

Grundlagen des Explosionsschutz

Explosionen sind starke Verbrennungsreaktionen, die sich in einem Gemisch aus Brennstoff (z.B. brennbare Gase, Dämpfe, Nebel oder Stube) und oxidierendem Stoff (meistens Luftsauerstoff) nach Entzündung durch eine Zündquelle selbständig ausbreiten.

Ein explosionsfähiges Gasgemisch besteht nur innerhalb der Explosionsgrenzen.



Bei Flüssigkeiten brennen nur die Dämpfe, die sich an der Flüssigkeitsoberfläche bei Temperaturen oberhalb des Flammpunkts bilden. Die Dämpfe bzw. Dampf-Luftgemische aller brennbaren Flüssigkeiten sind schwerer als Luft. Sie sammeln sich in Bodennähe, breiten sich schwadenformig aus und können über größere Entfernungen "fließen". Für Stäube sind die Explosionsgrenzen weniger wichtig, da sich die Staubkonzentration durch Aufwirbelung oder Absetzen stark ändern kann. So ist in Gegenwart abgelagerter brennbarer Stäube stets mit Explosionsgefahr zu rechnen.

Eine Explosion ist in der Regel mit einer Druckwelle verbunden. Die Stärke der Druckwelle hängt ab von der Geschwindigkeit der Flammenausbreitung und kann unter bestimmten Bedingungen, z.B. in einem langen Rohr, uberschallgeschwindigkeit erreichen.

Explosionsfähige Gemische können u.a. entzündet werden durch

- offene Flammen (unter reinem Sauerstoff verbrennt nahezu alles)
- heiße Gase und heiße Oberflächen
- elektrische Funken (elektrodynamische und elektrostatische Entladungen)
- elektrische Ausgleichsströme
- atmosphärische Entladungen (Blitzschlag)
- mechanische Schlag- und Reibfunken
- chemische Reaktionen (z.B. Selbstentzündung von ölen und Fetten mit Sauerstoff)
- biologische Reaktionen
- Ultraschall (mechanische Schallwellen oberhalb 20 kHz)
- Radiowellen (elektromagnetische Wellen mit Wellenlängen 10 km ... 1 m)
- Mikrowellen (elektromagnetische Wellen mit Wellenlängen 1 m ... 1 mm)

- Infrarot-Strahlung (elektromagnetische Wellen mit Wellenlängen 1 mm ... 770 nm)
- Sichtbares Licht (elektromagnetische Wellen mit Wellenlängen 770 nm ... 390 nm)
- Ultraviolett-Strahlung (elektromagnetische Wellen mit Wellenlängen 390 nm ... 10 nm)
- Röntgen- und Gammastrahlung (elektromagnetische Wellen mit Wellenlängen kleiner 10 nm)
- adiabatische Kompression (z.B. Kompressionszündung beim Diesel)

Explosionen sind von sehr vielen Parametern abhängig. Nur für atmosphärische Bedingungen und reine Stoffe liegen hinreichende Vergleichswerte und Daten vor. Deshalb umfassen die Regeln zum Explosionsschutz nur Gefahren durch explosionsfähige Atmosphären, d.h. Mischungen brennbarer Gase, Dämpfe, Nebel oder Stäube mit Luft unter den atmosphärischen Bedingungen

- Luftdruck 0,8 bis 1,1 bar
- Temperatur -20 bis +60 °C

in gefahrdrohender Menge (ab ca. 10 Liter).

Explosionsgruppen

Die brennbaren Gase und Dämpfe werden bezüglich der Wirksamkeit von Zündfunken in Explosionsgruppen aufgeteilt. Zur Prüfung und Einteilung werden zwei Verfahren verwendet:

- Grenzspaltweite (MESG) zur Beurteilung des Flammendurchschlags
- Mindestzündstrom (MIC) zur Beurteilung der Zündfähigkeit durch Zündfunken

		Europa	Nordamerika		
		Gruppe	Class	Group	Risiko
Übertage	Explosionsfähige Gase, Dämpfe, Nebel	IIA IIB IIC	I	D C B A	niedrig V hoch
	Explosionsfähige Stäube		II	G (grain) F (coal) E (metals)	niedrig V hoch
	Explosionsfähige Fasern, Flusen		III		

Temperaturklassen

Die brennbaren Gase und Dämpfe werden bezüglich der Endzündbarkeit durch heiße Oberflächen in Temperaturklassen aufgeteilt.

Europa		Nordamerika			
Gruppe II		Class I und II		Class III	
Klasse	Zündtemp.	Klasse	Zündtemp.	Klasse	Zündtemp.
T1	> 450 °C	T1	> 450 °C		
T2	> 300 °C	T2	> 300 °C		
		T2A	> 280 °C		
		T2B	> 260 °C		
		T2C	> 230 °C		
		T2D	> 215 °C		
T3	> 200 °C	T3	> 200 °C		
		T3A	> 180 °C		
		T3B	> 165 °C	T3B	> 165 °C
		T3C	> 160 °C	T3C	> 160 °C
T4	> 135 °C	T4	> 135 °C	T4	> 135 °C
		T4A	> 120 °C	T4A	> 120 °C
T5	> 100 °C	T5	> 100 °C	T5	> 100 °C
T6	> 85 °C	T6	> 85 °C	T6	> 85 °C

Für die europäische Gruppe I werden Zündtemperaturen größer 150 °C angenommen.

Gefahrklassen

Brennbare Flüssigkeiten werden durch Flammpunkt, Brennpunkt und Zündpunkt beschrieben.

Der Flammpunkt ist die Temperatur, bei der eine brennbare Flüssigkeit so viele brennbare Dämpfe entwickelt, dass diese bei einer einmaligen Zündung entflammen, aber dann wieder erlöschen.

Der Brennpunkt ist die Temperatur, ab der die Flüssigkeit nach Entzündung selbständig weiterbrennt und der Zündpunkt ist die Temperatur, ab der sich die Flüssigkeit von selbst entzündet.

Da brennbare Flüssigkeiten bereits bei einem kurzen Entflammen gefährliche Prozesse auslösen können, werden sie abhängig von ihrem Flammpunkt in folgende Gefahrenklassen eingeordnet:

Gefahrklasse	Flammpunkt
AI	< 21 °C
AII	21 bis 55 °C
AIII	> 55 bis 100 °C
B	< 21 °C, bei 15 °C mit Wasser mischbar

Brennbare Flüssigkeiten mit einem Flammpunkt über 100 °C werden nicht erfaßt.

Stofftabelle

Die folgende (unvollständige) Stofftabelle gibt einen Überblick über die Stoffeinteilung nach Explosionsgruppen und Temperaturklassen. Die Klasse T5 enthält keinen Stoff, die Klasse T6 nur einen einzigen. Die Referenzstoffe sind fett gedruckt.

Explosions- gruppe	Temperaturklassen					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
IIA	Aceton Äthan Äthylacetat Ammoniak Benzol Essigsäure Kohlenoxyd Methan Methanol Methylchlorid Naphtalin Phenol Propan Toluol	i-Amylacetat n-Butan n-Butylalkohol Cyclohexanon 1,2-Dichloräthan Essigsäureanhydrid	Benzine Diesel Kerosine Heizöle n-Hexan	Acetaldehyd		
IIB	Stadtgas	Äthylen	Schwefel- wasserstoff	Äthyläther		
IIC	Wasserstoff	Acetylen				Schwefel- kohlenstoff
I	Methan (Grubengas)					

Beispielhaft gibt folgende Tabelle einen Überblick über die sicherheitstechnischen Kennzahlen einiger Stoffe:

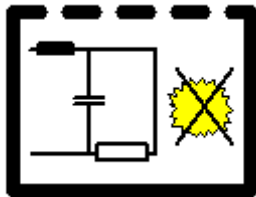
	Explosions- gruppe	Zünd- temperatur	Explosions- grenzen	Flamm- punkt	Gefahr- klasse
Acetylen	IIC	305 °C (T2)	1 - 82 Vol. %		Gas
Benzin	IIA	220 °C (T2)	1 - 8 Vol. %	20 °C	A I
Heizöl	IIA	220 °C (T2)		55 °C	A III
Methanol	IIA	455 °C (T1)	5 - 44 Vol. %	11 °C	B
Schwefelkohlenstoff	IIC	95 °C (T6)	1 - 60 Vol. %	< -20 °C	A I
Stadtgas	IIB		4 - 40 Vol. %		Gas
Wasserstoff	IIC	560 °C (T1)	4 - 77 Vol. %		Gas
Anthrazit			200 g/Kubikmeter		Staub
Braunkohle			50 g/Kubikmeter		Staub
Puderzucker			45 g/Kubikmeter		Staub
Kakao			70 g/Kubikmeter		Staub

Die Kennzahlen von Stoffgemischen können nicht aus den Daten der Einzelstoffe errechnet werden, sondern müssen explizit ermittelt werden.

Zündschutzarten

Die Entzündung eines explosionsfähigen Gemischs kann durch verschiedene Zündschutzarten verhindert werden. Gegebenenfalls können auch Kombinationen verschiedener Zündschutzarten angewendet werden. Folgende Zündschutzarten sind genormt:

Eigensicherheit (Intrinsic Safety) Ex i



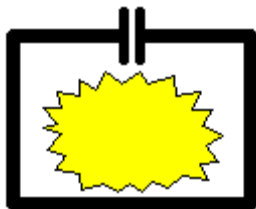
Ein eigensicheres Gerät kann zwar Funken erzeugen, aber die Energie ist so gering, dass keine Zündung ausgelöst werden kann. Darüberhinaus darf das Gerät an keiner Stelle die jeweilige minimale Zündtemperatur erreichen.

Die Geräte im gefährdeten Bereich bekommen ihre Versorgungsenergie i.d.R. von speziellen Stromversorgungen außerhalb des gefährdeten Bereichs. Diese sogenannten zugehörigen Betriebsmittel enthalten sowohl eigensichere als auch

nicht eigensichere Stromkreise, die sich nicht gegenseitig beeinträchtigen dürfen. Eigensichere Geräte und zugehörige Betriebsmittel werden in die Kategorien ia oder ib eingeteilt, die sich in der Fehlerbehandlung unterscheiden:

ia	ib
keine Zündung im Normalbetrieb	keine Zündung im Normalbetrieb
keine Zündung bei einem Fehler	keine Zündung bei einem Fehler
keine Zündung bei zwei Fehlern	
Sicherheitsfaktor 1,5 im Normalbetrieb	Sicherheitsfaktor 1,5 im Normalbetrieb
Sicherheitsfaktor 1,5 bei einem Fehler	Sicherheitsfaktor 1,5 bei einem Fehler <i>oder</i> Sicherheitsfaktor 1,0 bei einem Fehler, wenn keine Schaltkontakte mit der explosionsfähigen Atmosphäre in Berührung kommen und der Fehler gemeldet wird
Sicherheitsfaktor 1,0 bei zwei Fehlern	

Druckfeste Kapselung (Explosion/Flame Proof) Ex d



Die Teile eines Gerätes, die eine explosionsfähige Atmosphäre zünden können, sind in ein Gehäuse eingeschlossen. Das explosionsfähige Gemisch darf in das Gehäuse eindringen. Bei einer Explosion dieses Gemisches im Inneren muss das Gehäuse diesen Druck aushalten und eine Übertragung der Explosion auf die das Gehäuse umgebende explosionsfähige Atmosphäre verhindern. Dazu müssen die Öffnungen so lang und eng gestaltet sein, dass austretende heiße Gase ausserhalb des Gehäuses ihre Zündfähigkeit verloren haben. Die Aussenfläche des Gerätes darf

an keiner Stelle die jeweilige minimale Zündtemperatur erreichen.

Für die Installation gibt es verschiedene Konzepte:

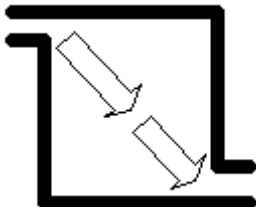
- Indirekte (einfache) Einführung in einen Ex e-Anschlußraum mit Durchführung zur druckfesten Kapselung
- Direkte (aufwendige) Einführung über spezielle Ex-Kabeleinführungen
- Rohrleitungssystem (Conduit System)

Erhöhte Sicherheit (Increased Safety) Ex e



Bei Geräten, die im normalen Betrieb keine Zündquellen (z.B. Zündtemperatur, Funken, Lichtbogen) aufweisen, wird durch zusätzliche Massnahmen sichergestellt, dass Zündquellen hinreichend unwahrscheinlich sind.

Überdruckkapselung (Pressurisation) Ex p



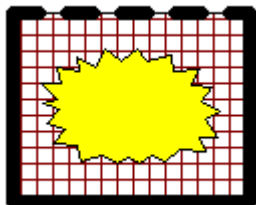
Das Eindringen einer explosionsfähigen Atmosphäre in das Geräteinnere wird dadurch verhindert, daß ein Zündschutzgas (Luft, inertes oder anderes geeignetes Gas) in seinem Innern unter einem Überdruck gegenüber der umgebenden Atmosphäre gehalten wird. Dieses Zündschutzgas verhindert eine Explosion im Innern. Ggf. muß das Zündschutzgas permanent zugeführt werden, um die brennbaren Gemische ausreichend zu verdünnen. Die Aussenfläche des Gerätes darf an keiner Stelle die jeweilige minimale Zündtemperatur erreichen. Der Überdruck muß überwacht werden.

Ölkapselung (Oil Immersion) Ex o



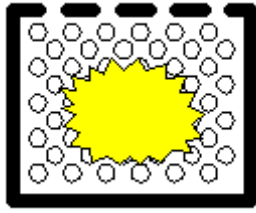
Die gefährlichen Geräteteile sind so in eine Schutzflüssigkeit eingetaucht, dass eine explosionsfähige Atmosphäre über der Oberfläche oder außerhalb des Gehäuses nicht gezündet werden kann. Die Aussenfläche des Gerätes darf an keiner Stelle die jeweilige minimale Zündtemperatur erreichen.

Vergusskapselung (Encapsulation) Ex m



Die gefährlichen Geräteteile sind in eine Vergussmasse so eingebettet, dass die explosionsfähige Atmosphäre nicht entzündet werden kann. Dies geschieht durch allseitige Umhüllung der Bauteile mit einer gegen physikalische - insbesondere elektrische, thermische und mechanische - sowie chemische Einflüsse resistenten Vergussmasse. Die Aussenfläche des Gerätes darf an keiner Stelle die jeweilige minimale Zündtemperatur erreichen.

Sandkapselung (Powder/Sand Filling) Ex q



Die gefährlichen Geräteteile sind in ein Gehäuse eingeschlossen und mit einem Granulat bedeckt. Das explosionsfähige Gemisch darf in das Gehäuse eindringen. Eine evtl. Explosion dieses Gemisches im Inneren wird durch das Granulat gelöscht bevor sie die äussere explosionsfähige Atmosphäre entzünden kann. Die Aussenfläche des Gerätes darf an keiner Stelle die jeweilige minimale Zündtemperatur erreichen. Das Gehäuse darf nicht geöffnet werden.

Zündschutzart Ex n

Die Geräte sind im Normalbetrieb und unter definierten Fehlerbedingungen nicht in der Lage, eine umgebende explosionsfähige Atmosphäre zu zünden. Diese Zündschutzart umfasst mehrere Methoden und darf nur für Zone 2 bzw. Zone 22 verwendet werden.

Spezielle Zündschutzart Ex s

In besonderen Fällen kann der Zündschutz auch durch andere Maßnahmen als die genormten Zündschutzarten erreicht werden.

Gehäuse-Schutzarten

In Europa wird der Gehäuse-Schutz nach EN 60529 durch IP-Codes IPxx mit 2 Ziffern beschrieben.

Erste Ziffer		Zweite Ziffer	
Berührungsschutz	Schutz vor Fremdkörpern	Wasserschutz	
0	Kein Schutz	0	Kein Schutz
1	Berühren mit dem Handrücken	1	Senkrecht fallendes Tropfwasser
2	Berühren mit den Fingern	2	Schräg einfallendes Tropfwasser (75-90 Grad)
3	Berühren mit Werkzeugen	3	Sprühwasser (60-90 Grad)
4	Berühren mit einem Draht	4	Spritzwasser aus allen Richtungen
5	Berühren mit einem Draht	5	Strahlwasser aus allen Richtungen
6	Berühren mit einem Draht	6	Starkes Strahlwasser aus allen Richtungen
		7	Zeitweiliges Untertauchen
		8	Dauerndes Eintauchen

In Nordamerika wird der Geräteschutz durch NEMA-Codes angegeben. In manchen Fällen sind NEMA- und IP-Code vergleichbar, aber es kann keine automatische Übersetzung vorgenommen werden.

NEMA-Code	Bereich	Schutz	vergleichbarer IP-Code
1	Innen	Fallender Schmutz	IP10
2	Innen	Tropfwasser und fallender Schmutz	IP11
3	Aussen	Windgeblasener Staub, Regen und Hagel; keine Beschädigung durch externe Eisbildung	IP54
3R	Aussen	Regen und Hagel; keine Beschädigung durch externe Eisbildung	IP14
3S	Aussen	Windgeblasener Staub, Regen und Hagel; auch bei externer Eisbildung betätigbar	IP54
4	Innen Aussen	Windgeblasener Staub, Regen, Spritz- und Strahlwasser; keine Beschädigung durch externe Eisbildung	IP56
4X	Innen Aussen	Windgeblasener Staub, Regen, Spritz- und Strahlwasser; keine Beschädigung durch externe Eisbildung; Korrosionsschutz	
5	Innen	Staub, fallender Schmutz, tropfende nicht-korrosive Flüssigkeit	IP52
6	Innen Aussen	Strahlwasser, vorübergehendes Untertauchen; keine Beschädigung durch externe Eisbildung	IP67
6P	Innen Aussen	Strahlwasser, längeres Untertauchen; keine Beschädigung durch externe Eisbildung	IP67
7	Innen	für explosionsgefährdete Bereiche Class I, Division 1, Groups A, B, C, D	

8	Innen Aussen	für explosionsgefährdete Bereiche Class I, Division 2, Groups A, B, C, D	
9	Innen	für explosionsgefährdete Bereiche Class II, Division 1, Groups E, F, G	
10	Bergbau	Anforderungen der Mine Safety and Health Administration	
12, 12K	Innen	Wirbelnder Staub, fallender Schmutz, tropfende nicht- korrosive Flüssigkeit	IP52
13	Innen	Staub, Spritzwasser, Öl, nicht korrosive Flüssigkeiten	IP54