

## - Verbrennungsreaktion und Löschverfahren -


### Bedingungen für eine Verbrennungsreaktion

1. Vorhandensein eines brennbaren Stoffes und dem Reaktionspartner Luft/Sauerstoff
2. Richtiges Mengenverhältnis zwischen brennbarem Stoff und Luftsauerstoff/Zerteilungsgrad
3. Mindestentzündungstemperatur bzw. Mindestverbrennungstemperatur (Flammpunkt)
4. ggf. Katalysator zur Senkung der Mindestentzündungstemperatur oder zur Beschleunigung der Verbrennungsreaktion

### Erläuterungen zu den Bedingungen für eine Verbrennungsreaktion

#### 1. Vorhandensein eines brennbaren Stoffes und dem Reaktionspartner Luft/Sauerstoff

- a. Ohne brennbaren Stoff kein Feuer, denn der brennbare Stoff ist der Reaktionspartner für die Luft bzw. den Sauerstoff. Man unterteilt brennbare Stoffe in vier Brandklassen:

Symbol	Brandklasse	Zustand	Verbrennungsverhalten	Beispiele
	Brandklasse A	feste Stoffe	Flamme und Glut	Holz Textilien Papier
	Brandklasse B	flüssig und flüssigwerdende Stoffe	nur Flamme	Diesel Öl Fett
	Brandklasse C	gasförmige Stoffe	nur Flamme	Acetylen Propangas auch Nebel und feiner Staub
	Brandklasse D	Metalle	nur Glut	Aluminium Natrium Magnesium

- b. Auch Luft/Sauerstoff muss vorhanden sein, da nur durch Sauerstoff eine Oxidation stattfinden kann. Die Luft enthält knapp 21% Sauerstoff.

Welcher Brandklasse würdest du Plastik, Gummi, Eisen, Kupfer und Benzin zuordnen?

---

---

---

---

---

Welcher Stoff macht den größten Anteil in der Luft aus? Erkundige dich in deinem Buch.

---

## 2. Richtiges Mengenverhältnis zwischen brennbarem Stoff und Luftsauerstoff/Zerteilungsgrad

Bei Feststoffen hängt die Verbrennungsgeschwindigkeit vor allem vom Zerteilungsgrad ab. Denn je größer die Angriffsfläche eines Materials ist (Extremfall Staub), desto mehr Sauerstoff kann gleichzeitig mit dem brennbaren Stoff reagieren. Folglich bedeutet bei festen Stoffen ein hoher Zerteilungsgrad eine hohe Reaktionsgeschwindigkeit. Die Voraussetzung ist allerdings, dass genügend Sauerstoff vorhanden ist, also das Mengenverhältnis zwischen Sauerstoff und dem verbrennenden Stoff stimmt. Dieses richtige Mengenverhältnis spielt vor allem bei Gasen eine große Rolle, sie können bei bestimmten Mengenverhältnissen mit Sauerstoff stark exotherm reagieren, was sich dann in einer Explosion äußert (Methan/Luft in nassem Heuhaufen). In der folgenden Tabelle sind die Explosionsunter- und Obergrenzen der Sauerstoffkonzentration in Vol.% für die wichtigsten Gase aufgelistet. Dabei ist zu beachten, dass die Gase deren Spanne zwischen Explosionsunter- und Obergrenze am größten ist, am gefährlichsten sind, da sie praktisch mit jedem Sauerstoffgehalt explosiv reagieren können.

Stoff	Explosionsuntergrenze	Explosionsobergrenze
Benzin	0,6	8
Erdgas	4,5	13,5
Kohlenmonoxid	12,5	75
Methan	5	15
Petroleum (Lampenöl)	0,7	5
Propan (Feuerzeuggas)	2,1	9,5
Wasserstoff	4	75,6
Konzentrationen in Volumen-% im Gemisch mit Luft und dem entsprechenden Gas.		

### ***Die Hindenburg - ein Luftschiff brennt und stürzt ab - Bericht eines Überlebenden***

*„Am 3. Mai 1937 starteten wir mit wesentlich vergrößerten Passagierräumen zum 1. diesjährigen Nordamerikaflug vom Luftschiffhafen Rhein-Main. Es waren 42 Passagiere und 60 Mann Besatzung an Bord. (...) Gegen 17<sup>00</sup> Uhr amerikanischer Zeit am 6. Mai erreichten wir die amerikanische Küste, flogen aber nochmals nach New York, da wir gerade ein Gewitter über dem Flugplatz Lakehurst hatten und außerdem die Haltemannschaft mit den Vorbereitungen noch nicht fertig war. Über New York wurden wir wieder stürmisch begrüßt und die Sirenen heulten zu uns hinauf. Man sah auch, wie alle Straßen nach Lakehurst angefüllt waren mit Autos, die zum Landungsplatz fuhren um sich die Landung anzusehen. Dann nahmen wir Kurs auf Lakehurst, wo wir schon von einer großen Menschenmenge, Zeitungsreportern und Kameramännern erwartet wurden [...] Unten winkten uns die Leute freudig zu. Plötzlich ging ein starker Ruck durch das Schiff und gleichzeitig ertönte eine riesige Explosion. Ich wurde durch die Explosion zu Boden geschleudert und rollte, da das Schiff mit einer Schräglage von 70° nach oben stand nach Achtern gegen die Trennungswand zwischen den Passagierräumen und den Gaszellen. Mein einziger Gedanke war, so also mußt du sterben. Ich dachte noch schnell an meine Frau und Eltern und wartete auf den Augenblick, wo alles in hunderttausend Fetzen in die Luft fliegt. Da erfolgte eine zweite Explosion, dieses Mal schon näher an den Passagierräumen. Gleichzeitig jagte eine riesige Stichflamme durch das Schiff und schlug vorne aus dem Bug heraus, wo sie 10 Mann der Besatzung, die im Bug zum Gewichtsausgleich als Trimmanschaft standen mit hinausschleuderte, die alle sofort tot waren. Als ich die Hitze spürte und das Schreien der Menschen hörte, die schon von den Flammen erfasst waren kam ich wieder zur Besinnung [...]*

Die Hindenburg war mit Wasserstoff gefüllt (siehe Tabelle), damit sie fliegen kann. Welche Möglichkeiten gibt es noch ein Luftschiff fliegen zu lassen?

---



---

### 3. Mindestentzündungstemperatur bzw. Mindestverbrennungstemperatur (Flammpunkt)

Um einen Stoff tatsächlich zu einer Verbrennung bewegen zu können, ist eine Mindestzündungsenergie (Aktivierungsenergie) nötig. Diese Energie kann auf verschiedenste Art und Weise herbeigeführt werden (Wärme, Strom, Erschütterung, Katalysator,...). Maßgebend ist aber sicherlich die Entzündung durch Wärme. Deshalb habe ich unten die wichtigsten Stoffe mit der ungefähren Entzündungstemperatur angegeben. Leider lässt sich diese nicht eindeutig festlegen, da sie durch Umwelteinflüsse stark beeinflusst wird.

feste Stoffe	Feststoff	E-Temp.	Flüssigkeiten	Flüssigkeit	E-Temp.	Gase	Gas	E-Temp.
	Holzkohle	350		Alkohol	425		Acetylen (Schweissgas)	305
	Holz	220 - 320		Benzin	240-500		Kohlenmonoxid	605
	Papier	185 - 360		Petroleum	280		Methan	595
	Schwefel	250		Erdöl	510-610		Wasserstoff	560
Alle Entzündungstemperaturen in °C. Achtung! Angaben können durch äußere Einflüsse stark beeinflusst werden!								

Die Flamme eines Feuerzeugs ist ca. 300 Grad heiß. Könnte man nach obiger Tabelle Erdöl, Methan und Schwefel mit einem Feuerzeug entzünden?

---

### 4. Katalysator zur Senkung der Mindestentzündungstemperatur oder zur Beschleunigung der Verbrennungsreaktion

Ganz allgemein können Katalysatoren eine Reaktion beschleunigen oder erst ermöglichen, da sie eine Zwischenverbindung herstellen die mit weniger Aktivierungsenergie mit dem anderen Stoff reagieren kann. Dabei wird der Katalysator nicht verbraucht!

## Löschverfahren

Um also einen Brand zu löschen, muss nun versucht werden einen Zustand zu schaffen in dem eine oder mehr dieser Bedingungen nicht mehr gegeben sind. Ist unser Löschen dann erfolgreich (d. h. kam die Reaktion zum Stillstand, ohne dass Mangel an brennbarem Stoff vorhanden ist), haben wir diesen Zustand erfolgreich herbeigeführt.

Wenn man sich die obigen Bedingungen ansieht stellt man folgende Löschvarianten fest:

1. Stören des Mengenverhältnisses
2. Kühlen des Stoffes und dadurch Nichterfüllen der Mindestverbrennungstemperatur bzw. Entzündungstemperatur
3. Antikatalyse zur Unterbrechung der Verbrennungsreaktion

### *1. Störung des Mengenverhältnisses*

Da chemische Reaktionen nur bei einem bestimmten Mengenverhältnis stattfinden können, besteht die Möglichkeit die Verbrennungsreaktion zu unterbrechen indem man das Mengenverhältnis zwischen Sauerstoff und dem verbrennendem Stoff stört. Daraus ergeben sich folgende Möglichkeiten einer Brandlöschung:

- Verdünnen des Sauerstoffes

Durch eine Konzentrationsenkung des Sauerstoffes in der Luft, kann eine Verbrennungsreaktion gehemmt oder verhindert werden. Hier finden Gase wie Kohlendioxid Verwendung.

- Abreichern des brennenden Stoffes

Da eine Reaktion nur entsteht wenn ausreichend brennbares Material von Sauerstoff umgeben sein kann, ist eine andere Möglichkeit der Brandbekämpfung das Abreichern des brennbaren Stoffes. Einfach gesagt geht dem Feuer einfach der Brennstoff aus.

- Trennung von Sauerstoff und dem Reaktionspartner

Eine weitere Möglichkeit ist die vollständige Trennung von Sauerstoff und dem Reaktionspartner, so dass weder dem Sauerstoff brennbarer Stoff zu Verfügung steht, noch dem brennbarem Stoff Sauerstoff. Dies ist kurzfristig durch die Verwendung von Pulverlöschern möglich.

## *2. Kühlen des Stoffes und dadurch Nichterfüllen der Mindestverbrennungstemperatur bzw. Entzündungstemperatur*

Diese äußerst wichtige und effektive Art der Brandbekämpfung erfolgt meist durch Wasser, da dieses eine besonders hohe Wärmeleitfähigkeit aufweist, d. h. es ist besonders viel Energie nötig um Wasser zu Erwärmen und schließlich verdampfen zu lassen.

Folglich wird der Reaktion besonders viel Energie entzogen.

- Löschen durch Energieabgabe der Reaktion an das Löschmittel (Abkühlen)  
Das (relativ kalte) Löschmittel entzieht der Reaktion die Mindestreaktionsenergie und damit die Mindestreaktionstemperatur. Das Löschmittel wird dadurch erwärmt und kann schließlich verdampfen (siehe unten).
- Löschen durch Energieabgabe der Reaktion an ein bereits erwärmtes Löschmittel (Verdampfen)  
Es kostet dann weitere Energie um das bereits erwärmte Löschmittel (siehe oben) verdampfen zu lassen. Auch dadurch wird dem Feuer Energie und Temperatur entzogen, und so kann die Reaktion gehemmt oder unterbrochen werden.

## *3. Antikatalyse zur Unterbrechung der Verbrennungsreaktion*

Bei der Antikatalyse werden die im Verlauf der Verbrennung gebildeten Teilchen durch eine chemische Reaktion mit Löschmittelteilchen oder Kontakt mit Pulverpartikeln unwirksam gemacht. Früher wurde Halon, ein sehr wirksames, aber aus Umweltschutzgründen seit dem 01.01.1994 verbotenes Feuerschutzmittel, verwendet. Als Ersatz werden nun unterschiedliche Löschgase (z. B. Inergen) diskutiert.