

Dillberg 15  
D-97828 Marktheidenfeld  
Tel. 09391/4052  
Fax. 09391/8583  
Email: erbstoesser@t-online.de

Technisches Büro Sachsen  
Am Markt 4  
09390 Meinersdorf  
Tel. 03721/86651  
Fax. 03721/86741

Stand 09/1998

## Brände und Explosionen

### - Zusammenfassung der physikalischen Grundlagen -

<b>Brände und Explosionen</b>	<b>1</b>
<b>Verbrennungsvorgang</b>	<b>1</b>
<b>Sauerstoff</b>	<b>2</b>
Erhöhte Sauerstoffkonzentration	2
<b>Entzündlichkeit, Brennbarkeit von Stoffen</b>	<b>3</b>
<b>Brennbarkeit und Oberfläche</b>	<b>3</b>
Brennbare, feste Stoffe	3
Brennbare Flüssigkeiten	3
Brennbare Gase und Stäube	4
<b>Zündtemperatur und Zündenergie</b>	<b>4</b>
<b>Explosionsfähige Gemische und Explosionsgrenzen</b>	<b>4</b>
Untere und obere Explosionsgrenze	4
Verbrennungsgeschwindigkeit	5
Das wichtige Dichteverhältnis von brennbaren Stoffen	6
<b>Mögliche technische Schutzmaßnahmen</b>	<b>6</b>
<b>Selbstschließende Deckel und Überdruckausgleich</b>	<b>6</b>
<b>Flammensperren</b>	<b>6</b>
<b>Löschköpfe für Papierbehälter</b>	<b>6</b>
<b>Isolierung</b>	<b>7</b>
<b>Weitere, von Erbstößer empfohlene Literaturhinweise</b>	<b>7</b>

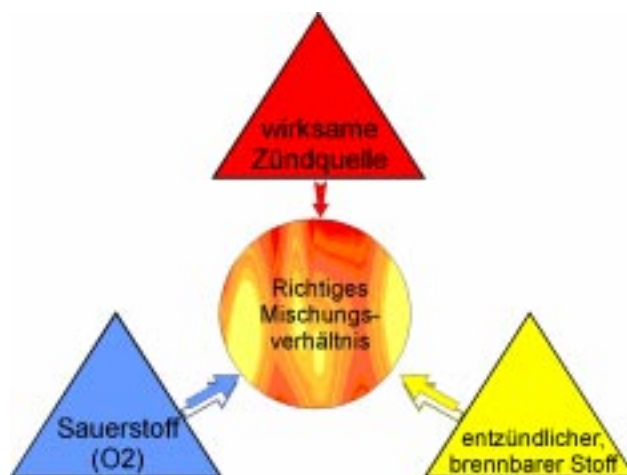
### **Verbrennungsvorgang**

Ein Verbrennungsvorgang ist eine chemische Reaktion, bei der ein brennbarer Stoff eine Verbindung mit Sauerstoff unter Abgabe von Wärme und meist auch von Licht eingeht. Die Verbrennung schreitet selbständig fort, wenn in der Zeiteinheit mehr Wärme produziert als verbraucht und abgegeben wird. Der Verbrennungsvorgang (Oxidation) muß im allgemeinen durch eine Zündquelle eingeleitet werden. Ein Brand ist, als Begriff aus dem Versicherungswesen, ein Feuer, das ohne einen bestimmungsgemäßen Herd entstanden ist oder diesen verlassen hat und sich aus eigener Kraft auszubreiten vermag (Schadenfeuer).

Für einen Verbrennungsvorgang müssen drei Voraussetzungen gleichzeitig erfüllt sein:

- Sauerstoff O<sub>2</sub>
- entzündlicher Stoff
- wirksame Zündquelle

Hinzu kommt das richtige Mischungsverhältnis zwischen brennbarem Stoff und Sauerstoff, mit dem wir uns noch später eingehender beschäftigen werden.



**Diagramm 1: Flammdreieck**

Ohne eines dieser Elemente des „Flammdreiecks“ ist eine Verbrennung nicht möglich. Man nutzt dies um eine Verbrennung zu stoppen, einen Brand zu bekämpfen oder diesen nicht entstehen zu lassen. Brandbekämpfung, in dem man dem Feuer eines der Elemente entzieht, kann evtl. durch eine Unterkühlung ergänzt werden.

### **Sauerstoff**

Sauerstoff ist ein farbloses, geruchloses, ungiftiges und nicht brennbares Gas, das brandfördernd wirkt. Sauerstoff ist in der Luft zu ca. 21% vol. enthalten. **Wenn der Sauerstoffanteil auf 15% absinkt, erlöschen Flammen und es besteht Lebensgefahr durch Ersticken.**

### **Erhöhte Sauerstoffkonzentration**

Sauerstoff erhöht die Brandgefahr, wenn sein Anteil in der Luft über den Normalwert von 21% ansteigt. So können auch Stoffe aufflammen, die in der üblichen Atmosphäre als schwer entflammbar gelten.

Erhöhte Sauerstoffkonzentration macht Verbrennungsvorgänge heller, heißer und schneller. So wird das Entzünden erleichtert, der Verbrennungsvorgang um ein vielfaches beschleunigt und die Verbrennungstemperatur erheblich gesteigert

Achtung! Dieses Schreiben behandelt den Themenbereich nur grob. Wir haben uns bemüht, die physikalischen Grundlagen zusammenzufassen und Vorschriften wörtlich zu zitieren oder sinngemäß wiederzugeben. Da auch wir nur Menschen sind, kann sich natürlich ein Fehler eingeschlichen haben. Deshalb: Auf Vollständigkeit und Richtigkeit kann keine Gewähr übernommen werden.

### **Entzündlichkeit, Brennbarkeit von Stoffen**

Gefahrstoffe unterteilt man nach Gefahrstoff-Verordnung in

- explosionsgefährlich
- brandfördernd
- hochentzündlich
- leicht entzündlich
- entzündlich

### **Brennbarkeit und Oberfläche**

#### **Brennbare, feste Stoffe**

Brennbare, feste Stoffe können in Form von kompakten Massen, Spänen, Fasern, Körnern, Pulver u. Staub, d. h. mit unterschiedlicher Oberflächengröße vorliegen. Je größer die Oberfläche bei kleiner Stoffmenge ist, um so leichter kann eine Reaktion mit Luft/Sauerstoff erfolgen. Holzwolle ist leichter zu entzünden als ein Holzsplit - Holzstaub, gut gemischt mit Luft, kann explosionsartig verbrennen.

#### **Brennbare Flüssigkeiten**

Flüssigkeiten selbst können nicht entzündet werden. Sind Teile davon fein verteilt (z. B. versprüht oder in Form von Aerosolen), lassen sich die entstehenden Dämpfe und Nebel im Gemisch mit Sauerstoff oder Luft entzünden. Die Vergrößerung der Oberfläche führt hier ebenfalls zur Erhöhung der Brennbarkeit. Je nach Mischungsverhältnis zwischen brennbaren Dämpfen und Sauerstoff, liegt evtl. ein explosionsfähiges Gemisch vor, wenn jedes Dampfteilchen in seiner Umgebung ausreichend Sauerstoff „zur Verfügung“ hat und daher die Verbrennung aller Dampfteilchen fast gleichzeitig erfolgen kann.

Brennbare Flüssigkeiten werden nach der Verordnung über brennbare Flüssigkeiten (VbF) wie folgt eingeteilt:

Brennbare Flüssigkeiten im Sinne der VbF sind Stoffe mit einem Flammpunkt, die bei 35°C weder fest, noch salbenförmig sind, bei 50°C einen Dampfdruck von 3 bar oder weniger haben und einer der nachstehenden Gefahrenklassen A oder B angehören.

Gruppe A: Flüssigkeiten, die einen Flammpunkt nicht über 100°C haben und hinsichtlich der Wasserlöslichkeit nicht die Eigenschaften der Gruppe B aufweisen.

Gruppe B: Flüssigkeiten mit einem Flammpunkt unter 21°C, die sich bei 15°C in jedem beliebigen Verhältnis mit Wasser lösen oder deren brennbare flüssige Bestandteile sich bei 15°C in jedem beliebigen Verhältnis in Wasser lösen (z. B. Alkohole)

Achtung! Dieses Schreiben behandelt den Themenbereich nur grob. Wir haben uns bemüht, die physikalischen Grundlagen zusammenzufassen und Vorschriften wörtlich zu zitieren oder sinngemäß wiederzugeben. Da auch wir nur Menschen sind, kann sich natürlich ein Fehler eingeschlichen haben. Deshalb: Auf Vollständigkeit und Richtigkeit kann keine Gewähr übernommen werden.

Die Gruppe A unterteilt man zusätzlich in folgende Gefahrenklassen:

Gefahrklasse A I	Flüssigkeiten mit einem Flammpunkt unter 21°C. Diese Flüssigkeiten bilden schon bei Zimmertemperatur brennbare Dämpfe.
Gefahrklasse A II	Flüssigkeiten mit einem Flammpunkt von 21 - 55°C. Diese Flüssigkeiten entwickeln bei höheren Temperaturen ausreichend viel brennbare Dämpfe, sofern der Flammpunkt im unteren Bereich dieser Grenzen liegt
Gefahrklasse A III	Flüssigkeiten mit einem Flammpunkt zwischen 55 und 100°C. Unter normalen Umständen ist eine Entflammung nicht möglich, da diese Flüssigkeiten nur bei Erwärmung brennbare Dämpfe in ausreichender Menge bilden. Für eine Entflammung ist es erforderlich, die Oberfläche z. B. durch Versprühen zu vergrößern. Unter diese Flüssigkeiten fällt z. B. Diesel (ohne Zumischungen), aber auch einige Rostlöser, welche im Anwendungsfall versprüht werden können - also auch hier Vorsicht!

### **Brennbare Gase und Stäube**

Brennbare Gase besitzen keinen Flammpunkt, da sie bei normaler Temperatur in gasförmigem Zustand vorliegen und sich nicht erst bei einer bestimmten Temperatur aus Flüssigkeit entwickeln.

Stäube sind schwebfähige Teile von festen Stoffen. Brennbare Stäube sind Stäube von oxidierbaren Stoffen.

### **Zündtemperatur und Zündenergie**

Die Zündtemperatur eines brennbaren Stoffes ist die niedrigste Temperatur, bei der das zündwilligste Gemisch eines Stoffes in Form von Gas, Dampf, Nebel oder Staub mit Luft unter festgelegten Bedingungen gerade noch zur Explosion gebracht werden kann. Zündtemperaturen können also nur für brennbare Gase und Stäube sowie für Dämpfe brennbarer Flüssigkeiten angegeben werden.

Die Mindestzündenergie eines Stoffes ist die Energie eines elektrischen Funkens, der das Brennstoff-Luftgemisch bei optimaler Zusammensetzung zu zünden vermag.

Die Höhe der Zündtemperatur eines Stoffes sagt nichts über die Höhe der notwendigen Zündenergie aus, z. B. Wasserstoff hat eine Zündtemperatur von 540°C, jedoch benötigt man nur eine Zündenergie von 30µJ. Umgekehrt haben andere Stoffe eine niedrige Zündtemperatur, benötigen jedoch ein vielfaches der Zündenergie.

### **Explosionsfähige Gemische und Explosionsgrenzen**

#### **Untere und obere Explosionsgrenze**

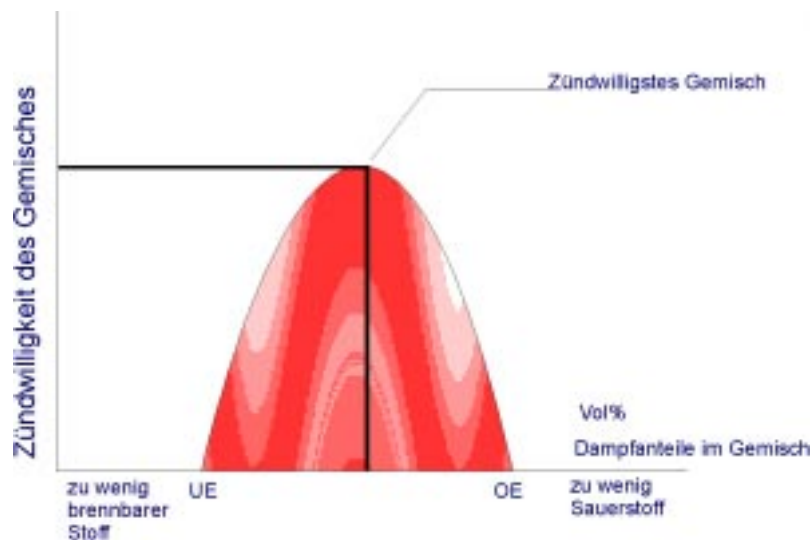
Unter explosionsfähigen Gemischen sind solche zwischen Gasen und Dämpfen untereinander oder mit Nebeln oder Stäuben zu verstehen, in denen sich nach erfolgter Zündung Verbrennungen selbständig fortpflanzen = Explosion. Explosionsgefahren können beim Umgang

Achtung! Dieses Schreiben behandelt den Themenbereich nur grob. Wir haben uns bemüht, die physikalischen Grundlagen zusammenzufassen und Vorschriften wörtlich zu zitieren oder sinngemäß wiederzugeben. Da auch wir nur Menschen sind, kann sich natürlich ein Fehler eingeschlichen haben. Deshalb: Auf Vollständigkeit und Richtigkeit kann keine Gewähr übernommen werden.

mit brennbaren bzw. oxidierbaren Stoffen auftreten, wenn diese Stoffe in feiner Verteilung als Gase, Dämpfe, Nebel oder Stäube vorliegen und ihre Konzentration in Gemisch mit Luft innerhalb bestimmter Grenzen liegt = Explosionsgrenze.

Unterhalb der unteren Explosionsgrenze ist weder eine Explosion noch eine Zündung möglich, da zu wenig brennbare Bestandteile in dem Stoff-Luftgemisch enthalten sind. Oberhalb der oberen Explosionsgrenze ist eine Explosion ebenfalls nicht mehr möglich, da zu wenig Sauerstoff vorhanden ist - das Gemisch ist „zu fett“. An der Oberfläche d. h. in dem Bereich, in der die Umgebungsluft, z. B. in einem Behälter, „auftrifft“, kann das Gemisch entzündet werden.

Zwischen unterer und oberer Explosionsgrenze gibt es bei einer bestimmten Konzentration des brennbaren Stoffes ein Gemisch, das am „zündwilligsten“ ist.



**Diagramm 2: Explosionsgrenzen**

UE = Untere Explosionsgrenze

OE = Obere Explosionsgrenze

### **Verbrennungsgeschwindigkeit**

Abhängig vom Verteilungsgrad und dem Mischungsverhältnis des Stoffes mit Luft, setzt sich die Verbrennung mit einer spezifischen Geschwindigkeit (Verbrennungsgeschwindigkeit) in das unverbrannte Gemisch hinein fort. Weiter ist die Flammenfortpflanzungsgeschwindigkeit von Bedeutung, die bis zu einigen km/s ansteigen kann. Sie entwickelt sich aus der Verbrennungsgeschwindigkeit, indem sich ausbreitende Verbrennungsgase die Flammenfront vor sich herschieben. Entsprechend dieser Geschwindigkeit spricht man von

Verpuffung	einige cm bis wenige m/s bei Drucksteigerungen von 1 bar
Explosion	bis mehrere m/s bei Drucksteigerungen bis 10 bar
Detonation	bis einige km/s bei Drucksteigerungen bis über 50 bar

Achtung! Dieses Schreiben behandelt den Themenbereich nur grob. Wir haben uns bemüht, die physikalischen Grundlagen zusammenzufassen und Vorschriften wörtlich zu zitieren oder sinngemäß wiederzugeben. Da auch wir nur Menschen sind, kann sich natürlich ein Fehler eingeschlichen haben. Deshalb: Auf Vollständigkeit und Richtigkeit kann keine Gewähr übernommen werden.

## **Das wichtige Dichteverhältnis von brennbaren Stoffen**

Das Dichteverhältnis gibt die Dichte des betreffenden Stoffes im dampf- oder gasförmigen Zustand, bezogen auf Luft des gleichen Zustandes an. Für die zu treffenden Schutzmaßnahmen ist es wichtig zu wissen, ob die Gase oder Dämpfe leichter bzw. schwerer als Luft sind. **Die Dämpfe brennbarer Flüssigkeiten sind im allgemeinen schwerer als Luft**, daher sind sie „in der Lage“, in ein Abflußrohr „zu kriechen“ und entfernt von Ihrer Entstehung Schaden anzurichten

## **Mögliche technische Schutzmaßnahmen**

### ***Selbstschließende Deckel und Überdruckausgleich***

Erinnern wir uns an das Diagramm „Flammdreieck“. Durch einen selbstschließenden Deckel wird einer Verbrennung der Sauerstoff entzogen, verlöscht sie, bzw. sie kann gar nicht erst entstehen. Dies nutzt man bei Sicherheitsbehältern, deren Deckel nach jedem Öffnen über Federkraft, selbsttätig schließen. Die Kraft der Feder ist so gewählt, daß die Verschlüsse bei einem bestimmten Behälterdruck öffnen und den Überdruck entweichen lassen. Eine Flammensperre verhindert während des Öffnungsvorganges das Eindringen von Flammen in den Behälter. Nach dem Druckausgleich ist der Behälter wieder verschlossen.

Einige Reinigungsbehälter sind mit einem Deckel ausgerüstet, der nur im Brandfall selbsttätig schließt. Ein Schmelzlot, das bei ca. 70°C reißt, hält die Kraft eines Federsystemes zurück, die den Deckel andernfalls schließen würde

Einige der von uns verwendeten Deckel, z. B. von Abfallbehältern für Putzlappen, schließen durch ihr Eigengewicht.

### ***Flammensperren***

Flammensperren (Davy'sche-Siebe) sind eine Weiterentwicklung der von Davy 1816 erfundenen Grubenlampe, die den Bergmann vor *Schlagenden Wettern (explosive Methan-Luft-Gemische)* schützen soll. Man versteht darunter engmaschige Siebe aus Lochblech oder Drahtgewebe - bei notwendigen Verlängerungen, viele nebeneinanderliegende Röhren. Brennbare/explosive Dämpfe können zwar durch die Flammensperre nach außen dringen und sich dort entzünden, allein die Flamme schlägt nicht durch das Lochblech nach innen. Das Metall entzieht der Flamme zu viel Wärme und verteilt die Wärme gleichzeitig auf eine größere Oberfläche.

Flammensperren für brennbare Stäube sind ebenfalls möglich, jedoch muß man auf Verstopfungen der Armaturen besonders achten.

### ***Löschköpfe für Papierbehälter***

Erbstößer Papierbehälter sind mit Löschköpfen ausgestattet. Im Brandfall werden die Verbrennungsgase durch die besondere Form des Löschkopfes im Behälter zurückgehalten. Da durch die Verbrennung ein leichter Unterdruck entsteht sammeln sich die Verbrennungsgase vor der trichterförmigen Öffnung. Fällt der Sauerstoffanteil unter **15%** im Behälter, erlischt die Verbrennung. Mit brennbarer Flüssigkeit getränktes Material sollte allerdings nicht hineingeworfen werden, da sich die Dämpfe der Flüssigkeit immer wieder neu an der Glutre-

Achtung! Dieses Schreiben behandelt den Themenbereich nur grob. Wir haben uns bemüht, die physikalischen Grundlagen zusammenzufassen und Vorschriften wörtlich zu zitieren oder sinngemäß wiederzugeben. Da auch wir nur Menschen sind, kann sich natürlich ein Fehler eingeschlichen haben. Deshalb: Auf Vollständigkeit und Richtigkeit kann keine Gewähr übernommen werden.

sten entzünden können (*Putzlappenbehälter mit selbstschließendem Deckel sind für diesen Anwendungsfall die richtige Wahl*).

### **Isolierung**

Die Entzündung von brennbaren Flüssigkeiten oder das Zerknallen von Druckgasflaschen kann man im Falle eines Raumbrandes verzögern oder vermeiden, in dem man diese in Sicherheitsschränken unterbringt. Die Schrankwände sind so isoliert, daß den im Raum Beschäftigten eine gewisse Zeit bleibt, den Arbeitsraum zu verlassen. Die Zeit, welche man vorher bei Brandkammerversuchen ermittelt, bezeichnet man als Feuerwiderstandsfähigkeit (FWF). Innerhalb der FWF darf die max. Temperatur des Innenraumes bei Sicherheitsschränken für brennbare Flüssigkeiten an keiner Stelle über 200°C ansteigen.

Bei Gasflaschen-Sicherheitsschränken wird die Oberflächentemperatur der Flasche gemessen. Diese darf an der Spitze der Flaschenkappe nicht über 70°C betragen, da im Ernstfall ab diesem Wert die Ventildichtungen weich und undicht bzw. zerstört werden.

### **Weitere, von Erbstößer empfohlene Literaturhinweise**

Grundsätzlich empfehlen wir, einen Experimentalvortrag, sei es bei einer Berufsgenossenschaft, IHK oder bei einer anderen Veranstaltung zu besuchen. Theoretisches findet man bei

- „Taschenbuch Arbeitssicherheit“, Prof. Dr.-Ing. Reinald Skiba, erschienen bei Erich Schmidt Verlag, Postfach 10 24 51, 33524 Bielefeld, Telefax 0521/5830829 ISBN 3-503-04104-4
- „Ökologische und ökonomische Bedeutung des Brand- und Explosionsschutzes“, Dr.-Ing. Wolfgang J. Friedl, erschienen bei W. Kohlhammer GmbH, Stuttgart; Berlin; Köln ISBN 3-17-014393-X

Achtung! Dieses Schreiben behandelt den Themenbereich nur grob. Wir haben uns bemüht, die physikalischen Grundlagen zusammenzufassen und Vorschriften wörtlich zu zitieren oder sinngemäß wiederzugeben. Da auch wir nur Menschen sind, kann sich natürlich ein Fehler eingeschlichen haben. Deshalb: Auf Vollständigkeit und Richtigkeit kann keine Gewähr übernommen werden.