



Gesund und sicher arbeiten mit Lösemitteln

Technische Information für Spezialisten der Arbeitssicherheit und andere Fachleute

Lösemittelhaltige Produkte sind nach wie vor weit verbreitet. Sie müssen richtig verwendet, gelagert und entsorgt werden. Sonst stellen sie ein Risiko für Mensch und Umwelt dar. Mögliche Gefahren sind Explosionen, Brände und Gesundheitsschäden, zum Beispiel Reizungen, Verätzungen oder Vergiftungen.

Diese Publikation informiert Sie über die Gefahren und erforderlichen Schutzmassnahmen.

Inhalt

1	Worum es geht	5
1.1	Was sind Lösemittel?	5
1.2	Kennzeichnung und Sicherheitsdatenblätter	6
1.3	Anwendungen	9
<hr/>		
2	Physikalisch-chemische Eigenschaften	10
<hr/>		
3	Brand- und Explosionsgefahr	11
3.1	Entzündungs- oder Explosionsgrenzen	12
3.2	Flammpunkt	12
3.3	Zündtemperatur	14
3.4	Elektrische Leitfähigkeit	14
<hr/>		
4	Gesundheitsgefährdung	15
4.1	Belastung durch Lösemittel	15
4.2	Maximaler Arbeitsplatzkonzentrationswert (MAK-Wert)	16
4.3	Biologische Arbeitsplatztoleranzwerte (BAT-Werte)	17
<hr/>		
5	Schutzmassnahmen	18
5.1	Substitution von gefährlichen Stoffen oder Verfahren	18
5.2	Technische Massnahmen	20
5.2.1	Arbeiten mit geschlossenen Systemen	20
5.2.2	Lüftung beim Umgang mit Lösemitteln	21
5.2.3	Lüftung in Lagerräumen	22
5.2.4	Ex-Zoneneinteilung für Bereiche mit Explosionsrisiken	23
5.2.5	Vermeiden von Zündquellen	24
5.2.6	Begrenzen des Schadens bei einem Brand oder einer Explosion	25
5.3	Organisatorische Massnahmen	26
5.3.1	Wirksamkeit der Massnahmen überprüfen (Messmethoden)	26
5.3.2	Explosionsschutzdokument	27
5.3.3	Ausbildung und Instruktion der Mitarbeitenden	27
5.3.4	Umgang mit Lösemittel-Abfällen	27
5.4	Persönliche Schutzausrüstung	28
5.4.1	Atemschutz	28
5.4.2	Schutz von Haut und Augen	29
<hr/>		
6	Publikationen zum Thema	30
6.1	Informationsmittel der Suva und anderer Institutionen	30
6.2	Weitere Publikationen	30
6.3	Internationale Datenbanken	31
<hr/>		

1 Worum es geht

Produkte, die Lösemittel enthalten, sind sowohl in Gewerbe- und Industriebetrieben als auch in Privathaushalten weit verbreitet. Lösemittel können in reinem Zustand oder als Gemisch mehr oder weniger grosse Risiken für die Gesundheit und die Sicherheit von Personen und deren Umgebung darstellen. Das Risiko beim Umgang mit lösemittelhaltigen Produkten ist gross, wenn diese nicht vorschriftsgemäss gelagert, verwendet und entsorgt werden.

Diese Publikation richtet sich in erster Linie an Spezialisten für Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz, an Kadermitarbeitende und an Sicherheitsbeauftragte. Sie gibt einen Überblick über das Thema. Weitere Informationen zu Teilaspekten finden Sie beispielsweise im elektronischen Such- und Bestellsystem Waswo der Suva (www.suva.ch/waswo).

1.1 Was sind Lösemittel?

Lösemittel sind Flüssigkeiten, die in der Lage sind, andere Stoffe (feste, flüssige oder gasförmige) zu lösen oder diese aus anderen Substanzen zu extrahieren, ohne sich dabei selber chemisch zu verändern. Solche homogenen Gemische von Stoffen in einem Lösemittel werden «Lösungen» genannt.

Wasser ist zweifellos das am weitesten verbreitete, billigste und mit Blick auf die Sicherheit und Gesundheit der Anwender am besten geeignete Lösemittel. Seine molekulare Struktur schränkt jedoch die Verwendung ein.



1 Zahlreiche Produkte für Gewerbe, Industrie und Haushalt enthalten schädliche und entzündliche Lösemittel.

Diese organischen Lösemittel werden zurzeit am häufigsten verwendet:

Sauerstoffhaltige Lösemittel

- Alkohole (z. B. Isopropanol, Ethanol)
- Ester (z. B. Ethylacetat, Butylacetat)
- Ketone (z. B. Aceton, Methylethylketon [MEK])
- Glykole (z. B. Ethyenglykol)
- Ether (z. B. Diethylether, Methyltertiäbutylether [MTBE])

Kohlenwasserstoffhaltige Lösemittel

- Nichtaromatische Lösemittel auf Erdölbasis und Lösemittel mit geringem Anteil an Aromaten: (entaromatisierter White Spirit, mit Wasserstoff behandelte Erdöldestillate, schweres oder leichtes Naphtha, Spezialbenzine)
- aromatische Kohlenwasserstoffe (z. B. Toluol, Xylol)

Halogenhaltige Lösemittel (stark eingeschränkte und reglementierte Anwendungen)

- Chlorkohlenwasserstoffe (Perchlorethylen, Dichlormethan)
- Hydrofluoralkane (HFA)
- Hydrofluorether (HFE)

Häufig werden Lösemittel als Gemische auf den Markt gebracht. Dies sind beispielsweise Produkte mit Bezeichnungen wie «Verdünner» oder «Naphtha». Ihre Zusammensetzung ist oft nur ungenau definiert, und ihre physikalisch-chemischen und toxikologischen Eigenschaften können sich deshalb von einer Lieferung zur anderen verändern. Bei solchen Gemischen handelt es sich sehr oft um rezyklierte Lösemittel.

Oft sind Lösemittel nicht unter ihrer chemischen Bezeichnung, sondern unter einem Markennamen oder einem umgangssprachlichen Begriff bekannt. Einige Beispiele: «Thinner», «Terpinette», «Brennsprit» oder «Spiritus», «A3-Lösemittel», «Green Earth» oder «D5».

Alle gängigen Lösemittel sind flüchtige organische Verbindungen (VOC)¹. Diese unterstehen zahlreichen schweizerischen und/oder europäischen Vorschriften.

1.2 Kennzeichnung und Sicherheitsdatenblätter

Stoffe und Zubereitungen (Stoffgemische) müssen gemäss Chemieverordnung (ChemV) entsprechend ihrer Gefährlichkeit verpackt und gekennzeichnet werden. Gefahrensymbole visualisieren die Hauptgefahren und das Gefahrenpotenzial, Gefahrensätze geben Auskunft über die Gefahren.

Beispiel eines Gefahrensymbols nach bisherigem Kennzeichnungssystem

Weitere Informationen zum betreffenden Stoff sind in kurzer und übersichtlicher Form auf der **Kennzeichnungsetikette** zu finden.



F+ Hochentzündlich

Stoffe, die mit der Umgebungsluft explosionsfähige Gemische bilden und bei Anwesenheit einer Zündquelle sehr leicht entzündet werden können (Flammpunkt < 0 °C, Siedepunkt ≤ 35 °C).

Die Gefahrensätze (R-Sätze) geben Auskunft über die Gefährlichkeit des Stoffs. In den Sicherheitshinweisen (S-Sätzen) ist festgehalten, was für den sicheren Umgang mit diesem Stoff zu beachten ist.

¹ Als VOC im Sinne der schweizerischen Gesetzgebung gelten organische Verbindungen mit einem Dampfdruck von mindestens 0,1 mbar bei 20 °C oder mit einem Siedepunkt von höchstens 240 °C bei 1013,25 mbar.

Aceton				
 F Leichtentzündlich	R11 Leichtentzündlich. R36 Reizt die Augen. R66 Wiederholter Kontakt kann zu spröder oder rissiger Haut führen. R67 Dämpfe können Schläfrigkeit und Benommenheit verursachen.	Gefahrensätze (R-Sätze)		
	 Xi Reizend		S9 Behälter an einem gut belüfteten Ort aufbewahren. S16 Von Zündquellen fernhalten – Nicht rauchen. S26 Bei Berührung mit den Augen sofort gründlich mit Wasser abspülen und Arzt konsultieren. S46 Bei Verschlucken sofort ärztlichen Rat einholen und Verpackung oder Etikett vorzeigen.	Sicherheitshinweise (S-Sätze)
			Name, Adresse und Telefonnummer der verantwortlichen Firma	

2 Kennzeichnungsetikette einer gefährlichen Zubereitung

Neue Kennzeichnung nach GHS

Das von den Vereinten Nationen (UNO) erarbeitete System zur Einstufung und Kennzeichnung von Chemikalien GHS (Globally Harmonized System) strebt eine einheitliche Gefahrenbewertung und Kennzeichnung von chemischen Stoffen an. Dieses GHS-System bildet die Grundlage für die neue europäische CLP-Verordnung zur Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung chemischer Stoffe und Zubereitungen, die anfangs 2009 in Kraft getreten ist.

Die Umsetzung dieser Verordnung erfolgt in Etappen. Die Übergangsphase dauert für Reinstoffe bis zum 1. Dezember 2012, für Gemische bis zum 1. Juni 2015.

Die Gliederung der Informationen auf den Kennzeichnungsetiketten bleibt gegenüber dem bisherigen System unverändert:

- Ein oder mehrere Piktogramme weisen auf die Gefahren hin (9 verschiedene Piktogramme).
- Die Signalwörter «Gefahr» oder «Achtung» verstärken die Wirkung des Piktogramms.

- Ein oder mehrere **Gefahrensätze** (H-Sätze) geben Auskunft über die Gefahren.
- Die **Sicherheitshinweise** (P-Sätze) enthalten Angaben zur sicheren Lagerung, Verwendung und Entsorgung des Produkts sowie Anweisungen, was bei einem Unfall zu tun ist.

Zwei Beispiele für GHS-Piktogramme und Gefahrenbezeichnungen

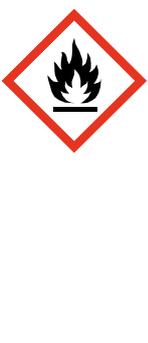
	<p>Brandgefahr</p> <p>Durch eine Zündquelle können leicht Brände entstehen. Dämpfe von Flüssigkeiten sowie Gas und Aerosole können sogar Explosionen verursachen. Als Zündquelle kommen unter anderem in Betracht: elektrisch erzeugte Funken, offenes Feuer, mechanisch erzeugte Funken, Raucherwaren, elektrostatische Entladung, heisse Oberflächen.</p>
	<p>Gesundheitsgefahr</p> <p>Schwere chronische Gesundheitsschäden können verursacht werden, z. B. Organschädigungen und Atemwegsbeschwerden.</p> <p>Auch krebserzeugende, erbgutverändernde und fortpflanzungsgefährdende Stoffe (CMR) werden mit diesem Piktogramm gekennzeichnet. Der dazugehörige H-Satz gibt Auskunft, ob es sich um einen Verdacht oder um einen nachweislich als CMR wirkenden Stoff handelt.</p>

Tabelle 1 Piktogramme und Gefahrenbezeichnungen

Ausführliche Informationen zur Kennzeichnung nach GHS finden sich in der Suva-Broschüre 11030.d «Gefährliche Stoffe. Was man darüber wissen muss» oder auf der Internetseite des Bundesamts für Gesundheit BAG unter der Rubrik «Chemikalien» (www.bag.admin.ch).

Sicherheitsdatenblätter

Die Sicherheitsdatenblätter (SDB) sind in 16 Kapitel unterteilt. Sie vermitteln beruflichen und gewerblichen Anwendern von gefährlichen Chemikalien unerlässliche Informationen über die physikalisch-chemischen Eigenschaften der Stoffe, deren Toxizität und Umweltgefährdung sowie Angaben zu den erforderlichen Schutzmassnahmen.

Für alle Produkte, die gefährliche Stoffe enthalten, ist es obligatorisch, ein SDB zu erstellen. Verantwortlich dafür ist der Hersteller oder der Importeur des Produkts. Zu jedem Produkt muss ein SDB in der beim Verwender üblichen schweizerischen Amtssprache (Deutsch, Französisch oder Italienisch) mitgeliefert werden.

Berufliche und gewerbliche Anwender sind verpflichtet, die auf dem SDB vermerkten Anweisungen zu befolgen. Ein SDB muss so lange aufbewahrt werden, wie das betreffende Produkt im Betrieb verwendet wird. Hersteller oder Importeure sind verpflichtet, bei neuen Erkenntnissen zu Gefahren, Risiken und Schutzmassnahmen das SDB zu aktualisieren.

1.3 Anwendungen

Lösemittel werden aufgrund ihrer Eigenschaften überall in der Arbeitswelt eingesetzt, besonders jedoch in der Industrie. Die Anwendungen reichen von der Entfettung von Metallteilen über die Extraktion von chemischen Substanzen, die Reinigung von Kleidern und die Verflüssigung von Substanzen bis hin zum Verdünnen von Farben. Die nachstehende Liste erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Anwendung	Branche
Extraktion Stofftrennung Auflösung Synthese	Chemische und pharmazeutische Industrie, Lebensmittel- und Kosmetikindustrie
Auflösung Additive Flüchtiger Teil von Produkten (Aerosole, Klebstoffe, Farben, Tinten)	Betriebe der unterschiedlichsten Branchen, die z. B. Klebstoffe, Polymere, Farben, Tinten, Lacke, Filme oder Textilfasern herstellen oder verwenden
Entfettung	Reinigung von Kleidern, Metall- und Uhrenindustrie, Reparaturwerkstätten, Baugewerbe
Bodenbearbeitung	Baunebengewerbe
Fraktionierte Destillation	Erdölindustrie

Tabelle 2 Anwendungsbereiche von Lösemitteln



3 Bei vielen Arbeiten werden lösemittelhaltige Produkte verwendet, beispielsweise bei der Reinigung von Siebdruckrahmen.



4 Arbeiten mit einer Farbspritzpistole und einem von der Umgebungsluft unabhängigen Atemschutzgerät

2 Physikalisch-chemische Eigenschaften

Die Sicherheitsdatenblätter enthalten unter Punkt 9 alle wichtigen Informationen zu den physikalisch-chemischen Eigenschaften der Stoffe und Zubereitungen. Es bestehen im Übrigen zahlreiche Publikationen und Datenbanken (siehe Ziffer 6), mit denen bei Bedarf Angaben überprüft oder vervollständigt werden können. Im Folgenden werden die wichtigsten Eigenschaften von Lösemitteln beschrieben.

Siedepunkt oder Siedebereich

Der Begriff Siedepunkt wird für reine Stoffe verwendet. Bei Gemischen, besonders bei Erdölfraktionen, bestehen meist Siedebereiche (Destillationsbereiche), die auf dem Merkblatt oder dem Sicherheitsdatenblatt des Produkts vermerkt sind. Ein «80/110-Benzin» beispielsweise hat einen Siedebereich von 80 bis 110 °C.

Dichte der Flüssigkeit und ihrer Dämpfe

Lösemittel können leichter oder schwerer sein als Wasser. Die Dämpfe der Lösemittel hingegen sind immer schwerer als Luft. Ohne Lüftung haben sie deshalb die Tendenz, sich am tiefsten Punkt anzusammeln, beispielsweise in Vertiefungen, Schächten oder in der Kanalisation.

Mischbarkeit

Die unterschiedliche Polarität von Lösemitteln führt dazu, dass sie sich mehr oder weniger gut mischen lassen. Im Allgemeinen interessiert in diesem Zusammenhang nur die Mischbarkeit mit Wasser, das heisst, die maximale Lösemittelmenge, die dem Wasser zugesetzt werden kann, damit ein homogenes Gemisch erhalten bleibt.

Sättigungskonzentration, Dampfdruck

In einem geschlossenen Gefäss stellt sich zwischen einer Flüssigkeit und ihrem Dampf ein Gleichgewicht ein. Der Druck, der vom Dampf über einer Flüssigkeit erzeugt wird, heisst «Dampfdruck» oder «Sättigungsdampfdruck». Je flüchtiger ein Stoff ist, umso höher ist der Sättigungsdampfdruck und als Folge davon auch die Sättigungskonzentration. Es ist wichtig, diese temperaturabhängigen Werte zu kennen, um die potenzielle Gefahr einer Explosion oder einer Vergiftung bei den verschiedenen Lösemitteln einzuschätzen.

Flüchtigkeit, Verdunstungszahl

Die Tendenz eines Lösemittels zu verdunsten wird «Flüchtigkeit» genannt. Sie wird durch eine dimensionslose Zahl, die «Verdunstungszahl», quantifiziert. Als Referenzgrösse dient die Verdunstungszahl von Diethylether. Leichtflüchtige Lösemittel haben eine Verdunstungszahl unter 10, schwerflüchtige eine solche von 35 und höher.

Chemische Stabilität

Lösemittel müssen stabil sein. Sie dürfen nicht mit denjenigen Substanzen reagieren, die darin gelöst sind oder mit denen sie in Kontakt kommen.

Dennoch können sich gewisse Lösemittel mit der Zeit chemisch verändern:

- Halogenierte Lösemittel werden, wenn sie nicht stabilisiert sind, mit der Zeit sauer. Sie können dann korrodierend auf Metallteile wirken, mit denen sie in Kontakt sind.
- Ether, beispielsweise Diisopropylether, können explosive Peroxide bilden, besonders wenn sie Licht oder Wärme ausgesetzt sind.

Die Lagerbedingungen der Lösemittel können ebenfalls eine bedeutende Rolle spielen:

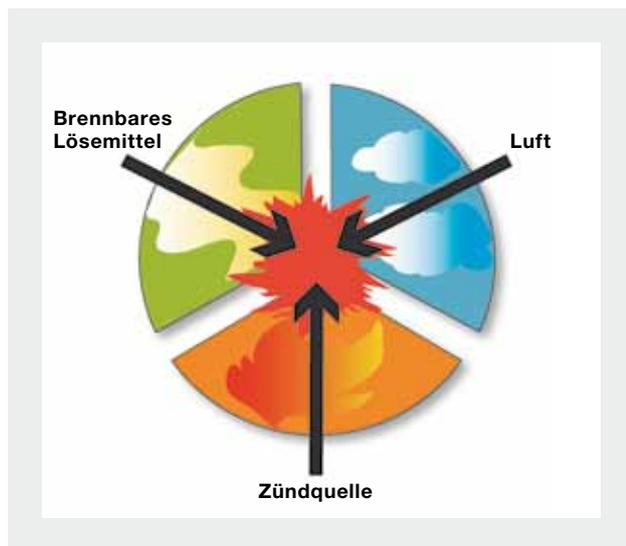
- Das Verwenden von halogenierten Lösemitteln in der Nähe von Anlagen mit hohen Temperaturen (Öfen, Schweissanlagen usw.) stellt ein hohes Vergiftungsrisiko dar. Die Dämpfe der halogenierten Lösemittel sind nicht oder nur sehr schwer entzündbar. Sie können sich jedoch sehr leicht zersetzen und dabei korrosive Substanzen und unter Umständen sehr giftiges Phosgen bilden. Diese Zersetzung kann auch im glühenden Ende einer Zigarette stattfinden.
- Oxidierende Verbindungen, beispielsweise Peroxide, Salpetersäure oder Kaliumpermanganat, reagieren heftig mit den meisten Lösemitteln. Dabei wird viel Wärme freigesetzt, wodurch ein Brand oder gar eine Explosion ausgelöst werden kann.

3 Brand- und Explosionsgefahr

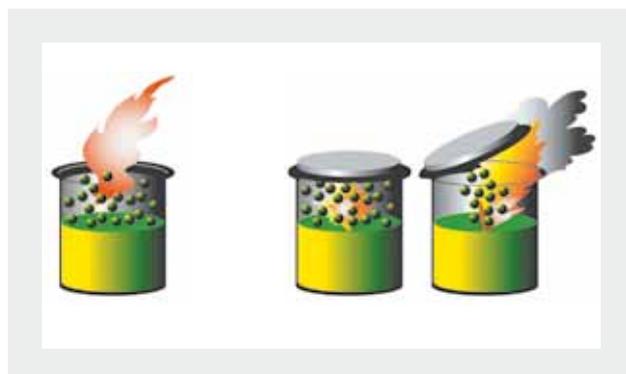
Voraussetzung für einen Brand oder eine Explosion ist, dass gleichzeitig folgende Komponenten am gleichen Ort auftreten:

- Brennstoff (als Gas, Dampf, Nebel oder Staub)
- Sauerstoff (in der Regel Luftsauerstoff)
- eine genügend energiereiche Zündquelle

Damit ein entzündbares Gemisch entsteht, muss im Weiteren das Verhältnis zwischen Brennstoff und Sauerstoff stimmen. Die unten stehende Grafik verdeutlicht das Zusammentreffen der verschiedenen Komponenten.



5 Voraussetzungen für das Zustandekommen eines Brands oder einer Explosion



6 Verbrennung in offener oder geschlossener Umgebung

Ein Brand oder eine Explosion kann nicht ausgelöst werden, wenn eines dieser drei Elemente fehlt. Ein Verbrennungsvorgang wird unterbrochen, sobald ein Element entfernt wird.

Ausser in besonderen Fällen² läuft der Verbrennungsprozess in einem offenen Gefäß oder Raum als Brand ab, in einem geschlossenen Gefäß oder Raum (Verdämmung) als Explosion.

Im Folgenden werden die wichtigsten physikalisch-chemischen Eigenschaften beschrieben, die erforderlich sind, um das Risiko eines Brands oder einer Explosion zu beurteilen.

Eine Explosion ist eine sehr schnell ablaufende chemische Reaktion (Oxidation), die eine Erhöhung von Temperatur und Druck zur Folge hat.

Hinweis:

Nicht die Flüssigkeit brennt, sondern deren Dämpfe in Verbindung mit Luft.

² z.B.:

BLEVE: «Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion» (Gasexplosion einer expandierenden siedenden Flüssigkeit)

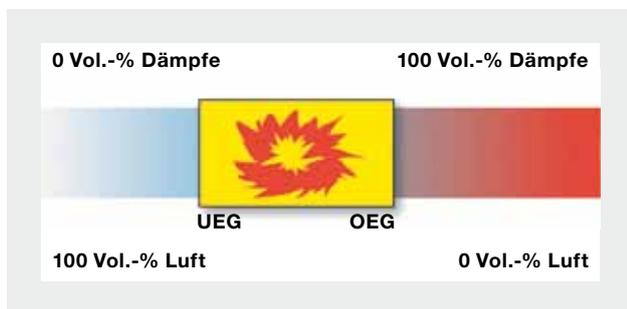
UVCE: «Unconfined Vapor Cloud Explosion» (Gaswolkenexplosion im Freien).

3.1 Entzündungs- oder Explosionsgrenzen

Eine explosive Atmosphäre kann entstehen, wenn eine brennbare Substanz in genügend hoher Konzentration mit Luft gemischt wird. Für jedes Gemisch besteht ein optimales Konzentrationsverhältnis (stöchiometrisches Gemisch), bei dem die bei der Explosion freigesetzte Energie maximal ist. Weicht man von diesem optimalen Mischungsverhältnis ab, verringert sich die freigesetzte Energie, bis schliesslich eine Explosion unmöglich wird.

Wenn die Konzentration der entzündbaren Dämpfe unterhalb der unteren Explosionsgrenze liegt, ist das Gemisch zu «mager» an Brennstoff, um sich zu entzünden. Oberhalb der oberen Explosionsgrenze ist die Konzentration der entzündbaren Dämpfe im Verhältnis zum Sauerstoff so hoch, dass sich das Gemisch nicht mehr entzünden kann. Solche Gemische werden auch als zu «fett» bezeichnet.

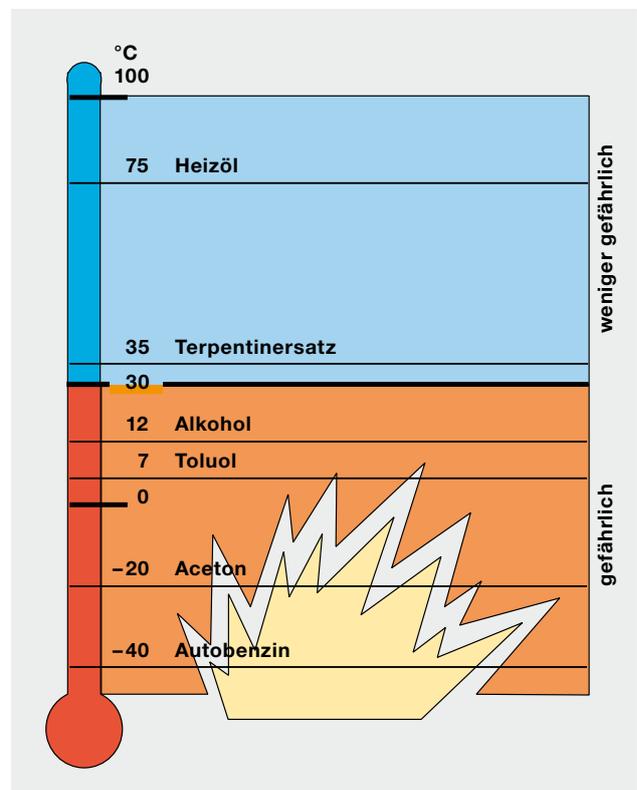
Es ist zu beachten, dass für Nebel (feinst verteilte Tröpfchen in der Luft) keine präzisen Entzündungsbereiche festgelegt werden können.



7 Der Entzündungs- oder Explosionsbereich weist eine untere Grenze (UEG) und eine obere Grenze (OEG) auf.

3.2 Flammpunkt

Der Flammpunkt ist die tiefste Temperatur, bei der eine Flüssigkeit noch genügend Dampf entwickelt, damit sich das Dampf-Luft-Gemisch kurzzeitig entzünden kann, wenn eine wirksame Zündquelle vorhanden ist.

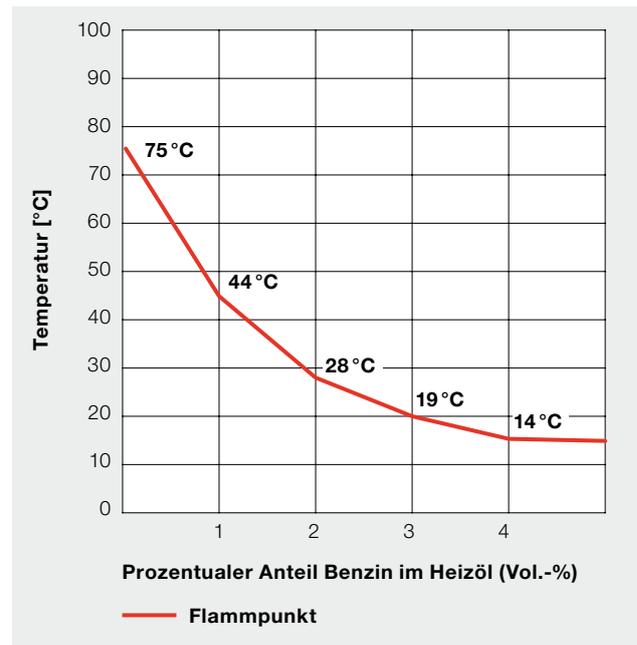


8 Flammpunkt einiger Lösemittel

Die Kenngrösse «Flammpunkt» ist wichtig, um das Brand- und Explosionsrisiko einer Flüssigkeit zu beurteilen. In der EKAS-Richtlinie 1825 werden Flüssigkeiten als «leichtbrennbar» eingestuft, wenn ihr Flammpunkt unter 30 °C liegt. Bei einem Flammpunkt zwischen 30 °C und 55 °C werden Flüssigkeiten als «brennbar» bezeichnet. Es ist darauf hinzuweisen, dass diese Definitionen nicht deckungsgleich sind mit denjenigen bei den Piktogrammen für «hochentzündliche» beziehungsweise «leichtentzündliche» Flüssigkeiten.

Auf folgende Punkte soll noch speziell hingewiesen werden:

- Die Dämpfe einer brennbaren Flüssigkeit können sich entzünden, wenn die Flüssigkeit über ihren Flammpunkt hinaus erwärmt wird. Aus Sicherheitsgründen ist stets eine Sicherheitsmarge von 15 °C für Gemische und von 5 °C für reine Flüssigkeiten einzuhalten.
- Brennbare Flüssigkeiten, deren Flammpunkte deutlich über der Umgebungstemperatur liegen, können nach Adsorption auf einer porösen Oberfläche ihre Verdunstungsfläche derart vergrößern, dass sie sich dennoch leicht entzünden können (Dochteffekt).
- Das Kriterium des Flammpunkts ist bei brennbaren Flüssigkeiten, die zu feinen Nebeln versprüht werden (Aerosole), nicht anwendbar. Diese können sich nämlich aufgrund ihrer grossen Oberfläche bereits bei Temperaturen weit unterhalb des Flammpunkts der entsprechenden Flüssigkeit entzünden.
- Homogene Gemische aus Wasser und einem leichtbrennbaren Alkohol (z. B. Ethanol oder Isopropanol) können bereits ab einem Alkoholgehalt von rund 30 % einen Flammpunkt unter 30 °C aufweisen. Spirituosen werden jedoch nicht entsprechend gekennzeichnet, da sie den für Lebensmittel geltenden Bestimmungen unterstehen.
- Schon geringe Mengen von leichtbrennbaren Lösemitteln können den Flammpunkt eines Gemischs beträchtlich herabsetzen. So reichen zum Beispiel bereits weniger als 2 % Benzin in Heizöl aus, um den Flammpunkt des Heizöls auf unter 30 °C zu senken und dieses in eine «leichtbrennbare» Flüssigkeit zu verwandeln.



9 Flammpunkt einiger Lösemittel

3.3 Zündtemperatur

Auch heisse Oberflächen können die Dämpfe einer brennbaren Flüssigkeit entzünden. Es genügt eine Erhitzung bis zur sogenannten Zündtemperatur, auch Selbstentzündungstemperatur genannt.

In der Praxis kann diese spontane Entzündung beim Kontakt mit einer heissen Wand eines Ofens, einer Wanne oder einer Rohrleitung erfolgen.

Die Zündtemperatur eines Gases oder Dampfes ist die tiefste Temperatur, bei der sich ein brennbares Gas-Luft- oder Dampf-Luft-Gemisch spontan entzündet.

Auf der Grundlage der Zündtemperatur werden Temperaturklassen gebildet. Sie spielen eine Rolle bei der Auswahl von Apparaten, die in explosionsgefährdeten Bereichen eingesetzt werden.

Ein Benzindampf-Luftgemisch hat beispielsweise eine Zündtemperatur von ca. 220 °C. Apparate, die mit Benzin in direkten Kontakt kommen, müssen deshalb mindestens der Temperaturklasse T3 entsprechen.

Erwähnenswert sind in diesem Zusammenhang drei nicht sehr gebräuchliche Lösemittel, die jedoch eine besonders tiefe Zündtemperatur aufweisen: Schwefelkohlenstoff (102 °C), Acetaldehyd (140 °C) und Diethylether (170 °C).

Temperaturklasse	Zündtemperatur der Gase oder Dämpfe in °C	Maximale Oberflächentemperatur in °C
T 1	>450	450
T 2	300–450	300
T 3	200–300	200
T 4	135–200	135
T 5	100–135	100
T 6	85–100	85

Tabelle 3 Temperaturklassen

3.4 Elektrische Leitfähigkeit

Die Neigung einer Flüssigkeit, sich elektrostatisch aufzuladen, hängt von ihrer elektrischen Leitfähigkeit ab. Man unterscheidet zwischen nicht polaren Lösemitteln («Nichtleiter») mit geringer Leitfähigkeit und polaren Lösemitteln («Leiter») mit relativ guter Leitfähigkeit.

Die elektrische Leitfähigkeit wird in Siemens/Meter (S/m) ausgedrückt und mit dem Symbol «σ» gekennzeichnet. Bei Lösemitteln wird der Bereich der elektrischen Leitfähigkeit meist in Pikosiemens (pS/m) angegeben, wobei ein pS/m 10⁻¹² S/m entspricht.

Lösemittel werden aufgrund ihrer Leitfähigkeit in drei Kategorien eingeteilt:

Je kleiner die Leitfähigkeit einer Flüssigkeit, desto grösser ist die Wahrscheinlichkeit, dass sie sich elektrostatisch auflädt.

Elektrostatische Entladungsfunken sind immer genügend energiereich, um ein zündfähiges Dampf-Luftgemisch zu zünden (siehe DVD 365).

Hohe Leitfähigkeit Alkohole Ketone Wasser	100 000–10 000 000 pS/m
Mittlere Leitfähigkeit Ester Brennstoffe und Öle mit flüchtigen Zusätzen	100–1000 pS/m
Schwache Leitfähigkeit Benzin Aromatische Kohlenwasserstoffe Kerosin Ether	0,1–100 pS/m

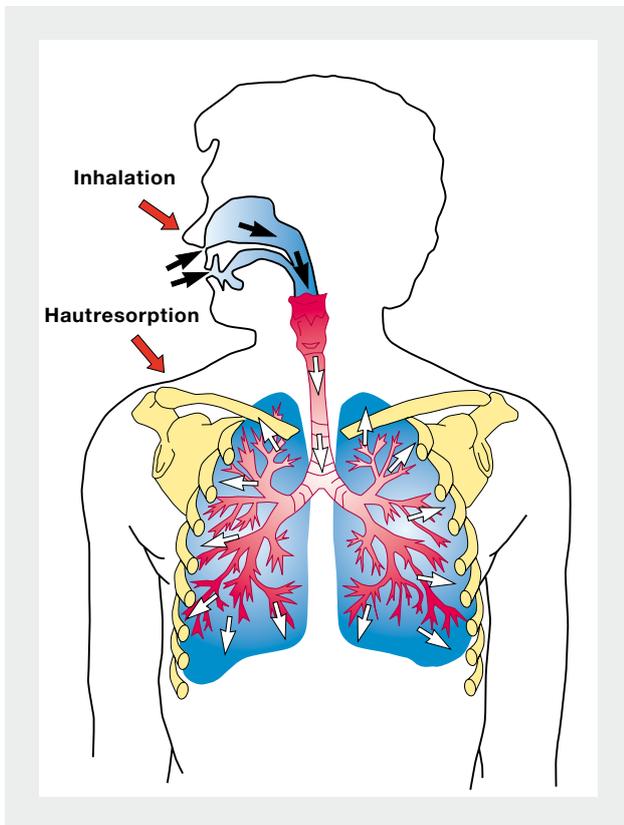
Tabelle 4 Einteilung der Lösemittel aufgrund ihrer Leitfähigkeit

4 Gesundheitsgefährdung

4.1 Belastung durch Lösemittel

Die von Lösemitteln ausgehenden Gefahren hängen nicht nur von deren physikalisch-chemischen Eigenschaften ab und sind deshalb auch nicht auf Brände und Explosionen beschränkt. Die meisten Lösemittel können bei unsachgemässer Anwendung Reizungen, Verätzungen oder akute und chronische Vergiftungen verursachen.

Gefährliche Substanzen können auf verschiedene Weise in den Organismus gelangen. Bei Lösemitteln stellt das Einatmen der Dämpfe die grösste Gefahr dar. Das Eindringen durch die Haut kommt weniger häufig vor, darf aber nicht ausser Acht gelassen werden. Ausserdem kann die Haut durch den Kontakt mit einem Lösemittel geschädigt werden.



10 Aufnahmewege



11 Es ist verboten, gefährliche Flüssigkeiten in Getränkeflaschen aufzubewahren.

Noch seltener ist die unbeabsichtigte Einnahme durch den Mund. Dies passiert vor allem dann, wenn gefährliche Stoffe in Behältern gelagert werden, die normalerweise für Lebensmittel bestimmt sind.

Eine kurze Exposition gegenüber einer hohen Konzentration eines Lösemittels kann zu einer akuten Vergiftung führen (akute Toxizität). Bei wiederholten Kontakten mit geringen Mengen von Lösemitteln während Monaten oder Jahren besteht die Gefahr einer chronischen Vergiftung (chronische Toxizität).

Die Eigenschaften von Lösemitteln führen dazu, dass sie hauptsächlich von den stark fetthaltigen Organen aufgenommen werden und diese beeinträchtigen. So

kann beispielsweise die Funktion von Hirn, Leber und Nerven geschädigt werden.

Informationen über die toxischen Eigenschaften von Lösemitteln finden sich auf den entsprechenden Kennzeichnungsetiketten und in den Sicherheitsdatenblättern.

Akute Toxizität	
Betroffenes Organ	Symptome
Herz	Herzrhythmusstörungen
Gehirn	Müdigkeit Benommenheit Schwindel Kopfschmerzen Betäubung Koma
Chronische Toxizität	
Betroffenes Organ	Symptome
Haut	Austrocknung Ausschlagen der Schutzfunktion allergisches Ekzem (selten)
Augen, Schleimhäute	Entzündungen, Bindehautentzündung
Gehirn	Gedächtnisverlust Beeinträchtigung des Denkvermögens Persönlichkeitsstörungen
Peripheres Nervensystem	Empfindungsstörungen Lähmungen
Leber	Verfettung
Blut	Blutarmut Leukämie (nur bei Benzol)

Tabelle 5 Die wichtigsten Symptome bei Lösemittelvergiftungen

4.2 Maximaler Arbeitsplatzkonzentrationswert (MAK-Wert)

Der MAK-Wert (**M**aximaler **A**rbeitsplatz**k**onzentrationswert) dient als Grundlage für das Beurteilen der Arbeitsplatzverhältnisse.

Der Maximale Arbeitsplatzkonzentrationswert (MAK-Wert) ist die höchstzulässige Durchschnittskonzentration eines gas-, dampf- oder staubförmigen Arbeitsstoffes in der Luft, die nach derzeitiger Kenntnis in der Regel bei Einwirkung während einer Arbeitszeit von 8 Stunden täglich und bis 42 Stunden pro Woche auch über längere Perioden bei der ganz stark überwiegenden Zahl der gesunden, am Arbeitsplatz Beschäftigten die Gesundheit nicht gefährdet.

Die MAK-Werte werden ausgedrückt:

- bei Gasen und Dämpfen in Volumenteilen pro Million Teile Luft = **ml/m³** (englisch: **ppm** = parts per million) sowie in **mg/m³** Luft;
- bei Schwebstoffen in **mg/m³** Luft.

Die MAK-Werte sind Grenzwerte, die für einen grossen Teil der in Industrie und Gewerbe verwendeten chemischen Substanzen festgelegt werden. Sie werden aufgrund toxikologischer und experimenteller Daten ermittelt, die in der wissenschaftlichen Literatur verfügbar sind. Die MAK-Werte ziehen allerdings keine scharfe Grenze zwischen unschädlichen und schädlichen Konzentrationen. Die Gesundheit besonders empfindlicher oder gesundheitlich angeschlagener Personen kann auch beeinträchtigt werden, wenn die MAK-Werte eingehalten sind.

Die MAK-Werte sind 8-Stunden-Mittelwerte. In der Praxis kann jedoch die jeweilige Konzentration der Stoffe in der Atemluft im Verlauf eines Arbeitstags oder einer Schicht erheblich schwanken. Für zahlreiche Substanzen muss deshalb auch die kurzfristige Überschreitung dieser durchschnittlichen Konzentration eingeschränkt werden.

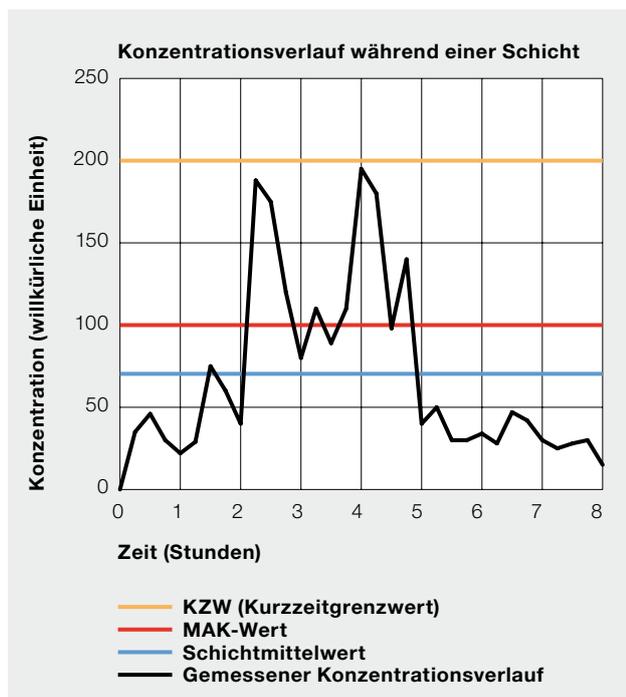
Deshalb wurden sogenannte Kurzzeitgrenzwerte

festgelegt. Sie definieren die Maximalwerte, die pro Arbeitstag oder Schicht einzuhalten sind, und zwar bezüglich Höhe der Konzentration, Dauer und Häufigkeit (Anzahl pro Arbeitstag/Schicht). Der MAK-Wert (8-Stunden-Mittelwert) darf in keinem Fall überschritten werden.

Für einzelne Substanzen mit besonderen Risiken enthält die MAK-Wert-Liste zusätzliche Informationen:

- Möglichkeit einer Vergiftung durch Hautresorption (H)
- Sensibilisierende Wirkung (S)
- Krebserzeugende (C), erbgutverändernde (M) und fortpflanzungsgefährdende (R) Wirkung (CMR-Stoffe)
- Klassifizierung fruchtschädigender Stoffe (SS)

Die Liste der Grenzwerte am Arbeitsplatz (Suva-Bestellnummer 1903.d) wird im Einvernehmen mit der Grenzwertkommission der Schweizerischen Vereinigung für Arbeitsmedizin, Arbeitshygiene und Arbeitssicherheit (Suissepro) regelmässig aktualisiert und von der Suva publiziert.



12 Konzentrationsverlauf eines luftgetragenen Schadstoffs im Verlauf einer Schicht

4.3 Biologische Arbeitsplatztoleranzwerte (BAT-Werte)

Gewisse Substanzen lassen sich nicht nur durch Luftkonzentrationsmessungen, sondern beispielsweise auch im Urin oder Blut von Arbeitnehmenden nachweisen und quantifizieren. Das Gesundheitsrisiko ergibt sich aus dem Vergleich der gemessenen Werte mit den sogenannten biologischen Arbeitsplatztoleranzwerten (BAT-Werten).

Der BAT-Wert (Biologischer Arbeitsplatztoleranzwert) beschreibt die arbeitsmedizinisch-toxikologisch abgeleitete Konzentration eines Arbeitsstoffes, seiner Metaboliten oder eines Beanspruchungsindikators im entsprechenden biologischen Material, bei dem im Allgemeinen die Gesundheit eines Beschäftigten, auch bei wiederholter und langfristiger Exposition, nicht beeinträchtigt wird.

Der BAT-Wert gilt als überschritten, wenn bei mehreren Untersuchungen einer Person die mittlere Konzentration des Parameters oberhalb des BAT-Werts liegt.

5 Schutzmassnahmen

Die Schutzmassnahmen beim Umgang mit Lösemit-
teln verfolgen zwei Ziele:

- Verhindern von Bränden und Explosionen
- Verhindern von Vergiftungen und von Krankheiten
bei chronischer Exposition gegenüber Lösemittel-
dämpfen

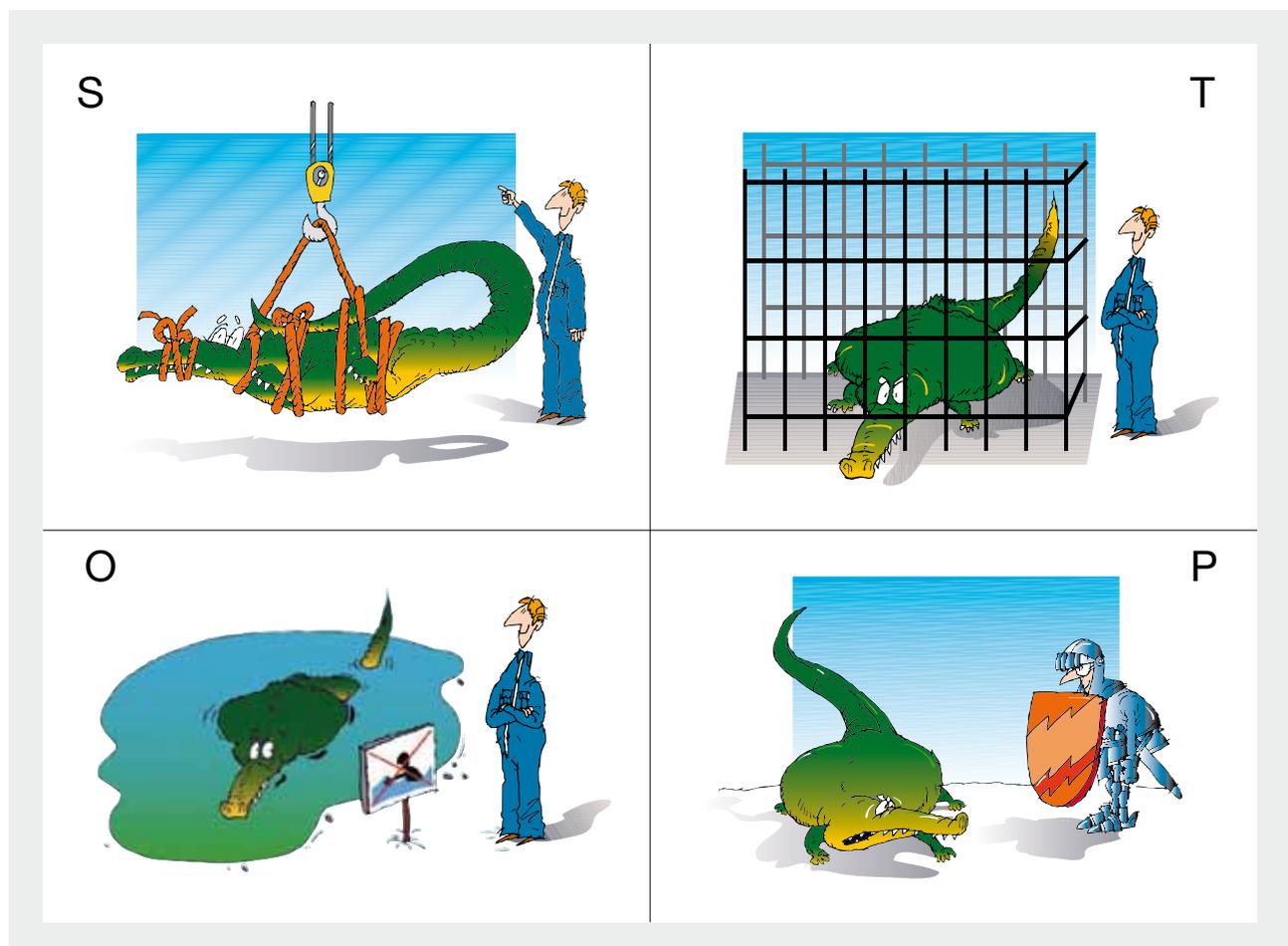
Die Massnahmen, mit denen sich arbeitsplatzbezoge-
ne Risiken vermindern oder beseitigen lassen, werden
nach dem STOP-Prinzip umgesetzt:

- Substitution (Ersetzen) von gefährlichen Stoffen oder
Verfahren
- Technische Massnahmen
- Organisatorische Massnahmen
- Persönliche Schutzmassnahmen

5.1 Substitution von gefährlichen Stoffen oder Verfahren

Die Substitution hat zum Ziel, die Gesundheitsrisiken
der Mitarbeitenden zu reduzieren und ihre Arbeitsbe-
dingungen zu verbessern. Dabei genügt es jedoch
nicht, einfach ein Produkt oder ein Verfahren gegen
ein anderes auszutauschen.

Nicht akzeptierbar wäre beispielsweise, wenn ein
CMR-Stoff durch einen zwar weniger schädlichen,
jedoch leichtbrennbaren Stoff ersetzt würde. Zudem
entwickeln sich die toxikologischen Erkenntnisse sehr



13 Hierarchie der Massnahmen, um arbeitsplatzbezogene Risiken zu mindern oder zu beseitigen

schnell. Eine aus heutiger Sicht unbedenkliche Lösung muss möglicherweise schon wenige Jahre später wieder in Frage gestellt werden. Aus diesen Gründen muss ein alternativer Stoff oder ein vermeintlich sichereres Verfahren einer Risikobeurteilung unterzogen werden, bevor es eingeführt wird.

Beispiele, wie sich Lösemittel ersetzen oder reduzieren lassen

Entfettung

Als Alternativen zu Kohlenwasserstoffgemischen oder halogenierten Lösemitteln bieten sich folgende Systeme an:

- Waschmittel auf wässriger Basis: Die eingesetzten Waschmittel können sauer, alkalisch oder neutral sein und kleinere Mengen Lösemittel, beispielsweise Glykolether, enthalten.
- Brennbare Flüssigkeiten mit hohem Flammpunkt (55–100 °C) in geschlossenen Systemen: In solchen Anlagen werden beispielsweise feinmechanische Teile in einem Tauchbad entfettet oder in der Dampfphase gereinigt und unter Vakuum getrocknet. Das Lösemittel wird laufend wiederaufbereitet.

Lacke

Die Lackhersteller für das Baugewerbe, die Industrie oder das Karosseriegewerbe haben grosse Anstrengungen unternommen, um die Bestimmungen zum Schutz der Mitarbeitenden und der Umwelt zu erfüllen. Auch wenn in vielen Anwendungen noch ein geringer Prozentsatz von Lösemitteln enthalten ist, wurden auf verschiedenen Gebieten Fortschritte erzielt.

Lacke mit hohem Festkörperanteil

Die neuen Formulierungen sind zwar mit den bisherigen lösemittelhaltigen Produkten vergleichbar, allerdings wurde die Konzentration der Festkörper von ungefähr 30 % auf 70 bis 80 % erhöht. Diese Änderung wurde technisch möglich durch den Einsatz niedermolekularer Polymere (im Allgemeinen Alkyd-, Polyester-, Polyurethan-, Acryl-, Epoxy- und Silikonharze), die in geeigneten Lösemitteln gelöst sind. Ihre Anwendung lässt sich mit den herkömmlichen Techniken realisieren.

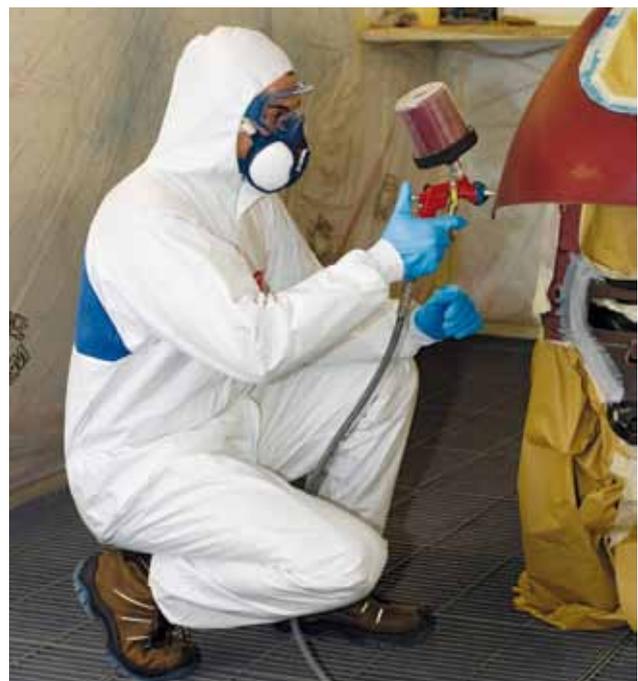
Lösemittelarme Lacke

Lacke auf wässriger Basis enthalten wenig organische Lösemittel. Eine kleine Menge ist jedoch notwendig, um die Homogenität und Stabilität bei der Lagerung zu verbessern und die Anwendung zu erleichtern.

Je nach verwendetem Harztyp werden folgende Formulierungen unterschieden:

- Wasserlösliche Farben, in denen die Harze (Alkyd- oder Acrylharze) in einer Mischung aus Wasser und 10 bis 20 % Lösemittel, häufig ein Gemisch von Glykolethern, gelöst sind.
- Wasserverdünnbare Farben, in denen das Harz nicht wasserlöslich ist, jedoch im Wasser mit einem Zusatz von 2 bis 5 % eines filmbildenden Hilfsstoffs dispergiert (kolloidale Dispersion) oder emulgiert (Emulsion) wird.

Die heute gebräuchlichsten Farben sind Polyurethan- bzw. Polyurethan-Acryl-Dispersionen sowie wasserdispergierte Alkyd- oder Acrylemulsionen. Typische Lösemittel sind hier Glykolether.



14 Aufsprühen von wasserlöslicher Farbe

Pulverlacke zur Thermolackierung

Diese Farben enthalten keinerlei Lösemittel. Das Pulver (Korngrösse von 10 bis 100 µm) besteht aus thermohärtenden Harzen. Je nach Anwendung handelt es sich um Polyester, Polyurethan, Epoxy, Acrylharz, fluorierte Polymere oder Verbindungen von verschiedenen Harztypen.

Das Pulver wird mit einer triboelektrischen oder elektrostatischen Sprühpistole mit Koronaeffekt auf das zu verarbeitende, geerdete Werkstück aufgesprüht. Die beschichteten Werkstücke gelangen anschliessend in einen Ofen, wo die Farbschicht unter Wärmeeinwirkung einen glatten und widerstandsfähigen Film bildet.

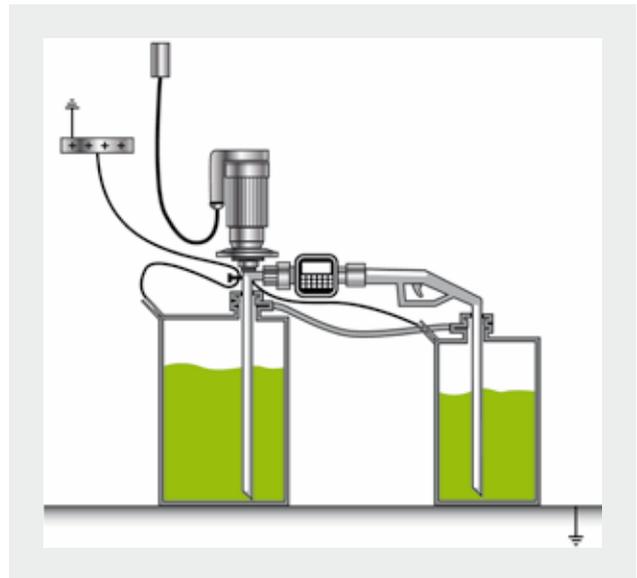
Diese Technik ist in schneller Entwicklung begriffen, sowohl bezüglich der Pulvereigenschaften als auch der Vernetzungstechniken. Die traditionellen Öfen (Konvektionsöfen) werden immer mehr durch IR-, UV- oder Induktionsheizsysteme ersetzt.

5.2 Technische Massnahmen

Falls es nicht möglich ist, ein Lösemittel zu ersetzen, müssen die folgenden technischen Massnahmen getroffen werden.

5.2.1 Arbeiten mit geschlossenen Systemen

Um zu verhindern, dass sich gefährliche Gas- oder Dampfkonzentrationen bilden und ausbreiten, empfiehlt es sich, mit geschlossenen Systemen zu arbeiten.



15 Fasspumpe mit Dampfdruckführung



16 Behälter zum Einschränkung der Verdunstung

Beispiele

- Systeme zum Umfüllen mit Dampfdruckführung (Pendelleitung)
- Anlagen, die mit Unterdruck arbeiten:
Solche Verfahren werden zurzeit zur Entfettung von Werkstücken mit halogenierten Lösemitteln eingesetzt. Kritischer Punkt bei solchen Systemen ist das Entleeren der Abfallprodukte und das Nachfüllen von Lösemitteln. Dies kann zu zwar kurzfristigen, jedoch beträchtlichen Expositionen führen.
- Spezialsammelbehälter für Abfälle, zum Beispiel mit integrierter Absaugung
- Geschlossene Lösemittelspender

5.2.2 Lüftung beim Umgang mit Lösemitteln

Grundsätzlich wird zwischen zwei Lüftungsarten unterschieden:

- Natürliche Lüftung:
über Fenster, Türen oder andere Öffnungen in Wänden
- Künstliche (mechanische) Lüftung:
 - Raumlüftung (siehe Ziffer 5.2.3)
 - Quellenabsaugung

Es ist unerlässlich, an der Quelle ein Lüftungs- oder Absaugsystem zu installieren, wenn andere Massnahmen nicht genügen, um die Schadstoffemissionen auf ein akzeptierbares Mass zu senken.



17 Absaugwand, die es ermöglicht, gelegentlich Spritzlackierarbeiten in einer grossen Halle gefahrlos auszuführen.



18 Halbautomatische Fass-Abfüllstation mit Absaugvorrichtung an der Austrittsstelle

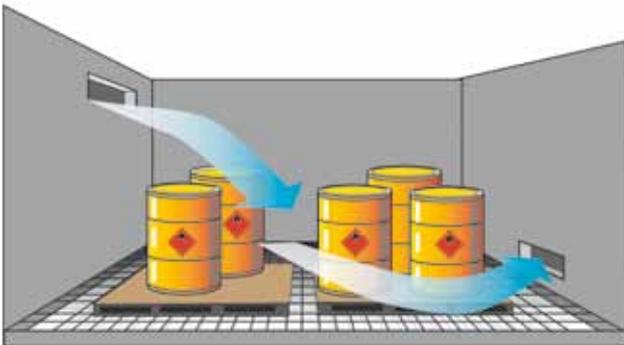
Dabei ist besonders auf Folgendes zu achten:

- Quellenabsaugungen sind möglichst nahe an die Quelle heranzuführen. Durch eine hohe Absauggeschwindigkeit an der Quelle werden Lösemitteldämpfe am effektivsten erfasst und störende Luftströmungen vermieden.
- Das Absaugsystem ist so zu installieren, dass sich die arbeitende Person nicht zwischen der Emissionsquelle und der Absaugöffnung befindet.
- Die natürlichen Bewegungen der Schadstoffe sind möglichst auszunützen.
- Die abgesaugte Luftmenge ist über ein passives Lufteinlasssystem (z. B. Brandschutzgitter in einer Tür) oder durch eine mechanische Lüftung zu ersetzen. Die Luftzufuhr sollte lautlos erfolgen, ohne einen unangenehmen Luftzug zu erzeugen. Wenn die Luftzufuhr eine zu starke Abkühlung bewirkt, ist die Luft aufzuheizen.

Bei der Rückführung verunreinigter Luft in den Arbeitsraum muss die Konzentration der Schadstoffe in der Zuluft möglichst tief gehalten werden. Durch Messen oder Berechnen ist nachzuweisen, dass die Schadstoffkonzentration in keinem Fall einen Drittel des MAK-Werts überschreitet. Zudem muss die Lüftungsanlage über eine Einrichtung verfügen, die es erlaubt, sofort auf den vollständigen Frischluft / Fortluftbetrieb umzustellen, sobald diese Grenze überschritten wird. Die Rückführung der gereinigten Abluft ist jedoch untersagt, wenn diese gefährliche Substanzen enthält, insbesondere CMR-Stoffe.

5.2.3 Lüftung in Lagerräumen

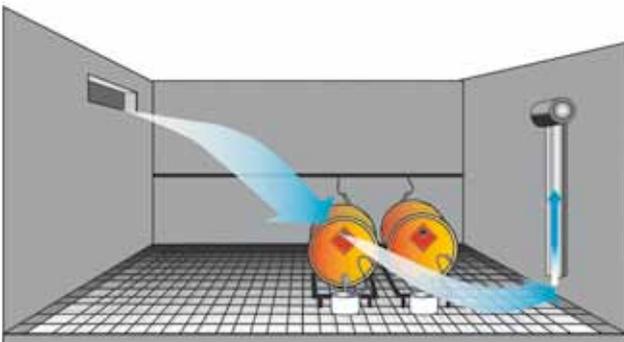
Brennbare Lösemittel sind in Räumen zu lagern, die gemäss EKAS-Richtlinie 1825.d «Brennbare Flüssigkeiten» konzipiert und eingerichtet sind. Ein wichtiger Punkt in dieser Richtlinie ist die Lüftung für die Lagerung leichtbrennbarer Flüssigkeiten, die natürlich oder künstlich sein kann.



19 Lagerraum mit natürlicher Lüftung

Die natürliche Lüftung erfordert zwei unverschlossene Öffnungen, die direkt ins Freie führen und an entgegengesetzten Wänden angebracht sind. Jede dieser Öffnungen muss eine Fläche von mindestens 20 cm^2 pro m^2 Bodenfläche des Lagerraums aufweisen. Eine der beiden Öffnungen muss unmittelbar, höchstens jedoch 10 cm über Boden angeordnet sein.

Eine ausreichende natürliche Lüftung ist nicht in jedem Fall möglich. Besonders bei unter Flur liegenden Lagerräumen ist deshalb immer eine mechanische



20 Mechanische Lüftung eines Raums, in dem Lösemittel gelagert und umgefüllt werden.

Lüftung einzusetzen. Die Absaugöffnungen der Lüftung müssen unmittelbar über Boden angeordnet sein, da Lösemitteldämpfe höhere Dichten als Luft aufweisen. Wenn im Raum geschlossene Behälter gelagert und keine Lösemittel umgefüllt werden, muss ein 3- bis 5-facher Luftwechsel pro Stunde gewährleistet sein.

Falls Lösemittel umgefüllt werden, ist ein 10-facher Luftwechsel pro Stunde erforderlich. Wird die künstliche Lüftung in bestimmten Zeitabständen durch eine Schaltuhr in Betrieb gesetzt (intermittierende Lüftung), so ist sicherzustellen, dass die Lüftung spätestens zwangsläufig einschaltet, wenn die Lagerräume betre-



21 Schrank zum Aufbewahren von kleineren Mengen leicht brennbarer Flüssigkeiten in Arbeitsräumen.

ten beziehungsweise die Einrichtungen und Geräte in Betrieb genommen werden. Die intermittierende Lüftung gilt als ausreichend, wenn sie während mindestens 10 Minuten pro Stunde in Betrieb ist.

In Arbeitsräumen dürfen kleine Mengen leicht brennbarer Flüssigkeiten ($< 100 \text{ l}$) in Schränken aufbewahrt werden. Diese Schränke müssen jedoch aus nicht brennbaren oder schwer brennbaren Materialien bestehen, mit einer Auffangwanne versehen und vorschriftsgemäss gekennzeichnet sein.

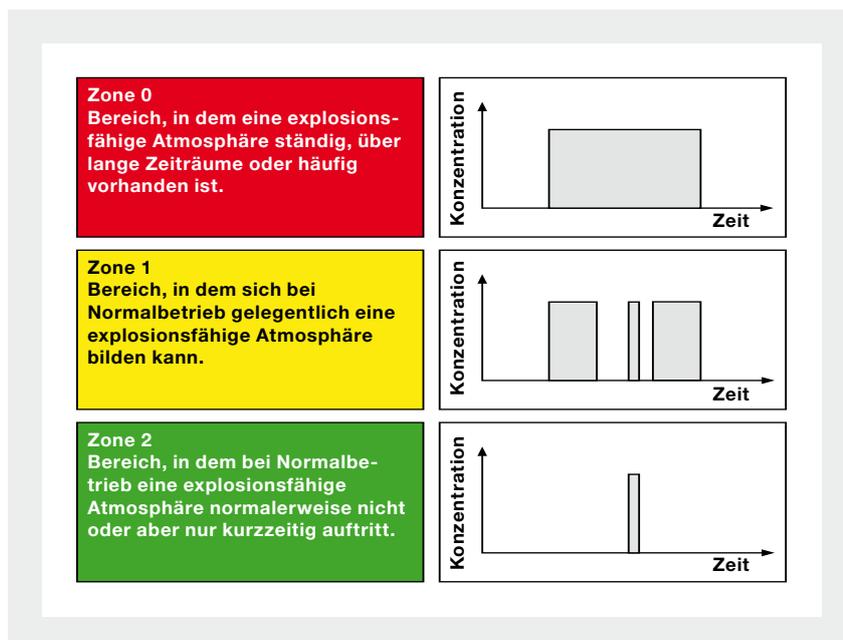
An Arbeitsplätzen dürfen leicht brennbare Flüssigkeiten nur in Mengen aufbewahrt werden, die für das Ausführen der täglichen Arbeit erforderlich sind. Es ist ausserdem darauf zu achten, dass Lösemittel nicht in der Nähe von chemischen Substanzen gelagert werden, mit denen sie reagieren könnten.

5.2.4 Ex-Zoneneinteilung für Bereiche mit Explosionsrisiken

Ex-Zonen werden festgelegt, wenn nicht ausgeschlossen werden kann, dass sich eine explosionsfähige Atmosphäre bildet. Anhand der Einteilung in Ex-Zonen ist ersichtlich, wo Zündquellen vermieden werden müssen und wie wahrscheinlich es ist, dass explosionsfähige Atmosphären auftreten. Die Prinzipien, die bei der Zoneneinteilung zur Anwendung kommen, sind in der Suva-Publikation 2153.d «Explosionsschutz – Grundsätze, Mindestvorschriften, Zonen» ausführlich beschrieben.



23 Zündquellen sind innerhalb von Zonen mit Explosionsrisiken verboten. Die Zonen sind durch «EX»-Schilder zu kennzeichnen.

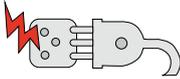
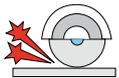
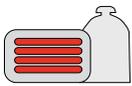


22 Beim Festlegen der Ex-Zonen werden die Häufigkeit und Dauer des Auftretens einer explosionsfähigen Atmosphäre berücksichtigt.

5.2.5 Vermeiden von Zündquellen

Zündquellen werden wirksam, wenn sie genügend Energie auf ein explosionsfähiges Dampf-Luft-Gemisch übertragen und dieses dadurch aktivieren. Eine Verpuffung oder eine Explosion ist die Folge. Die in industrieller Umgebung vorhandenen Zündquellen besitzen in der Regel viel mehr Energie als die sogenannte Mindestzündenergie. Sie sind deshalb fast immer genügend wirksam, um eine explosionsfähige Atmosphäre zu entzünden. In solchen Zonen sind deshalb sämtliche Zündquellen zu vermeiden.

Die wichtigsten Zündquellen

elektrostatische Entladung	
elektrisch erzeugte Funken	
Feuer, Flammen, Glut	
mechanisch erzeugte Funken	
heisse Oberflächen	

24 Zündquellen

Einsatz zonenkonformer Arbeitsmittel

In Ex-Zonen dürfen nur Geräte und Schutzsysteme eingesetzt werden, die den Gerätegruppen und -kategorien der VGSEB (Verordnung über Geräte und Schutzsysteme zur Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen) entsprechen. Elektronische Armbanduhren sowie Hörgeräte fallen nicht unter die Bestimmungen der VGSEB.

Massnahmen gegen elektrostatische Entladungsfunken

Entladungsfunken können auftreten, wenn sich zwischen nicht geerdeten Gegenständen eine genügend grosse Potenzialdifferenz aufbaut. Ladungsübertragungen und damit Potenzialdifferenzen entstehen, wenn sich Stoffe aneinander reiben, also beispielsweise bei Flüssigkeitstransfers oder beim Abrollen von Kunststofffilmen. Auch Personen können sich durch ganz alltägliche Handlungen aufladen. Da das Problem der elektrostatischen Aufladung weit verbreitet, aber in der Praxis nicht so einfach zu erkennen und einzuschätzen ist, wird das Thema im Zusammenhang mit leicht brennbaren Flüssigkeiten im Folgenden etwas ausführlicher dargelegt.

Allgemein ist zu beachten, dass bei Arbeiten mit Flüssigkeiten, die eine schwache elektrische Leitfähigkeit besitzen, die Möglichkeit einer gefährlichen elektrostatischen Aufladung besteht. Die plötzliche Entladung kann eine vorhandene explosionsfähige Atmosphäre entzünden.

Eine solche Aufladung ist auch bei Flüssigkeiten mit mittlerer Leitfähigkeit möglich, wenn diese durch Leitungen strömen, Filter passieren oder gerührt werden. Bei Flüssigkeiten mit hoher Leitfähigkeit kommt dieses



25 IBC-Behälter aus leitfähigem Kunststoff für die Verwendung in den Zonen 1 und 2

Phänomen nur in ganz besonderen Fällen vor, beispielsweise bei Sprühverfahren oder wenn Geräte mit defekter Erdung eingesetzt werden.

Aus diesen Gründen ist es untersagt, bei Arbeiten mit leicht entzündbaren Flüssigkeiten, die eine elektrostatische Aufladung bewirken könnten, nicht leitende Anlageteile, Geräte oder Behälter zu verwenden. Insbesondere sind Behälter aus Glas oder Kunststoff nur bis zu einem Volumen von 5 Litern erlaubt. Für das Verarbeiten von grösseren Mengen müssen leitende Behälter mit Erdung eingesetzt werden.

Für grössere Mengen gibt es auf dem Markt nebst Metallbehältern auch Kanister, Fässer oder IBC³-Behälter, die zum Teil oder vollständig aus leitfähigen Kunststoffen hergestellt sind und in den Zonen 1 und 2 eingesetzt werden können.



26 Erdung von Behältern (Umfüllen von Lösemittel mit Stickstoffüberdruck)

Schutzmassnahmen beim Umfüllen leicht brennbarer Lösemittel

Elektrostatische Entladungen verhindern, beispielsweise durch:

- Verwenden von elektrisch leitenden Behältern, Zubehör und Schläuchen, die geerdet sind
- Begrenzen der Durchflussgeschwindigkeit ($< 1 \text{ m/s}$)
- Verwenden von leitenden Bodenbelägen und Schuhen mit leitenden Sohlen (Isolationswiderstand $< 10^8 \Omega$)

5.2.6 Begrenzen des Schadens bei einem Brand oder einer Explosion

Möglicherweise sind die Massnahmen des sogenannten vorbeugenden Explosionsschutzes (Lüftung, Zoneneinteilung, Vermeiden wirksamer Zündquellen) bei der Handhabung brennbarer Flüssigkeiten technisch nicht realisierbar, nicht oder ungenügend wirksam oder zu aufwendig. Für solche Fälle bieten sich konstruktive Massnahmen an, welche die Explosion zwar nicht verhindern, aber die Wirkung auf ein akzeptierbares Mass beschränken.

Ein Schaden kann bei einem Brand oder einer Explosion begrenzt werden, indem die gefährdeten Anlagen mit folgenden Sicherheitssystemen ausgestattet werden:

- explosionsfeste Bauweise
- Explosionsdruckentlastung (Berstscheiben, Überdruckventile)
- Explosionsunterdrückung (selbstausslösende Löscheräte)
- explosionstechnische Entkopplung

³ Tanks für grössere Mengen sind unter der Bezeichnung IBC (Intermediate Bulk Container) bekannt.

5.3 Organisatorische Massnahmen

Organisatorische Massnahmen haben in der Regel flankierenden Charakter. Durch organisatorische Massnahmen wird dafür gesorgt, dass die technischen und persönlichen Schutzmassnahmen ihre Wirksamkeit entfalten und auf Dauer behalten. Organisatorische Massnahmen sind also kein Ersatz für technische und persönliche Schutzmassnahmen.

5.3.1 Wirksamkeit der Massnahmen überprüfen (Messmethoden)

Das Messen der Konzentration von Lösemitteldämpfen am Arbeitsplatz dient dazu, bestehende Risiken zu beurteilen oder zu kontrollieren, ob die getroffenen Massnahmen wirksam sind. Je nach Fragestellung werden unterschiedliche Messmethoden eingesetzt.

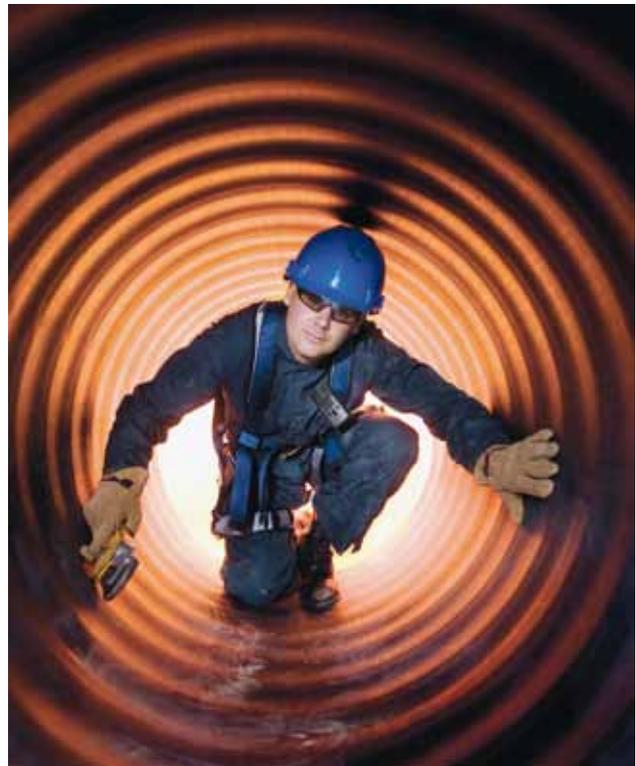
Konzentrationsbestimmung mit Farbreaktionsröhrchen

Diese quantitative Methode wird dann eingesetzt, wenn das zu messende Lösemittel bekannt ist. Die Ergebnisse sind zwar nicht besonders genau, stehen jedoch sofort zur Verfügung. Zum Messen wird eine Luftprobe durch ein Glasröhrchen geleitet, das ein Reagens enthält. Falls die gesuchte Substanz in der Luft vorhanden ist, reagiert sie mit dem Reagens. Die



27 Messen der Konzentration von Lösemitteldämpfen mit Farbreaktionsröhrchen

Länge der entstandenen Verfärbung ist proportional zur Konzentration. Da es sich bei den erhaltenen Messwerten um Momentaufnahmen handelt, empfiehlt es sich, die Messungen mehrmals durchzuführen, um Konzentrationsschwankungen zu erkennen.



28 Einsatz eines Gasdetektors in einem engen Raum

Konzentrationsmessungen mit direktanzeigenden Messgeräten

Stationäre oder mobile Geräte, die mit geeigneten Sensoren ausgerüstet sind, können zur kontinuierlichen Überwachung der Luft am Arbeitsplatz eingesetzt werden. Um die geeigneten Sensoren auszuwählen, müssen die zu überprüfenden flüchtigen Stoffe bekannt sein.

Messung brennbarer Dämpfe

Ein Explosimeter registriert die Konzentration von brennbaren Dämpfen in der Luft. Die Messresultate werden in % der unteren Explosionsgrenze (UEG) angezeigt. Da die untere Explosionsgrenze von Lösemit-

tel zu Lösemittel variiert, muss das Gerät vor seinem Einsatz für das zu überwachende Lösemittel eingestellt (kalibriert) werden.

5.3.2 Explosionsschutzdokument

Alle Massnahmen, die zum Schutz vor Explosionen getroffen werden, sind in einem Dokument festzuhalten (z. B. Suva-Checkliste 67132.d). Dieses Dokument muss vor der erstmaligen Ausführung einer Tätigkeit oder der Inbetriebnahme eines Verfahrens erstellt werden. Bei wesentlichen Verfahrensänderungen wie der Änderung der räumlichen Situation, dem Einsatz anderer Apparate oder Stoffe und Stoffmengen, ist das Explosionsschutzdokument zu überarbeiten und anzupassen.



5.3.3 Ausbildung und Instruktion der Mitarbeitenden

Die Ausbildung und Instruktion der Mitarbeitenden zu Themen der Arbeitssicherheit und des Gesundheitsschutzes sind ein wesentlicher Bestandteil des betrieblichen Sicherheitssystems. Dank der systematischen Ausbildung und Instruktion verfügen die Mitarbeitenden des eigenen Betriebs und allenfalls auch solche anderer Betriebe jederzeit über die notwendigen Kenntnisse, damit sie ihre Arbeit sicher ausführen können.

Für den sicheren Umgang mit Chemikalien sind die Mitarbeitenden besonders über folgende Punkte zu instruieren:

- gesetzlichen Grundlagen
- Kennzeichnungssystem GHS für Chemikalien und Zubereitungen
- Inhalt und Zweck der Sicherheitsdatenblätter SDB (bei Bedarf stellt der Betrieb vereinfachte Dokumente zur Verfügung)
- allgemeine Verhaltensregeln und konkrete Arbeitsanleitungen
- Anforderungen bezüglich Einsatz der persönlichen Schutzausrüstung (Kontrollen, Reinigung und Unterhalt)
- richtiges Verhalten bei Arbeiten in explosionsgefährdeten Zonen
- besondere Vorgehen, zum Beispiel «Schweisserlaubnis» oder «Arbeiten in engen Räumen»
- Erste-Hilfe- und Brandschutzmassnahmen
- Vorgehen bei versehentlichem Verschütten von Lösemitteln
- Abfalltrennung und Abfallentsorgung

5.3.4 Umgang mit Lösemittel-Abfällen

Beim Umgang mit Lösemittel-Abfällen bestehen die gleichen Risiken wie bei allen Produkten, die Lösemittel enthalten. Es gelten auch die gleichen Vorschriften.

Nicht rezyklierbare lösemittelhaltige Abfälle müssen geordnet entsorgt werden. Lösemittel, die zu weniger als 30 % verunreinigt sind, können wiederaufbereitet (destilliert) werden. Dies kann im Betrieb oder extern durch ein spezialisiertes Unternehmen erfolgen.

Zwar stellt das interne Recycling in ökologischer Hinsicht eine gute Lösung dar, bezüglich Sicherheit und Gesundheitsschutz ergeben sich häufig Probleme speziell in kleineren Betrieben, beispielsweise Garagen, Autokarosseriebetrieben oder Druckereien.

Für das sichere Wiederaufbereiten (Destillation) von Lösemittel-Abfällen im Betrieb müssen besonders diejenigen Kriterien erfüllt sein, die in der EKAS-Richtlinie 2387 «Destillationsanlagen für brennbare Flüssigkei-



29 Destillationsanlage für brennbare Flüssigkeiten

ten» beschrieben sind. Die Erfahrung zeigt, dass auf folgende Punkte ein spezielles Augenmerk gerichtet werden muss:

- Das eingebaute Dampfkondensationssystem muss eine gute Kondensation der Dämpfe garantieren.
- Zwischen Heizung und Deckelverschluss muss eine Verriegelung vorhanden sein, damit die Heizung bei offenem Deckelverschluss nicht in Betrieb genommen werden kann.
- Der Standort der Destillationsanlage muss den Vorschriften des Brandschutzes genügen, besonders bezüglich der räumlichen Abtrennung, der Lüftung und der Zoneneinteilung.
- Die Anlagen müssen regelmässig gewartet werden.

Es ist eine gute Alternative, lösemittelhaltige Abfälle einer Spezialfirma zu übergeben. Sie besorgt das Einsammeln, den Transport, das Entsorgen oder Wiederaufbereiten gemäss den geltenden Vorschriften.

5.4 Persönliche Schutzausrüstung

Falls die Gesundheitsgefahren durch Substitution problematischer Stoffe oder technische Massnahmen nicht behoben oder auf einen akzeptierbares Mass gesenkt werden können, ist das Tragen der persönlichen Schutzausrüstung (PSA) notwendig.

Informationen dazu finden sich in den produktbezogenen Sicherheitsdatenblätter (SDB). Ein SDB muss unter anderem folgende Angaben enthalten:

- Art des zu verwendenden Atemschutzes: Von der Umgebungsluft unabhängiges Atemschutzgerät oder Filtergerät mit Angabe des Filtertyps
- Art der zu tragenden Handschuhe (Material, Widerstandsfähigkeit). Allfällige zusätzlich notwendige Massnahmen zum Schutz der Hände und der Haut
- Art des Augenschutzes
- Art der Schutzbekleidung
- Zusätzliche Schutzausrüstung und allfällige zu treffende besondere hygienische Massnahmen

Es ist darauf hinzuweisen, dass sich die Verantwortung der Vorgesetzten nicht darauf beschränkt, die richtigen PSA zur Verfügung zu stellen. Sie haben auch die Pflicht, die Mitarbeitenden über den korrekten Gebrauch und den Unterhalt zu instruieren und den Einsatz der PSA gemäss der internen Arbeitsanweisungen zu kontrollieren und gegebenenfalls durchzusetzen.

5.4.1 Atemschutz

Die Auswahl des geeigneten Atemschutzgeräts ergibt sich aus der Art und der Konzentration der gefährlichen Stoffe. Sie richtet sich auch nach der Dauer und der Schwierigkeit bzw. physischen Belastung durch die auszuführenden Arbeiten.

Zum Schutz gegen geringe Lösemittlemissionen werden normalerweise Masken mit Aktivkohlefiltern des Typs A oder AX verwendet.

Dabei muss unbedingt berücksichtigt werden, dass Filtermasken eine begrenzte Kapazität aufweisen und nicht unabhängig vom Sauerstoffgehalt der Umgebungsluft sind.

Filtermasken dürfen besonders in folgenden Fällen nicht eingesetzt werden:

- bei hoher Konzentration der Lösemitteldämpfe.
- wenn sehr giftige Gase vorhanden sind, zum Beispiel Kohlenmonoxid oder Blausäure, die bei einem Brand in einem Lösemittellager entstehen können
- bei Arbeiten in Bereichen, wo es zu einem Sauerstoffmangel kommen kann

In all diesen Fällen dürfen nur Atemschutzgeräte eingesetzt werden, die von der Umgebungsluft unabhängig sind.

Hinweise für das korrekte Anwenden von filtrierenden Atemschutzmasken:

• Korrektes Anpassen der Maske ans Gesicht.

Bei den am häufigsten verwendeten (nicht gebläseunterstützten) Geräten ist die Wirksamkeit in erster Linie von einer guten Anpassung ans Gesicht abhängig. Wenn die Maske nicht dicht am Gesicht anliegt, nimmt die Wirksamkeit stark ab. Deshalb muss vor jedem Gebrauch getestet werden, ob die Maske dicht ist (Dichtigkeitstest).

Geräte mit Ventilatorunterstützung – ein am Gürtel getragener Ventilator bringt die gefilterte Luft in den Atembereich – können eine Lösung sein, wenn beispielsweise die Gesichtsform, eine Brille oder körperliche Besonderheiten, wie Narben oder Bart, den Einsatz von nicht gebläseunterstützten Geräten verunmöglichen.

• Aufbewahrung der PSA

Geräte mit Aktivkohlefilter müssen an einem sauberen Ort aufbewahrt werden, damit die Kohle nicht durch einfache Diffusion gesättigt wird, wenn das Gerät am Arbeitsplatz liegen bleibt. Die Hersteller bieten dichte Behälter oder Beutel zum Aufbewahren der Geräte an.



30 Maske mit Aktivkohlefilter

5.4.2 Schutz von Haut und Augen

Das Tragen von lösemittelresistenten Handschuhen in gutem Zustand genügt oft, um Vergiftungen durch Aufnahme über die Haut zu vermeiden.

Die Internetseite www.2haende.ch gibt für viele Tätigkeiten praktische Hinweise zu Gefahren und Präventionsmassnahmen. Neben Tipps für eine gute Hautpflege werden auch Schutzhandschuhe angeboten, die auf die Bedürfnisse der verschiedenen Branchen zugeschnitten sind.

Seit vielen Jahren sind sogenannte «flüssige» oder «unsichtbare Handschuhe» erhältlich. Diese Bezeichnungen sind irreführend, handelt es sich doch nur um Schutzcremen, die richtige Schutzhandschuhe keinesfalls ersetzen können.

Im SDB ist je nach Tätigkeit darauf hinzuweisen, dass ein Gesichtsschutz (Schutzbrille, Schutzschild oder Vollmaske) getragen werden muss. Zum Schutz des Körpers kann das Tragen von Schutzkleidung erforderlich sein, zum Beispiel von Chemikalienschutzanzügen mit begrenzter Anwendungsdauer, von lösemittelresistenten Schürzen oder Stiefeln.

6 Publikationen zum Thema

6.1 Informationsmittel der Suva und anderer Institutionen

Sämtliche Informationsmittel auf dieser Seite finden Sie auch im Such- und Bestellsystem Waswo der Suva (www.suva.ch/waswo). Die meisten Dokumente können dort heruntergeladen werden.

Suva 1521.d

Verfügung über die technischen Massnahmen zur Verhütung von Berufskrankheiten, die durch chemische Stoffe verursacht werden

Suva 1731.d

Verordnung über die Verhütung von Unfällen und Berufskrankheiten beim Spritzen von Farben oder Lacken

RS 734.6

Verordnung über Geräte und Schutzsysteme zur Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen (VGSEB)

EKAS 1825.d

Richtlinie Brennbare Flüssigkeiten. Lagern und Umgang

EKAS 2387.d

Destillationsanlagen für brennbare Flüssigkeiten

EKAS 6508.d

Richtlinie über den Beizug von Arbeitsärzten und anderen Spezialisten der Arbeitssicherheit (ASA-Richtlinie)

Suva 1416.d

Richtlinien betreffend Arbeiten in Behältern und engen Räumen

Suva 1469.d

Sicherheitstechnische Kennzahlen von Flüssigkeiten und Gasen

Suva 1903.d

Grenzwerte am Arbeitsplatz

Suva 2153.d

Explosionsschutz – Grundsätze, Mindestvorschriften, Zonen

Suva 11030.d

Gefährliche Stoffe. Was man darüber wissen muss.

Suva 11045.d

Schutzmassnahmen beim Verlegen von Wand- und Bodenbelägen

Suva 44013.d

Chemische Stoffe im Baugewerbe

Suva 44047.d

Vorsicht, in leeren Behältern lauert der Tod

Suva 44067.d

Was tun mit Giftabfällen?

Suva 44071.d

Explosionen. Gefahren und Schutzmassnahmen (Experimentalvortrag)

Suva 44074.d

Hautschutz bei der Arbeit

Suva 66066.d

Reinigungsanlagen, in denen brennbare Flüssigkeiten versprüht oder warm verwendet werden

Suva 67000.d

Gefahrenermittlung und Massnahmenplanung mit Checklisten

DVD Suva 351

Napo in: Vorsicht Chemikalien!

DVD Suva 365

Statische Elektrizität

CD Suva 99065

Explosionen – Gefahren und Schutzmassnahmen

6.2 Weitere Publikationen

- Diverse Publikationen der Expertenkommission für Sicherheit in der chemischen Industrie in der Schweiz (ESCIS)
- Brandschutzvorschriften (VKF-Richtlinien).
- Verschiedene Broschüren, darunter die Best Practice Guidelines. European Solvents Industry Group
- Diverse Publikationen des INRS Paris:
 - Guides pratiques de ventilation (Publications de l'INRS Paris)
 - Les réactions chimiques dangereuses (ED 697 INRS Paris)
 - Les mélanges explosifs. Gaz et vapeurs (ED 911 INRS Paris)
 - Les solvants organiques (ED 4220 INRS Paris)
 - Recycleurs de solvants (ED 6047 INRS Paris)
 - Électricité statique (ED 874 INRS Paris)

- Verschiedene Normen und Standards:
 - Explosionsfähige Atmosphären – Explosionsschutz – Teil 1: Grundlagen und Methodik (Norm EN 1127-1)
 - Recommended Practice on Static Electricity (NFPA 77)
 - Normenregelwerk CLC/TR 50404 Electrostatics – Code of practice for the avoidance of hazards due to static electricity

6.3 Internationale Datenbanken

Die Europäische Agentur für Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz (EU-OSHA) engagiert sich für die Gesundheitsförderung am Arbeitsplatz in Europa, indem sie Informationen zu Sicherheit und Gesundheit am Arbeitsplatz sammelt, analysiert und verbreitet. Sie setzt sich auch für die Prävention von Unfällen und Krankheiten ein.

Die Agentur ist für Europa eine wesentliche Referenz auf dem Gebiet der Sicherheit und Gesundheit am Arbeitsplatz. Auf ihrer Internetseite finden sich zahlreiche Informationen und Ratschläge über korrektes Verhalten am Arbeitsplatz sowie Links zu den entsprechenden Seiten der beteiligten Staaten (Focal Points).

Für die Schweiz koordiniert der Leistungsbereich Arbeitsbedingungen des SECO die Zusammenarbeit mit der Europäischen Agentur. Diese Stelle sammelt und veröffentlicht Informationen über das Netzwerk «Focalpoint Schweiz».

Zahlreiche weitere nationale und internationale Institutionen vermitteln wertvolle Informationen:

- Internationale Sektion für Prävention in der chemischen Industrie der internationalen Vereinigung für soziale Sicherheit (IVSS).
- Europäisches Gewerkschaftsinstitut (ETUI), Abteilung Gesundheit und Sicherheit, Ziel: Förderung von Gesundheit und Sicherheit an europäischen Arbeitsplätzen.
- Internationales Programm für Chemikaliensicherheit (International Programme on Chemical Safety, IPCS), eine gemeinsame Organisation von WHO, UNEP (Umweltprogramm der Vereinten Nationen) und ILO (Internationales Arbeitsamt), publiziert unter anderem die «International Chemical Safety Cards» (ICSC).
- Französisches Institut für Industrie und Umweltrisiken (INERIS)
- Nationales Institut für Forschung und Sicherheit (INRS)
- Französische Behörde für Ernährungssicherheit, Umwelt- und Arbeitsschutz (ANSES). Hat sich die Förderung der Gesundheit in den Bereichen Umwelt und Arbeit zur Aufgabe gemacht, indem sie die Risiken beurteilt. Hinzuweisen ist besonders auf die Spezialwebsite, die der Substitution von CMR-Stoffen gewidmet ist.
- Kommission für Sicherheit und Gesundheit am Arbeitsplatz in Quebec (CSST).

Spezialisierte Datenbanken:

- Website des INRS, Themen «Fiches toxicologiques, «Solvants» und «CarAtex» (ATEX-Eigenschaften von brennbaren und explosionsgefährdeten Gasen, Dämpfen und Stäuben).
- Website des IFA (Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung) GESTIS: eine ganze Reihe umfassender Datenbanken (in Deutsch und Englisch) zu physikalisch-chemischen und toxiologischen Eigenschaften einer grossen Anzahl Chemikalien.
- Website des Institute for Health and Consumer Protection (IHCP) ESIS (European chemical Substances Information System)

Suva

Gesundheitsschutz
Postfach, 6002 Luzern

Auskünfte

Tel. 041 419 61 32 (Bereich Chemie)
Tel. 041 419 58 51 (Kundendienst)

Download

www.suva.ch/waswo/66126

Gesund und sicher arbeiten mit Lösemitteln

Technische Information für Spezialisten der
Arbeitssicherheit und andere Fachleute

Verfasser

Arbeitssicherheit Lausanne
Bereich Gewerbe und Industrie

Abdruck – ausser für kommerzielle Nutzung –
mit Quellenangabe gestattet.

Erste Ausgabe, November 1993

(alte Bestell-Nr.: SBA 155.d)

Neue Ausgabe – Dezember 2012

Nummer (nur als PDF-Datei erhältlich)

66126.d

Das Modell Suva**Die vier Grundpfeiler der Suva**

- Die Suva ist mehr als eine Versicherung; sie vereint Prävention, Versicherung und Rehabilitation.
- Die Suva wird von den Sozialpartnern geführt. Die ausgewogene Zusammensetzung im Verwaltungsrat aus Arbeitgeber-, Arbeitnehmer- und Bundesvertretern ermöglicht breit abgestützte, tragfähige Lösungen.
- Gewinne gibt die Suva in Form von tieferen Prämien an die Versicherten zurück.
- Die Suva ist selbsttragend; sie erhält keine öffentlichen Gelder.