

Quelle: <https://www.arbeitssicherheit.de//document/234148bb-c957-3dd6-80d5-345b7eb90ef9>

Bibliografie	
Titel	Praxishandbuch Brandschutz
Herausgeber	Scheuermann
Auflage	2016
Abschnitt	8 Explosionsschutz → 8.5 Sicherheitstechnische Kenngrößen
Autor	Dyrba
Verlag	Carl Heymanns Verlag

8.5.1 Sicherheitstechnische Kenngrößen brennbarer Gase, Dämpfe und Nebel

Potenzialkenngrößen

Mit den Potenzialkenngrößen kann die **Bildung einer explosionsfähigen Atmosphäre** beschrieben werden.

8.5.1 Sicherheitstechnische Kenngrößen brennbarer Gase, Dämpfe und Nebel – Seite 3 – 01.09.2016 >>

Der **Flammpunkt** ist die niedrigste Temperatur, bei der unter vorgeschriebenen Versuchsbedingungen eine Flüssigkeit, brennbares Gas oder brennbaren Dampf in solcher Menge abgibt, dass bei Kontakt mit einer Zündquelle sofort eine Flamme auftritt.

Der Flammpunkt ist von Bedeutung für die Beurteilung der Bildung einer explosionsfähigen Atmosphäre.

Explosionsgrenzen beschreiben die Grenzen des Explosionsbereiches. Die untere Explosionsgrenze (UEG) beziehungsweise die obere Explosionsgrenze (OEG) ist der untere beziehungsweise obere Grenzwert der Konzentration (Stoffmengenanteil) eines brennbaren Stoffes in einem Gemisch von Gasen, Dämpfen, Nebeln und/oder Stäuben, in dem sich nach dem Zünden eine von der Zündquelle unabhängige Flamme gerade nicht mehr selbstständig fortpflanzen kann (siehe Tabelle 1).

Tab. 1: Beispiele für Explosionsgrenzen

Name	UEG [Vol.-%]	OEG [Vol.-%]
Wasserstoff	4	77
Aceton	2,5	14,3
Ameisensäure	10	45,5
Methan	4,4	17
Methanol	6	50
Ethylacrylat	1,7	13

Die Explosionsgrenzen dienen der Beurteilung der Bildung einer explosionsfähigen Atmosphäre. Bei einer Konzentration unterhalb der unteren Explosionsgrenze ist das Gemisch zu »mager« (es enthält zu wenig Brennstoff), bei einer Konzentration oberhalb der oberen Explosionsgrenze ist es zu »fett« (es enthält zu viel Brennstoff, das heißt zu wenig Sauerstoff), um eine Flammenfortpflanzung nach erfolgter Entzündung zu ermöglichen (siehe Abb. 2).

Die **Sauerstoffgrenzkonzentration** (SGK) ist die maximale Sauerstoffkonzentration (Stoffmengenanteil) in einem Gemisch eines brennbaren Stoffes mit Luft und inertem Gas, in dem eine Explosion nicht auftritt; sie wird bestimmt unter festgelegten Versuchsbedingungen. Die Kenntnis der Sauerstoffgrenzkonzentration ist zwingend erforderlich, wenn Inertisierungsmaßnahmen im Innern von Behältern durchgeführt werden. Bekannte Sauerstoffgrenzkonzentrationen sind in Tabelle 2 dargestellt. Mit den Potenzialkenngrößen kann die Bildung explosionsfähiger Atmosphäre beschrieben und durch die in Tabelle 3 beispielhaft dargestellten Maßnahmen verhindert beziehungsweise hinsichtlich der auftretenden Mengen begrenzt werden.

8.5.1 Sicherheitstechnische Kenngrößen brennbarer Gase, Dämpfe und Nebel – Seite 4 – 01.09.2016 << >>

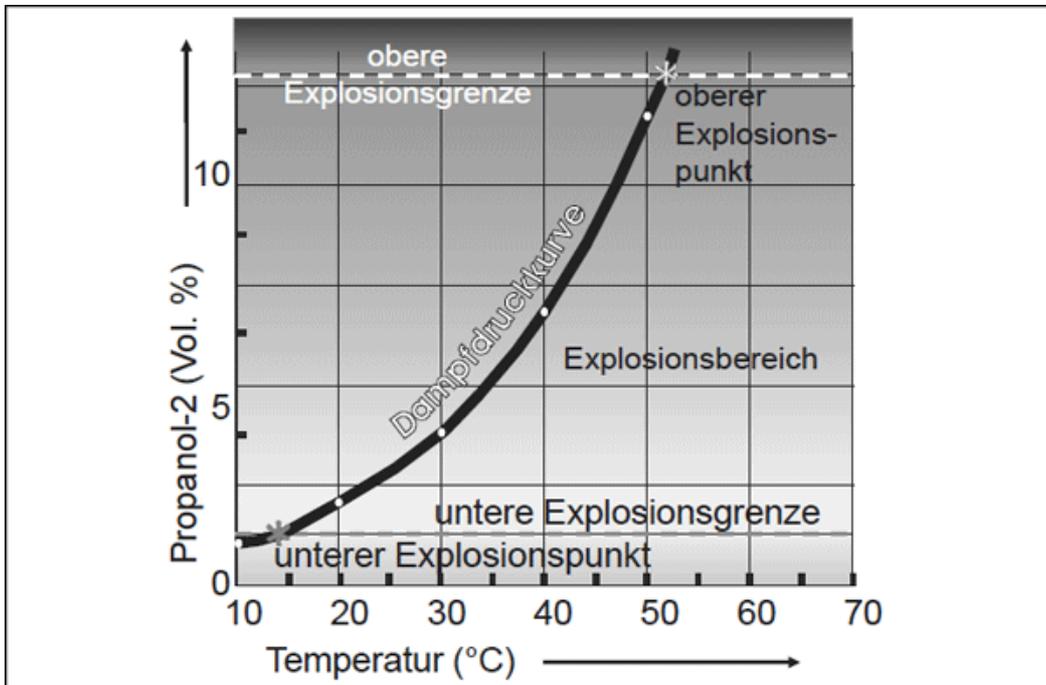


Abb. 2: Explosionsbereich von Propanol

Liegt bei Lösemittelgemischen ohne halogenierte Komponenten der Flammpunkt 15 K über der Verarbeitungstemperatur und ist ein Versprühen und Verspritzen ausgeschlossen, so ist nicht mit der Bildung explosionsfähiger Atmosphäre zu rechnen.

Beispiel:

In einer Werkstatt wird ein Lösemittel mit einem Flammpunkt von 45 °C zum Reinigen von Metallteilen eingesetzt. Gereinigt wird mittels Pinsel. Versprühen, Verspritzen und Erwärmen zum Beispiel durch Heizeinrichtungen sind ausgeschlossen. Selbst in den Sommermonaten werden in der Werkstatt keine Temperaturen über 30 °C gemessen. Damit bleibt die Verarbeitungstemperatur immer mindestens 15 °C unter dem Flammpunkt. Somit besteht in der Werkstatt durch Verwendung dieses Lösemittels unter den gegebenen Bedingungen keine Explosionsgefahr. Werden keine weiteren Stoffe eingesetzt, die in der Lage sind, explosionsfähige Atmosphäre zu bilden, ist keine Zoneneinteilung erforderlich.

Der Flammpunkt ist darüber hinaus eine wichtige Kenngröße für die Einstufung nach GHS in eine der drei Gefahrenkategorien:

Kategorie 1:	Flammpunkt < 23 °C und Siedebeginn ≤ 35 °C
---------------------	--

Kategorie 2: Flammpunkt < 23 °C und Siedebeginn > 35 °C

Kategorie 3: 23 °C ≤ Flammpunkt ≤ 60 °C

Abb. 3 zeigt die Kennzeichnungselemente entzündbarer Flüssigkeiten entsprechend GHS:

8.5.1 Sicherheitstechnische Kenngrößen brennbarer Gase, Dämpfe und Nebel – Seite 5 – 01.12.2013 << >>

Einstufung	Kategorie 1	Kategorie 2	Kategorie 3
Gefahrenpiktogramme (Gefahrensymbol)			
Signalwort	Gefahr	Gefahr	Achtung
Gefahrenhinweis	H224 Flüssigkeit und Dampf extrem entzündbar	H225 Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar	H226 Flüssigkeit und Dampf entzündbar

Abb. 3: Kennzeichnungselemente entzündbarer Flüssigkeiten

Das Signalwort »Gefahr« dient zur Kennzeichnung der gefährlicheren Gefahrenkategorien, das Signalwort »Achtung« wird für die weniger gefährlichen Gefahrenkategorien eingesetzt.

Tab. 2: Grenzwerte für das Inertisieren brennbarer Gase und Dämpfe bei 7 bar Gesamtdruck (Datenbank Chemsafe)

Grenzwerte für das Inertisieren brennbarer Gase und Dämpfe bei 1 bar Gesamtdruck (Chemsafe)							
Brennbarer Stoff	Temperatur in °C	Partielles Inertisieren				Totales Inertisieren (Werte nur zur Orientierung)	
		Sauerstoffgrenzkonzentration im Gesamtgemisch brennbarer Stoff/Inertgas/Luft beim Inertisieren mit:	Mindestwert des Verhältnisses der Molanteile von Inertgas (N2 oder CO2) und Luft (L) zum Inertisieren bei beliebiger Zugabe von brennbarem Stoff	N2/L	CO2/L	N2/B	CO2/B
		N2	CO2				
		CmaxO in mol %	CmaxO in mol %				
Benzol	100*)	8,5	11,8	1,4	0,7	42	22
n-Butan	20	9,6	12	1,1	–	27	–
i-Butan	20	10,3	13,1	1,0	0,5	28	13
Cyclopropan	20	9,0	12				
Ethan	20	8,8	11,7	1,3	0,7	21	11
Ethylen	20	7,6	10,5	1,7	0,9	24	13

Grenzwerte für das Inertisieren brennbarer Gase und Dämpfe bei 1 bar Gesamtdruck (Chemsafe)							
Hexan	20	9,3	11,6* (100 °C)	1,3	0,8* (100 °C)	42	32* (100 °C)
Kohlenmonoxid	20	6,2	-	3,1	1,7	6	3
Methan	20	9,9	13,7	1,0	0,4	11	
Pentan	20	9,3		1,3		42	-
Propan	20	9,8	12,6	1,1	0,6	26	13
Propylen	20	9,3	12,6	1,2	0,6	23	12
Vergaserkraftstoff	20	9,3		1,3		42	
Wasserstoff	20	4,3	5,2	3,4	1,8	17	12
Heptan	100		10,9		0,9		35
Toluol	100	9,6	12,9	1,1	0,6	42	21
Xylol	100	9,7	13,1	1,1	0,6	42	21
Methylethylketon	20	9,5		1,2		26	
Ethanol	20	8,5		1,4		17	
Methanol	20	8,1		1,4		7	
Propanol-1	20	9,3	-	1,3	-	19	
Propanol-2	20	8,7		1,4		25	
Ethylacetat	20	9,8		1,1			
Propylformiat	20	9,8		1,1		21	
Schwefelkohlenstoff	20	4,6				49	
= Schätzwert * = Konzentration bei 20 °C nicht erreichbar * Siehe auch TRBS 2152 Teil 2							

8.5.1 Sicherheitstechnische
 Kenngrößen brennbarer
 Gase, Dämpfe und Nebel
 – Seite 6 – 01.12.2013
[<<](#) [>>](#)

Tab. 3: Charakterisierung der Potenzialkenngrößen und Zuordnung von Maßnahmen

STK	Beschriebene Eigenschaft	Definition	Korrespondierende Maßnahme
Flammpunkt	Flüssigkeitstemperatur	Niedrigste Temperatur der brennbaren Flüssigkeit, bei der sich eine Flamme über die gesamte Flüssigkeitsoberfläche ausbreiten kann. Die UEG ist dabei überschritten.	Flammpunkt muss oberhalb der Betriebs- bzw. Umgebungstemperatur liegen
Untere Explosionsgrenze (UEG)	Brennstoffkonzentration (Gase, Dämpfe, Nebel)	Unterer für die Unterhaltung einer Verbrennungsreaktion erforderlicher Grenzwert	Unterschreitung, z.B. durch Lüftung (Quellenabsaugung, Raumbelüftung)
Obere Explosionsgrenze (OEG)	Brennstoffkonzentration (s.o.)	Entsprechender oberer Grenzwert	Überschreitung (in Anlagen)
Sauerstoffgrenzkonzentration (SGK)	Sauerstoffkonzentration im Inertgas-Luft-Gemisch	Entsprechender unterer Grenzwert des Reaktionspartners	Unterschreitung durch Inertisierung (in Anlagen)

Initiierungskenngrößen

Mit den Initiierungskenngrößen kann die **Zündwilligkeit** einer explosionsfähigen Atmosphäre beschrieben werden. Die **Zündtemperatur** ist die niedrigste Temperatur (einer heißen Oberfläche), bei der unter festgelegten Prüfbedingungen die Entzündung eines brennbaren Gases oder Dampfes in einem Gemisch mit Luft oder Luft/Inertgas auftritt. Die Zündtemperatur benötigt man für die Beurteilung der Zündgefahr durch heiße Oberflächen. Sie ermöglicht es, brennbare Gase und Dämpfe nach ihrer Entzündbarkeit in Temperaturklassen einzuteilen (siehe Tabelle 4). Die maximale Oberflächentemperatur eines elektrischen Betriebsmittels muss stets kleiner sein als die Zündtemperatur des Gas- beziehungsweise Dampf-/Luft-Gemisches, in dem es eingesetzt wird (für Gesamtoberflächen von nicht mehr als 10 cm² gelten Sonderfestlegungen). Die Temperaturklassen gelten für einen Umgebungsbereich von - 20 °C bis + 40 °C und 800 mbar bis 1.100 mbar. Für den Einsatz in einem anderen Temperaturbereich fordert die EN 50014 eine zusätzliche Kennzeichnung durch das Symbol »Ta« oder »Tamb«.

Gruppe I (Bergbau unter Tage):

150 °C	(bei mögl. Kohlenstaubablagerungen)
--------	-------------------------------------

450 °C (ohne Gefahr von Kohlenstaubablagerungen)

Gruppe II (gesamte Industrie außer Bergbau unter Tage):

8.5.1 Sicherheitstechnische Kenngrößen brennbarer Gase, Dämpfe und Nebel – Seite 8 – 01.12.2013 << >>

Tab. 4: Temperaturklasse für Gerätegruppe II

Temperaturklasse	Höchstzulässige Oberflächentemperatur der Betriebsmittel	Zündtemperatur der brennbaren Stoffe
T1	450 °C	< 450 °C
T2	300 °C	< 300 °C
T3	200 °C	< 200 °C

Temperaturklasse	Höchstzulässige Oberflächentemperatur der Betriebsmittel	Zündtemperatur der brennbaren Stoffe
T4	135 °C	< 135 °C
T5	100 °C	< 100 °C
T6	85 °C	< 85 °C

Betriebsmittel, die einer höheren Temperaturklasse entsprechen (zum Beispiel T5), sind auch für Anwendungen zulässig, bei denen eine niedrigere Temperaturklasse gefordert ist (zum Beispiel T2 oder T3).

Erreicht die maximale Oberflächentemperatur eines Betriebsmittels die Zündtemperatur der umgebenden explosionsfähigen Atmosphäre, so kann eine Entzündung erfolgen. Deshalb werden alle explosionsgeschützten Betriebsmittel in Temperaturklassen eingeteilt. Die niedrigste Zündtemperatur der in Frage kommenden explosionsfähigen Atmosphäre muss höher als die maximale Oberflächentemperatur sein (für Gesamtoberflächen von nicht mehr als 10 cm² gelten Sonderfestlegungen).

In der Praxis ist die Zündtemperatur von betrieblichen Umgebungseinflüssen abhängig. Eine signifikante Absenkung der Zündtemperatur ist bei katalytischen Effekten, starker Oberflächenvergrößerung, bei der Anwendung hoher Drücke und beim Umgang mit reinem Sauerstoff zu beobachten. Je nach Substanz wurden in Extremfällen Absenkungen um bis zu 300 °C festgestellt. Umgekehrt kann sich die Zündtemperatur in Abhängigkeit der betrieblichen Umgebung auch erhöhen.

Die **Mindestzündenergie** (MZE) ist die unter vorgeschriebenen Versuchsbedingungen ermittelte, kleinste in einem Kondensator gespeicherte elektrische Energie, die bei Entladung ausreicht, das zündwilligste Gemisch einer explosionsfähigen Atmosphäre zu entzünden.

Die Mindestzündenergie bildet die Grundlage für die Beurteilung der Zündgefahren durch elektrostatische Aufladungen oder durch andere eher energiearme Zündquellen. Für brennbare Gase und Dämpfe in Luft liegt sie überwiegend im Bereich 0,1 mJ bis 1 mJ. Da in diesem Energiebereich potenzielle Zündquellen in der Regel einheitlich beurteilt werden, ist es normalerweise nicht erforderlich, die MZE brennbarer Gase und Dämpfe zu messen.

Für elektrische Betriebsmittel der Gerätegruppe II erfolgt bei explosionsfähigen Gas-/Luft-Gemischen eine weitere Unterteilung in Explosionsgruppen. Kriterien für die Unterteilung sind die Normspaltweite und der Mindestzündstrom.

8.5.1 Sicherheitstechnische Kenngrößen brennbarer Gase, Dämpfe und Nebel – Seite 9 – 01.12.2013 << >>

Die **Normspaltweite** ist die Spaltweite, bei der in einem Prüfgefäß mit 25-mm-Spaltlänge gerade kein Flammendurchschlag des Gemisches mehr stattfindet (IEC 60079-1A).

Der **Mindestzündstrom** wird bezogen auf den Mindestzündstrom für Laboratoriumsmethan (IEC 60079-20-1) festgelegt.

Eine Übersicht über die Normspaltweiten und Mindestzündströme für die verschiedenen Explosionsgruppen mit Beispielen zeigt Tabelle 5.

Die Gefährlichkeit der Gase nimmt von Explosionsgruppe II A nach II C zu. Entsprechend steigen die Anforderungen an Betriebsmittel für diese Explosionsgruppen. Daher muss auf den elektrischen Betriebsmitteln, wenn der Explosionsschutz von der Grenzspaltweite (Zündschutzart EEx d) oder dem Mindestzündstromverhältnis (Zündschutzart EEx i) abhängt, angegeben werden, für welche Explosionsgruppe sie ausgelegt sind.

Betriebsmittel, die für II C zugelassen sind, dürfen auch für alle Stoffe, deren Explosionsgruppen IIB und IIA sind, verwendet werden. Das heißt, Betriebsmittel für II B-Stoffe dürfen auch für Stoffe der Explosionsgruppe II A eingesetzt werden.

Tab. 5: Zusammenfassung zwischen Explosionsgruppen, Normspaltweite und Mindeststromverhältnis

Explosionsgruppe	Normspaltweite	Mindestzündstromverhältnis bezogen auf Methan	Beispiele
II A	> 0,9 mm	0,8	Aceton, Ethan, Ethylacetat, Ammoniak, Benzol (rein), Essigsäure, Essigsäureanhydrid, Toluol, n-Butan, n-Hexan

Explosionsgruppe	Normspaltweite	Mindestzündstromverhältnis bezogen auf Methan	Beispiele
II B	≥ 0,5 mm bis 0,9 mm	≥ 0,45 bis 0,8	Ethylether, Ethylen, Ethylenoxid, Ethylalkohol, Schwefelwasserstoff, Stadtgas
II C	< 0,5 mm	< 0,45	Acetylen, Schwefelkohlenstoff, Wasserstoff

Mit den Initiierungskenngrößen kann die Zündwilligkeit einer explosionsfähigen Atmosphäre beschrieben werden. Korrespondierende Maßnahmen sind in Tabelle 6 beispielhaft dargestellt.

8.5.1 Sicherheitstechnische Kenngrößen brennbarer Gase, Dämpfe und Nebel – Seite 10 – 01.12.2013 << >>

Tab. 6:

STK	Beschriebene Eigenschaft	Definition	Korrespondierende Maßnahme
Zündtemperatur	Temperatur einer erhitzten Oberfläche	Zündwirksamer Minimalwert	Unterschreitung des Grenzwertes
Mindestzündenergie	Energie eines kapazitiven Entladungsfunkens	Zündwirksamer Minimalwert	Energiebegrenzung, Unterschreitung
Normspaltweite	Löschwirkung eines Spaltes	Spaltweite, bei der eine Flammenlöschung erfolgt	Druckfeste Kapselung funkengebender Teile von Arbeitsmitteln
Mindestzündstromverhältnis	Energie eines induktiven Entladungsfunkens	Zündwirksamer Minimalwert	Energiebegrenzung; Eigensicherheit

Wirkungskenngrößen

Die **Wirkungskenngrößen** beschreiben die Wirkung einer Explosion.

Der **maximale Explosionsdruck** ist der Höchstwert, der bei der Bestimmung der Explosionsdrücke gemessen wird, wenn der Gehalt an brennbarem Stoff im Brennstoff/Luft-Gemisch variiert wird.

Die Parameter sind konzentrationsabhängig und erreichen ihren Maximalwert im Bereich um die stöchiometrische Konzentration. Der maximale Explosionsdruck und die maximale Druckanstiegsgeschwindigkeit dienen der Dimensionierung von konstruktiven Explosionsschutzmaßnahmen. Die entsprechenden Angaben dazu enthält Tabelle 7.

Tab. 7: Charakterisierung der Wirkungskenngrößen und Zuordnung von Maßnahmen

STK	Beschriebene Eigenschaft	Definition	Korrespondierende Maßnahme
Maximaler Explosionsdruck	Druckaufbau infolge einer Verbrennungsreaktion	Maximalwert	Auslegung der Apparaturen auf den Explosionsdruck
Maximale Druckanstiegsgeschwindigkeit	Druck-Zeit-Verlauf einer Verbrennungsreaktion	Maximalwert	Ausrüstung der Apparaturen mit Druckentlastungseinrichtungen

Oftmals werden Fragen gestellt zu Flammpunkten von Ethanol/Wasser-Gemischen. In der Datenbank Chemsafe sind die Ergebnisse umfangreicher Untersuchungen dieser Gemische dargestellt. In dem Tabellenbuch »Brennbare und gefährliche Stoffe« des Staatsverlages der DDR von 1979 sind ebenfalls Werte aufgeführt. Dieses wurde in die tabellarische Darstellung implementiert:

8.5.1 Sicherheitstechnische Kenngrößen brennbarer Gase, Dämpfe und Nebel – Seite 11 – 01.12.2013 << >>

Massenanteil Ethanol %	Flammpunkt (PTB) °C	Flammpunkt (Tabellenbuch »Gefährliche Stoffe«) °C
3,7	71,5	–
4,8	61,5	–
5	60	61
6,4	55,5	–
8	50,5	
10	47	50
16,5	39	–
20	35,5	39
30	29	–
40	26	28
50	24	–
55	–	26
60	22	–
70	21	22
80	20	–
90	17,5	
95	16	
100	12	–

