

Brennen und Löschen

Merkblatt für die Feuerwehren Bayerns

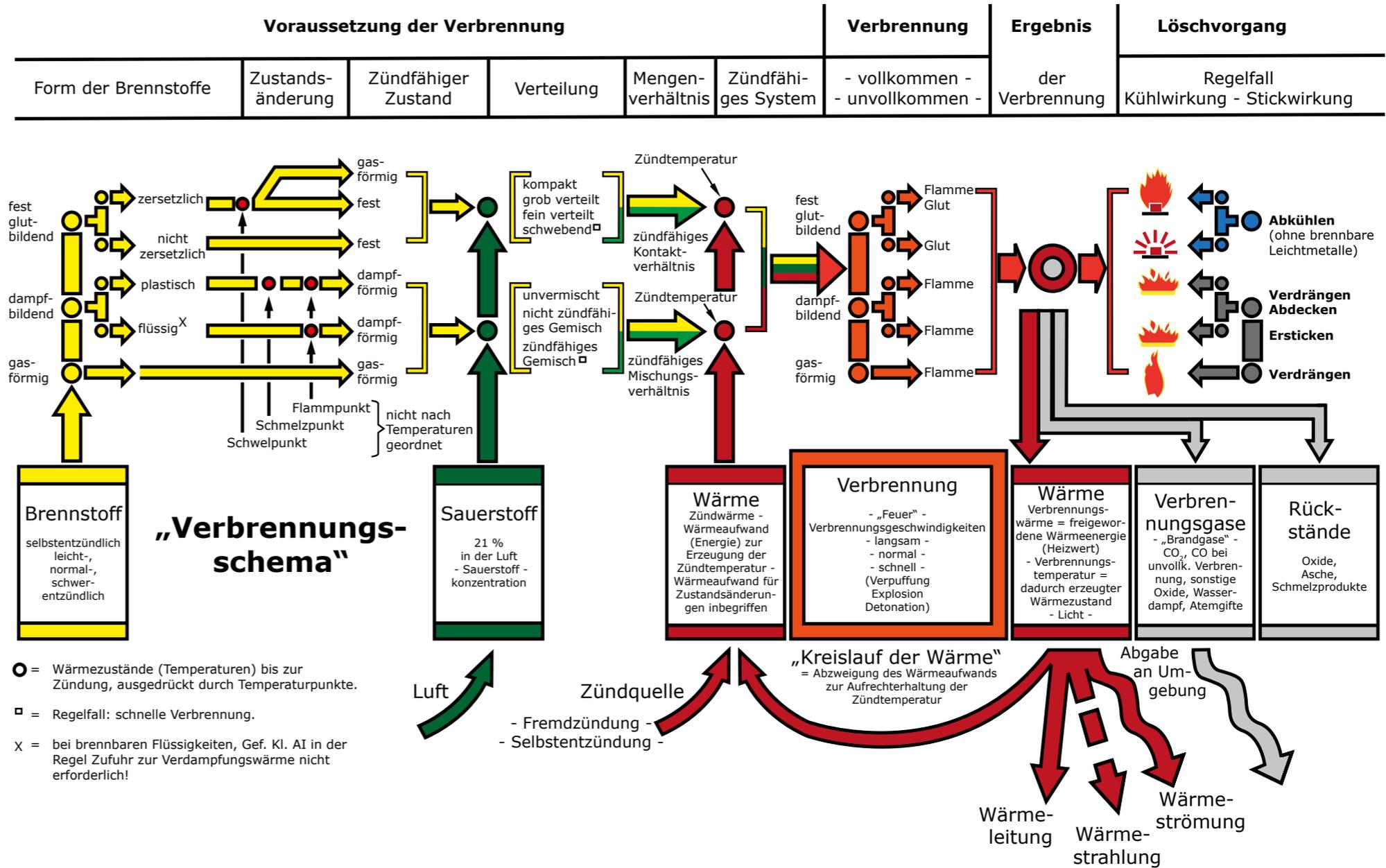
Inhaltsverzeichnis

1. VORAUSSETZUNGEN FÜR EINE VERBRENNUNG	4
1.1 Brennbarer Stoff	5
1.2 Sauerstoff	7
1.3 Wärme	10
2. DER VERBRENNUNGSVORGANG	12
2.1 Mindestverbrennungstemperatur	12
2.2 Verbrennungswärme.....	12
2.3 Verbrennungsgeschwindigkeit	13
2.4 Verbrennungsprodukte.....	15
3. DER LÖSCHVORGANG	17
3.1 Abkühlen	17
3.2 Ersticken	18
3.3 Beseitigen.....	19

Anlage: Verbrennungsschema

Zielsetzung des Merkblattes

Die physikalischen Grundlagen des Verbrennungsvorgangs werden in diesem Merkblatt so weit behandelt, dass der Anwender das Verständnis für den Löschvorgang erlangen kann. Ziel ist das Verständnis für den Energiekreislauf zu gewinnen, um das Löschen als einen Eingriff in einen physikalischen Vorgang zu begreifen.



1. VORAUSSETZUNGEN FÜR EINE VERBRENNUNG

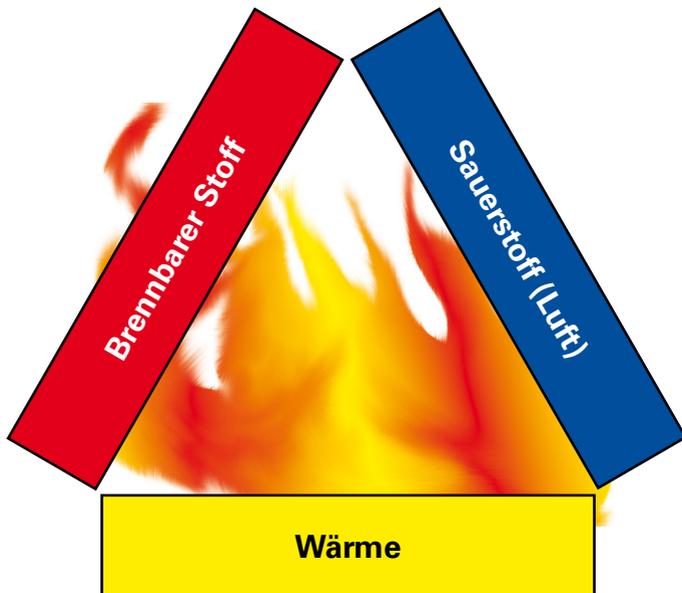
Eine Verbrennung (Feuer) ist die chemische Reaktion eines brennbaren Stoffes mit Sauerstoff, bei der Energie in Form von Wärme und Licht freigesetzt wird.

Für die Entstehung eines Feuers müssen drei Voraussetzungen erfüllt sein:

- Ein brennbarer Stoff muss vorhanden sein
- Sauerstoff (meist als Bestandteil der Umgebungsluft) muss vorhanden sein
- Wärme muss vorhanden sein, um den Verbrennungsvorgang zu starten

Die drei Voraussetzungen für eine Verbrennung werden durch das Verbrennungsdreieck verdeutlicht.

Abb. 1
Verbrennungsdreieck
Brennbarer Stoff,
Sauerstoff und Wärme
ergeben Feuer



1.1 Brennbare Stoffe

Nach DIN 14011 werden die Begriffe wie folgt unterschieden:

Als **Brand** gilt ein nicht bestimmungsgemäßes Feuer (z. B. Schadenfeuer), das sich unkontrolliert ausbreiten kann.

Feuer ist der Oberbegriff für bestimmungsgemäßes Brennen (Nutzfeuer) und nicht bestimmungsgemäßes Brennen (z. B. Schadenfeuer).

Brennbare Stoffe können in den Aggregatzuständen fest, flüssig und gasförmig vorliegen. Grundsätzlich unterscheidet man zwischen einer Verbrennung mit **Flammenerscheinung** und **Glut**.

Eine **Flamme** ist eine Verbrennungsreaktion in der Gasphase, die beim Brennen von **Gasen und Dämpfen** abläuft. Die Flammenerscheinung wird durch das Leuchten von Gasteilchen hervorgerufen. Das Leuchten der Flamme (Farbe, Helligkeit) ist von der Art des brennbaren Stoffes und von dem Mischungsverhältnis mit Sauerstoff abhängig. Kohlenstoffreiche Flammen sind meist hell gelb oder orange leuchtend, reiner Wasserstoff brennt mit unsichtbarer Flamme.

Glut entsteht bei der Umsetzung eines **festen Brennstoffs** (z. B. Kohle, Koks, Metalle) mit Sauerstoff. Die Farbe und Helligkeit der Glut hängt von der Temperatur des Brennstoffs ab.

1.1.1 Gase und Dämpfe

Bei gasförmigen brennbaren Stoffen unterscheidet man zwischen Gasen und Dämpfen. Gase sind Stoffe, die unter Normalbedingungen (1013 hPa und 20 °C) in gasförmigem Zustand vorliegen. Gase können leichter oder schwerer als Luft sein.

Dämpfe sind die Gasphase von Stoffen, die unter Normalbedingungen in flüssigem Zustand vorliegen. Dämpfe bilden sich über der Oberfläche von (brennbaren) Flüssigkeiten und sind immer schwerer als Luft.

1.1.2 Flüssigkeiten

Bei Bränden von Flüssigkeiten brennt nicht die Flüssigkeit selbst, sondern die Dämpfe über der Flüssigkeit. Die Konzentration der Dämpfe über der Flüssigkeit steigt mit der Temperatur an. Erreicht die Temperatur einer brennbaren Flüssigkeit den Flammpunkt, ist die Konzentration der brennbaren Dämpfe über der Flüssigkeit gerade hoch genug (untere Zündgrenze, Abschnitt 1.2.2), dass beim Vorhandensein einer Zündquelle eine Verbrennung stattfinden kann.

Beispiele:

- Benzin
- Ethanol/Spiritus
- Diesel/Heizöl

Tabelle 1
Einstufung brennbarer
Flüssigkeiten

Brennbare Flüssigkeiten werden nach der EU-Verordnung zur Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Gefahrstoffen (CLP-Verordnung) gemäß Tabelle 1 in die Kategorien „extrem entzündbar“, „leicht entzündbar“ und „entzündbar“ eingestuft. Die Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) wurde entsprechend angepasst:

Einstufung	Gefahrensymbol (GHS*)	Kriterien	Beispiele
extrem entzündbar	 Gefahr	Flammpunkt <23 °C Siedebeginn ≤35 °C	Ether (Diethylether)
leicht entzündbar	 Gefahr	Flammpunkt <23 °C Siedebeginn >35 °C	Benzin Ethanol/Spiritus Aceton
entzündbar	 Achtung	Flammpunkt 23 – 60 °C	Diesel/Heizöl Petroleum

*globally harmonized system – weltweit harmonisiertes Gefahrstoffkennzeichnungssystem

Die alte Einteilung in zwei Gefahrenklassen (A: nicht wasserlösliche brennbare Flüssigkeiten mit unterschiedlich hohen Flammpunkten, B: bei 15 °C wasserlösliche brennbare Flüssigkeiten mit einem Flammpunkt unter 21 °C) nach Verordnung über brennbare Flüssigkeiten (VbF) ist nicht mehr gültig.

1.1.3 Feste Stoffe

Brennbare feste Stoffe können nach ihrem Brandverhalten bei Erwärmung eingeteilt werden in:

- Glutbildende feste Stoffe (Kohle, Koks, Metalle)
- Zersetzliche feste Stoffe (Holz, Stroh, Papier)
- Plastische oder flüssig werdende feste Stoffe (Kunststoffe, Wachse, Fette, Teer)

Glutbildende feste Stoffe reagieren als fester Stoff mit Sauerstoff unter Bildung von Glut. Da keine gasförmigen Brennstoffe beteiligt sind, bildet sich keine Flamme. Beispiele hierfür sind Kohlenstoff in Form von Holzkohle oder Koks und Leichtmetalle.

Zersetzliche feste Stoffe spalten bei Temperatureinwirkung (thermische Aufbereitung) gasförmige brennbare Stoffe ab (Pyrolyse). Die Temperatur, bei der die Zersetzung fester brennbarer Stoffe in gasförmige und feste Bestandteile beginnt, nennt man **Schwelpunkt**. Die gasförmigen Zersetzungsprodukte (Pyrolysegase) verbrennen mit **Flamme**, die zurückbleibenden festen Bestandteile (Kohlenstoff) verbrennen mit **Glut**.

Flüssig werdende feste Stoffe schmelzen zunächst durch Wärmeeinwirkung. Bei weiterer Temperaturerhöhung werden aus der Schmelze entweder durch **Verdampfung** oder durch **Zersetzung** gasförmige brennbare Stoffe freigesetzt, die **mit Flamme verbrennen**.

1.2 Sauerstoff

1.2.1 Eigenschaften

Sauerstoff ist ein farb- und geruchloses Gas, das in der Luft mit ca. 21 Vol.-% enthalten ist. Sauerstoff selbst brennt nicht, ohne ihn ist jedoch keine Verbrennung möglich.

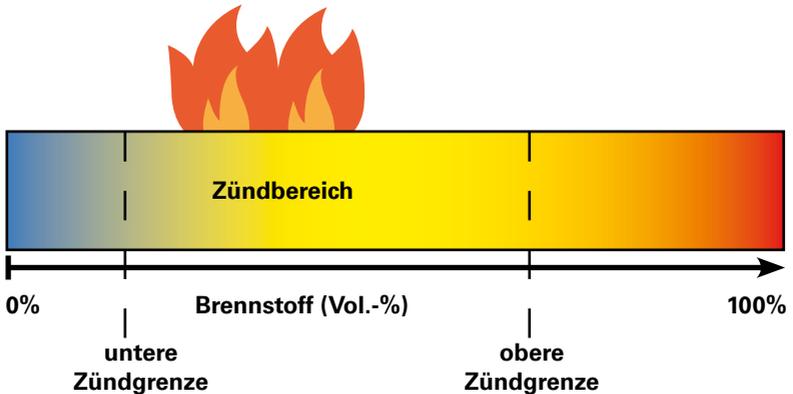
Reiner Sauerstoff wird als komprimiertes Gas für technische (z. B. Schweißgas) und medizinische Zwecke in Stahlflaschen (Farbe der Flaschenschulter: weiß) abgefüllt. Größere Mengen Sauerstoff werden in Form von tiefkalt verflüssigtem Gas bei -183 °C transportiert und gelagert. Verbrennungsprozesse laufen in reinem Sauerstoff sehr viel schneller ab als in Luft mit normaler Sauerstoffkonzentration. Brennbare Stoffe neigen in reiner Sauerstoffatmosphäre auch zur Selbstentzündung, deshalb dürfen z. B. Ventile von Sauerstoffflaschen niemals gefettet werden.

Sauerstoff kann auch chemisch gebunden in Stoffen vorliegen, die durch ihren Sauerstoffgehalt die Verbrennung fördern (oxidierend wirken). Beispiele hierfür sind Peroxide, Nitrats und Perchlorate, die auch als Sauerstofflieferant in Sprengstoffen und Feuerwerkskörpern eingesetzt werden.

1.2.2 Das Mengenverhältnis

Eine Verbrennung kann nur dann ablaufen, wenn sich das Mengenverhältnis zwischen brennbarem Stoff und Sauerstoff in einem bestimmten Bereich bewegt. Dieses Mengenverhältnis ist insbesondere bei der Verbrennung von Gasen und Dämpfen entscheidend:

Abb. 2
Zündbereich
gasförmiger oder
dampfförmiger
brennbarer Stoffe



Der Zündbereich eines Gases oder Dampfes wird als Konzentration des Stoffes als Vol.-% in Luft angegeben. Unterhalb der unteren Zündgrenze ist das Brennstoff/Luft-Gemisch zu mager (blauer Bereich) und es kann keine Verbrennung stattfinden. Oberhalb der oberen Zündgrenze (auch obere Explosionsgrenze/OEG genannt), ist das Gemisch zu fett (roter Bereich). In diesem Bereich kann aufgrund von Sauerstoffmangel keine Verbrennung ablaufen. Innerhalb des Zündbereichs existiert ein ideales Mischungsverhältnis (gelber Bereich), bei dem die Verbrennung besonders schnell und heftig ablaufen kann.

	UEG	OEG	
Benzin	0,4 Vol.-%	8,0 Vol.-%	(enger Zündbereich)
Erdgas	4,4 Vol.-%	16,5 Vol.-%	(mittlerer Zündbereich)
Acetylen	1,5 Vol.-%	82,0 Vol.-%	(weiter Zündbereich)

1.2.3 Verteilung brennbarer Stoffe

Bei festen brennbaren Stoffen ist die Verteilung des Brennstoffs ein entscheidender Faktor dafür, ob und mit welcher Geschwindigkeit eine Verbrennung ablaufen kann, da der Brennstoff nur an seiner Oberfläche mit Luftsauerstoff in Kontakt kommt. Das Verhältnis von Oberfläche zum Volumen ist das Maß für die Verteilung fester brennbarer Stoffe. Je größer das Verhältnis, d. h. je feiner der Stoff verteilt ist, umso besser ist das Kontaktverhältnis des brennbaren Stoffes mit dem Sauerstoff der Luft.

So sind z. B. Holzspäne feiner verteilt als Holzbalken und haben deshalb ein besseres Kontaktverhältnis mit dem Sauerstoff der Luft. Die Späne sind entsprechend leichter entzündbar und die Verbrennungsgeschwindigkeit ist höher als bei Holzbalken. Feinstverteilte brennbare feste Stoffe (z. B. Stäube) verhalten sich ähnlich wie brennbare Gase und Dämpfe. Sie können durch kleinste Zündquellen (z. B. Funken) gezündet werden und erreichen hohe Verbrennungsgeschwindigkeiten (Staubexplosionen).

Flüssigkeiten werden trotz eines hohen Flammpunktes leicht entzündbar, wenn sie in feine Tröpfchen zerstäubt werden (Aerosol). Auf diese Weise kann ein unter normalen Umständen kaum entzündbares Hydrauliköl leicht entflammbar sein, wenn es unter hohem Druck aus einer undichten Leitung spritzt.

Bei flüssigen und flüssig werdenden brennbaren Stoffen führt das „Aufsaugen“ der Flüssigkeit mit Fasern oder Bindemitteln zu einer starken Vergrößerung der Flüssigkeitsoberfläche. Dieses Phänomen ist unter dem Begriff Dochteffekt bekannt. Durch den Dochteffekt kann ein mit brennbarer Flüssigkeit getränkter Feststoff auch dann entzündet werden, wenn die Temperatur der Flüssigkeit deutlich unter ihrem Flammpunkt liegt. Dies führt beispielsweise zu einer erhöhten Brandgefahr, wenn Dieselkraftstoff mit Ölbindemitteln aufgenommen wird.

1.3 Wärme

Damit aus einer kalten Lage ein Brand entstehen kann, ist das Vorhandensein von Wärme erforderlich. Diese Wärme kann von außen zugeführt werden (Fremdentzündung, z. B. durch Blitzschlag, heiße Herdplatte, Funken) oder unter bestimmten Bedingungen im brennbaren Stoff selbst entstehen, wenn dieser zur Selbsterhitzung fähig ist (Selbstentzündung, z. B. bei feucht eingelagertem Heu, leinölgetränkten Lappen). Ein brennbarer Stoff entzündet sich spontan, wenn er seine Zündtemperatur erreicht. Ein zündfähiges Gemisch kann jedoch auch im kalten Zustand entzündet werden, wenn eine Zündquelle vorhanden ist, die in der Regel sehr viel heißer ist als die Zündtemperatur des brennbaren Stoffes. Voraussetzung dafür ist jedoch, dass die für den Start der Verbrennung erforderliche Zündenergie zugeführt wird.

1.3.1 Zündtemperatur

Die Zündtemperatur ist die jeweilige Mindesttemperatur, auf die ein brennbarer Stoff gebracht werden muss, um sich im Kontakt mit dem Sauerstoff der Luft zu entzünden. Eine Zündquelle ist dann nicht erforderlich. Ein Beispiel dafür ist der Kraftstoff im Dieselmotor, der durch den Kompressionstakt soweit erhitzt wird, dass sich dieser von selbst entzündet.

Die Zündtemperatur ist eine Kenngröße des jeweiligen brennbaren Stoffes. Die Werte für die Zündtemperaturen sind besonders bei festen brennbaren Stoffen schwer zu ermitteln. Sie werden deshalb oft als Mittelwerte und in der Fachliteratur uneinheitlich angegeben (z. B. Holz je nach Art 240–300 °C, Papier 180–360 °C, Koks 510–640 °C, Petroleum 380–440 °C).

Die Zündtemperatur darf nicht mit dem Flammpunkt einer brennbaren Flüssigkeit (Abschnitt 1.1.2) verwechselt werden. Die Zündtemperatur der Dämpfe liegt immer über dem Flammpunkt der jeweiligen brennbaren Flüssigkeit. Wenn der Flammpunkt einer Flüssigkeit erreicht ist, ist unterhalb der Zündtemperatur eine Zündquelle erforderlich, um die Dämpfe zu entzünden.

1.3.2 Zündquelle

Eine Zündquelle ist eine Energiequelle, die brennbaren Stoffen oder Stoffgemischen genügend Zündenergie (Zündwärme) zuführen kann, dass sie selbstständig weiterbrennen. Die Zündquelle muss in der Lage sein, einen Teil des brennbaren Stoffes soweit aufzuheizen, dass er seine Zündtemperatur erreicht. Bei zersetzlichen oder schmelzenden festen Stoffen muss die Zündquelle den Brennstoff soweit thermisch aufbereiten, dass brennbare Gase oder Dämpfe entstehen, die sich entzünden können.

1.3.3 Zündenergie

Die Zündenergie, die notwendig ist, um einen Stoff zu entzünden, hängt von der Art des Brennstoffs und von seinem Verteilungsgrad ab. Die Energie einer Streichholzflamme reicht aus, um Holzspäne oder Papier zu entzünden, nicht aber einen Holzbalken. Sägeraues Holz ist wegen seiner größeren Oberfläche leichter entzündbar als gehobeltes Holz. Aufgewirbelte Stäube wie Mehl oder Holzstaub in einem Sägewerk können schon durch die Energie eines Funkens entzündet werden.

Bei Gasen und Dämpfen hängt die notwendige Zündenergie von der Art des Stoffes ab. Die Mindestzündenergie ist die Energie, die notwendig ist, um ein gasförmiges Brennstoff/Luft-Gemisch, das sich in einem optimalen Mischungsverhältnis befindet, zu zünden. Zündtemperatur und Zündenergie sind voneinander unabhängige Stoffeigenschaften:

	Zündtemperatur	Mindestzündenergie
Wasserstoff	560 °C	0,019 mJoule
Diethylether	170 °C	0,19 mJoule

Beispiel:

Wasserstoff hat eine relativ hohe Zündtemperatur von 560 °C aber eine sehr niedrige Mindestzündenergie, d. h. schon kleinste Funken können ein Knallgasgemisch zünden. Ether (Diethylether) hat mit 170 °C eine relativ niedrige Zündtemperatur, d. h. Etherdämpfe in Luft können sich schon an der heißen Oberfläche eines elektrischen Geräts entzünden, aber die für eine Zündung erforderliche Energie ist zehnmal so hoch wie bei Wasserstoff.

2. DER VERBRENNUNGSVORGANG

Wenn alle Voraussetzungen für eine Verbrennung erfüllt sind, kann sie als ein sich selbst unterhaltender Vorgang ablaufen. Der Verbrennungsvorgang stellt einen Energiekreislauf dar, bei dem Verbrennungswärme freigesetzt wird. Ein Teil der freigesetzten Wärme wird dazu benötigt, flüssige Brennstoffe zu verdampfen oder feste Brennstoffe thermisch aufzubereiten, wodurch weitere brennbare Gase und Dämpfe freigesetzt werden und verbrennen.

2.1 Mindestverbrennungstemperatur

Die Mindestverbrennungstemperatur ist der niedrigste Wärmezustand, den der brennbare Stoff erreichen muss, um ein selbständiges Brennen ohne Energiezufuhr von außen aufrechtzuerhalten. Bei dieser Temperatur wird gerade so viel Wärme freigesetzt, dass nach Abgabe der Wärmeverluste an die Umgebung noch genügend Brennstoff thermisch aufbereitet und gezündet werden kann, um den Verbrennungsvorgang aufrecht zu erhalten.

Sinkt die Temperatur des Systems unter die Mindestverbrennungstemperatur, kommt der Verbrennungsvorgang zum Erliegen und das Feuer erlischt. Dies ist z. B. bei schwer entflammaren Baustoffen der Fall, die von selbst wieder erlöschen, wenn die Zündquelle wieder entfernt wird.

2.2 Verbrennungswärme

Die Verbrennungswärme ist die durch die chemische Reaktion des Brennstoffs mit Sauerstoff freigesetzte Energie. Sie wird auf drei Wegen an die Umgebung und den unverbrannten Brennstoff abgegeben:

- Wärmeleitung
- Wärmestrahlung und Licht
- Konvektion (Wärmemitführung)

Wärmeleitung findet hauptsächlich in Feststoffen statt. Heiße Bereiche in einem Festkörper versetzen benachbarte, kältere Atome und Moleküle in Schwingung. Auf diese Weise breitet sich ein Teil der Verbrennungswärme in glutbildenden Brennstoffen aus.

Wärmestrahlung (infrarote Strahlung) und Licht werden von brennenden Feststoffen (Glut) und von Verbrennungsreaktionen in der Gasphase (Flamme) ausgesendet. Sie breiten sich in alle Richtungen geradlinig im Raum aus und sind an kein Trägermedium gebunden.

Unter Konvektion (Wärmemitführung) oder Wärmeströmung versteht man das Aufsteigen heißer Brandgase im Brandraum. Wie stark die Wärmeabfuhr durch Konvektion ist, hängt davon ab, ob das Feuer im Freien brennt oder in einem Brandraum, Wärmeabzugs- und Zuluftöffnungen vorhanden sind. Durch Konvektion kommt die Brandthermik zustande. Sie sorgt dafür, dass Brandrauch nach oben abzieht und kann so stark werden, dass Funken und brennende Gegenstände (Flugfeuer) mitgerissen werden. Diese Thermik führt auch dazu, dass von unten kühle Frischluft zum Brandherd nachströmt.

2.3 Verbrennungsgeschwindigkeit

Die Geschwindigkeit, mit der eine Verbrennung abläuft, hängt von verschiedenen Faktoren ab, die sich teilweise gegenseitig beeinflussen:

- Art des brennbaren Stoffes (chemische Zusammensetzung)
- Verteilungsgrad des Brennstoffs
- Verbrennungstemperatur
- Sauerstoffkonzentration bzw. -zufuhr

Von der chemischen Zusammensetzung eines brennbaren Stoffes hängt zunächst ab, welche Energiemenge bei der Verbrennung freigesetzt wird (Brennwert). Je höher der Brennwert eines Stoffes ist, desto höher wird im Allgemeinen auch die erreichbare Verbrennungstemperatur. Von der Art des Brennstoffs hängt auch ab, ob der Stoff direkt mit Sauerstoff reagieren kann (Gase oder Dämpfe) oder ob er zunächst unter Zufuhr von Wärme zersetzt (verschwelt) oder geschmolzen und/oder verdampft werden muss.

Das Verhältnis von Oberfläche zu Volumen (Verteilungsgrad) eines Brennstoffs hat großen Einfluss darauf, wie schnell ein Brennstoff Wärme aufnehmen kann, um thermisch aufbereitet zu werden. Beim Abbrand starker Holzbauteile verzögert die auf der Oberfläche gebildete Kohleschicht die thermische Aufbereitung des Holzkerns im Inneren, so dass die Verbrennungsgeschwindigkeit sinkt. Feste Brennstoffe, die nur mit Glut brennen (Kohle, Koks, Metalle), können sich nur an ihrer Oberfläche mit Sauerstoff verbinden. Bei diesen Stoffen ist der Verteilungsgrad besonders entscheidend für die Verbrennungsgeschwindigkeit.

Die Verbrennungstemperatur ist besonders geschwindigkeitsbestimmend bei festen und flüssigen Brennstoffen, die zur Verbrennung thermisch aufbereitet werden oder verdampfen müssen. Je höher die Verbrennungstemperatur, desto mehr Pyrolysegase oder Dämpfe können gebildet werden, wodurch die Brandintensität noch weiter ansteigt.

Die Geschwindigkeit einer Verbrennung wird auch maßgeblich durch die Sauerstoffkonzentration im Brandraum beeinflusst. Bei Sauerstoffmangel läuft eine Verbrennung deutlich langsamer ab. Zusätzlich werden die Brennstoffe nur unvollständig verbrannt, wodurch die freigesetzte Verbrennungswärme und damit die Verbrennungstemperatur sinkt. Es bilden sich Produkte einer unvollständigen Verbrennung wie Ruß, Kohlenstoffmonoxid und unverbrannte Pyrolysegase. Bei einem plötzlichen Luftzutritt, z. B. durch Öffnung der Tür zum Brandraum, kann sich die Verbrennungsgeschwindigkeit schlagartig bis hin zu einer Rauchgasexplosion steigern.

Besonders hohe Verbrennungsgeschwindigkeiten können erreicht werden, wenn Sauerstoff und Brennstoff homogen miteinander vermischt sind. Dies ist bei im Raum verteilten brennbaren Gasen, Dämpfen, Aerosolen und Stäuben der Fall, aber auch bei festen oder flüssigen Sprengstoffen, in denen der zur Verbrennung nötige Sauerstoff chemisch gebunden vorhanden ist. Je nach Verbrennungsgeschwindigkeit unterscheidet man dabei zwischen:

- **Verpuffung**

Die Abbrandgeschwindigkeit liegt im Bereich cm/s

Beispiel: Dampf- oder Gas-Luft-Gemische in der Nähe der unteren bzw. oberen Zündgrenze.

- **Explosion**

Die Abbrandgeschwindigkeit liegt im Bereich m/s

Beispiel: Dampf- oder Gas-Luft-Gemische im Bereich des optimalen Mischungsverhältnisses, auch Staub-Luft-Gemische bei optimalem Kontaktverhältnis.

- **Detonation**

Die Verbrennungsgeschwindigkeit liegt im Bereich km/s

Beispiel: Sprengstoffe oder Acetylen-Sauerstoff-Gemisch

2.4 Verbrennungsprodukte

2.4.1 Produkte einer vollständigen Verbrennung

Bei der vollständigen Verbrennung organischer Stoffe wie Holz, Kohle und Kohlenwasserstoffen, die im Wesentlichen aus den Elementen Kohlenstoff (C) und Wasserstoff (H) bestehen, bilden sich als gasförmige Hauptprodukte der Verbrennung Kohlendioxid (Kohlenstoffdioxid, CO_2) und Wasserdampf (H_2O).

Bei Bränden von Metallen bilden sich als Verbrennungsprodukte die entsprechenden Metalloxide, die als Feststoffe anfallen, bei einem Metallbrand aber zum Teil als fein verteilter Staub im Brandrauch vorliegen. Je nach brennendem Metall können diese Metalloxide im Kontakt mit Feuchtigkeit, also auch in den Atemwegen, basisch reagieren und zu Verätzungen führen.

2.4.2 Produkte einer unvollständigen Verbrennung

Bei Schadenfeuern findet in aller Regel eine unvollständige Verbrennung statt, da die Voraussetzungen für eine vollständige Verbrennung, insbesondere eine ausreichende Sauerstoffversorgung, nicht erfüllt sind. Dies hat bei organischen Brennstoffen zur Folge, dass sich neben Kohlendioxid auch das brennbare und giftige Gas Kohlenmonoxid (CO) in nennenswerter Konzentration bildet.

Als weitere Produkte der unvollständigen Verbrennung kohlenstoffhaltiger Stoffe werden Ruß (Kohlenstoff), eine Vielzahl aromatischer Kohlenwasserstoffe und alle sonstigen Pyrolysegase, die bei der Verschwelung des Brennstoffs entstehen und wegen Sauerstoffmangels nicht verbrennen, freigesetzt.

Sind weitere Elemente wie Halogene (z. B. Chlor), Stickstoff oder Schwefel im Brennstoff vorhanden, was in den allermeisten Fällen zutrifft, entstehen ein Vielzahl weiterer Atemgifte wie Chlornwasserstoff, Phosgen, Stickoxide, Blausäure, Schwefeloxide, Dioxine und Furane.

2.4.3 Brandrauch

Brandrauch besteht aus allen gasförmigen, flüssigen und festen Produkten einer vollständigen oder unvollständigen Verbrennung, die von der Brandthermik mitgerissen werden: Ruß, Brandgase, Wasserdampf, unverbrannte Pyrolysegase und Flugasche.

2.4.4 Asche und Schlacken

Bei der (vollständigen) Verbrennung von Stoffen natürlichen Ursprungs wie Holz oder Holzkohle bleiben nicht brennbare Bestandteile als Asche zurück. Asche besteht im Wesentlichen aus anorganischen Salzen wie Phosphaten und Sulfaten.

Geschmolzene und wieder erstarrte Verbrennungsrückstände aus technischen Prozessen werden als Schlacke bezeichnet.

3. DER LÖSCHVORGANG

Ein Feuer verlöscht, wenn mindestens eine der drei Voraussetzungen, die für eine Verbrennung erfüllt sein müssen, nicht mehr gegeben ist. Dies kann von selbst geschehen, wenn die vorhandene Menge an brennbarem Stoff aufgebraucht ist, wenn in einem geschlossenen Brandraum der Sauerstoffvorrat aufgebraucht ist oder wenn die Wärmeabgabe an die Umgebung so niedrig wird, dass die Mindestverbrennungstemperatur unterschritten wird.

Jeder der drei Voraussetzungen einer Verbrennung lässt sich somit einem Löschverfahren zuordnen:

- Wärme → abkühlen
- Sauerstoff → ersticken
- Brennstoff → beseitigen

Im Folgenden werden die grundlegenden Prinzipien dieser drei Löschverfahren skizziert. Eine ausführliche Beschreibung der bei der Feuerwehr verwendeten Löschmittel sowie ihrer Anwendung und Einsatzgrenzen ist Gegenstand des Merkblatts „Löschmittel – Löschverfahren“:

3.1 Abkühlen

Brände glutbildender fester Stoffe werden in der Praxis überwiegend durch Abkühlen gelöscht. Durch die Abkühlung des Brennstoffs wird zum einen die Mindestverbrennungstemperatur des Glutbrandes unterschritten und zum anderen die thermische Zersetzung (Pyrolyse) des Brennstoffs unterbunden, so dass sich keine brennbaren Gase mehr bilden können.

Als kühlendes Löschmittel kommt bei der Feuerwehr praktisch nur Wasser, teilweise mit Netzmittelzusatz oder als Bestandteil von Schwerschaum, zur Anwendung. Wasser hat aufgrund seiner Molekülstruktur eine besonders hohe Wärmekapazität, d. h. die Eigenschaft, bis zu seiner vollständigen Verdampfung eine besonders große Wärmemenge aufzunehmen.

3.2 Ersticken

Beim Löschen durch Ersticken wird der Kontakt des Brennstoffs mit dem Sauerstoff unterbunden oder erschwert. Dieses Löschverfahren ist besonders für Flammenbrände, d. h. Brände von Gasen und Dämpfen geeignet. Es kommt jedoch auch bei Glutbränden bei Fällen zum Einsatz, in denen ein Abkühlen des Brandes mit Wasser zu gefährlichen Situationen und einer Schadensausweitung führen würde.

Ein erstickender Löscheffekt kann auf unterschiedliche Weisen erreicht werden:

- Verdrängen
- Abdecken
- Antikatalytische Löschwirkung

3.2.1 Verdrängen

Beim Verdrängen oder Inertisieren wird die im Brandraum vorhandene Luft durch ein nicht brennbares Gas (Inertgas) verdrängt. Auf diese Weise wird die Sauerstoffkonzentration im Raum gesenkt. Sinkt die Sauerstoffkonzentration in der Raumluft unter ca. 15 %, kann in den meisten Fällen keine Verbrennung mehr ablaufen.

3.2.2 Abdecken

Beim Abdecken oder Trennen wird der Kontakt zwischen Brennstoff und Sauerstoff verhindert.

Dieses Prinzip findet Anwendung beim Ablöschen einer brennenden Flüssigkeit mit Schaum. Eine geschlossene Schaumdecke verhindert die Verdampfung der brennbaren Flüssigkeit und damit die Entstehung eines brennbaren Dampf-Luftgemisches.

Auch beim Löschen von Glutbränden mit Löschpulver, z .B. von Holz mit Glutbrandpulver oder von Metallen mit Metallbrandpulver wird der brennbare Stoff mit einer Schicht aus geschmolzenem Löschpulver bedeckt und auf diese Weise der Zutritt von Sauerstoff verhindert.

Ebenso beim Ablöschen von brennenden Personen oder Gegenständen mit einer Löschdecke kommt das Löschverfahren Ersticken durch Abdecken zur Anwendung.

3.2.3 Antikatalytische Löschwirkung

Eine antikatalytische Löschwirkung kommt durch direktes Eingreifen des Löschmittels in die Verbrennungsreaktion auf molekularer Ebene zustande. Antikatalytisch wirkende Löschmittel verdrängen den Sauerstoff nicht, so dass es in diesem Zusammenhang streng genommen nicht ganz korrekt ist, von einer erstickenden Löschwirkung zu sprechen. Da diese Löschmittel die Reaktion des Brennstoffs mit dem Sauerstoff unterbrechen, wird diese Löschwirkung oft mit dem Begriff „inneres Ersticken“ umschrieben und in der Praxis vereinfachend unter dem Überbegriff der erstickenden Löschwirkung eingeordnet.

Die Wirkung von Löschpulvern bei Flammenbränden beruht hauptsächlich auf antikatalytischen Effekten, die an der insgesamt sehr großen Oberfläche der Pulverteilchen auftreten, wenn diese in Form einer fein verteilten Pulverwolke in die Flamme eingebracht werden.

Die Löschwirkung von Halonlöschmitteln (halogenierte Kohlenwasserstoffe) beruht auf einem antikatalytischen Eingriff des gasförmigen Löschmittels in die Verbrennungsreaktion. Der Einsatz von Halonen als Löschmittel ist jedoch wegen ihrer zerstörenden Wirkung auf die Ozonschicht der Erde mit Ausnahme von wenigen Anwendungsbereichen verboten.

3.3 Beseitigen

Die dritte grundsätzliche Möglichkeit, eine Verbrennung zu beenden, liegt darin, den brennbaren Stoff von der Brandstelle zu entfernen.

In der Praxis kann das dadurch geschehen, dass von einem Feuer bedrohte Lagergüter wie Heu, Holz und andere brennbare Stoffe aus der Gefahrenzone gebracht werden, mögliche Feuerbrücken beseitigt oder bei Waldbränden Brandschneisen gezogen werden.

Diese Variante des Löschens wird in der Praxis vor allem bei der Bekämpfung von Gasbränden durch Absperren der Brennstoffzufuhr angewendet, da das Löschen einer Gasflamme, z. B. mit Löschpulver, ansonsten die Entstehung einer Explosionsgefahr zur Folge hat, wenn die Gaszufuhr nicht unmittelbar danach unterbrochen werden kann.

Notizen

IMPRESSUM

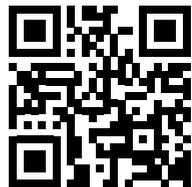
Herausgeber: Staatliche Feuerwehrschnle Würzburg,
Weißenburgstr. 60, 97082 Würzburg

Gestaltung: Staatliche Feuerwehrschnle Würzburg,
Sachgebiet Lehr- und Lernmittel

Version: 4.1

Druck: Hinckel-Druck GmbH, Wertheim

Auflage: 10.000, 02/2018



www.sfs-w.de
Kosten abhängig vom
Netzbetreiber
