

Information

Explosionsschutz

Inhaltsverzeichnis:

1. Anwendungsbereich und Zweck
2. Begriffe
3. Explosionsgefahren
4. Explosionsschutz Maßnahmen
5. Geräteanforderungen
6. Weiterführende Literatur

Präambel:

Die Information hat keinen Normcharakter, der Einsatzleiter kann daher entsprechend seiner Lagefeststellung und Lagebeurteilung bei der Bekämpfung der Gefahr auch eine andere Vorgangsweise wählen.

Um die Lesbarkeit zu erleichtern, gelten in dieser Info die für die personenbezogenen Bezeichnungen (z. B. Arbeitgeber, Dienstgeber, Arbeitnehmer, Dienstnehmer) gewählte Formen für beide Geschlechter.

Erarbeitung durch:**Referat 4**

Copyright: Österreichischer Bundesfeuerwehrverband
Voithgasse 4
1220 Wien
Telefon: +43 (0) 1 545 82 30
Fax: DW 13
E-Mail: office@bundesfeuerwehrverband.at

1. Anwendungsbereich und Ziel

Bei Feuerwehreinsätzen im Zusammenhang mit brennbaren gefährlichen Stoffen kommt es immer wieder zum Auftreten von Explosionsgefahren. In Österreich gibt es im Zusammenhang mit Explosionsschutz sowohl im Bereich des ArbeitnehmerInnenschutzes (ASchG) als auch in anderen Bereichen zahlreiche rechtliche Vorgaben.

Ziel aller Vorgaben ist immer, alle beteiligten Personen zu schützen und deren Gesundheit zu erhalten.

Da die Mitglieder einer österreichischen Feuerwehr keine „klassischen“ ArbeitnehmerInnen sind, gelten die Schutzbestimmungen hinsichtlich der Arbeit nicht unmittelbar. Daher ist es erforderlich die Sicherheit und Gesundheit auf gleichwertige Weise zu erreichen und zu erhalten.

Im Schadensfall wird bei Gericht der Stand der Technik, Medizin, Ergonomie, etc. herangezogen. Diese Information beschreibt den Stand der Technik, bei österreichischen Feuerwehren.

Das vorliegende Papier ist eine Fachinformation für Einsätze im Zusammenhang mit Explosionsgefahren und dient darüber hinaus den österreichischen Feuerwehren als Unterstützung für die Auswahl und den Betrieb von Geräten in explosionsgefährdeten Bereichen.

Dieses Papier behandelt KEINE Gefahren und Belastungen die im Zusammenhang mit Sprengstoffen bzw. Sprengexplosionen ergeben.

Geltende Rechtsvorschriften bleiben von diesem Papier unbeeinflusst.

2. Begriffe

Brennbare Stoffe

Ein brennbarer Stoff ist ein Stoff in Form von Gas, Dampf, Flüssigkeit, Feststoff, Staub oder ein Gemisch davon, der bei Entzündung eine exotherme Reaktion mit Luft eingehen kann.

Sicherheitstechnische Kenngrößen

Sicherheitstechnische Kenngrößen sind stoffspezifische Eigenschaften, die unter festgelegten Versuchsbedingungen ermittelbar sind (Flammpunkt, UEG, OEG, MZE, SGK, etc.).

Diese sind für die Beurteilung von Explosionsgefahren maßgebend und werden für die Festlegung von Schutzmaßnahmen herangezogen.

Für die meisten brennbaren Stoffe sind keine Kenngrößen ermittelt worden bzw. liegen diese Kenngrößen nur für Normalbedingungen vor. Unter Realbedingungen können diese Kenngrößen deutlich abweichen.

Anmerkung: Als atmosphärische Bedingungen gelten hier Gesamtdrucke von 0,8 bar bis 1,1 bar und Gemischtemperaturen von -20 °C bis +60 °C.

Explosion

Explosion ist eine plötzliche Oxidations- oder Zerfallsreaktion mit Anstieg von Temperatur, Druck oder beider gleichzeitig. (ÖNORM EN 13237)

Deflagration

Deflagration ist je nach Verbrennungsgeschwindigkeit eine Verbrennung, Verpuffung oder Explosion, die sich mit Unterschallgeschwindigkeit fortpflanzt.

Detonation

Detonation ist eine Explosion, die sich mit Überschallgeschwindigkeit fortpflanzt, gekennzeichnet durch eine Stoßwelle. (ÖNORM EN 13237)

Explosionsfähige Atmosphäre (efA)

Explosionsfähige Atmosphäre ist ein Gemisch aus Luft oder anderer oxidativer Atmosphäre und brennbaren Gasen, Dämpfen, Nebeln oder Stäuben, in dem sich der Verbrennungsvorgang nach erfolgter Entzündung auf das gesamte unverbrannte Gemisch überträgt. (VEXAT § 3 (1))

Explosionsgefährdete Bereiche (egB)

Explosionsgefährdete Bereiche (egB) sind alle Bereiche, in denen explosionsfähige Atmosphäre (efA) in gefahrdrohender Menge auftreten können. (VEXAT § 3 (3))

Anmerkung: Ein Bereich in dem keine gefahrdrohende Menge vorliegt ist kein egB, jedoch eine efA.

Explosionsbereich eines Stoffes (stoffspezifischer Ex-Bereich)

Explosionsbereich ist der Bereich der Konzentration eines brennbaren Stoffes in Luft, in dem eine Explosion auftreten kann

Explosionsgrenzen (Zündgrenzen)

Explosionsgrenzen (Zündgrenzen) sind Grenzen des Explosionsbereiches zwischen UEG und OEG.

Untere Explosionsgrenze UEG (Englisch: LEL, Lower Explosion Limit)

Untere Grenze des Explosionsbereiches.

Obere Explosionsgrenze OEG (Englisch: UEL, Upper Explosion Limit)

Obere Grenze des Explosionsbereiches.

Flammpunkt

Flammpunkt ist die niedrigste Temperatur, bei der unter vorgeschriebenen Versuchsbedingungen eine Flüssigkeit brennbaren Dampf in solcher Menge freisetzt, dass bei Kontakt mit einer wirksamen Zündquelle sofort eine Flamme auftritt. Nach entfernen der Zündquelle erlischt die Flamme.

Hybrides Gemisch

Hybrides Gemisch ist ein Gemisch von Luft und brennbaren Stoffen in unterschiedlichen Aggregatzuständen (Gas/Staub, Gas/Dampf, Dampf/Staub, etc.)

Mindestzündenergie MZE (Englisch: MIE Minimum Ignition Energy)

Mindestzündenergie ist die kleinste ermittelte elektrische Energie, die bei Entladung zu einer Entzündung des zündfähigsten Gemisches einer explosionsfähigen Atmosphäre führt.

Mindestzündtemperatur einer Staubschicht

Diese ist die niedrigste Temperatur einer heißen Oberfläche, bei der eine Staubschicht entzündet wird.

Mindestzündtemperatur einer Staubwolke

Diese ist die niedrigste Temperatur einer heißen Oberfläche, bei der sich das zündwillige Gemisch des Staubes in Luft entzündet.

Mindestzündtemperatur von Gasen, Dämpfen und Nebeln

Diese ist die niedrigste Temperatur eines brennbaren Gases, brennbaren Dampfes und eines brennbaren Nebels bei der sich das zündwillige Gemisch in Luft entzündet.

Sauerstoffgrenzkonzentration SGK (Englisch: LOC, Limited Oxygen Concentration)

Experimentell bestimmte (maximale) Sauerstoffkonzentration, die keine Explosion eines Gemisches aus Brennstoff, Luft und Inertgas zulässt.

3. Explosionsgefahren

Feuerwehren sind durch ihre Tätigkeit zumeist mit brennbaren Stoffen gut vertraut. Zusätzlich zu dem bekannten Brandverhalten können alle brennbaren Stoffe Explosionen verursachen.

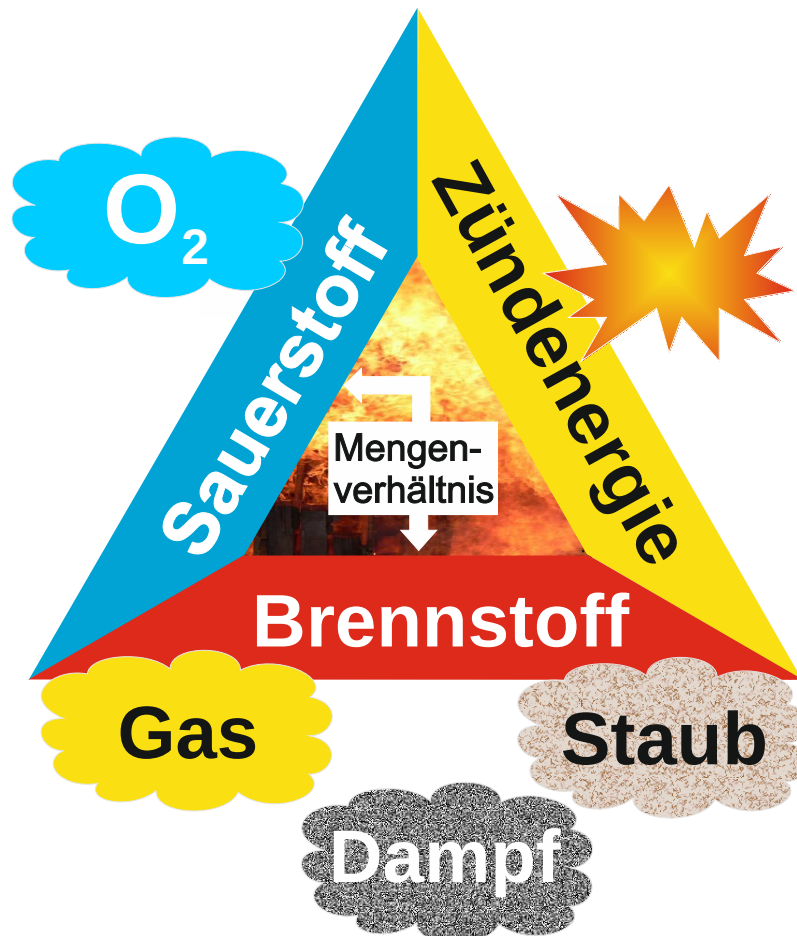


Abbildung 1: Explosionsdreieck

Explosionen sind dann möglich, wenn folgende Voraussetzungen gleichzeitig erfüllt sind (Abbildung 1: Explosionsdreieck):

1. brennbarer Stoff
2. Sauerstoff
3. wirksame Zündquelle
4. richtiges Mengenverhältnis bzw. Mischungsverhältnis von Brennstoff zu Sauerstoff (Brennstoffkonzentration)

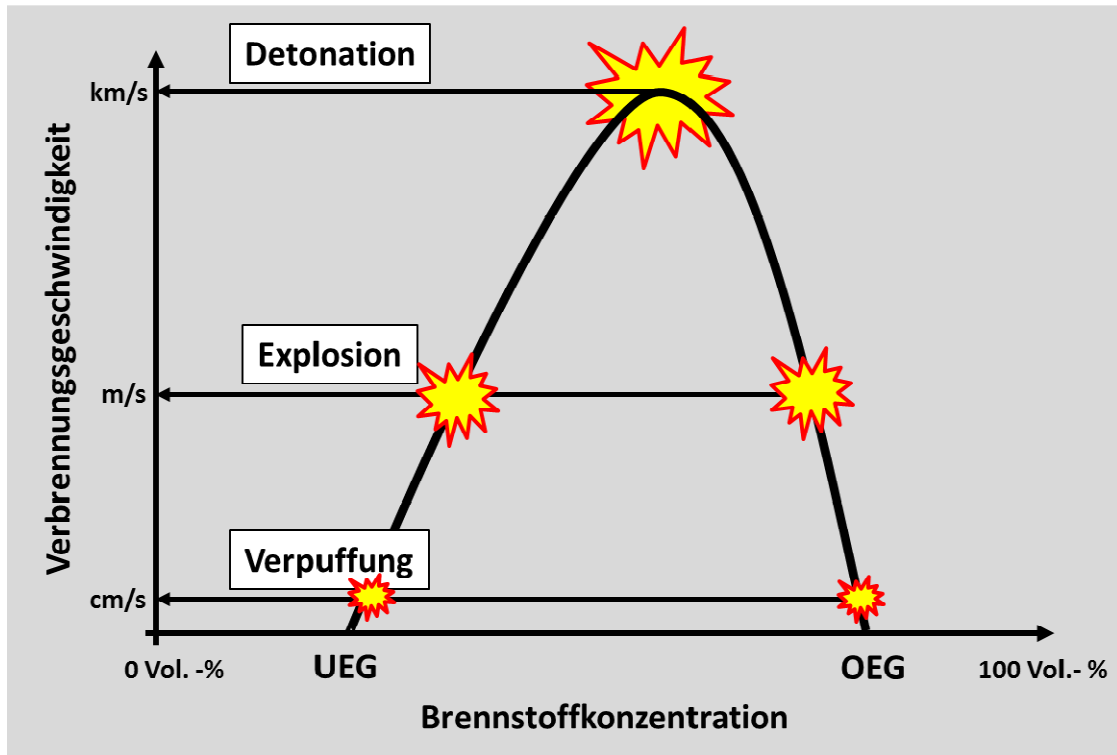


Abbildung 2: Einfluss der Brennstoffkonzentration auf die Verbrennungsgeschwindigkeit

Brennbare Stoffe können in verschiedenen Aggregatzuständen auftreten und bei ausreichender Durchmischung mit Luft eine explosionsfähige Atmosphäre bilden. Durch den schnellen Anstieg von Druck und Temperatur sind Explosionen eine besondere Gefährdung im Feuerwehreinsatz.

Folgende Gefahren gehen von Explosionsereignissen aus:



- Druckwelle
- Plötzliche Flammeneinwirkung
- Wärmestrahlung
- Trümmerflug
- Stofffreisetzung

Explosionsgefahren treten häufig beim Umgang mit brennbaren Flüssigkeiten oder brennbaren Gasen auf. Als Auslöser für Explosionen werden brennbare Stäube (z.B. Silobrände) häufig unterschätzt.

Eine erhöhte Gefährdung geht von Explosionen immer dann aus, wenn diese in geschlossenen Räumen ablaufen. Durch den Verdämmungseffekt kommt es zu einem zusätzlichen Druckaufbau. Die Explosionsdrücke, die dadurch erreicht werden, liegen in einer Größenordnung von rund 10 bar.

Vergleichsweise bersten Fensterscheiben ab ca. 0,03 bar, Tragwerke stürzen zwischen 0,2 bar und 0,4 bar ein. Bei Überdrücken von rund 1 bar kommt es zu irreversiblen Lungenschäden welche zum Tod führen.

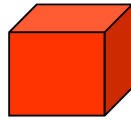
Brennbare Gase, Dämpfe und Nebel

Brennbare Gase und Flüssigkeiten sind in vielen Bereichen des täglichen Lebens in Verwendung. Brenngase, Treibstoffe, Lösungsmittel, etc. finden allerdings auch industriell breite Anwendung. Explosionsfähige Atmosphären können schon durch sehr geringe Mengen an brennbarem Stoff entstehen.

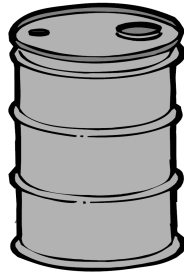
Um in einem 200 Liter Fass eine explosionsfähige Atmosphäre zu erzeugen, genügt bereits ein Esslöffel Benzin. Aus wenigen Milliliter Benzin, von denen grundsätzlich nur eine geringe Gefährdung ausgeht, 200 Liter explosionsfähige Atmosphäre.



ca. 7ml Benzin



ca. 1,6 l Dampf



ca. 200 l
Benzindampf/
Luft-Gemisch
an der UEG

Abbildung 3: Rechenbeispiel, explosionsfähige Atmosphäre (Quelle Dyrba/2007)

Die Eigenschaften von brennbaren Gasen und Flüssigkeiten werden durch verschiedene Sicherheitstechnische Kenngrößen beschrieben, welche hauptsächlich zur Einschätzung der Gefährdung dienen. Für die Gefährdungsbeurteilung sind bei brennbaren Gasen und Dämpfen, neben weiteren stofflichen Parametern, vor allem die Explosionsgrenzen, die Zündtemperatur, die Mindestzündenergie und der Flammpunkt (nur bei brennbaren Flüssigkeiten) wichtig.

Als Explosionsbereich (stoffspezifisch) eines brennbaren Gas/Dampf/Luft Gemisches wird jener Konzentrationsbereich bezeichnet, in dem ein Gas/Dampf/Luft Gemisch mittels Zündquelle zur Explosion gebracht werden kann. Der Explosionsbereich wird von der unteren Explosionsgrenze (UEG) und der oberen Explosionsgrenze (OEG) begrenzt.

Unterhalb der unteren Explosionsgrenze ist ein Gemisch zu „mager“ um zu explodieren. Oberhalb der oberen Explosionsgrenze ist das Gemisch für eine Explosion zu „fett“, aber noch brennbar bis zu wenig Sauerstoff vorhanden ist.

Die Explosionsgrenzen sind für jeden Stoff unterschiedlich (Abbildung 4).

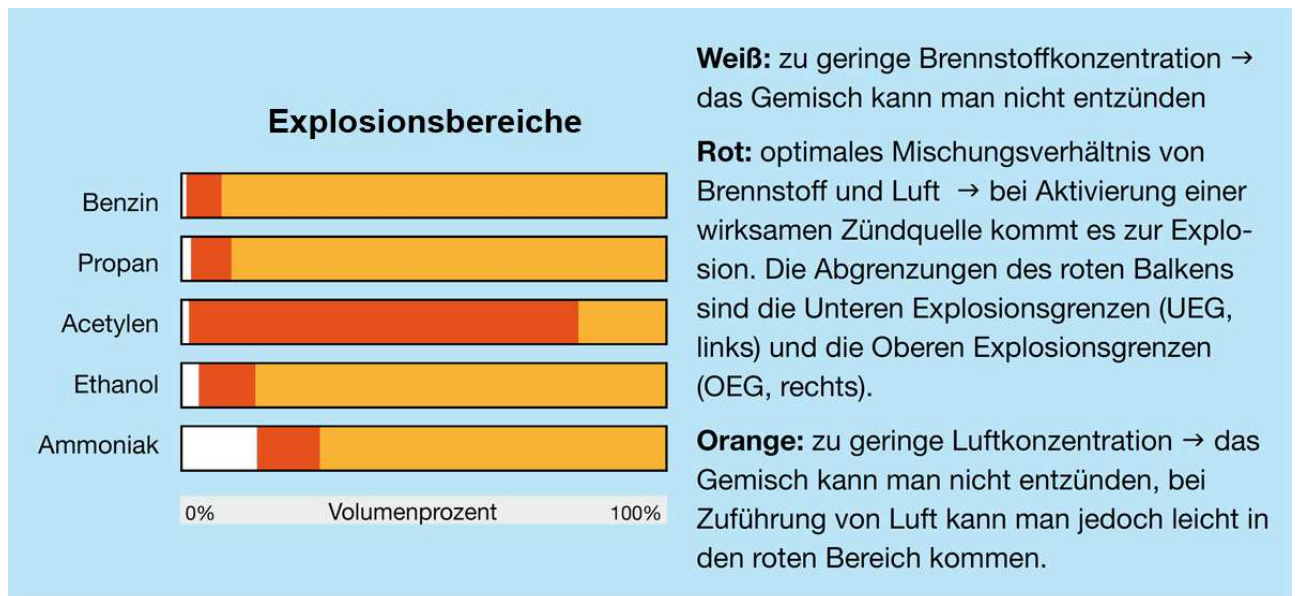


Abbildung 4: Explosionsbereiche (Quelle: AUVA)

Die Bildung von brennbaren Dämpfen hängt vom Siedepunkt der Flüssigkeit ab. Je niedriger der Siedepunkt, desto mehr Dämpfe werden bei einer gewissen Temperatur gebildet. Für sicherheitstechnische Betrachtungen reicht allerdings alleine der Siedepunkt als Referenz nicht aus. Vielmehr ist interessant ab welcher Temperatur eine brennbare Flüssigkeit gerade so viele Dämpfe entwickelt, daß sie entzündet werden können. Diese Temperatur wird üblicher weise in einem festgelegten Verfahren ermittelt und als Flammpunkt bezeichnet.

Der Flammpunkt ist (Abbildung 5) die niedrigste Temperatur (bei $p = 1013 \text{ mbar}$), bei der eine brennbare Flüssigkeit gerade so viele Dämpfe produziert, daß diese bei Kontakt mit einer Zündquelle entzündet werden können.

Es handelt sich dabei nur um eine vorübergehende Entzündung, die Flamme erlischt wieder, sobald man die Zündquelle entfernt. Dies liegt daran, daß die Verbrennung wesentlich schneller abläuft als brennbare Gase nachgeliefert werden können.

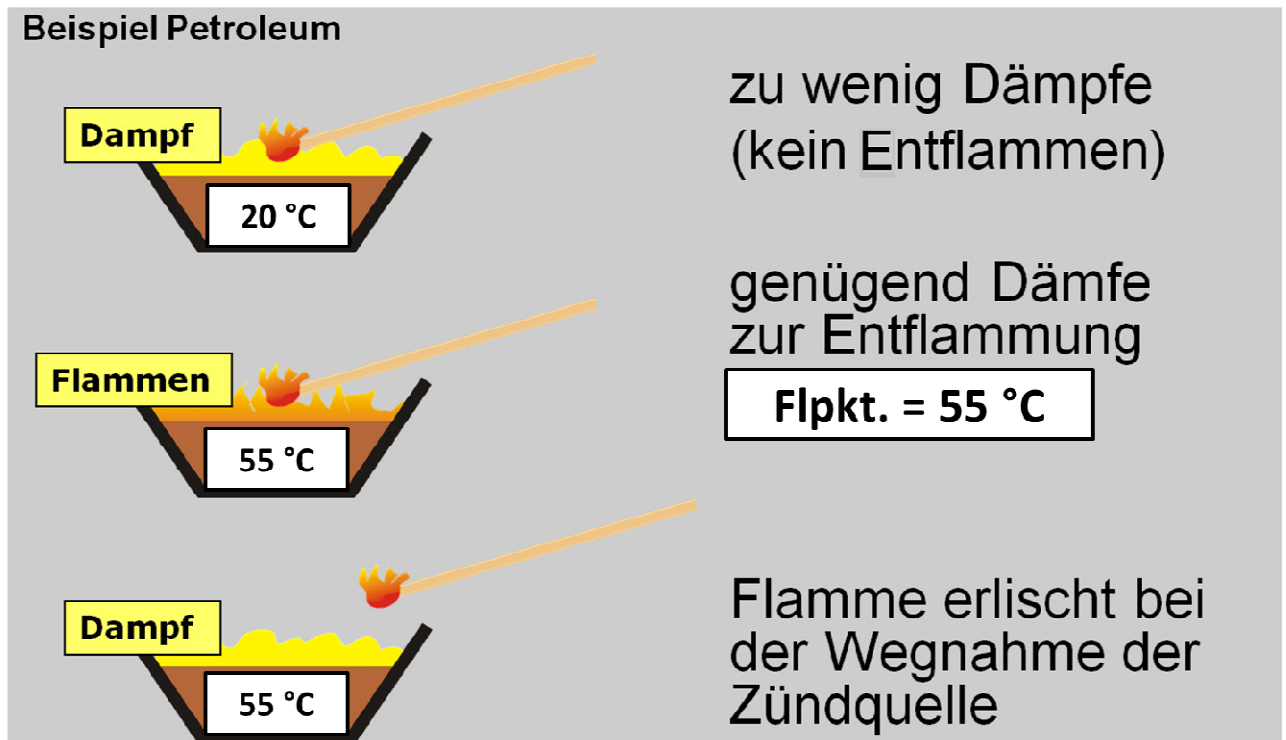


Abbildung 5: Flamm- und Explosionsgrenze am Beispiel Petroleum

Stoffe mit niedrigen Flamm- und Explosionsgrenzen sind grundsätzlich als gefährlicher einzustufen als Stoffe, die erst bei höheren Temperaturen entsprechende zündfähige Dampf- und Gasgemenge bilden. Der Flammpunkt liegt meist etwas über der unteren Explosionsgrenze, dieser ist allerdings, wie der Flammpunkt, stoffabhängig. Brennbare Gas-/Dampf-/Luft-Gemische können aber nicht nur durch offene Flammen, wie im Fall der Flamm- und Explosionsgrenzbestimmung, gezündet werden. Als Zündung wird jener Vorgang bezeichnet, ab dem sich eine Verbrennung selbständig fortpflanzt. Die nötige Zündenergie kann durch verschiedenste Zündquellen erzeugt werden. Es ist allerdings für jede explosionsfähige Atmosphäre eine gewisse Mindestzündenergie erforderlich.

Die Mindestzündenergie (MZE) ist die geringste Energie, bei der ein brennbares Gas-/Dampf-/Luft-Gemisch gerade noch entzündet werden kann.

Die Mindestzündenergie hängt auch mit der Konzentration des Brennstoffes in der Luft zusammen. Bei der verbrennungstechnisch günstigsten Mischung (stöchiometrische Zusammensetzung) ist auch die erforderliche Zündenergie am geringsten. Die Mindestzündenergie von brennbaren Gas-/Dampf-/Luft-Gemischen liegt meist deutlich unter 1 mJ. Eine entsprechende Zündenergie kann z.B. schon durch elektrostatische Entladung erreicht werden. Eine weitere wesentliche Kenngröße für die Gefährdungsbeurteilung ist die Zündtemperatur. Als Zündtemperatur wird jene geringste Temperatur bezeichnet, bei der unter vorgegebenen Bedingungen ein Brennstoff bzw. eine Mischung aus Brennstoff und Luft zur Zündung gebracht werden kann. Dies ist vor allem relevant, wenn mit dem Auftreten von heißen Oberflächen gerechnet werden muss.

Stoff	Untere Expl. Grenze [Vol.%]	Obere Expl. Grenze [Vol.%]	Flammpunkt [°C]	Zündtemperatur [°C]
Aceton	2,5	13,0	-20	540
Acetylen	1,5	100		305

Ammoniak	15,0	28,0		630
Benzin	1,1	7,0	-40 bis -20	260
n-Butan	1,5	8,5		365
Diesel	0,6	6,5	55 bis 76	220
Diethylether	1,7	36,0	-49	170
Essigsäure	4,0	17,0	40	485
Ethan	3,0	12,5		515
Ethanol	3,5	15,0	13	425
Ethylenoxid	3,0	80,0		440
Kohlenmonoxid	12,5	74,0		605
Methan	4,4	17,0		650
Methanol	5,5	26,5	6	455
Propan	2,1	9,5		470
Schwefelkohlenstoff	1,0	60,0	>-20	102
Schwefelwasserstoff	4,3	45,5		270
Wasserstoff	4,0	75,6		560

Brennbare Stäube

Wie eingangs erwähnt ist nahezu jeder brennbare Feststoff auch explosionsfähig. Eine Explosionsfähigkeit geht von brennbaren Feststoffen allerdings erst dann aus, wenn ausreichend kleine Partikel des Stoffes vorliegen. Man spricht dann von brennbaren Stäuben. Ursprünglich war man vor allem im Bergbau (Kohlestaub) und in der Holz, Papier, Futter und Lebensmittelindustrie (z.B. Holzstaub, Cellulose, Papier, Mehl, Zucker) mit brennbaren Stäuben konfrontiert. Brennbare Stäube kommen aber auch in der Textilverarbeitung (Fasern/Flusen aus Baumwolle, Seide, Jute, Hanf usw.) oder in der Chemie und Pharmaindustrie (Kosmetika, Pharmazeutika, Schädlingsbekämpfungsmittel, Kunststoff oder Gummistäube) vor. In metallverarbeitenden Betrieben kann es auch zu Metallstaubexplosionen (Aluminium, Eisen usw.) kommen. Metallstäube reagieren meist wesentlich heftiger als organische Stäube.

Die Reaktivität des Stoffes hängt dabei mit der spezifischen Oberfläche zusammen, welche mit abnehmender Korngröße deutlich steigt. Der Einfluß der Korngröße auf die Oberfläche wird durch folgendes Beispiel deutlich (Abbildung 6). Betrachtet wird ein Würfel mit 10 cm Kantenlänge.

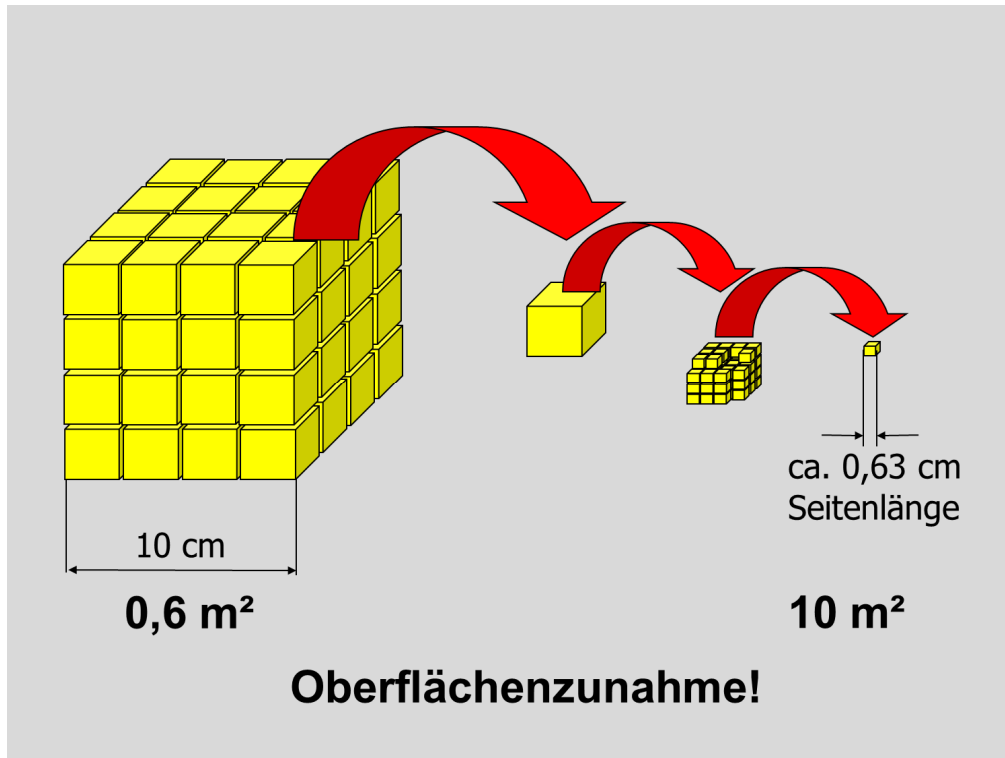


Abbildung 6: Einfluss der Partikelgröße auf die Oberfläche

Dieses Gedankenspiel läßt sich natürlich bis zu Korngrößen im Mikrometer (μm) und Nanometer (nm) Bereich weiterführen. Stäube mit geringerer Korngröße haben somit eine sehr große spezifische Oberfläche an der die Verbrennungsreaktion ablaufen kann.

Ab welcher Partikelgröße ein Stoff als „Staub“ eingestuft wird ist unterschiedlich definiert, es kann allerdings davon ausgegangen werden, daß brennbare Stoffe ab einer Partikelgröße von in etwa 0,5 mm explosionsfähiges Verhalten zeigen. Entscheidenden Einfluss auf die Explosionsfähigkeit eines Staubes hat allerdings auch die Korngrößenverteilung.

Die Explosion eines Staub/Luft- Gemisches ist wie bei Gas/Luft- Gemischen nur in bestimmten Konzentrationsbereichen möglich. Anders als bei Gas/Luft Gemischen ist aber bei brennbaren Stäuben keine genaue obere Explosionsgrenze (OEG) definierbar. Werte für die untere Explosionsgrenze (UEG) sind aber für viele Stäube bekannt.

Bei technischen Stäuben liegt die UEG meist im Bereich von 15- 60 g/m³, Explosionen sind aber auch noch bei relativ hohen Konzentrationen von mehreren kg/m³ möglich. Staubwolken sind in der Praxis meist nicht homogen verteilt, die Zusammensetzungen schwanken sowohl zeitlich als auch räumlich sehr und es ist daher äußerst schwierig Voraussagen über das Verhalten von brennbaren Stäuben zu treffen.

Bei brennbaren Stäuben geht eine Gefährdung allerdings nicht nur von aufgewirbeltem Staub, sondern auch von abgelagertem Staub aus. Staubschichten können sich durch die große spezifische Oberfläche auf heißen Oberflächen auch leicht selbst entzünden. Werden diese Glutstellen z.B. durch einen Luftstoß aufgewirbelt kann es zu einer Staubexplosion kommen.



Bei abgelagerten brennbaren Stäuben, in denen Fußabdrücke bereits sichtbar sind, besteht bei deren Aufwirbelung schon Explosionsgefahr!

Wie bei brennbaren Gasen und Dämpfen ist die Mindestzündenergie bei brennbaren Stäuben als geringste Energie die erforderlich ist um ein brennbares Staub/Luft Gemisch zu entzünden. Die

Mindestzündenergie bei brennbaren Stäuben liegt meist höher als jene von brennbaren Gasen. Die Mindestzündenergie hängt bei brennbaren Stäuben allerdings stark von der Partikelgröße ab. Bei Nanostäuben (Partikelgröße unter einem Millionstel Millimeter) können durchaus Mindestzündenergien erreicht werden, die mit brennbaren Gasen vergleichbar sind $\ll 1\text{mJ}$. Nach erforderlicher Mindestzündenergie (MZE) werden brennbare Stäube in folgende Klassen eingeteilt:

MZE > 10 mJ	normal zündempfindlich
10 mJ > MZE > 3 mJ	besonders zündempfindlich
MZE < 3 mJ	extrem zündempfindlich

Zündquellen

Wie eingangs erwähnt muß für das Zustandekommen einer Explosion auch eine entsprechende Zündquelle vorhanden sein. Zündquellen können in verschiedenster Form auftreten. Nach EN 1127 werden 13 Arten von Zündquellen unterschieden:

1. Heiße Oberflächen
2. Flammen und heiße Gase (einschließlich heißer Partikel)
3. Mechanisch erzeugte Funken (z.B. durch metallische Werkzeuge, Schlagfunken, Reibungsfunken, usw.)
4. Elektrische Anlagen (z.B. Lichtschalter, Radio)
5. Elektrische Ausgleichsströme, kathodischer Korrosionsschutz
6. Statische Elektrizität (z.B. besonders Entladungen von leitenden Gegenständen, die isoliert angebracht sind)
7. Blitzschlag
8. Elektromagnetische Wellen im Bereich der Frequenzen von 10^4 Hz bis $3 \times 10^{12}\text{ Hz}$
9. Elektromagnetische Wellen im Bereich der Frequenzen von $3 \times 10^{11}\text{ Hz}$ bis $3 \times 10^{15}\text{ Hz}$
10. Ionisierende Strahlung
11. Ultraschall
12. Adiabatische Kompression und Stoßwellen (z.B. Kompressoren oder abblasen von hochkomprimierten Gasen)
13. Exotherme Reaktionen, einschließlich Selbstentzündung von Stäuben (z.B. Reaktionen von Säuren mit Laugen oder Selbstentzündung von Leichtmetallstäuben)

Ob eine Zündquelle nun eine explosionsfähige Atmosphäre auch wirklich entzünden kann, hängt unter Anderem von der Energie der Zündquelle und den Eigenschaften der explosionsfähigen Atmosphäre ab. Man spricht in diesem Zusammenhang von „wirksamen Zündquellen“. Eine wesentliche Größe zur Einschätzung der Wirksamkeit von Zündquellen ist hierbei die Mindestzündenergie. Liegt die Energie einer zu erwartenden Zündquelle weit unterhalb der Mindestzündenergie eines Stoffes ist eine entsprechende Sicherheit gegeben.

Sauerstoffgehalt

Wie oben dargestellt ist die richtige Mischung zwischen Brennstoff und Sauerstoff (siehe Explosionsgrenzen) Voraussetzung für den Ablauf einer Explosion. Bei einem zu geringen Sauerstoffgehalt ist eine selbstständige Fortpflanzung der Verbrennungsreaktion nicht möglich.

Das gilt sowohl für langsame Verbrennungsreaktionen als auch für Explosionsvorgänge. Unter Normalbedingungen liegt die Sauerstoffkonzentration bei 20,9Vol.%.



Sicherheitstechnische Kenngrößen (Mindestzündenergie, Zündtemperatur, etc.) beziehen sich auf Normalbedingungen und sind z.B. bei erhöhten oder verringerten Sauerstoffkonzentrationen in der Atmosphäre nicht gültig!

Die Sauerstoffkonzentration kann z.B. durch die Beimischung von Inertgasen verändert werden. Ab einer gewissen Inertgaskonzentration ist keine Explosion mehr möglich. Jene Sauerstoffkonzentration ab der keine Explosion mehr ausgelöst werden kann, wird als Sauerstoffgrenzkonzentration (SGK) bezeichnet.

Sauerstoffgrenzkonzentrationen sind meist für das Inertgas Stickstoff angegeben, gelten aber nicht für andere Inertgase. Kohlenstoffdioxid z.B. hat durch seine chemischen Eigenschaften eine bessere inertisierende Wirkung als Stickstoff. Allerdings sind Stoffe wie Aluminium aufgrund ihrer Reaktivität mit CO_2 aber inkompatibel. Alternativ werden daher auch Edelgase wie Argon als Inertgase eingesetzt.

4. Explosionsschutz Maßnahmen

Maßnahmen des Explosionsschutzes dienen zum Schutz vor Explosionen.

Es gibt mehrere Möglichkeiten, diesen Schutz zu erzielen:

- Einerseits die Bildung explosionsfähiger Atmosphäre verhindern (primärer Explosionsschutz),
- die Zündung von explosionsfähigen Atmosphären verhindern (sekundärer Explosionsschutz)
- die Auswirkungen von Explosionen einzuschränken (konstruktiver Explosionsschutz).

In Arbeitsstätten in denen brand- bzw. explosionsgefährliche Arbeitsstoffe vorhanden sind, muss es eine Evaluierung der Explosionsgefahren geben. Die daraus hervorgehenden Zonen und Maßnahmen müssen im Explosionsschutzdokument dokumentiert sein.

Im Einsatzfall können und sollten diese Dokumente in die Erkundung einbezogen werden.

Bereiche in denen mit dem Auftreten von explosionsfähigen Atmosphären zu rechnen ist, werden in Arbeitsstätten mit folgendem Symbol gekennzeichnet:



Abbildung 7: Hinweis auf Bereiche in denen mit explosionsfähigen Atmosphären zu rechnen ist

Da sich die meisten Schadstoffeinsätze ausserhalb von Betrieben ereignen, sind keine Explosionsschutzdokumente vorhanden.

Es ist sinnvoll, die nachfolgenden Maßnahmen im Einsatzfall zu berücksichtigen.

Primäre Maßnahmen des Explosionsschutzes

Der erste Ansatz des Explosionsschutzes ist die Bildung explosionsfähiger Atmosphären zu verhindern oder einzuschränken.

Mögliche Ansätze für Maßnahmen des primären Explosionsschutzes im Feuerwehreinsatz sind:

- **Lüftungsmaßnahmen (Achtung bei brennbaren Stäuben - Aufwirbeln!)**
- **IBC Container nur von unten füllen (Anschlussstück)**
- **Inertisierung durch unbrennbare Gase (z.B. beim Anschluß von Erdungsmaterial an der Austrittsstelle, Verwendung eines CO₂ Löschers; Auffangbehälter z.B. IBC Container mit CO₂ Füllen, bevor brennbarer Stoff eingeleitet wird, Einleiten von Stickstoff bei Silobränden)**
- **Abdecken von Flüssigkeitslachen mit einer Schaumdecke**
- **Verdünnen von Gas-/Dampfwolken mit Sprühstrahl und ausreichender Wassermenge (ggf. Wasserwerfer)**

Hinsichtlich brennbarer Stäube sind die Gefahren die von Wolken als auch Ablagerungen ausgehen besonders zu berücksichtigen.

Folgende Maßnahmen können die Wahrscheinlichkeit der Bildung eines brennbaren Staub/Luft Gemisches reduzieren:

- **Verhindern des Aufwirbelns von brennbaren Stäuben**
- **Abgelagerten Staub mit Sprühstrahl benetzen**
- **Bei Löschmaßnahmen keinen Vollstrahl verwenden**
- **Kein Einsatz von Hochleistungslüftern in Bereichen, in denen mit größeren Mengen abgelagerter Stäube zu rechnen ist (z.B. Holzverarbeitung)**

In manchen Betriebsanlagen sind aufgewirbelte Stäube auch im Normalbetrieb vorhanden. Solche Maschinen, Geräte, Anlagen oder Apparate können Filter- und Entstaubungsanlagen, Staubabscheider, Zyklone, Mühlen, Trockner oder andere sein.



**Brände von Maschinen in denen brennbare Staub/Luft Gemische betrieblich vorhanden sind, stellen immer eine besondere Gefährdung dar.
Brände in solchen Anlagen nach Möglichkeit nur von außen bekämpft werden (Steigleitungen oder Löschanschlüsse nutzen!)**

Beim Öffnen von Türen oder Revisionsöffnungen kann es sowohl zum Staubaustritt als auch zum Lufteintritt und dadurch zur Bildung einer explosionsfähigen Atmosphäre kommen, die eine Explosion zur Folge haben kann.



Bei länger schwelenden Silobränden besteht Gefahr durch CO Bildung!

Explosions- und Vergiftungsgefahr!

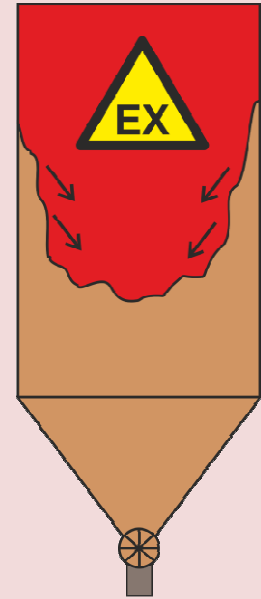
In Silos, Bunkern oder Behältern kommt es häufig zum Aufwirbeln von brennbaren Stäuben. Explosionsfähige Gemische können hier z.B. beim Öffnen von Türen und Wartungsöffnungen entstehen.

Bei Arbeiten in Silos ist besonders auf die Gefahr des Einstürzens von Wandablagerungen und Materialbrücken zu achten.

Bei Silobränden besteht eine besondere Explosionsgefahr, da eine Zündquelle durch Glutnester ständig vorhanden sein kann!

Das Arbeiten im Gefahrenbereich innerhalb von Silos soll möglichst vermieden werden!

Beim Arbeiten in Silos ist umluftunabhängiger Atemschutz zu verwenden (Sauerstoffmangel).



Sekundäre Maßnahmen des Explosionsschutzes

Der sekundäre Explosionsschutz ist die Vermeidung von Zündquellen (siehe Abschnitt Zündquellen).

Maßnahmen des sekundären Explosionsschutzes betreffen sowohl elektrische als auch nichtelektrische (mechanische) Arbeits- bzw. Betriebsmittel.

Maßnahmen des sekundären Explosionsschutzes können sein:

- **Vermeidung von Zündquellen (Flammen, Funken, heiße Oberflächen etc.)**
- **Einsatz von explosionsgeschützten elektrischen Geräten**
- **Einsatz von funkenarmen Werkzeugen**
- **Verhinderung von elektrostatischer Aufladung (Erdung und Potentialausgleich, reduzierte Durchflußmengen, Fallhöhen begrenzen, etc.)**

Als Beurteilung der Wahrscheinlichkeit des Auftretens von explosionsfähigen Atmosphären werden in Betrieben (Arbeitsstätten) Zonen eingeteilt. Diese unterscheiden sich nach Ausmaß, Häufigkeit und Dauer des Auftretens von explosionsfähigen Atmosphären.

Brennbare Gase, Dämpfe und Nebel	Brennbare Stäube	Beschreibung (in Anlehnung an VEXAT)
Zone 0	Zone 20	Bereich, in dem explosionsfähige Atmosphären ständig, über lange Zeiträume oder häufig vorhanden sind.
Zone 1	Zone 21	Bereich, in dem sich bei Normalbetrieb gelegentlich explosionsfähige Atmosphären bilden können.
Zone 2	Zone 22	Bereich, in dem bei Normalbetrieb explosionsfähige Atmosphären normalerweise nicht oder aber nur kurzzeitig auftreten.

Die Zoneneinteilungen sind in der „Verordnung explosionsfähige Atmosphären (VEXAT)“ und in der EN 60079-10 geregelt.

In Arbeitsstätten ist die Einteilung von Zonen die Grundlage für die Auswahl der geeigneten explosionsgeschützten Arbeitsmittel.

Für Einsätze der Feuerwehr ist eine „betriebliche“ Zoneneinteilung nicht anwendbar da es sich bei Feuerwehreinsätzen um keine Tätigkeiten handelt, die einem „Normalbetrieb“ im Sinne der VEXAT entsprechen. Daher muss bei Einsätzen eine situationsbezogene Beurteilung der Gefährdungslage erfolgen.

Die nachfolgende Einteilung der Zonen im Einsatz ist beispielhaft. Sie dient zur Auswahl von geeigneten Gerätschaften für den Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen!

Beim Einsatz im Zusammenhang mit brennbaren Stoffen ist davon auszugehen, dass über die Einsatzdauer immer von der Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer explosionsfähigen Atmosphäre auszugehen ist.

Je nach Ausmaß, Häufigkeit und Dauer des Auftretens einer explosionsfähigen Atmosphäre können im Einsatzfall „Ex Zonen“ eingeteilt werden.

Ausgehend von der, bei Schadstoffeinsätzen üblichen, Einteilung des Einsatzraumes in:

- Wirkzone,
- Sicherheitszone,
- Bereitstellungsraum für Einsatzkräfte,

kann eine Ex Zonenzuweisung im Freien wie folgt sein (Abbildung 8):

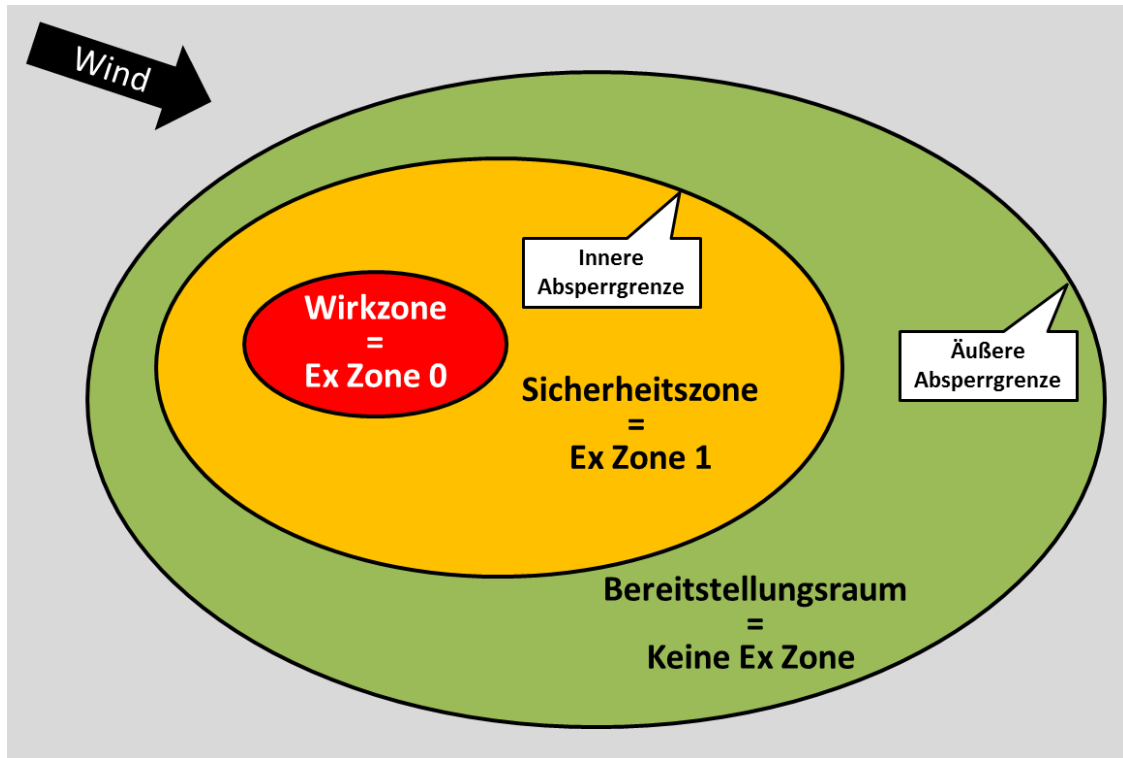


Abbildung 8: Einteilung der Ex Zonen bei einer Freisetzung von Gasen und Dämpfen im Freien (Beispiel)

Innerhalb der Wirkzone liegt die Ex Zone 0 oder 20 (Konzentration ≥ 100 %UEG) vor.

In der Wirkzone kann davon ausgegangen werden, dass ständig explosionsfähige Atmosphäre vorhanden ist!

Innerhalb der Sicherheitszone (30 - 60 m um die Wirkzone) liegt die Zone 1 oder 21 vor.

In diesem Bereich ist davon auszugehen, dass gelegentlich eine explosionsfähige Atmosphäre vorhanden sein kann!

Im Bereitstellungsraum für Einsatzkräfte liegt KEINE Ex Zone vor.

Erläuterungen zur Wirkzone bei brennbaren Stoffen

Als Wirkzone versteht man im Sinne dieser Information NICHT den Bereich, in welchen eine brennbare Substanz vorhanden ist, sondern nur den Bereich mit zündfähiger Stoff/Luftmischung. (Die Lache mit Dieselkraftstoff im Freien ist keine Wirkzone im Sinne des Explosionsschutzes, nur im Sinne der Umweltgefährdung)

Die „EX-Wirkzone“ (Konzentration ≥ 100 %UEG) wird meist (je nach ausgetretender Menge) sehr begrenzt um die Austrittsstelle vorzufinden sein (siehe auch Abbildung 8).

Die Ausdehnung der Wirkzone ist vor Beginn der Arbeiten, so diese nicht zeitkritisch sind (z.B. Menschenrettung), mittels Mess- bzw. Warngeräten (Explosimeter,) zu überprüfen. Bei Arbeiten wie z.B. Umpumpmaßnahmen sind ständig Mess- und Warngeräte zu verwenden!

Für Behälter und Räume ist die oben beschriebene Ex Zoneneinteilung im Freien nicht anwendbar!

In Behältern ist davon auszugehen, dass eine explosionsfähige Atmosphäre ständig vorhanden ist. Daher sind im Inneren von Behältern (Fässer, IBC, etc.) nur Arbeitsmittel zulässig, die in der Ex Zone 0 oder 20 eingesetzt werden dürfen (d.h. ausschließlich Gerätekategorie 1).

Im Nahbereich (bis zu max. 0,5 m) um die Öffnung des Behälters ist durch möglicher weise austretende Dämpfe davon auszugehen, dass sich zumindest gelegentlich eine explosionsfähige Atmosphäre bilden kann (Abbildung 9). Daraus ergibt sich eine Ex Zone 1. In unzureichend durchlüfteten Räumen ist davon auszugehen, dass sich brennbare Dämpfe über den Nachbereich der Öffnung hinaus ausbreiten!

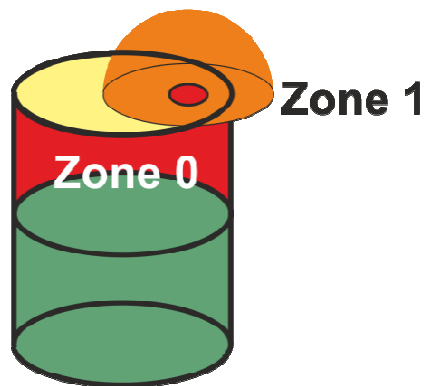


Abbildung 9: Beispiel Zoneneinteilung, Fass (Quelle Dyrba/2007)

Bei der Beschaffung von Geräten, die in Ex Zonen verwendet werden, müssen diese Geräte für die Ex Zonen geeignet sein. Dass bedeutet, die Geräte müssen eine Gerätekategorie konform zur Ex Zone aufweisen und diese nachweisen können (ATEX Konformitätserklärung).

Mess- und Warngeräte, die eine Gerätekategorie 2G und/oder 2D aufweisen, dürfen nur bis zur Wirkzonengrenze verwendet werden.

Konstruktiver Explosionsschutz

Diese sind in Anlagen vorhanden, um die Folgen einer Explosion auf ein unbedenkliches Maß zu beschränken.

Kann der sichere Betrieb einer Anlage aufgrund von Maßnahmen des primären und sekundären Explosionsschutzes nicht gewährleistet werden, wurden konstruktive Vorkehrungen getroffen.

Zu den Schutzmaßnahmen des konstruktiven Explosionsschutzes gehören:

- Explosionsfeste Bauweise
- Explosionsdruckentlastung (z.B. Berstscheiben, Druckentlastungskappen)
- Explosionsunterdrückung
- Verhinderung der Flammen- und Explosionsübertragung (z.B. Flammendurchschlagsicherungen; Entkopplung, Zellradschleuse)

Einrichtungen des konstruktiven Explosionsschutzes können im Falle einer Explosion eine erhebliche Gefährdung darstellen.



Vor allem bei Bränden muss mit dem Auslösen von Maßnahmen des konstruktiven Explosionsschutzes (Schutzsystemen) gerechnet werden. Daher besteht zum Beispiel in der Umgebung von Explosionsdruckentlastungsflächen eine besondere Gefährdung!

5. Geräteanforderungen

Für die Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen werden an Geräte besondere Anforderungen gestellt. Für Feuerwehren ist es im Einsatzfall wichtig nur solche Geräte einzusetzen, die ein möglichst hohes Schutzniveau bieten und auch für den Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen geeignet sind. Der Auswahl von Geräten zum Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen kommt daher eine besondere Bedeutung zu.

Kennzeichnung

Betriebsmittel die für den explosionsgefährdeten Bereich geeignet sind müssen auch entsprechende gekennzeichnet sein. Geräteeigenschaften und Kategorien können der Kennzeichnung entnommen werden. Davon leiten sich die möglichen Einsatzbereiche der Betriebsmittel ab.



Jedes Arbeits- oder Betriebsmittel muss, an sichtbarer Stelle, auf dem Hauptteil, lesbar und dauerhaft gekennzeichnet sein!

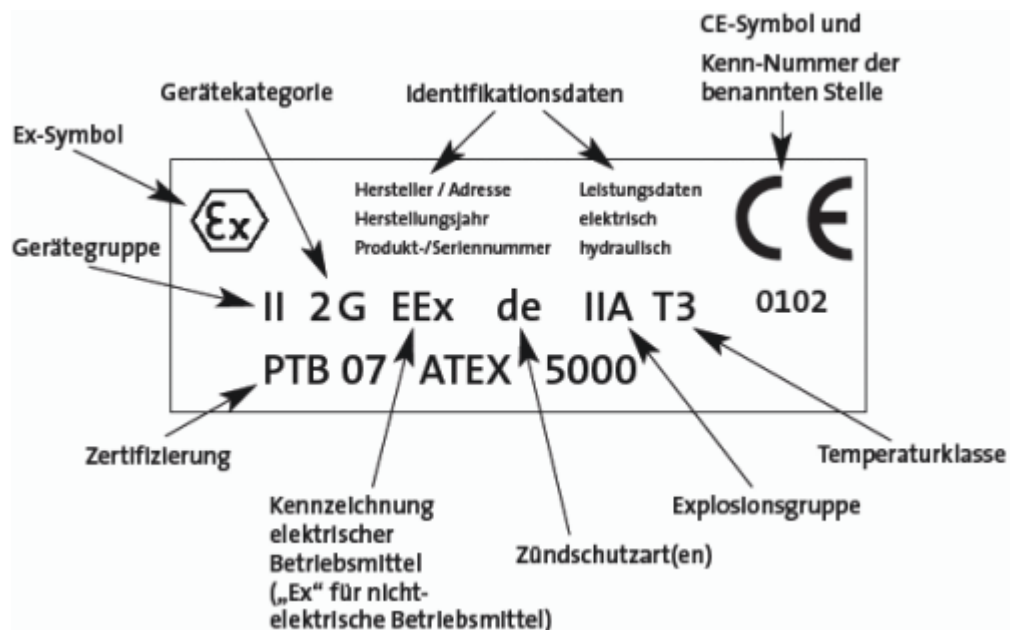


Abbildung 10: Kennzeichnung eines explosionsgeschützten Betriebsmittels

Die Kennzeichnung muss enthalten:

- Name oder Warenzeichen des Herstellers
- Typbezeichnung
- Symbol "EEx"
- Kurzzeichen der verwendeten Zündschutzarten
- Symbol für die Explosionsgruppe (I, II, IIA, etc.)

Für Gruppe II zusätzlich die

- Temperaturklasse oder
- höchste Oberflächentemperatur oder beides.
- Fertigungsnummer (außer sehr kleine Betriebsmittel oder Zubehör)
- Prüfstelle und Nummer der Bescheinigung
- Zusätzliche Angaben, soweit solche in den besonderen Normen für die betreffenden Zündschutzarten vorgeschrieben sind.
- Angaben, die normalerweise durch die Konstruktionsnormen für elektrische Betriebsmittel verlangt werden.
- Durch ein sechseckiges Zeichen mit dem Schriftzug "Ex".

Gerätegruppen

Elektrische Betriebsmittel für den Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen werden in Gerätegruppen eingeteilt. Der Geräteeinteilung liegen verschiedene Parameter zugrunde, welche z.B. von diversen Stoffeigenschaften abgeleitet werden. Die entsprechenden Gerätegruppen werden je nach Anforderung noch weiter unterteilt.

I	Betriebsmittel für den schlagwettergefährdeten Bereiche (Gas/Staubexplosionsgefahr durch Methangas und Kohlestaub)
II	Betriebsmittel für alle übrigen explosionsgefährdeten Bereiche (Gase/Dämpfe). Die Geräte werden entsprechend der Zündfähigkeit der entsprechenden Gase/Dämpfe noch weiter in Gruppen unterteilt: IIA: z.B. Methan, Propan, Aceton, Toluol IIB: z.B. Ethylenoxid, Heizöl, Benzin IIC: z.B. Wasserstoff, Acetylen Die Gruppe IIC weist die höchste Zündfähigkeit auf. Geräte der Gruppe IIC dürfen auch in den anderen Bereichen (IIA, IIB) eingesetzt werden.
III	Geräte für beriche mit brennbaren staub werden entsprechend der Staubart in die Gruppen IIIA: brennbare Fasern und Flusen (aus Papier-, Holz- und Textilverarbeitung) IIIB: nicht leitfähiger Staub IIIC leitfähiger Staub (Metallstaub) unterteilt.

Gerätekatégorien

Zusätzlich zu den Gerätegruppen erfolgt eine Einteilung der Geräte in die Gerätekatégorien. Die Gerätekatégorien definieren ein gewisses Schutzniveau, welches von dem jeweiligen Gerät erreicht werden muß. Mit den Buchstaben „G“ (Gase) und „D“ (Stäube), werden die Katégorien noch genauer spezifiziert.

Geräte der Kategorie **1G/1D** werden so gestaltet, das sie ein sehr hohes Maß an Sicherheit gewährleisten. Selbst beim Auftreten von zwei Fehlern, darf es nicht zur Zündung kommen.

Geräte der Kategorie **2G/2D** gewährleisten ein hohes Maß an Sicherheit. Es darf bei häufig zu oder üblicherweise zu erwartenden Störungen (Gerätedefekte) das erforderliche Maß an Sicherheit gewährleistet bleiben.

Geräte der Kategorie **3G/3D** bieten ein normales Maß an Sicherheit und müssen bei vorhersehbaren Störungen (Gerätedefekte) Zündquellen vermeiden.

Wie man aus der Definition der Gerätekatégorien ableiten kann, handelt es sich dabei auch um Sicherheitsanforderungen die mit einer gewissen Eintrittswahrscheinlichkeit verbunden sind. Aus dieser Überlegung heraus macht es Sinn, jene Geräte welche nur ein normales Maß an Sicherheit gewährleisten auch nur in jenen Bereichen einzusetzen, in denen nur selten mit dem Auftreten einer explosionsfähigen Atmosphäre zu rechnen ist. Geräte mit einem sehr hohen Schutzniveau sind auch für Bereiche geeignet in denen ständig oder über lange Zeit explosionsfähige Atmosphären vorhanden sind. Die Gerätekatégorien können somit den verschiedenen Zonen zugeteilt werden.

Brennbare Gase, Dämpfe und Nebel		
Zone 0	Zone 1	Zone 2
Kategorie: 1G	Kategorie: 2G (1G)	Kategorie: 3G (2G, 1G)

Brennbare Stäube		
Zone 20	Zone 21	Zone 22
Kategorie: 1D	Kategorie: 2D (1D)	Kategorie: 3D (2D, 1D)

Für die Auswahl der Geräte ist wichtig zu wissen in welchen Zonen sie eingesetzt werden sollen. Werden Geräte der falschen Kategorie in einem explosionsgefährdeten Bereich eingesetzt, muß es nicht direkt zu einer Zündung kommen, bei Gerätedefekten können solche Geräte dann allerdings die Ursache für eine Explosion darstellen. Es ist daher zu gewährleisten, daß Geräte der jeweils richtigen Kategorie eingesetzt werden.

Temperaturklassen

Anders als bei der Gerätekatégorie, der eine Wahrscheinlichkeitsbetrachtung zugrunde liegt, besteht bei der maximalen Oberflächentemperatur immer die Gefahr einer Zündung, wenn diese überschritten wird.



Bei Einsätzen mit brennbaren Stoffen ist daher besonders darauf zu achten, daß nur Geräte eingesetzt werden deren maximal zulässige Oberflächentemperatur die Zündtemperatur des vorhandenen brennbaren Stoffes nicht überschreitet!

Um die Auswahl von Geräten für verschiedene Bereiche zu erleichtern werden diesen Geräten sogenannte Temperaturklassen zugewiesen.

Temperaturklasse	Max. Temperatur der Oberfläche	Zündtemperatur der brennbaren Stoffe	Beispiel
T1	$\leq 450^{\circ}\text{C}$	> 450	Aceton, Ammoniak, Propan, Toluol
T2	$\leq 300^{\circ}\text{C}$	> 300 bis 450	Cyclohexan, Butan, Ethylen, Acetylen
T3	$\leq 200^{\circ}\text{C}$	> 200 bis 300	Benzin, Hexan, Schwefelwasserstoff
T4	$\leq 135^{\circ}\text{C}$	> 135 bis 200	Acetaldehyd
T5	$\leq 100^{\circ}\text{C}$	> 100 bis 135	keine bekannt
T6	$\leq 85^{\circ}\text{C}$	> 85 bis 100	Schwefelkohlenstoff

Bei brennbaren Stäuben wird eine maximale Oberflächentemperatur am Gerät angegeben. Diese Temperaturangabe wird aus der Zündtemperatur von abgelagertem und aufgewirbeltem Staub ermittelt. Sowohl für brennbare Gase/Dämpfe als auch für brennbare Stäube gilt, daß Geräte deren maximale Oberflächentemperatur ausreicht um ein explosionsfähiges Gemisch zu entzünden, nicht eingesetzt werden dürfen.

Zündschutzarten

Zündschutzart	Kennz.	Beschreibung
Erhöhte Sicherheit	e	Verhinderung von Zündquellen durch besondere Anforderungen an die Isolierung, Einhaltung von Abständen, Temperaturanforderungen u.a. Hauptsächlich angewendet für Anschlussbereiche, Motoren etc.
Druckfeste Kapselung	d	Zündfähige Teile werden in ein Gehäuse eingeschlossen, das so gestaltet ist, dass bei einer evtl. Zündung ein Durchschlagen der Explosion in die Umgebung verhindert wird
Überdruck Kapselung	p	Das Eindringen einer explosionsfähigen Atmosphäre in das Betriebsmittel wird durch Spülung mit Inertgas, das permanent unter leichtem Überdruck gehalten wird, verhindert.
Eigensicherheit	i	Die Zündung einer explosionsfähigen Atmosphäre wird durch Begrenzung von elektrischer Spannung, Strom, Leistung und Temperatur verhindert. Weitere Unterteilung: - ia für Zone 0 - ib für Zone 1 und Zone 2
Ölkapselung	o	Das Betriebsmittel wird in Öl eingeschlossen und dadurch der Zutritt explosionsfähiger Atmosphäre verhindert
Sandkapselung	q	Das Gehäuse eines Betriebsmittels wird mit einem feinen Füllgut, meist Quarzsand, gefüllt, sodaß evtl. Funken nicht in die umgebende explosionsfähige Atmosphäre durchzündend können.
Verguß Kapselung	m	Teile, die eine explosionsfähige Atmosphäre zünden können, werden in einer Vergußmasse eingebettet.

6. Weiterführende Literatur

Dyrba, B., (2007): Praxishandbuch Zoneneinteilung. Carl Heymanns Verlag, Köln

Feuerwehr Koordination Schweiz, (2014): Handbuch für ABC Einsätze. Version 04, Eigenverlag, Bern

Wolf, T., Kamphausen, H., Kutzner, K., Pelzl, T., Schröder, V., (2016): Explosionsschutz bei Einsätzen der Feuerwehren. In: Brandschutz, 2/2016, S104 – 114