grunde zu legen.
- Liegen entsprechende Daten aus subchronischen Inhalationsversuchen vor, sind diese vorrangig zur Bewertung heran zu ziehen. Aufgrund der größeren Bewertungssicherheit kann dabei auch unter Beachtung toxikologischer Bewertungsgrundsätze ein Expositionsbeurteilungswert  $> 10 \times \text{MAK}$  des monomeren Diisocyanats festgelegt werden.

Zeigen die Daten des Inhalationsversuchs, dass sich das zu bewertende Polyisocyanat-Aerosol wesentlich von den Toxizitätseigenschaften der HDI-Polyisocyanat-Aerosole unterscheidet, sind weitergehende inhalationstoxikologische Untersuchungen zur Ableitung des Expositionsbeurteilungswertes erforderlich.

### **Anlage 3: Leitlinien für die Bestimmung des Aerosolpenetrationsfaktors (APF) für polymere Isocyanate**

Polymere Isocyanate liegen je nach Applikationsart in unterschiedlichen Aerosolgrößen vor. Je größer die durch die Applikation entstandenen Aerosolteilchen sind, desto geringer ist ihr Penetrationspotenzial in die Luftwege und Alveolen. Der Aerosolpenetrationsfaktor stellt das durch Untersuchungen ermittelte Verhältnis der Penetrationsfähigkeit des Polyisocyanataerosols in der Atemluft zum tatsächlich lungengängigen Anteil der polymeren Isocyanat-Aerosole dar. Er ist für jedes isocyanathaltige Produkt und jede Applikationsart getrennt zur ermitteln und zu bewerten nach folgenden Leitlinien<sup>18</sup>:

- Die gemessene Partikelmassenkonzentration muss die für die toxische Wirkung relevanten Partikel erfassen:
  - Beachtung der Trennkurven nach DIN EN 481 (1993)
  - Bestimmung der thorakalen und der einatembaren Fraktion
- Der Aerosolpenetrationsfaktor ist aus dem Verhältnis der thorakalen zur einatembaren Fraktion entsprechend den folgenden Regeln abzuleiten:
  - Bei einem Anteil der thorakalen Fraktion an der einatembaren Fraktion von mehr als 10% ist ein Aerosolpenetrationsfaktor von 1 zu Grunde zu legen.
  - Bei einem Anteil der thorakalen Fraktion an der einatembaren Fraktion von 1 bis 10% ist ein Aerosolpenetrationsfaktor von 0,4 zu Grunde zu legen.
  - Bei einem Anteil der thorakalen Fraktion an der einatembaren Fraktion von weniger als 1% ist ein Aerosolpenetrationsfaktor von 0,2 zu Grunde zu legen.

---

<sup>18</sup> Pauluhn J. and Mohr U:(2000). Inhalation studies in laboratory animals - current concepts and alternatives. Toxicological Pathology 28(5): 734-753

## Anlage 4: Berechnungsbeispiel zur Total Aerosol Mass Method (TAMM)

### Beschreibung der Methode

Basis der Total Aerosol Mass Method ist eine Messung der Konzentration an einatembaren Staub (E-Fraktion) mit den üblichen Verfahren zur Staubprobenahme. Diese erfolgt an Arbeitsplätzen mit Aerosolbildung durch das Applikationsverfahren, wie z. B. beim Spritzlackieren, schon aufgrund der erforderlichen Ermittlungen zum Allgemeinen Staubgrenzwert. Daraus wird die Konzentration an polymeren Isocyanaten berechnet über das Verhältnis der Masse der Isocyanate im angemischten Ausgangsprodukt zur Masse der insgesamt im Ausgangsprodukt vorliegenden Festkörper (siehe Gleichung B). Die so berechnete Konzentration an Polymeren stellt nach Untersuchungen beim Spritzlackieren<sup>19</sup> eine Obergrenze für die mit anderen Messverfahren direkt messtechnisch ermittelte Konzentration dar. Die Methode ist nur anwendbar, wenn die gemessene Staubkonzentration die Bestimmungsgrenze des gewählten Verfahrens zur Staubprobenahme überschreitet.

### Beispielrechnung für Spritzlackieren

Die rechnerische Ermittlung der Isocyanat-Konzentration erfolgt am folgenden Beispiel für Hexamethylen-1,6-diisocyanat (HDI). Eingesetzt wird ein 2-K-Klarlack beim Spritzlackieren. Der Anteil von HDI-Oligomeren im Härter beträgt 80 % und der Anteil von Festkörpern im Klarlack (Stammlack) liegt bei 45 %. Das Mischungsverhältnis von Klarlack zu Härter beträgt 3:1.

Die Probenahme für den einatembaren Staub (E-Fraktion) erfolgt nach der Probenahmemethode GSP 1, Version 1.0. Die auf dem Filter verbleibende Menge an E-Staub (Feststoffe) wird gravimetrisch bestimmt. Auf dem Filter wurden 4,5 mg/m<sup>3</sup> Feststoffe ermittelt ( $C_{E\text{-Staub}} = 4,5 \text{ mg/m}^3$ ).

### Rechenweg

Ermittlung der Konzentration an polymerem Isocyanat im Aerosol nach der TAMM gemäß Gleichung (B):

Masseanteil der Isocyanate im angemischten Produkt:

Da 1 Teil Härter mit 3 Teilen Klarlack gemischt wird, ist der Isocyanatanteil des Härters (80%) durch  $1 + 3 = 4$  zu teilen. Der Isocyanatanteil des angemischten Produktes beträgt daher  $80\% / 4 = 20\%$ .

Massenanteil Festkörper im angemischten Produkt:

1 Teil Härter (80%) wird mit 3 Teilen Klarlack (45%) gemischt; der Festkörper der Mischung beträgt somit  $(1 * 80\% + 3 * 45\%) / 4 = 53,75\%$

---

<sup>19</sup> England et al.: Comparison of Sampling Methods for Monomer and Polyisocyanates of 1,6-Hexamethylene Diisocyanate During Spray Finishing Operations  
Applied Occupational and Environmental Hygiene, Vol. 15(6), 2000, 472-478

Aus Gleichung (B) ergibt sich damit eine rechnerische Konzentration an polymerem Isocyanat von:

$$C_{\text{Polymere}} = 4,5 \text{ mg/m}^3 * 20\% / 53,75\% = 1,7 \text{ mg/m}^3$$

### **Ergebnis**

Die nach der TAMM ermittelte Konzentration an polymeren HDI-Isocyanaten beträgt 1,7 mg/m<sup>3</sup> bei einer gemessenen E-Staub-Konzentration von 4,5 mg/m<sup>3</sup>.

## Anlage 5: Beispiel zur Bewertung der Isocyanat-Gesamtexposition

### Beschreibung der Methode

Zur Bewertung der Isocyanat-Gesamtexposition sind zunächst die monomere HDI-Diisocyanat-Konzentration und die polymere HDI-Konzentration zu bestimmen. Beide Stoffindices sind dann zu addieren zum Bewertungsindex für die Isocyanatgesamtexposition. Unterschreitet der Bewertungsindex den Wert 1, sind vereinfachte Kontrollverfahren möglich. Überschreitet der Bewertungsindex 1, ist die Ausrüstung des Arbeitsplatzes an den Stand der Technik anzupassen. Kann auch dann eine Einhaltung des Wertes 1 nicht erreicht werden, sind Atemschutzgeräte am Arbeitsplatz zu verwenden.

### Beispiel Spritzlackieren

Die Bewertung der Isocyanat-Gesamtexposition erfolgt am folgenden Beispiel für Hexamethylen-1,6-diisocyanat (HDI). Eingesetzt wird ein 2-K-Klarlack beim Spritzlackieren. Der Anteil von HDI-Oligomeren im Härter beträgt 80 % und der Anteil von Festkörpern im Klarlack (Stammlack) liegt bei 45 %. Das Mischungsverhältnis von Klarlack zu Härter beträgt 3:1. Am Arbeitsplatz wurde eine E-Staub-Konzentration von  $4,5 \text{ mg/m}^3$  messtechnisch ermittelt. Der Spritzauftrag erfolgt im Airless-Verfahren.

Die mit der Total Aerosol Mass Method (TAMM) ermittelte Konzentration an polymeren Isocyanaten von HDI beträgt  $1,7 \text{ mg/m}^3$  laut der Berechnung in Anlage 4. Die mit einem bewährten Messverfahren ermittelte Konzentration an monomerem HDI-Diisocyanat beträgt  $0,0001 \text{ mg/m}^3$ .

Vom Lackhersteller wurden im Sicherheitsdatenblatt ein Expositionsbeurteilungswert (EBW) für den HDI-haltigen Lack von  $0,5 \text{ mg/m}^3$  und für die Verarbeitung des Lacks im Airless-Verfahren ein Aerosolpenetrationsfaktor (APF) von 0,2 angegeben.

Der Luftgrenzwert für HDI beträgt gemäß TRGS 900 nach dem Stand von März 2001  $0,035 \text{ mg/m}^3$ .

### Berechnung des Bewertungsindex $I_{\text{Isoc.}}$

Die Berechnung erfolgt anhand der Gleichung A.

$$I_{\text{Isoc.}} = (0,0001 \text{ mg/m}^3 / 0,035 \text{ mg/m}^3) + ((1,7 \text{ mg/m}^3 \times 0,2) / 0,5 \text{ mg/m}^3)$$

$$I_{\text{Isoc.}} = 0,003 + 0,68$$

$$I_{\text{Isoc.}} = 0,683 < 1$$

**Bewertung:**

Da der Bewertungsindex der Isocyanat-Gesamtexposition kleiner als 1 ist, kann der Arbeitgeber an diesem Arbeitsplatz gemäß Nummer 5 Abs. 8 der TRGS 430 als Kontrollverfahren für die regelmäßige Überwachung der Exposition die jährliche Überprüfung und Dokumentation der Verarbeitungsbedingungen einsetzen.

## **Anlage 6: Leitlinien zur Ermittlung des Standes der Technik im Hinblick auf die Minimierung der Atemwegs- und Hautexposition durch Isocyanate**

Stand der Technik ist der Entwicklungsstand fortschrittlicher Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen, der die praktische Eignung einer Maßnahme zum Schutz der Gesundheit der Beschäftigten gesichert erscheinen lässt. Bei der Bestimmung des Standes der Technik sind insbesondere vergleichbare Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen heranzuziehen, die mit Erfolg in der Praxis erprobt worden sind. Gleiches gilt für den Stand der Arbeitsmedizin und Hygiene. (§ 3 Abs. 9 GefStoffV).

Für die Ermittlung des aktuellen Standes der Technik im Hinblick auf die Minimierung der Atemwegs- und Hautexposition durch Isocyanate gemäß Nummer 5 Abs. 9 TRGS 430 sind daher in Anwendung dieses Grundsatzes der Gefahrstoffverordnung mindestens der aktuelle Entwicklungsstand bei folgenden Parametern zu berücksichtigen:

- Ersatzstoffe für die vorgesehene Anwendung
- Ersatzverfahren für den vorgesehenen Verarbeitungsvorgang
  
- Zusammensetzung der isocyanathaltigen Produkte
- Verarbeitungssysteme der isocyanathaltigen Produkte
  
- Einhausung des Arbeitsplatzes
- Absaugungssysteme für den Arbeitsplatz
- Raumlüftung am Arbeitsplatz
- Handhabungs- und Manipulationssysteme z. B. für Beschickung, Produktion, Verarbeitung, Entnahme
- Aerosolbildung von Applikationsverfahren

## **Anlage 7: Leitlinien zur Ermittlung der Verarbeitungsbedingungen von Iso- cyanaten**

Wird die Überprüfung und Dokumentation der Verarbeitungsbedingungen als alternatives Kontrollverfahren gemäß Nummer 5 Abs. 7, 8 oder 9 der TRGS 430 herangezogen, sind dabei z. B. folgende Parameter zu berücksichtigen:

### **Produktionsmengen**

- Verarbeitete Mengen an Rohstoffen pro Zeiteinheit
- Menge/Anzahl des entstandenen Fertigproduktes pro Zeiteinheit

### **Eingesetzte Stoffe**

- Verwendetes Isocyanat
- Aggregatzustand bei Anlieferung, Lagerung und Verarbeitung
- Verwendete Hilfsstoffe wie Lösemittel

### **Verarbeitung**

- Applikationsverfahren
- Vorgesehene Reaktionszeiten
- Verarbeitungstemperatur
- Reaktionstemperatur
- Raumlüftung
- Absaugung (Wirksamkeit, Positionierung)
- Einhausungen

### **Persönliche Schutzausrüstungen**

Atemschutzgerät  
Schutzhandschuhe  
Hautschutz

## Anlage 8: Auslösekriterien für spezielle arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen

### Pflichtuntersuchung

- bei Tätigkeiten mit Isocyanaten, bei denen erfahrungsgemäß mit gesundheitsrelevanten oder schwer kontrollierbaren Expositionen zu rechnen ist
- bei Tätigkeiten, bei denen ein regelmäßiger oder ständiger Hautkontakt (Expositionsstufe H2 bis H4) aufgrund des Arbeitsverfahrens nicht vermieden werden kann.

Hierzu gehören u. a.

- Herstellen und Handhaben von Isocyanaten, den entsprechenden Prepolymere und technischen Zubereitungen daraus (z. B. beim Abwiegen, manuellen Umfüllen).
- Herstellung und Verarbeitung von Kunststoffen (Polyurethane „PUR“), Lacken, Klebstoffen, Haftvermittlern, Bindern und ähnlichen Produkten unter Verwendung von Isocyanaten. Dies gilt, wenn dabei flüchtige Isocyanate verwendet werden, isocyanathaltige Aerosole entstehen oder ein regelmäßiger Hautkontakt nicht vermieden werden kann.
- Arbeitsverfahren mit Staub- und/oder Dampfentwicklung an Teilen, die mit Isocyanaten behandelt sind (z. B. Verarbeiten von Spanplatten in der Holzindustrie)
- Ausschäumen mit Montageschaum, soweit dieser Arbeitsvorgang zeitlich wesentlicher Bestandteil der Tätigkeit ist (üblicherweise mehr als die Hälfte der Arbeitsschicht).
- Herstellung von polyurethanbasierten Belägen (Sportstätten) und polyurethanbasierten Beschichtungen vor Ort, soweit dieser Arbeitsvorgang zeitlich wesentlicher Bestandteil der Tätigkeit ist (üblicherweise mehr als die Hälfte der Arbeitsschicht).
- Anmischen, Handformen und Prüfen der Sandmischung polyurethanbasierter Form- und/oder Kernsande (Cold-Box-, Novathen-, Linocureverfahren) in Gießereien.
- Arbeitsabläufe, bei denen es zur Thermolyse von PUR-Material (z. B. Isolierungen, Beschichtungen) kommen kann (z. B. Schweißen, Schleifen, Löten).

Bei der Beurteilung der gesundheitlichen Relevanz der Exposition ist zu berücksichtigen, dass mit der derzeit verfügbaren Analytik die Belastung mit Isocyanaten nicht in jedem Fall vollständig erfasst werden kann<sup>20</sup>. Hilfe für die Beurteilung von Arbeitsplätzen geben die Expositionsszenarien zu dieser TRGS, die im Internet unter der Adresse [www.baua.de/prax/ags/](http://www.baua.de/prax/ags/) abrufbar sind.

---

<sup>20</sup> Au M. et al.: Sicherer Umgang mit isocyanathaltigen Produkten – Vorschläge zur Erfassung der Exposition und Verbesserung der Prävention  
Zbl. Arbeitsmedizin 50 (2000) 335-341

## Anlage 9: Inhaltsverzeichnis des Katalogs der Expositionsszenarien

Zu den im folgenden Inhaltsverzeichnis aufgeführten Produkt- und Anwendungsbereichen von Isocyanaten sind Beschreibungen von typischen Arbeitsbereichen und der dort auftretenden Expositionssituation in dem im Internet unter der Adresse [www.baua.de/prax/ags/](http://www.baua.de/prax/ags/) veröffentlichten Katalog der Expositionsszenarien vorhanden.

Produktbereiche	Anwendungsbereiche	Fundstelle der Arbeitsbereiche im Katalog der Expositionsszenarien <sup>21</sup>
<b>BS</b> Beschichtungsstoffe	<b>BS 1</b> Herstellung von Beschichtungsstoffen	Seite 6 bis 7
	<b>BS 2</b> Verwendung von 1K-/2K-Beschichtungsstoffen	Seite 8 bis 11
	<b>BS 3</b> Versiegeln von Parkett mit PUR-1K- oder 2K-Versiegelung (TDI-Basis)	Seite 12
<b>IS</b> PUR-Integralschäume	<b>IS 1</b> Herstellung von PUR-Integralschaumstoffen (halbharte und harte MDI-Systeme)	Seite 13 bis 16
<b>MS</b> Herstellung und Verwendung von Montageschäumen	<b>MS 1</b> Herstellung von Montageschäumen	Seite 17
	<b>MS 2</b> Verwendung von Montageschäumen	Seite 18
<b>KS</b> Herstellung und Verwendung von Klebstoffen	<b>KS 1</b> Herstellung von Klebstoffen (PUR, 1K, 2K)	Seite 19
	<b>KS 2</b> Verwendung von 1K-Schmelzklebstoff in der Buchbinderei (MDI, TDI)	Seite 20 bis 22
	<b>KS 3</b> Folienkaschierung mit lösemittelfreiem 1K- oder 2K-Klebstoff (MDI, IPDI)	Seite 23 bis 24

<sup>21</sup> Veröffentlicht im Internet auf der Homepage des Ausschusses für Gefahrstoffe unter der Adresse [www.baua.de/prax/ags/](http://www.baua.de/prax/ags/)

Produktbereiche	Anwendungsbereiche	Fundstelle der Arbeitsbereiche im Katalog der Expositionsszenarien <sup>21</sup>
<b>KS</b> Herstellung und Verwendung von Klebstoffen (Fortsetzung)	<b>KS 4</b> Folienkaschierung mit lösemittelhaltigem 1K- oder 2K-Klebstoff (MDI, IPDI)	Seite 25 bis 26
	<b>KS 5</b> Folienkaschierung mit lösemittelfreiem 1K-Schmelzklebstoff (PUR-Hotmelt, MDI)	Seite 27 bis 28
	<b>KS 6</b> Herstellung von Faltenfiltern mit 2K-Vergussmasse (MDI)	Seite 29
	<b>KS 7</b> Verlegung von Parkett mit PUR-1K- oder 2K-Klebstoffen (MDI-Basis)	Seite 30
	<b>KS 8</b> Verlegung von Bodenbelägen außer Parkett mit PRU-1K- oder 2K-Klebstoffen (MDI-Basis)	Seite 31
	<b>KS 9</b> Klebungen am Schuh mit 2K-PUR-LM-Klebstoff (MDI, TDI)	Seite 32
	<b>KS 10</b> Klebungen am Schuh mit 2K-PUR-Dispersionsklebstoff (HDI)	Seite 33
	<b>KS 11</b> Klebungen am Schuh mit HMMG-Klebstoff (MDI, TDI)	Seite 34
<b>EL</b> Herstellung und Verwendung von Elastomeren	<b>EL 1</b> Herstellung von Elastomeren	Seite 35 bis 40
	<b>EL 2</b> Verwendung von PUR-Scheiben-/Karosserieklebern und PUR-Fugendichtmassen	Seite 41 bis 42
<b>HS</b> Hartschaumsysteme	<b>HS 1</b> Hartblockschaum (MDI-System)	Seite 43 bis 45
	<b>HS 2</b> Dämmplatten mit flexiblen Deckschichten (DTB, MDI-System)	Seite 46 bis 48

<b>Produktbereiche</b>	<b>Anwendungsbereiche</b>	<b>Fundstelle der Arbeitsbereiche im Katalog der Expositionsszenarien</b>
<b>WS</b> Weichschaumsysteme	<b>WS 1</b> Weichformschaum (Heißschaum) TDI-System	Seite 49 bis 52
	<b>WS 2</b> Weichformschaum (Kaltschaum) MDI-System	Seite 53 bis 56
	<b>WS 3</b> Weichformschaum (Kaltschaum) TDI/MDI-System	Seite 57 bis 60
	<b>WS 4</b> Weichblockschaum	Seite 61 bis 64
<b>BB</b> Anwendungen im Bergbau unter Tage	<b>BB 1</b> Gebirgsverfestigung, maschinelle Injektion mit Fernförderpumpe und Mehrwegbehälter	Seite 65
	<b>BB 2</b> Gebirgsverfestigung, maschinelle Injektion mit aus Komponentenkanistern beschickter 2K-Maschine	Seite 66 bis 67
	<b>BB 3</b> Gebirgsverfestigung, PUR-Patronen – Verfahren	Seite 68
<b>GS</b> Gießereien	<b>GS 1</b> Herstellung von Cold-Box-Kernen	Seite 69