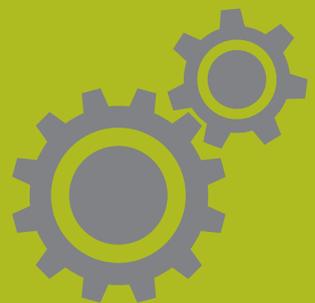


Leitfaden für die Gefährdungsbeurteilung in Klein- und Mittelbetrieben

7

Gefährdungen durch Explosionen

Ermittlung und Bewertung von Gefährdungen;
Festlegen von Maßnahmen



issa

INTERNATIONALE VEREINIGUNG FÜR SOZIALE SICHERHEIT | IVSS

Sektion für Eisen und Metall

Sektion für Elektrizität

Sektion für Maschinen- und Systemsicherheit

Leitfaden für die Gefährdungsbeurteilung in Klein- und Mittelbetrieben

7

Gefährdungen durch Explosionen

Ermittlung und Bewertung
von Gefährdungen;
Festlegen von Maßnahmen



issa

INTERNATIONALE VEREINIGUNG FÜR SOZIALE SICHERHEIT | IVSS

Sektion für Eisen und Metall

Sektion für Elektrizität

Sektion für Maschinen- und Systemsicherheit

Impressum

Autoren: Stephanos Achillides,
Nationales Arbeitsinspektorat, Zypern
Dipl.-Ing. Daniela Gezelovská,
Nationales Arbeitsinspektorat, Košice, Slowakische Republik
Dipl.-Ing. Jürgen Gehre,
IVSS Sektion Metall
In Zusammenarbeit mit:
Dr. Martin Gschwind, Ake Harmanny,
Ing. Klaus Kopia, Dr. Berthold Dyrba,
IVSS Sektion Maschinen- und Systemsicherheit

Gesamtherstellung: Verlag Technik & Information e.K.,
Wohlfahrtstraße 153, 44799 Bochum, Deutschland
Fon +49(0)234-94349-0, Fax +49(0)234-94349-21

Printed in Germany · Mai 2010

ISBN 978-3-941441-56-9

Vorbemerkung

Diese Broschüre unterstützt Unternehmer in Klein- und Mittelbetrieben (KMU) Gefährdungen durch Explosionen am Arbeitsplatz zu erkennen. Sie gibt Hilfestellung bei der Einschätzung der damit verbundenen Risiken und Empfehlungen für vorbeugende Schutzmaßnahmen.

Die Broschüre deckt nicht andere Explosionsarten ab, z. B. unkontrollierte Reaktionen, Detonationen von hoch explosiven Stoffen oder das Bersten von Druckkesseln.

Die Broschüre ist wie folgt aufgebaut:

- 1. Grundlagen**
- 2. Checklisten für die Gefährdungsermittlung**
- 3. Risikoeinschätzung**
- 4. Risikominderung, Ergreifen von Maßnahmen**
- 5. Explosionsschutz-Dokument**

Neben der vorliegenden Broschüre sind noch zu folgenden Themen Broschüren geplant (vorhanden):

- **Gefährdungen durch Maschinen und andere Arbeitsmittel**
- **Elektrische Gefährdungen**
- **Gefahrstoffe**
- **Gefährdungen durch Ganzkörper- und Hand-Arm-Vibrationen**
- **Physische Belastungen (z. B. schwere und einseitige Arbeiten)**
- **Sturz und Absturz von Personen**
- **Lärm**
- **Psychische Belastungen**

1. Grundlagen

1.1 | Was ist eine Explosion?

Eine Explosion ist eine plötzliche Oxidations- oder Zerfalls-Reaktion mit Anstieg der Temperatur, des Druckes oder beider gleichzeitig (EN 1127-1). Eine Gas- oder Staubexplosion kann daher als Folge einer schnellen Verbrennung von Gas oder Staub in einem Gemisch mit Luft beschrieben werden. Einige der

Auswirkungen einer Explosion sind lauter Knall und Druckwirkungen, die Wände zum Einsturz und Fenster zum Zerspringen bringen können. Weitere lebensgefährliche Auswirkungen der plötzlichen heftigen Ausdehnung von Gasen sind Hitzestrahlung, Rauchgase und Flammenfronten.

1.2 | Wie wird eine Explosion erzeugt?

Für eine Explosion müssen ein brennbarer Stoff (Gas, z. B. Wasserstoff; Dämpfe, z. B. von brennbaren Flüssigkeiten oder Staub, z. B. Mehl), ein Oxidationsmittel (z. B. der Sauerstoff in der Luft) und eine geeignete Zündquelle (z. B. eine heiße Oberfläche oder ein elektrischer Funke) vorhanden sein. Wenn

das Vermischen von Brennstoff und Oxidationsmittel vollzogen ist und die Konzentration des Brennstoffes innerhalb der Explosionsgrenzen liegt, kann das resultierende Gemisch bei einer ausreichend starken Zündquelle gezündet werden.

1.3 | Elemente einer Explosion

Explosionsfähige Atmosphäre kann sich als eine Mischung aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen, Nebeln oder Stäuben unter atmosphärischen Bedingungen bilden. Liegt die Konzentration der Stoffe innerhalb der unteren und oberen Explosionsgrenze, kann sich nach erfolgter Entzündung der Verbrennungsvorgang auf das gesamte unverbrannte Gemisch übertragen.

Untere Explosionsgrenze (UEG) – ist die Mindestkonzentration eines Gemisches aus brennbaren Gasen, Dämpfen, Nebeln oder Stäuben mit Luft, in dem sich

nach dem Zünden eine von der Zündquelle unabhängige Flamme gerade nicht mehr selbstständig fortpflanzen kann.

Obere Explosionsgrenze (OEG) – ist der obere Grenzwert eines Gemisches aus brennbaren Gasen, Dämpfen, Nebeln oder Stäuben mit Luft, in dem sich nach dem Zünden eine von der Zündquelle unabhängige Flamme gerade nicht mehr selbstständig fortpflanzen kann.

Eine Explosion ist ausgeschlossen, wenn die Konzentration unterhalb der unteren Explosionsgrenze liegt. Wenn die Kon-

zentration oberhalb der oberen Explosionsgrenze liegt, ist das Gemisch zu gesättigt und es ist nicht genügend Sauerstoff für eine Explosion vorhanden.

Die Explosionsgrenzen werden auch durch Temperatur und Druck beeinflusst. Eine höhere Temperatur führt zu einer niedrigeren UEG und einer höheren OEG, wohingegen ein höherer Druck beide Werte erhöht.

Folgende Tabelle zeigt einige Beispiele von Explosionsgrenzen:

brennbarer Stoff	untere Explosionsgrenze	obere Explosionsgrenze
Erdgas	5 Vol.-%	13 Vol.-%
Propan	1,5 Vol.-%	9,5 Vol.-%
Acetylen	2,5 Vol.-%	81 Vol.-%
Zucker	30 g/m ³	-
Mehl	30 g/m ³	-

Im Allgemeinen sind die Explosionsgrenzen von Gasen oder Dämpfen in den Sicherheitsdatenblättern des Herstellers oder Importeurs des brennbaren Stoffes/Produktes enthalten.

In der Praxis sind die OEG für Stäube kaum bekannt, da sie wegen der Schwierigkeit, explosionsfähige Gemische durch Begrenzung der Konzentration zu kontrollieren, für Stäube nicht sinnvoll sind. Informationen über die UEG vieler Stäube können z. B. der GESTIS-Website entnommen werden. Es ist zu beachten, dass Staubablagerungen eine Staubwolke erzeugen können, z. B. durch eine plötzliche Luftbewegung durch Öffnen einer Tür oder eines Fensters, einer kleineren Explosion oder durch Staubablagerungen, die von einer Kabeltrasse fallen.

Es ist wichtig zu wissen, dass eine Staubschicht von weniger als 1 mm Dicke bereits eine explosionsfähige Atmosphäre erzeugen kann.

Obwohl die Explosion nur einen Wimpernschlag dauert, laufen im gleichen Zeitraum mehrere Phasen ab: Die eigentliche Druckwelle der Explosion; die wegfliegenden Splitter des explodierenden Behälters und (abhängig von der Druckwelle) das Einstürzen von Wänden, Dächern, Türen, Fenstern und Decken. Außerdem kann es durch die erzeugte Hitze zu Bränden und Zerstörungen kommen. Darüber hinaus kann die Druckwelle gravierende Schäden an Gas-, Wasser-, Elektrizitäts- und Abflussleitungen hervorrufen. Die Auswirkungen einer Explosion sind im Hinblick auf Personen- und Sachschäden schwerwiegend.

Sehr gefährlich sind auch die während der Explosion entstehenden schädlichen Reaktionsprodukte, und der Verbrauch des zum Atmen benötigten Sauerstoffs aus der Umgebungsluft, der zur Erstickungsgefahr für die Arbeitnehmer führen kann.

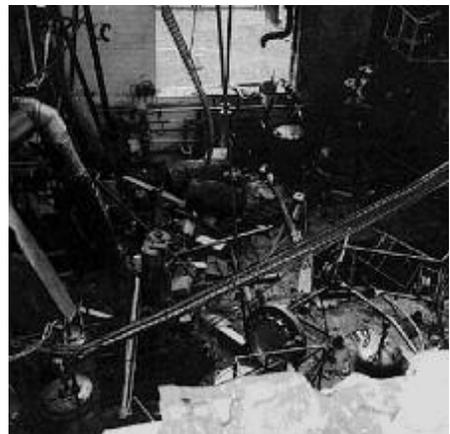


Bild 1: Ergebnis einer Explosion

1.4 | Wodurch kann eine Explosion ausgelöst werden?

Es gibt eine Vielzahl von unterschiedlichen Zündquellen, die potenziell ein Gemisch aus brennbarem Stoff und Luft entzünden können. Typische Zündquellen sind heiße Oberflächen, Flammen und heiße Gase, mechanisch erzeugte Funken (beim Schleifen oder Trennen), elektrische Funken und statische Elektrizität. Andere Zündquellen sind Blitze, elektromagnetische Felder und chemische Reaktionen.

In der europäischen Norm EN 1127-1 sind unterschiedliche Arten von Zündquellen dargestellt.

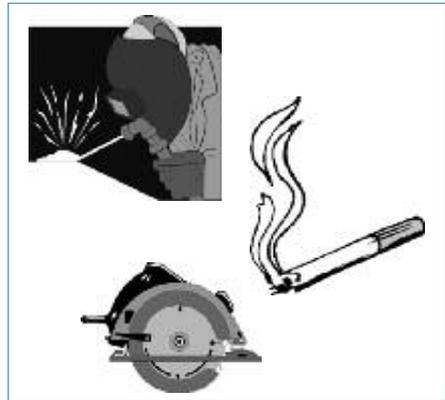


Bild 2: Zündquellen

1.5 | ATEX-Richtlinien

Die EG-Richtlinie 1999/92/EG, auch als „ATEX-137“ oder „ATEX-Benutzerrichtlinie“ bezeichnet, ist die gesetzliche Grundlage für erforderliche Maßnahmen, welche an Arbeitsplätzen in explosionsgefährdeten Bereichen getroffen werden müssen.

Die ATEX-Benutzerrichtlinie legt die Mindestanforderungen zur Sicherheit und zum Gesundheitsschutz von Arbeitnehmern bei Gefährdung durch explosionsfähige Atmosphären fest.

Zur Vermeidung von Explosionen sollte der Arbeitgeber geeignete technische und organisatorische Maßnahmen in folgender Rangfolge treffen:

- Vermeidung des Entstehens explosionsfähiger Atmosphäre oder, wenn dies die Art der Tätigkeit nicht zulässt,

- Vermeidung des Entzündens von explosionsfähiger Atmosphäre und
- Auswirkungen einer Explosion derart vermindern, dass die Gesundheit und die Sicherheit von Arbeitnehmern oder anderen gefährdeten Personen sichergestellt sind.

Die EG-Richtlinie 94/9/EG, auch als ATEX-95 oder „ATEX-Produktrichtlinie“ bezeichnet, beschreibt die Beschaffenheit für Geräte und Schutzsysteme zur bestimmungsgemäßen Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen. In dieser Richtlinie wird das Schutzziel festgelegt.

Die Umsetzung und Details der Geräte und Schutzsysteme werden nicht beschrieben, sondern in europäischen Normen behandelt.

1.6 | Einteilung der Gefahrenbereiche

Im Sinne der ATEX-Benutzerrichtlinie wird die Stelle, an der explosionsfähige Atmosphäre in solchen Mengen auftreten kann, dass spezielle Maßnahmen zum Schutz der Sicherheit und Gesundheit der betroffenen Arbeitnehmer erforderlich sind, als **Gefahrenstelle** und die entsprechende Atmosphäre an diesem Ort als **gefährliche explosionsfähige Atmosphäre** bezeichnet.

An solchen Arbeitsplätzen muss ein spezielles Warnschild angebracht werden. Das „EX-Zeichen“ warnt die Arbeitnehmer und



andere Personen vor einer Gefährdung durch Explosionen aufgrund des Vorhandenseins von brennbaren Stoffen im Bereich des Arbeitsplatzes. Diese brennbaren Stoffe können als Gase, Dämpfe, Nebel oder Stäube vorliegen.

Explosionsfähige Atmosphäre kann in Großbetrieben, z. B. in Chemieunternehmen, in Raffinerien, in Kraftwerken, in Gasversorgungsunternehmen als auch in Kleinbetrieben wie der Holzverarbeitung, in Lackierbetrieben, in der Landwirtschaft und der Nahrungsmittelherstellung auftreten.

Anhand der oben genannten Grundsätze sollte eine Risikoeinschätzung bezüglich der Explosionsgefahren an den Arbeitsplätzen durchgeführt werden. Die Gefahrenstellen müssen erkannt und entsprechend der Häufigkeit und der Dauer des Auftretens der gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre in Zonen eingeteilt werden.

Zoneneinteilung (nach ATEX-Benutzerrichtlinie):

Zone 0

ist ein Bereich, in dem gefährliche explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen oder Nebeln ständig, über lange Zeiträume oder häufig vorhanden ist.

Zone 1

ist ein Bereich, in dem sich bei Normalbetrieb gelegentlich eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen oder Nebeln bilden kann

Zone 2

ist ein Bereich, in dem bei Normalbetrieb eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen oder Nebeln normalerweise nicht oder aber nur kurzzeitig auftritt.

Zone 20

ist ein Bereich, in dem gefährliche explosionsfähige Atmosphäre in Form einer Wolke aus in der Luft enthaltenem brennbarem Staub ständig, über lange Zeiträume oder häufig vorhanden ist.

Zone 21

ist ein Bereich, in dem sich bei Normalbetrieb gelegentlich eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre in Form einer Wolke aus in der Luft enthaltenem brennbarem Staub bilden kann.

Zone 22

ist ein Bereich, in dem bei Normalbetrieb eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre in Form einer Wolke aus in der Luft enthaltenem brennbarem Staub normalerweise nicht oder aber nur kurzzeitig auftritt.

Anmerkung:

1. Schichten, Ablagerungen und Anhäufungen von brennbarem Staub sind wie jede andere Ursache, die zur Bildung einer explosionsfähigen Atmosphäre führen kann, zu berücksichtigen.
2. Als Normalbetrieb gilt der Zustand, in dem Anlagen innerhalb ihrer Auslegungsparameter benutzt werden.

Zur Einteilung der explosionsgefährdeten Bereiche und der Beurteilung der brennbaren Gase und Dämpfe wird häufig die EN 60079-10 herangezogen. Diese Norm stellt eine klare Beziehung zwischen der Menge an freisetzbaren brennbaren Gasen und Dämpfen, den Lüftungsmaßnahmen und der Zoneneinteilung dar.

Die Zone ergibt sich aus der Dauer und der Häufigkeit des Auftretens der explosionsfähigen Atmosphäre. Diese tritt mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit auf, die sich in den folgenden Begriffen ausdrückt:

- A:** Häufig oder über lange Zeiträume: zeitlich überwiegend bezogen auf die effektive Betriebszeit (z. B. in Deutschland > 50 %)
- B:** Normalerweise nicht oder nur kurzzeitig: wenige Male pro Jahr für ca. eine halbe Stunde
- C:** Gelegentlich: Dauer und Häufigkeit zwischen A und B

Die Erklärungen dieser Begriffe geben nur Anhaltspunkte an und sind nicht als feste Größe zu betrachten.

Mit diesen Zahlen ist eine Quantifizierung der Zonendefinition möglich (falls diese gewünscht ist), für die meisten Situationen ist jedoch ein rein qualitativer Ansatz angemessen.

Die Zoneneinteilung kann auch zur Festlegung des Umfangs der Schutzmaßnahmen im Hinblick auf die Gerätekategorie des an der Gefahrenstelle zu verwendenden Schutzsystems ausgewählt werden.

2. Checklisten für die Gefährdungs- ermittlung

Eine Gefährdung entsteht dann, wenn Personen mit Gefahrenquellen zusammentreffen. So können Beschäftigte durch Arbeiten mit Chemikalien, auf Leitern, beim Arbeiten mit der Kreissäge oder beim Umgang mit elektrischem Strom gefährdet werden.

Der Begriff „Risiko“ beschreibt die Wahrscheinlichkeit (hoch oder gering), dass jemandem durch die o.g. oder andere Gefährdungen Schaden zugefügt werden kann und gibt gleichzeitig an, wie schwer der Schaden sein könnte.

Zur Einschätzung eines Risikos ist es somit notwendig, die Wahrscheinlichkeit des Auftretens explosionsfähiger Atmosphäre sowie die möglichen Folgen der aus einer anschließenden Zündung resultierenden Explosion zu betrachten.

Mit Hilfe der folgenden Checkliste kann die Explosionsgefährdung ermittelt werden. Ein Verfahren zur Einschätzung des Risikos wird im Kapitel 3 vorgestellt.

Explosionsgefährdung	Maßnahmen	Bemerkungen
<p>Allgemeines</p> <p><input type="checkbox"/> Sind brennbare Stoffe (Gase, Dämpfe, Nebel, Stäube) vorhanden?</p> <p><input type="checkbox"/> Kann durch ausreichende Verteilung in der Luft ein explosionsfähiges Gemisch entstehen (Abschätzung von Quellen und Mengen der explosionsfähigen Atmosphäre)?</p> <p><input type="checkbox"/> Ist die Bildung von gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre möglich?</p> <p><input type="checkbox"/> Ist die Bildung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre durch o. g. Maßnahmen verhindert?</p> <p>Anmerkung: Wenn nicht, müssen Sie überprüfen welche Maßnahmen anwendbar sind, welche die Entzündung von gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre verhindern oder vermindern.</p> <p><input type="checkbox"/> Ist die Entzündung von gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre durch o. g. Maßnahmen sicher verhindert?</p> <p><input type="checkbox"/> andere _____</p>	<p>Maßnahmen zur Begrenzung oder Vermeidung der Bildung von gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> brennbare Stoffe durch nicht brennbare oder weniger brennbare Stoffe ersetzen <input type="checkbox"/> Lagermengen an Arbeitsplätzen auf die für den Fortgang der Arbeiten erforderlichen Mengen beschränken <input type="checkbox"/> die im Verlauf der Arbeiten anfallenden Abfälle, Reste zum täglichen Arbeitseinsatz/Schichtende sicher zwischenlagern <input type="checkbox"/> Verhinderung oder Einschränkung explosionsfähiger Atmosphäre im Inneren von Anlagen und Anlagenteilen durch <ul style="list-style-type: none"> – Konzentrationsbegrenzung – Inertisierung <input type="checkbox"/> Verhinderung oder Einschränkung explosionsfähiger Atmosphäre in der Umgebung von Anlagen und Anlagenteilen durch <ul style="list-style-type: none"> – Dichtheit von Anlagen – Lüftungsmaßnahmen: <ul style="list-style-type: none"> • für Gase: Lüftung (natürliche oder technische Lüftung) • für Staub: Technische Lüftung und Maßnahmen zur Beseitigung von Ablagerungen – Überwachung der Gaskonzentration <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Maßnahmen, welche die Entzündung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre verhindern oder einschränken <input type="checkbox"/> Beurteilung der Häufigkeit und Dauer des Auftretens gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre (Klassifizierung in Zonen) <input type="checkbox"/> nach o. g. Zoneneinteilung sind elektrische und nicht elektrische Geräte und Schutzsysteme, die Zündquellen enthalten, in der entsprechenden Gerätekategorie einzusetzen <input type="checkbox"/> Maßnahmen des konstruktiven Explosionsschutzes, welche die Auswirkungen einer Explosion auf ein unbedenkliches Maß beschränken. <ul style="list-style-type: none"> – explosionsfeste Bauweise – Explosionsdruckentlastung – Explosionsunterdrückung – explosionstechnische Entkopplung in Verbindung mit den o.g. Maßnahmen <p><input type="checkbox"/> andere _____</p>	

Explosionsgefährdung	Maßnahmen	Bemerkungen
<p>Zündquellen</p> <p><input type="checkbox"/> Sind Zündquellen vorhanden?</p> <p>Zündgefahren durch:</p> <p><input type="checkbox"/> heiße Oberflächen (z. B. Trockner, Heizkessel, heiße Rohrleitungen, mechanische Vorgänge durch Reibung und Spanabhebung)</p> <p><input type="checkbox"/> mechanisch erzeugte Funken (z. B. durch Schleif-, Reib- und Schlagvorgänge)</p> <p><input type="checkbox"/> elektrische Anlagen (z. B. Schalter, Relais)</p> <p><input type="checkbox"/> elektrische Ausgleichsströme, kathodischer Korrosionsschutz</p> <p><input type="checkbox"/> statische Elektrizität (z. B. als Folge von Reiben, pneumatische Förderung, Fließen von Flüssigkeiten)</p> <p><input type="checkbox"/> Blitzschlag</p> <p><input type="checkbox"/> elektromagnetische Felder im Bereich der Frequenzen von 9×10^3 Hz bis 3×10^{11} Hz</p> <p><input type="checkbox"/> elektromagnetische Strahlung im Bereich der Frequenzen von 3×10^{11} Hz bis 3×10^{15} Hz bzw. Wellenlängen von 1000 µm bis 0,1 µm (optischer Spektralbereich)</p> <p><input type="checkbox"/> ionisierende Strahlung</p> <p><input type="checkbox"/> Ultraschall</p> <p><input type="checkbox"/> adiabatische Kompression, Stoßwellen, strömende Gase</p> <p><input type="checkbox"/> chemische Reaktionen</p> <p><input type="checkbox"/> andere _____</p>	<p>wirksame Zündgefahren im Gefahrenbereich verhindern</p> <ul style="list-style-type: none"> - keine Zündquellen im Arbeitsbereich leicht entzündlicher Stoffe zulassen - Zündquellen vermeiden, den Umgang mit Feuer, offenem Licht und Rauchen verbieten <p><input type="checkbox"/> zündfähige Funken lassen sich zum Beispiel durch Wasserkühlung an der Schleifstelle verhindern oder durch die Wahl günstiger Materialkombinationen einschränken</p> <p><input type="checkbox"/> geeignete elektrische und nicht elektrische Geräte auswählen (siehe z. B. ATEX 95)</p> <p><input type="checkbox"/> Temperaturen von heißen Oberflächen überwachen und begrenzen</p> <p><input type="checkbox"/> gefährlose Ladungsableitung durch Verwenden leitfähiger Materialien und durch Erden</p> <p><input type="checkbox"/> andere _____</p>	
<p>Vorbereitende Instandhaltung</p> <p>Heißenarbeiten (z. B. Schleifen, Brennschneiden, Schweißen) in Bereichen mit möglicher Explosionsgefährdung (allgemein)</p> <p><input type="checkbox"/> andere _____</p>	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Entfernen aller brennbarer Stoffe und Beseitigung von Staubablagerungen, falls erforderlich <input type="checkbox"/> Sauberhalten des Arbeitsbereichs durch regelmäßige Reinigung mit geeigneten Reinigungsgeräten und -materialien <input type="checkbox"/> regelmäßige Wartung der elektrischen und mechanischen Geräte entsprechend den Anweisungen des Herstellers <input type="checkbox"/> überprüfen, ob wirklich keine explosionsfähige Atmosphäre vorhanden ist oder auftreten kann, bevor mit den Arbeiten begonnen wird <p><input type="checkbox"/> andere _____</p>	

3. Risikoeinschätzung

Die Auswahl der durchzuführenden vorbeugenden Maßnahmen und Schutzmaßnahmen kann mit Hilfe des Wahrscheinlichkeitsfaktors und des Auswirkungsfaktors anhand der nachstehenden Matrix erfolgen:

		Auswirkungsfaktor			
		gering (leichte Verletzungen)	mittel (mittel bis schwere Verletzungen)	schwer (lebensbedrohliche Verletzungen oder Tod)	katastrophal (mehrere Todesfälle)
Wahrscheinlichkeitsfaktor	hoch (tritt wahrscheinlich während der Lebensdauer der Anlage mindestens einmal im Jahr auf)	4	5	6	7
	mittel (tritt wahrscheinlich während der Lebensdauer der Anlage mehr als einmal auf)	3	4	5	6
	niedrig (tritt wahrscheinlich während der Lebensdauer der Anlage nicht auf)	2	3	4	5
	sehr niedrig (Auftreten sehr unwahrscheinlich bis ausgeschlossen)	1	2	3	4

Im o. g. Szenarium wird die Lebensdauer der Anlage auf 20 Jahre geschätzt. Auf der Basis der in der oberen Tabelle ermittelten Werte werden die erforderlichen Maßnahmen und der Zeitrahmen, innerhalb dessen sie umgesetzt werden müssen, in der nachstehenden Tabelle angegeben:

Gemessener Wert	Ergriffene Maßnahme und Zeitrahmen
1 – 2 (akzeptables Risiko)	Keine zusätzlichen Schutzmaßnahmen erforderlich. Mögliche Verbesserungsmaßnahmen sollten unter Berücksichtigung des Kosten/Nutzen-Verhältnisses in Betracht gezogen werden. Dauerhafte Überwachung zur Sicherstellung der Durchführung der Schutzmaßnahmen.
3 – 4 (Risikominderung erforderlich)	Innerhalb eines festgelegten Zeitrahmens sollten Maßnahmen zur Reduzierung des Risikos auf ein annehmbares Maß getroffen werden.
5 – 7 (Risikominderung dringend erforderlich)	Arbeiten dürfen erst begonnen werden, wenn das Risiko auf ein unbedenkliches Maß reduziert wurde. Die erforderlichen Verbesserungsmaßnahmen sind wichtig und sollten sofort für bereits begonnene Arbeiten angewendet werden. Wenn das Risiko nicht auf ein unbedenkliches Maß reduziert werden kann, muss das Verbot der Arbeiten wirksam bleiben.

4. Risikominderung, Ergreifen von Maßnahmen

4.1 | Einführung

Das Merkmal, das einen Brand von einer Explosion unterscheidet, ist die Geschwindigkeit, mit welcher der brennbare Stoff mit Sauerstoff reagiert. Viele Oxidationsprozesse laufen direkt vor unseren Augen ab, ohne dass wir sie bemerken. Während der Oxidation wird Energie in Form von Wärme freigesetzt. Wenn eine bestimmte Oxidationsgeschwindigkeit erreicht ist, wird die freigesetzte Energie in Form einer Flamme sichtbar. Oxidationsprozesse mit derartigen Wirkungen werden als Brand oder Verbrennung bezeichnet. Dahingegen ist eine Explosion ein sehr schneller Verbrennungsprozess, der zu einem Temperatur- und/oder Druckanstieg führt.

Wenn sich durch die Risikoeinschätzung herausstellt, dass das Risiko einer Explosion am Arbeitsplatz besteht, müssen

Maßnahmen festgelegt und umgesetzt werden, um

- das Risiko zu vermeiden oder
- das Risiko auf ein annehmbares Maß zu reduzieren.

Hierbei kann es sich um **vorbeugende Maßnahmen** oder um Schutzmaßnahmen oder eine Kombination aus beiden handeln. Darüber hinaus kann es sich um **technische** und **organisatorische** Maßnahmen handeln.

Wichtig:

Steht keine befähigte Person zur Verfügung, welche diese vorbeugenden Schutzmaßnahmen festlegen kann, muss der Unternehmer einen befähigten externen Dienstleister oder andere Fachleute in Anspruch nehmen.

4.2 | Vorbeugende Maßnahmen

Das Ziel von vorbeugenden Maßnahmen ist es, das Risiko einer Explosion dadurch auszuschließen, dass man die Entstehung einer gefährlicher explosionsfähigen Atmosphäre vermeidet oder das Auftreten von Zündquellen verhindert.

4.2.1 *Vermeiden oder Beschränkung der Menge von brennbaren Stoffen*

Folgt man dem Präventionsprinzip, so steht diese Art von Maßnahmen sehr weit oben in der Präventionshierarchie. In vie-

len Fällen können die brennbaren Stoffe jedoch nicht durch nicht brennbare ersetzt werden, weil sie entweder selbst das Resultat eines spezifischen Prozesses sind oder weil sie ein entscheidender Bestandteil dessen sind. In diesen Fällen sollte die am Arbeitsplatz gelagerte Menge an brennbaren Stoffen auf das notwendige Minimum beschränkt werden. Die brennbaren Stoffe sollten in geeigneten geschlossenen und ordnungsgemäß beschrifteten Behältern, entfernt von möglichen Zündquellen, gelagert

werden. Es ist wichtig, dass die brennbaren Stoffe nicht zusammen mit inkompatiblen Stoffen gelagert werden, die miteinander reagieren und so eine Explosion auslösen können.

4.2.2 Einhalten der Explosionsgrenzen für die Konzentration des brennbaren Stoff-/Luft-Gemisches

Die Bildung von explosionsfähigen Atmosphären außerhalb von Betriebseinrichtungen sollte soweit wie möglich verhindert werden. Dies kann durch geschlossene Anlagen erreicht werden. Die Anlagen müssen so konstruiert sein, dass unter den vorhersehbaren Betriebsbedingungen keine Leckagen auftreten können. Dies ist auch durch regelmäßige Wartung und Prüfung sicherzustellen.

Wenn eine Leckage von brennbaren Stoffen nicht ausgeschlossen werden kann, muss die Bildung einer explosionsfähigen Atmosphäre durch geeignete Maßnahmen verhindert werden, so dass die Konzentration von brennbaren Stoffen im Gemisch mit Luft außerhalb der Explosionsgrenzen bleibt. Mögliche Maßnahmen sind z.B. Lüftung und Reinigung.

Speziell für Gase oder Dämpfe:

- natürliche Lüftung (Luftaustausch ohne technische Maßnahmen)
- technische Lüftung (Luftaustausch innerhalb des Arbeitsraumes oder -bereiches durch Anwendung technischer Mittel, z. B. Ventilatoren, Luftinjektoren)
- Objektabsaugung (gezielte Erfassung und Abführung von brennbaren Gasen, Dämpfen, Nebeln und Stäuben an der Entstehungsstelle)



Bild 3: Ungeeignetes und geeignetes Verfahren zur Beseitigung von brennbarem Staub

Der brennbare Staub sollte immer vorrangig direkt an der Entstehungsstelle abgesaugt werden. Ein Sauberhalten des Arbeitsplatzes ist ebenfalls sehr wichtig. Die Ansammlung von brennbarem Staub kann durch regelmäßige Reinigungsmaßnahmen mit geeigneten Reinigungsgeräten verhindert werden. Das Aufwirbeln von brennbarem Staub muss vermieden werden, da es eine Staubwolke erzeugen könnte. Das Befeuchten des brennbaren Staubs vor dem Entfernen verhindert Dispersion.

Es sollte beachtet werden, dass trotz der Wirksamkeit von Lüftungssystemen und Reinigungstätigkeiten immer ein Restrisiko bestehen kann, dass erneut eingeschätzt und durch weitere Maßnahmen gemindert werden muss.

4.2.3 Bestimmung der Beschaffenheit von Stäuben

Durch die Ermittlung der Kenngrößen von Stäuben (z. B. Zusammensetzung, Korngrößenverteilung, Feuchte, Brenn-

zahl, untere Explosionsgrenze) lassen sich wichtige Schutzmaßnahmen festlegen, die für den Explosionsschutz von Bedeutung sind.

4.2.4 Vermeidung von wirksamen Zündquellen

Zur Vermeidung der Entzündung von gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre sind mögliche Zündquellen zu ermitteln und Maßnahmen zur Verhinderung zu treffen.

Zu den Maßnahmen gehören:

- Bereitstellung von geeigneten Arbeitsmitteln
- Benutzung der Arbeitsmittel so, dass Zündquellen nicht wirksam werden
- Montage, Installation und Betrieb von Geräten und Schutzsystemen so, dass Zündquellen nicht wirksam werden

Die Wirksamkeit der Zündquellen hängt u. a. von der Energie der Zündquelle und von den Eigenschaften der explosionsfähigen Atmosphäre ab. Durch die zu treffenden Schutzmaßnahmen sollen Zündquellen unwirksam gemacht werden oder die Wahrscheinlichkeit ihres Wirksamwerdens verringern. Der Umfang der

Schutzmaßnahmen richtet sich nach der Wahrscheinlichkeit des Auftretens der gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre (Zoneneinteilung).

- Elektrische und nicht elektrische Ausrüstungen müssen die Anforderungen der ATEX-Richtlinie 95 erfüllen. Es sollte beachtet werden, dass die Ausrüstung für die jeweilige Umgebung des gefährdeten Arbeitsplatzes geeignet sein muss, z. B. darf die Ausrüstung mit Gaszertifizierung nur in Bereichen mit gasförmiger explosionsfähiger Atmosphäre verwendet werden.



4.2.5 Meldesystem für explosionsfähige Atmosphäre

Zur rechtzeitigen Warnung vor der Bildung einer explosionsfähigen Atmosphäre können geeignete Meldesysteme verwendet werden. Diese Systeme lösen üblicherweise einen Alarm aus, wenn die Konzentration des brennbaren Stoff-/Luft-Gemisches etwa 20 % der unteren Explosionsgrenze dieses brennbaren Materials erreicht. Solche Systeme können nicht explosions sichere Ausrüstungen abschalten, die technische Lüftung einschalten, usw.

4.3 | Organisatorische Maßnahmen

Organisatorische Maßnahmen sind zu treffen, wenn technische Maßnahmen nicht ausreichend sicher den Explosionsschutz am Arbeitsplatz gewährleisten. Auch die Aufrechterhaltung der technischen Explosionsschutzmaßnahmen durch Wartung und Instandhaltung muss organisatorisch festgelegt werden.

Folgende organisatorische Maßnahmen können in Betracht kommen:

1. Erarbeitung von schriftlichen Betriebsanweisungen
2. Unterweisung der Beschäftigten
3. Anwendung eines Freigabesystems
4. Durchführung von Prüfungen
5. ausreichende Qualifikation der Beschäftigten

6. Kennzeichnung der explosionsgefährdeten Bereiche



Bild 4: Organisatorische Maßnahmen

1. Erarbeitung von Betriebsanweisungen
2. regelmäßige Instandhaltung und Prüfung
3. regelmäßige Reinigung
4. Kennzeichnung des Arbeitsplatzes
5. ausreichende Qualifikation

4.3.1 Erarbeitung von schriftlichen Betriebsanweisungen

Betriebsanweisungen sind tätigkeitsbezogene schriftliche Anordnungen und Verhaltensregeln, welche der Unternehmer den Beschäftigten übergibt.

Sie beschreiben die arbeitsplatzspezifischen Gefahren und legen einzuhaltende Schutzmaßnahmen fest. Die Beschäftigten haben die Betriebsanweisung einzuhalten.

4.3.2 Unterweisung der Beschäftigten

Die Beschäftigten sind durch eine Unterweisung über die am Arbeitsplatz vorliegenden Explosionsgefahren und die getroffenen Schutzmaßnahmen umfassend zu unterrichten. Ferner sind die Beschäftigten darauf hinzuweisen, welche persönlichen Schutzausrüstungen sie bei der Arbeit tragen müssen. In die Unterweisung muss die vorhandene Betriebsanweisung einbezogen werden. Datum, Inhalte und Teilnehmer der Unterweisung sollten schriftlich dokumentiert werden.

4.3.3 Anwendung eines Arbeitsfreigabesystems

Instandhaltungsmaßnahmen, durch die möglicherweise Explosionen ausgelöst werden können, müssen innerhalb eines Arbeitsfreigabesystems ausgeführt werden. Ein vom Verantwortlichen unterzeichneter Freigabeschein sollte ausgehändigt werden. Der Freigabeschein sollte mindestens Folgendes angeben:

- den Arbeitsort
- eine Beschreibung und die Dauer der auszuführenden Arbeit
- die Anzahl und die Namen der Beschäftigten, denen die Arbeit zugewiesen wurde
- die anzuwendenden Arbeitsmittel
- die Benennung der Gefahren
- eine Auflistung aller erforderlichen Schutzmaßnahmen und die Bestätigung des Verantwortlichen, dass sie umgesetzt wurden
- die Anwendung erforderlicher persönlicher Schutzausrüstung
- eine Bestätigung, dass die betroffenen Beschäftigten die erforderliche Schulung erhalten haben

Erfahrungsgemäß bergen Instandhaltungsarbeiten ein hohes Unfallrisiko. Vor, während und nach Beendigung der Arbeit muss sichergestellt werden, dass alle Schutzmaßnahmen eingehalten wurden.

4.3.4 Durchführung von Prüfungen

Vor der erstmaligen Nutzung eines Arbeitsplatzes, der Bereiche enthält, in denen eine explosionsfähige Atmosphäre auftreten kann, muss die Gesamtanlage bewertet werden. Eine Prüfung ist auch erforderlich, wenn Veränderungen mit Auswirkungen auf die Sicherheitsniveaus in diesem Bereich durchgeführt werden. Die in einer Anlage getroffenen Explosionsschutzmaßnahmen müssen darüber hinaus in regelmäßigen Abständen auf ihre Wirksamkeit geprüft werden. Die Häufigkeit der Überprüfung richtet sich

nach der Art der Explosionsschutzmaßnahme. Diese regelmäßigen Überprüfungen dürfen nur von einer befähigten Person durchgeführt werden.

4.3.5 Ausreichende Qualifikation

An jedem Arbeitsplatz sollte eine ausreichende Anzahl von Beschäftigten zur Verfügung stehen, welche die erforderliche Ausbildung und Erfahrung für die zugewiesenen Aufgaben auf dem Gebiet des Explosionsschutzes besitzen.

4.3.6 Kennzeichnung

Die Zugangsstellen zu Gefahrenbereichen müssen mit dem Verbotssymbol „Feuer, offenes Licht und Rauchen verboten“, dem Warnsymbol „Warnung vor explosionsfähiger Atmosphäre“ und dem Verbotssymbol „Zutritt für Unbefugte verboten“ gekennzeichnet sein.

4.4 | Konstruktive Schutzmaßnahmen

4.4.1 Allgemeines

Kann das Auftreten einer Explosion nicht ausgeschlossen werden, müssen zusätzliche Maßnahmen angewendet werden. Diese zusätzlichen Maßnahmen verhindern Explosionen nicht, helfen aber die Auswirkungen (Unfälle und Sachschäden) auf ein unbedenkliches Maß zu beschränken.

Die Auswirkungen einer Explosion können durch **konstruktive Schutzmaßnahmen** begrenzt werden, z. B.

- explosionsfeste Bauweise,
- Explosionsdruckentlastung,
- Explosionsunterdrückung
und
- explosionstechnische Entkopplung.

4.4.2 Explosionsfeste Bauweise

Wenn diese Maßnahme angewendet wird, müssen alle betroffenen Teile so gestaltet sein, dass sie einer inneren Explosion ohne Bruch standhalten können.

Explosionsdruckfeste Behälter, Apparate und Rohrleitungen halten dem zu erwartenden Explosionsdruck ohne bleibende Verformung stand. Die Gestaltung richtet sich nach dem zu erwartenden Explosionsdruck.

Explosionsdruckstoßfeste Behälter, Apparate und Rohrleitungen sind so konstruiert, dass sie im Fall einer inneren Explosion dem zu erwartenden Explosionsdruck standhalten ohne aufzureißen, wobei bleibende Verformungen

zulässig sind. Nach Explosionen müssen die betroffenen Teile der Anlage auf Verformung geprüft werden, bevor ein weiterer Betrieb zulässig ist.



Bild 6: Explosionsdruckentlastung

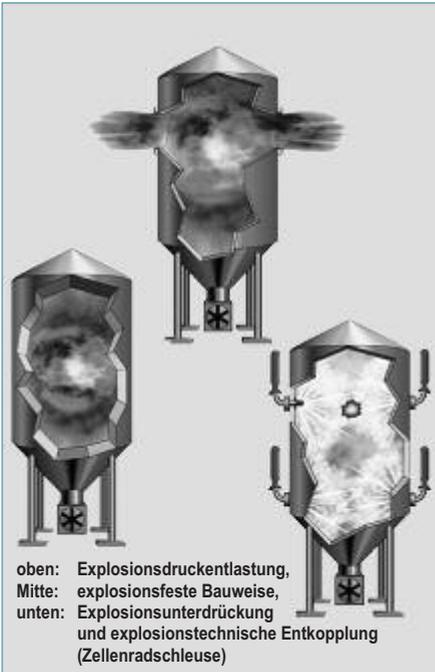
Explosionsdruckentlastung darf jedoch nicht verwendet werden, wenn die austretenden Stoffe gefährlich sind, z. B. giftig oder korrosiv.

4.4.4 Explosionsunterdrückung

Explosionsunterdrückungssysteme sind Einrichtungen, die, wie im Fall der Explosionsdruckentlastung, das Entstehen eines unzulässig hohen Drucks im Verlauf von Explosionen in Behältern verhindern. Ihre Wirkung beruht auf Erkennen des Druckanstiegs oder der Flammenausbreitung bei Beginn einer Explosion und der Unterdrückung der Explosion durch Freisetzen von Löschmitteln.

4.4.5 Explosionstechnische Entkopplung

Eine Explosion, die in einem Teil einer Anlage auftritt, kann sich auf nach- und vorgeschaltete Anlagenteile und -bereiche, z. B. über Verbindungsrohre oder -kanäle ausbreiten, wo sie weitere Explosionen erzeugen kann. Ein extremer Explosionsdruck entsteht durch Verlagerung, Turbulenzen während der Ausbreitung einer Explosion. Der entstehende Explosionsdruck kann sehr viel höher sein als der maximale Explo-



oben: Explosionsdruckentlastung,
Mitte: explosionsfeste Bauweise,
unten: Explosionsunterdrückung
und explosionstechnische Entkopplung
(Zellenradschleuse)

Bild 5: Konstruktive Explosionsschutzmaßnahmen

4.4.3 Explosionsdruckentlastung

Explosionsdruckentlastung beinhaltet alle Maßnahmen zur Ableitung des Druckes aus den ursprünglich geschlossenen Behälter oder Ausrüstungen in eine ungefährliche Richtung. Die Explosionsdruckentlastungseinrichtungen sollen sicherstellen, dass die Anlage bzw. Betriebseinrichtung keiner zu hohen Explosionsbelastung ausgesetzt ist, die ihre Konstruktionsfestigkeit überschreiten. Solche Druckentlastungseinrichtungen sind z. B. Berstscheiben oder Explosionsklappen.



Bild 7: Einrichtung zur explosions-technischen Entkopplung

sionsdruck unter normalen Bedingungen und kann nichtgeschützte Bereiche der Betriebseinrichtung oder sogar Teile der Anlage, die explosionsdruckfest oder explosionsdruckstoßfest gestaltet sind, zerstören.

Daher ist es wichtig, mögliche Explosionen auf angrenzende Teile der Anlage zu beschränken. Dies wird durch explosionstechnische Entkopplung erreicht.

Explosionstechnische Entkopplung kann umgesetzt werden durch:

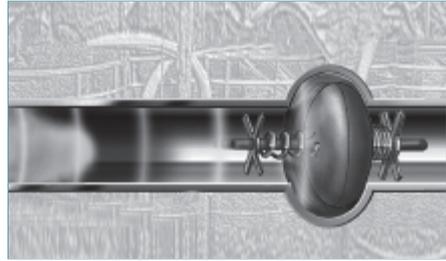


Bild 8: Explosionstechnische Entkopplung mit Schnellschlussventil

- mechanische Schnellabsperreinrichtungen
- Löschen von Flammen in engen Spalten oder durch Löschmitteleintrag
- Aufhalten von Flammen durch hohe Gegenströmung
- Tauchung
- Zellenradschleusen

5. Explosionsschutz-Dokument

Die ATEX-Benutzerrichtlinie sieht vor, dass der Unternehmer ein Explosionsschutz-Dokument erstellt.

Dieses Dokument sollte anfangs für jedes Verfahren und jede Betriebseinrichtung erstellt und bei Veränderungen aktualisiert werden.

Im Wesentlichen enthält das Explosionsschutz-Dokument viele der in dieser Broschüre beschriebenen Informationen.

Zum Beispiel:

- Die Risikobewertung und die Maßnahmen, die zur Minderung des Risikos ergriffen wurden,
- die Zoneneinteilung der verschiedenen Arbeitsbereiche,
- Schulungs- und Wartungsverfahren und
- Angaben darüber, wie eine Koordinierung der Sicherheitsmaßnahmen erreicht wird.

Deutschland

In Deutschland erfolgt die Umsetzung der Vorschriften der Richtlinie des Rates 1999/92/EG durch die Betriebs-sicherheitsverordnung (BetrSichV), „Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Bereitstellung von Arbeitsmitteln und deren Benutzung bei der Arbeit, über Sicherheit beim Betrieb überwachungsbedürftiger Anlagen und über die Organisation des betrieblichen Arbeitsschutzes“ vom 27. September 2002, letzte Änderung 18. Dezember 2008.

Thematische Schwerpunkte der BetrSichV:

- Gefährdungsbeurteilung (siehe § 3 BetrSichV)
- Explosionsschutzdokument (siehe § 6 BetrSichV)
- Prüfung der Arbeitsmittel (siehe § 10 BetrSichV)
- besondere Vorschriften für überwachungsbedürftige Anlagen (siehe Abschnitt 3 der BetrSichV)
- Zoneneinteilung explosionsgefährdeter Bereiche (siehe Anhang 3 der BetrSichV)
- Mindestvorschriften zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten, die durch gefährliche explosionsfähige Atmosphäre gefährdet werden können (siehe Anhang 4, Abschnitt A der BetrSichV)
- Kriterien für die Auswahl von Geräten und Schutzsystemen (siehe Anhang 4, Abschnitt B der BetrSichV)

Deutschland

Ansprechpartner sind die Mitarbeiter der zuständigen Unfallversicherungsträger und die Mitarbeiter der staatlichen Arbeitsschutzbehörden.

Österreich

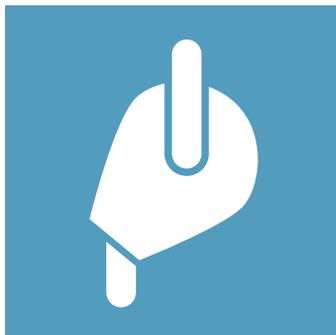
Bei weiteren Fragen zu diesem Thema können Sie sich gerne an die für Sie zuständige Landesstelle der AUVA wenden.

Anmerkung:

Zur Vertiefung des Wissens im Explosionsschutz können Sie die Broschüren der Internationalen Sektion der IVSS für die Chemische Industrie verwenden:

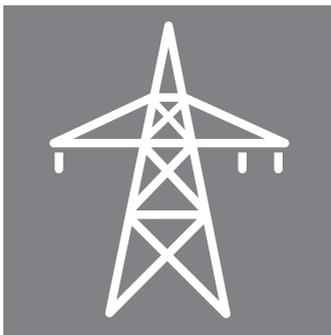
- Gasexplosionen – Schutz vor Explosionen durch brennbare Gase, Dämpfe oder Nebel
- Staubexplosionen – Schutz vor Explosionen durch brennbare Stäube
- Bestimmung der Brenn- und Explosionskenngößen von Stäuben
- Staubexplosionsschutz an Maschinen und Apparaten
- Staubexplosionsereignisse – Analysen von Staubexplosionen in Industrie und Gewerbe
- Praxishilfen zur Erstellung des Explosionsschutz-Dokumentes

An der Broschüre haben sich die folgenden IVSS Sektionen für Prävention beteiligt. Diese sind zugleich Ihre Ansprechpartner:



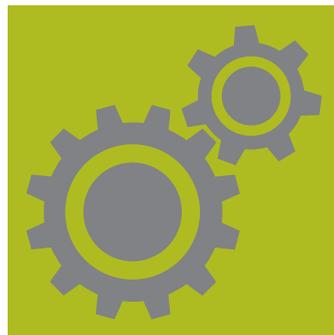
**IVSS Sektion für
Eisen und Metall**

c/o Allgemeine
Unfallversicherungsanstalt
Büro für Internationale
Beziehungen und
Kongresswesen
Adalbert-Stifter-Straße 65
1200 Wien · Österreich
Fon: +43 (0) 1-33 111-558
Fax: +43 (0) 1-33 111-469
E-Mail: issa-metal@auva.at



**IVSS Sektion für
Elektrizität**

c/o Berufsgenossenschaft
Energie Textil Elektro
Medienerzeugnisse
Gustav-Heinemann-Ufer 130
50968 Köln · Deutschland
Fon: +49 (0) 221-3778-6007
Fax: +49 (0) 221-3778-196007
E-Mail: electricity@bgetem.de



**IVSS Sektion für
Maschinen- und Systemsicherheit**

Dynamostraße 7-11
68165 Mannheim · Deutschland
Fon: +49 (0) 621-4456-2213
Fax: +49 (0) 621-4456-2190
E-Mail: info@ivss.org

www.issa.int

Klick auf „Sektionen für Prävention“ unter „Direkte Links“