

Quelle: <https://www.arbeitssicherheit.de//document/2c86bf15-a541-3689-94c2-446fb19d7751>

Bibliografie

Titel	Praxishandbuch Brandschutz
Herausgeber	Scheuermann
Auflage	2016
Abschnitt	2 Grundlagen des Brand- und Explosionsschutzes → 2.4 Brand- und Löschlehre
Autor	Scheuermann
Verlag	Carl Heymanns Verlag

2.4.5 Sauerstoff

Inhaltsübersicht

[2.4.5.1 Richtiges Mengenverhältnis](#)

[2.4.5.2 Flammpunkt](#)

[2.4.5.3 Zündenergie](#)

[2.4.5.4 Zündquellen mit elektrischer Energie](#)

Sauerstoff ist eines der 92 natürlich vorkommenden Elemente. Sauerstoff kommt vor

- in der Luft als Gemisch mit Stickstoff und in zahllosen anderen Verbindungen,
- im Wasser in gebundener Form zu 88,8 Gew.-%.

Der Anteil des Sauerstoffs wird auf etwa die Hälfte des Gewichtes des uns bekannten Teils der Erde geschätzt. Bei Normaltemperatur ist der Sauerstoff ein farb-, geruchs- und geschmackloses Gas. Ein Liter Sauerstoff wiegt bei Normaltemperatur 1,4289 g. Der Siedepunkt des Sauerstoffs beträgt bei Normaldruck -183 °C. Unter dieser Temperatur kann Sauerstoff flüssig in Gefäßen gespeichert und befördert werden. Ein Liter flüssiger Sauerstoff hat die Masse 1,118 kg. Sauerstoff selbst ist nicht brennbar, aber er ist das am häufigsten benutzte Oxidationsmittel. In der Luft steht Sauerstoff in unbegrenzter Menge zur Verfügung. Reiner Sauerstoff wird gewonnen

- aus der Luft durch Luftverflüssigung,
- aus dem Wasser durch elektrische Zerlegung.

Sauerstoff wird gasförmig in Stahlflaschen mit einem Fülldruck von 150 bar und 200 bar transportiert.

Das Sauerstoffmolekül hat bei normaler Temperatur eine relativ hohe Stabilität. Erst bei höheren Temperaturen wird diese Bindung gelockert, woraus sich dann die Reaktionsfreudigkeit des Sauerstoffes ergibt. Der Mindestsauerstoffbedarf der Luft, bei dem ein Brennen gerade noch aufrechterhalten wird, ist für jeden brennbaren Stoff verschieden:

- Die meisten Stoffe benötigen mindestens 15 Vol.-% Luftsauerstoff.
- Die Kerze erlischt bei weniger als 15 Vol.-% Luftsauerstoff.
- Butan erlischt bei 12 Vol.-%.
- Wasserstoff erlischt erst bei 5 Vol.-%.

Durch eine geringere Sauerstoffkonzentration wird nicht nur die Verbrennungsgeschwindigkeit verringert, es kommt auch je nach Art der brennbaren Stoffe zur Bildung des gefährlichen CO. Höhere Verbrennungsgeschwindigkeiten lassen sich erzielen mit

reinem gasförmigen Sauerstoff oder mit mit Sauerstoff angereicherter Luft. Noch höhere Verbrennungsgeschwindigkeiten werden erreicht mit verdichtetem oder flüssigem Sauerstoff bzw. flüssigem Ozon. Flüssiger Sauerstoff und flüssiges Ozon werden wegen ihrer großen Reaktionsgeschwindigkeit auch für Raketentreibstoffe verwendet. Flüssiger Sauerstoff kommt in Verbindung mit Kohlepulver, Holzmehl und ähnlichen Stoffen als sogenannter Oxyliquitsprengstoff zur Anwendung. Ozon ist so reaktionsfreudig, dass sich Stoffe wie Äthanol, Äther usw. bei Kontakt mit Ozon sofort entzünden.

2.4.5 Sauerstoff – Seite 2 – 01.04.2010 >>

Alle Sauerstoff-Apparate fett- und ölfrei halten

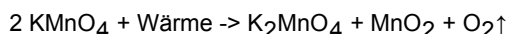
Da die Verbrennungsgeschwindigkeit des reinen Sauerstoffs bei der Reaktion mit brennbaren Stoffen sehr groß ist, muss mit reinem Sauerstoff besonders vorsichtig umgegangen werden. Öle und Fette können sich in Sauerstoff ohne äußere Erwärmung selbst entzünden. Daher müssen alle Sauerstoff-Apparate, -Armaturen und -Rohrleitungen fett- und ölfrei gehalten werden. Die fahrlässige Verwendung von reinem, verdichtetem Sauerstoff hat schon in vielen Fällen zu Schadensereignissen geführt.

Beispiele:

Durch eine »Luftverbesserung« in engen Räumen, Tanks, Schächten, Kanälen konnten oft brennbare Gas-Luft-Gemische nicht nur schneller entzündet werden, sondern brannten auch schneller ab.

Eine Unsitte bei Schweißarbeiten ist das Reinigen und Ausblasen der Kleidung mit Sauerstoff, auch normalerweise schwer entflammbare Kleidung kann dadurch zu einer intensiven Verbrennung gelangen.

Der Sauerstoff wird in vielen Fällen auch aus seinen chemischen Verbindungen heraus als Oxidationsmittel verwendet. Sehr sauerstoffreiche Verbindungen, die als Oxidationsmittel verwendet werden, sind z.B. Peroxide, Nitrate und Chlorate. Andere sauerstoffhaltige Oxidationsmittel geben ihren Sauerstoff beim Erwärmen leicht ab. Dies ist beispielsweise beim Kaliumpermanganat der Fall:



Der Nachweis dieser Reaktion lässt sich sehr leicht führen, indem man etwas Kaliumpermanganat in einem Reagenzglas über dem Bunsenbrenner erwärmt. Der frei werdende Sauerstoff bringt einen glimmenden Holzspan innerhalb des Reagenzglases zum intensiven Brennen.

Leichtmetallbrände nicht mit Wasser oder Kohlendioxid löschen

Bei hohen Temperaturen können aber auch solche Stoffe wie Wasser und Kohlendioxid, die normalerweise nicht als Oxidationsmittel bekannt sind, ihren Sauerstoff abgeben. So dürfen Leichtmetallbrände (z.B. bei Aluminium und Magnesium) wegen der sehr hohen Brandtemperaturen nicht mit Wasser oder Kohlendioxid gelöscht werden. Es würde sonst zu explosionsartigen Reaktionen kommen. Schließlich sei noch bemerkt, dass auch Eisenoxid, wie beim aluminothermischen Schweißen (Thermit), als Oxidationsmittel eingesetzt werden kann.

2.4.5 Sauerstoff – Seite 3 – 01.04.2010 << >>

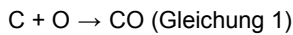
2.4.5.1 Richtiges Mengenverhältnis

Zum besseren Verständnis folgen an dieser Stelle einige Vorbemerkungen über chemische Gesetzmäßigkeiten.

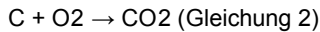
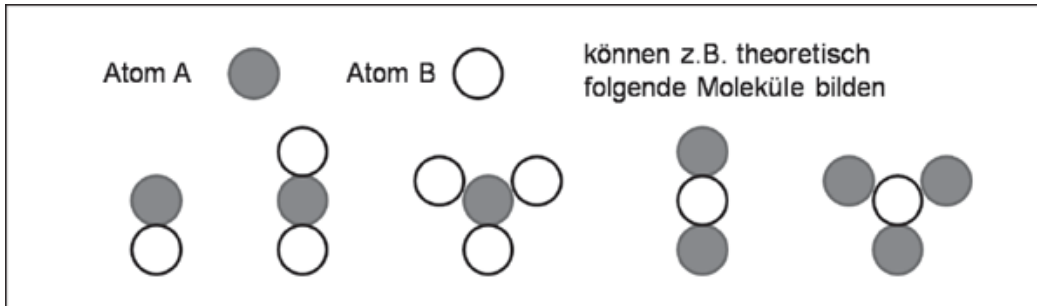
Bei der chemischen Verbindung zweier Elemente verbindet sich jedes Atom eines Elementes mit entweder einem oder mehreren Atomen des anderen.

Beispiel 1:

Chemische Verbindung von Kohlenstoff und Sauerstoff



oder

**Beispiel 2:****Abb. 1: Beispiele für Molekülbildung**

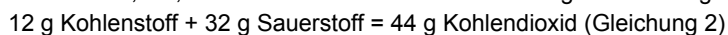
Jedes Atom besitzt seine eigene charakteristische Masse, seine Atommasse. Die Gesamtmasse der Reaktionspartner bleibt bei einer chemischen Reaktion unverändert. Infolgedessen muss auch jede chemische Reaktion nach genau vorbestimmten Massenverhältnissen erfolgen. Daraus ergibt sich das Gesetz der konstanten und multiplen Proportionen. Chemische Elemente vereinigen sich stets nur in bestimmten Massenverhältnissen oder deren ganzzahligen Vielfachen zu Verbindungen. Man spricht in diesem Zusammenhang auch vom sogenannten stöchiometrischen Mengenverhältnis.

Beispiel:

Chemische Verbindung von Kohlenstoff und Sauerstoff

Wenn an dem Beispiel des Kohlenstoffs und des Sauerstoffs nach Gleichung 1 sich ein Atom Kohlenstoff mit einem Atom Sauerstoff zu einem Molekül Kohlenmonoxid vereinigt, dann reagieren die Elemente miteinander im Verhältnis ihrer Atommassen 12:16. Aus 12 Massenteilchen Kohlenstoff und 16 Massenteilen Sauerstoff entstehen also 28 Massenteilchen Kohlenmonoxid. Setzt man als Massenteil nun die Einheit der Masse,

das Gramm, ein, so kommt man nach den beiden obigen Gleichungen zu folgender Aussage:



Die auf die Atommasse bezogene Gramm-Menge eines Elementes wird als Gramm-Atom dieses Elementes bezeichnet. Ein Gramm-Atom eines Elementes ist diejenige Menge in Gramm, deren Maßzahl gleich der Atommasse ist.

Ein Mol oder ein Gramm-Molekül einer chemischen Verbindung ist diejenige Menge in Gramm, deren Maßzahl gleich der Molekülmasse ist.

Beispiele:

$$1 \text{ Mol O}_2 = 32 \text{ g}$$

$$1 \text{ Mol CO} = 28 \text{ g}$$

$$1 \text{ Mol CO}_2 = 44 \text{ g}$$

$$1 \text{ Gramm-Atom C} = 12 \text{ g}$$

$$1 \text{ Gramm-Atom O} = 16 \text{ g}$$

Ein Gramm-Atom bzw. ein Mol eines Stoffes besteht stets aus der gleichen Anzahl Atome bzw. Moleküle, nämlich $6,02295 \cdot 10^{23}$.

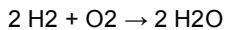
Diese Zahl wird als Avogadro-Zahl bezeichnet.

Von daher behält das Gesetz der konstanten und multiplen Proportionen seine Gültigkeit, unabhängig davon, ob man die Betrachtungen der chemischen Verbindungen zweier Elemente nur auf einzelne Atome und Moleküle oder auf das Gramm-Atom und das Mol bezieht.

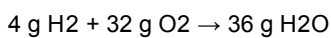
Das stöchiometrische Mengenverhältnis chemischer Reaktionen von gasförmigen Stoffen lässt sich nicht nur durch die Angabe von Massen bestimmen, sondern auch durch Angabe der miteinander reagierenden Volumina. Ein Mol eines Gases nimmt unter Normalbedingungen (0 °C und 1,013 bar) ein Volumen von 22,4129 l ein. Dieses Volumen wird als Molvolumen bezeichnet. In diesem Molvolumen eines Gases befinden sich $6,02295 \cdot 10^{23}$ Moleküle.

Beispiel:

Chemische Verbindung des Wasserstoffs mit dem Sauerstoff

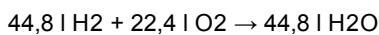


Unter Betrachtung der Massen



läuft diese chemische Verbindung im Verhältnis 1:8 ab.

Unter Betrachtung der Volumina



vereinigen sich die Reaktionspartner dagegen im Verhältnis 2: 1.

2.4.5 Sauerstoff – Seite 5 – 01.04.2010 << >>

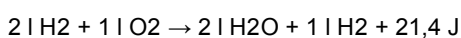
Es kann nur brennen, wenn das richtige Mengenverhältnis der am Brennen beteiligten Reaktionspartner vorhanden ist. Die Beurteilung der Gefahren, die sich durch die Bildung von Gemischen aus brennbaren Gasen oder Dämpfen brennbarer Flüssigkeiten und Luft ergeben, wird durch folgende Kenngrößen bestimmt:

- Explosionsbereich
- Flammpunkt
- Dampfdichte
- Siedepunkt
- Verdunstungszahl
- Diffusionskoeffizient

Diese Kenngrößen werden im Folgenden näher beschrieben.

Wenn Wasserstoff und Sauerstoff im stöchiometrischen Verhältnis miteinander reagieren, dann wird theoretisch die maximale Wärmetönung erreicht.

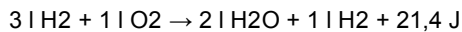
Beispiel 1:



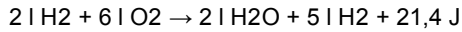
Wie reagieren aber Wasserstoff und Sauerstoff miteinander, wenn das stöchiometrische Mengenverhältnis nicht eingehalten wird, wie in den beiden folgenden Beispielen mit einem Wasserstoffanteil von 75 Vol.-% bzw. 25 Vol.-%?

Beispiel 2:

Gemisch fetter

**Beispiel 3:**

Gemisch magerer



In allen drei Beispielen können maximal nur 2 l H₂O entstehen und eine Wärmemenge von 21,4 J frei werden. Um eine eindeutige Aussage über die Reaktionsabläufe zu machen, muss die frei werdende Wärmemenge auf das Gesamtvolumen der Ausgangsstoffe bezogen werden. In den drei Beispielen liegen Ausgangsvolumen von 3, 4 und 8 l vor. Umgerechnet auf ein einheitliches Ausgangsvolumen von 1 l Ausgangsstoff ergeben sich folgende Wärmemengen:

2.4.5 Sauerstoff – Seite 6 – 01.04.2010 << >>

- im Beispiel 1: 66,7 Vol.-% Wasserstoff mit 7,1 J/Ausgangsvolumen,
- im Beispiel 2: 75 Vol.-% Wasserstoff mit 5,3 J/Ausgangsvolumen,
- im Beispiel 3: 25 Vol.-% Wasserstoff mit 2,7 J/Ausgangsvolumen.

Hieraus muss also geschlossen werden:

- Ist das Gemisch fetter, wie im Beispiel 2, wird die Verbrennungsgeschwindigkeit verringert.
- Ist das Gemisch magerer, wie im Beispiel 3, wird die Verbrennungsgeschwindigkeit ebenfalls verringert.

Jeder Überschuss des einen oder anderen Stoffes wirkt sich hemmend auf den Vorgang des Brennens aus. Ein zu großer Überschuss eines Reaktionspartners macht die Entzündung sogar unmöglich. Jeder Überschuss des einen oder anderen Reaktionspartners hat im Grunde auf den Verbrennungsvorgang die gleiche hemmende Wirkung wie die Anwesenheit eines fremden, an der Reaktion nicht beteiligten Stoffes, wie z.B. der Stickstoff oder das Kohlenmonoxid.

Tab. 1: Flammpunkte brennbarer Flüssigkeiten

Stoffe	Flammpunkt in °C
Äther	-20
Alkohol	+20
Benzine	-45 bis +55
Dieselmotorenkraftstoff	+55
Schmieröl	+220
Teer	+90

2.4.5.2 Flammpunkt

Der Flammpunkt ist ein Maß für die Entflammbarkeit der Dämpfe brennbarer Flüssigkeiten durch Fremdzündung. Unter dem Flammpunkt versteht man die niedrigste Temperatur einer Flüssigkeit, bei der unter festgelegten Bedingungen über dem Flüssigkeitsspiegel bereits ein Dampf-Luft-Gemisch entsteht, das durch eine Fremdzündung entzündet werden kann.

Wie aus Tabelle 1 ersichtlich wird, haben die brennbaren Flüssigkeiten ganz unterschiedliche Flammpunkte.

Der folgende Versuch soll die Bedeutung des Flammpunktes näher erläutern.

2.4.5 Sauerstoff – Seite 7 – 01.04.2010 << >>

Versuch:

Für diesen Versuch wird der in Tabelle 1 aufgeführte Dieseldieselkraftstoff verwendet. Bei normaler Temperatur gelingt es nicht, Dieseldieselkraftstoff in einem Behälter mit einem brennenden Holzspan zu entzünden. Man kann bei normaler Temperatur sogar den brennenden Holzspan durch Eintauchen in die Flüssigkeit löschen. Die brennbaren Flüssigkeiten brennen nämlich nicht selbst, sondern nur ihre Dämpfe. Dieseldieselkraftstoff bildet aber erst durch Erwärmen oberhalb von 55 °C, je nach Zusammensetzung z.B. bei 70 °C, so viel Dämpfe, dass diese im Gemisch mit Luft die untere Explosionsgrenze erreichen und erst dann entzündet werden können.

Mit dem Flammpunkt als Flüssigkeitstemperatur erfolgt also eine Konzentrationsangabe für die oberhalb der Flüssigkeit vorhandenen Dämpfe. Dieses Gemisch kann zum kurzen Aufflammen gebracht werden. Bei dieser Flüssigkeitstemperatur werden aber noch nicht genug Dämpfe so schnell nachentwickelt, dass ein ständiges Brennen gewährleistet ist. Die Flamme erlischt. Erst wenn die Flüssigkeit auf ihren Brennpunkt erwärmt wird, ist ein ständiges Brennen möglich. Der Brennpunkt gibt die niedrigste Temperatur einer Flüssigkeit an, bei der bereits so viel brennbare Dämpfe entwickelt werden, dass eine einmal eingeleitete Verbrennung dieses Dampf-Luft-Gemisches auch dann weitergeht, wenn die Zündquelle entfernt wird. Flammpunkt und Brennpunkt sind also verschiedene Temperaturen. Die Differenz zwischen Flamm- und Brennpunkt ist umso größer, je höher der Flammpunkt einer Flüssigkeit liegt. Bei der Beurteilung der Brand- und Explosionsgefahren von brennbaren Flüssigkeiten wird daher nicht der Brennpunkt, sondern der Flammpunkt herangezogen. Der Flammpunkt entspricht in etwa dem unteren Explosionspunkt.

Die Dampfdichte gibt die Dichte eines Stoffes im dampf- oder gasförmigen Aggregatzustand bezogen auf Luft des gleichen Zustandes an. Die meisten Gase, mit Ausnahme von z.B. Wasserstoff, Methan, Acetylen, Kohlenmonoxid, haben eine höhere Dichte als Luft. So ist es erklärlich, dass sich z.B. die schweren Kraftstoffdämpfe über große Entfernungen am Boden ausbreiten, sich in Vertiefungen ansammeln und durch Zündquellen entzündet werden können, die weit von ihrer Ausströmungsquelle entfernt liegen.

Als Siedepunkt gilt die Temperatur, bei der der Dampfdruck des betreffenden Stoffes 1,013 bar (760 Torr) beträgt.

Die Verdunstungszahl liefert einen Anhalt dafür, innerhalb welcher Zeit (vom Augenblick der Entstehung einer freien Flüssigkeitsoberfläche an der Luft) die Bildung eines explosionsfähigen Gemisches zu erwarten ist.

Der Diffusionskoeffizient bildet ein Maß für die Menge eines Gases, die in einer bestimmten Zeiteinheit in ein anderes Gas hineindiffundiert. Mit Hilfe des Diffusionskoeffizienten ist eine vergleichende Aussage über die Geschwindigkeit möglich, mit der ein Gas oder Dampf sich mit Luft vermischt und eine explosive Atmosphäre bilden kann.

2.4.5 Sauerstoff – Seite 8 – 01.04.2010 << >>

2.4.5.3 Zündenergie

Nach den brennbaren Stoffen, dem Sauerstoff und dem richtigen Mengenverhältnis ist die Zündenergie als vierte Vorbedingung für ein Brennen anzusehen. Selbst wenn ein brennbarer Stoff und ein Oxidationsmittel im richtigen Mengenverhältnis vorliegen, ergibt sich nämlich in den meisten Fällen daraus noch keine selbstständig ablaufende exotherme Reaktion mit Feuererscheinung. Nur in seltenen Fällen ist unter normalen Bedingungen eine spontane Reaktion möglich. Man spricht in diesen Fällen von einer Selbstentzündung. Entsprechende Gemische, die sofort miteinander in einer Selbstentzündung reagieren, bezeichnet man als ungehemmte Systeme, z.B. Phosphor mit Sauerstoff oder Kalium mit Wasser. Meistens können jedoch brennbare Stoffe und Sauerstoff jahrelang nebeneinanderliegen, ohne dass eine sichtbare Reaktion eintritt. Erst durch die Zufuhr einer bestimmten Mindestenergie ist es möglich, eine sichtbare Reaktion einzuleiten, die dann auch selbstständig weiterläuft. In diesem Fall muss also eine Fremdzündung angewendet werden. Gemische, deren Entzündung nur durch eine von außen zugeführte Zündenergie möglich ist, werden als gehemmte oder gebremste Systeme bezeichnet. Durch die zugeführte Energie wird die Reaktionsgeschwindigkeit in dem System erhöht bzw. werden die Reaktionspartner aktiviert. Die Zündenergie, die erforderlich ist, um eine unter normalen Bedingungen noch ohne Feuererscheinung ablaufende Oxidation in eine schnelle Oxidation mit Feuererscheinung zu überführen, wird als Aktivierungsenergie oder Mindestzündenergie bezeichnet.

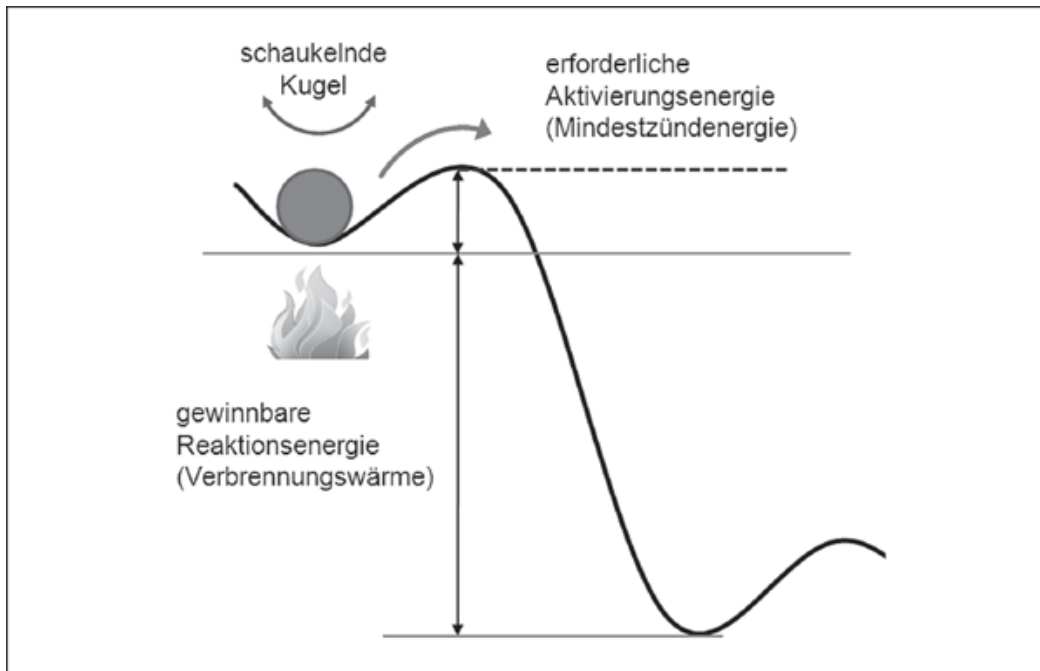


Abb. 2: Mechanisches Modell für den Entzündungsvorgang

Eine bildliche Vorstellung über den Vorgang der Entzündung soll das folgende Beispiel aus der Mechanik geben (s. Abbildung 2). Durch Zufuhr von Wärme kommt die Kugel in der Energiemulde zum Schaukeln. Nur

2.4.5 Sauerstoff – Seite 9 – 01.04.2010 << >>

durch Zufuhr einer bestimmten Energiemenge kann der Berg überrollt werden. Dem gehemmten System muss also eine bestimmte Aktivierungsenergie zugeführt werden, bevor eine Reaktionsenergie gewonnen werden kann. Dies ist eine stark vereinfachte Modellvorstellung des sehr komplizierten Vorganges der Entzündung. Da das Entzünden letztlich das Erreichen einer bestimmten Oxidationsgeschwindigkeit darstellt, ist dieser Vorgang wie die Oxidationsgeschwindigkeit selbst von vielen Größen abhängig. Im Folgenden werden wir uns im Einzelnen näher befassen

- mit der Zündtemperatur,
- der Mindestzündenergie und
- der Herkunft der Zündenergie bzw. der Zündquelle.

In der Praxis reicht es meist aus, wenn der Vorgang der Entzündung in Abhängigkeit von der Zündtemperatur beschrieben wird. Während es für die Bestimmung der Zündtemperatur kompakter fester Stoffe zurzeit kein allgemeingültiges Normverfahren gibt, wird die Zündtemperatur einer explosionsfähigen Atmosphäre nach DIN EN 14522 »Bestimmung der Zündtemperatur von Gasen und Dämpfen« definiert. Danach wird die Temperatur als Zündtemperatur festgelegt, bei der in einem Zündgefäß während eines Zündvorganges von höchstens fünf Minuten eine Reaktion des Gemisches unter Flammenerscheinung einsetzt. Die Zündtemperatur einer explosionsfähigen Atmosphäre ist die niedrigste Temperatur einer erhitzten Wand, an der die am leichtesten entzündbare explosionsfähige Atmosphäre gerade noch zum Brennen angeregt wird.

Die Zeit zwischen dem Einbringen des Gemisches in das Zündgefäß und der deutlich wahrnehmbaren Flammenerscheinung wird als Zündverzug bezeichnet. Der Zündverzug kann Bruchteile einer Sekunde bis mehrere Minuten betragen; in der Regel ist er kleiner als drei Minuten. Bei höheren Temperaturen entzündet sich ein und derselbe Stoff rascher als bei niedrigeren Temperaturen.

Es kann sein, dass eine Entzündung aufgrund einer zu geringen Einwirkungsdauer der Zündtemperatur nicht zustande kommt. Dies liegt an der Abhängigkeit des Zündverzuges von der Höhe der einwirkenden Temperatur. Von bestimmten Zündquellen gehen nur kurzzeitig Energieeinflüsse aus. Um diese Tatsache bei der Beurteilung der Entzündbarkeit von Stoffen mit zu berücksichtigen, wird neben der Zündtemperatur die Mindestzündenergie als Beurteilungskriterium herangezogen. Die Mindestzündenergie ist die Zündenergie, durch die ein brennbarer Stoff gerade noch entzündet werden kann. Sie dient also zur Kennzeichnung der Entzündbarkeit eines brennbaren Stoffes. Bei explosionsfähigen Stoffen ist die Mindestzündenergie extrem niedrig. Bei festen Stoffen ist sie wesentlich größer. Es müssen nämlich durch die Einwirkung der Zündenergie erst so viele brennbare Gase frei werden und anschließend brennen, dass eine selbstständig ablaufende Reaktion möglich ist.

Die Mindestzündenergie spielt deshalb insbesondere eine Rolle für die Verhinderung von Zündungen von explosionsfähigen Gemischen, die bereits durch sehr kleine Zündquellen wie elektrische und mechanische Funken oder sonstige glühende Teilchen ausgelöst werden können. Elektrische Funken sind hinsichtlich ihrer Zündfähigkeit mit mechanischen Funken vergleichbar. Leider liegen bisher nur für wenige Stoffe solche elektrischen Mindestzündenergien vor, die nach einem besonderen Verfahren ermittelt werden.

Die Mindestzündenergien der gesättigten Kohlenstoffe liegen etwa in der Größenordnung von 0,2 mJ. Bei Kohlenwasserstoffen mit Doppel- und auch Dreifach-Bindungen sinken diese Werte bis auf etwa 0,02 mJ. Insbesondere muss auf den Wasserstoff mit extrem niedrigen Mindestzündenergien von 0,019 mJ und 0,009 mJ hingewiesen werden. Dabei ist die Zündtemperatur von Wasserstoff mit 560 °C verhältnismäßig hoch und die von Schwefelkohlenstoff mit etwa 102 °C extrem niedrig.

Tab. 2: Zündtemperatur und Mindestzündenergie

Stoffe	Zündtemperatur in °C	Mindestzündenergie in mJ
<i>Gase:</i>		
Acetylen	305	0,019
Butan	400	0,25
Wasserstoff	560	0,019
Stadtgas	560	
<i>Dämpfe:</i>		
Alkohol	425	
Benzine	220-450	
Dieselmotoren	220-350	
Schwefelkohlenstoff	102	0,009
<i>feste Stoffe:</i>		
Holz	280-340	2.4.5 Sauerstoff – Seite 11 – 01.04.2010 << >>
Steinkohle	350	
Phosphor, weiß	30	
Nitroglyzerin	160	

Nach der Norm DIN 14010 »Angaben zur statistischen Erfassung von Bränden« wird die Herkunft der Zündenergie nach den folgenden vier Energiearten unterschieden:

- Wärmeenergie
- elektrische Energie
- mechanische Energie
- chemische Energie

Der Gruppe Wärmeenergie werden unter anderem folgende Zündquellen zugeordnet: Feuerstätten, Verbrennungsmotoren, Beleuchtungsgeräte mit festen, flüssigen oder gasförmigen Brennstoffen, offenes Licht, Zündhölzer, Funkenflug und Flugfeuer. Nicht nur offene Flammen und glühende Stoffteilchen, in vielen Fällen reichen auch schon heiße Oberflächen fester Stoffe oder auch heiße Flüssigkeiten und Gase mit Temperaturen von nur 100, 200 oder 300 °C aus, um viele Stoffe zur Entzündung zu bringen. Viele dieser Entzündungsvorgänge werden durch einen Wärmestau begünstigt.

2.4.5.4 Zündquellen mit elektrischer Energie

Zündquellen mit elektrischer Energie können sein:

- elektrische Wärme- und Beleuchtungsgeräte
- Kurzschluss
- Erdschluss
- Blitzeinschlag
- Entladung statischer Elektrizität

Elektrische Wärmegeräte können in der Nähe befindliche brennbare Stoffe durch die absichtlich erzeugte Nutzwärme zur Entzündung bringen. Ebenso können elektrische Beleuchtungsgeräte durch die anfallende Wärme in der Nähe befindliche brennbare Stoffe zur Entzündung bringen. Beim Durchfluss von elektrischem Strom durch Leitungen wird ebenfalls Wärme erzeugt. Bei richtiger Dimensionierung und ordnungsgemäßem Zustand der Anlage werden brandgefährliche Temperaturen ausgeschlossen. Verbindungsstellen sind, wenn sie nicht gelötet, sondern nur verschraubt, geklemmt oder durch Federdruck hergestellt sind, besondere Gefahrenpunkte mit erhöhter Wärmeleistung.

Eine Zündquelle, die ebenfalls beachtet werden muss, stellen Funken dar, die durch elektrostatische Aufladung entstehen können. Sie treten theoretisch bei jeder Trennung fester und flüssiger Stoffe auf:

- Abwickeln von Papier, Geweben, Gummi, Kunststoffen von Walzen und Rollen
- Abziehen einer Folie von ihrer Unterlage

2.4.5 Sauerstoff – Seite 12 – 01.04.2010 << >>

- Reiben, Sieben, Mahlen und Brechen fester Stoffe
- Strömen und Zerstäuben von Flüssigkeiten

Eine rechnerische Ermittlung der durch elektrostatische Aufladung bestehenden Gefahrensituation ist im Einzelfall nur sehr schwer möglich oder unmöglich. Grundsätzlich kann man aber Folgendes feststellen:

Die Aufladung eines Stoffes ist umso größer,

- je kleiner die Leitfähigkeit des Stoffes ist,
- je besser der Stoff gegen Erde isoliert ist,
- je größer die Geschwindigkeit ist, mit der sich die Stoffe voneinander trennen,
- je inniger die Berührung der Teile vor der Trennung war.

Um gefährliche Aufladungen zu vermeiden, haben sich im Allgemeinen folgende Maßnahmen bewährt:

- Erden aller leitenden Teile
- gegeneinanderbewegte Teile leitfähig machen
- Erhöhen der relativen Luftfeuchtigkeit

- Ionisieren der Luft

Zündquellen der mechanischen Energie

Zündquellen in der Gruppe der mechanischen Energie ergeben sich durch Reibung, Schlag, Stoß, Schleifen und Kompression. Bei Reib-, Schlag-, Stoß- und Schleifvorgängen wird mechanische Energie in Wärmeenergie umgewandelt. Die dabei teilweise entstehenden Funken sind in ihrer Zündwirkung den Entladungsfunken elektrischer Stromkreise vergleichbar. Auch mit so genannten funkensicheren Werkstoffen können zündfähige Funken erzeugt werden, wenn mit diesen weichere Werkstoffe bearbeitet werden. Eine Entzündung von brennbaren Stoffen kann auch durch adiabatische Kompression erfolgen. Die sich daraus ergebende Temperatursteigerung kann auch beim Betätigen einer Fahrradpumpe festgestellt werden. Unerwünschte Zündungen durch Kompressionswärme sind gefürchtet in Luftverdichtern und in ölhydraulischen Anlagen mit Druckluftgaspolster.

Entzündungsvorgänge durch chemische Energie

Unter den Entzündungsvorgängen durch chemische Energie sind Selbstentzündungen und andere exotherme Reaktionen zusammengefasst. Unter Selbstentzündung versteht man eine Entzündung ohne Energiezufuhr von außen. Eine Selbstentzündung kann beispielsweise auftreten infolge einer Oxidation, einer Zerfallsreaktion oder einer Polymerisation. Eine Selbstentzündung infolge einer Oxidation kann nur eintreten, wenn ne-

2.4.5 Sauerstoff – Seite 13 – 01.04.2010 << >>

ben den normalen vier Vorbedingungen des Brennens noch zwei weitere Voraussetzungen erfüllt sind:

- Der brennbare Stoff muss bereits bei normaler Temperatur merklich oxidieren.
- Die Wärme, die bei der Oxidation erzeugt wird, muss gestaut bleiben.

Nach der van't Hoff'schen Regel führt jede (z.B. durch einen Wärmestau) erfolgte Temperatursteigerung je 10 °C zu einer Verdoppelung bis Verdreifachung der Oxidationsgeschwindigkeit.

2.4.5 Sauerstoff – Seite 14 – 01.04.2010 << >>

Bearbeitungsdatum: Dezember 2016