

Quelle: <https://www.arbeitssicherheit.de//document/69158ea8-6cde-3535-b6b3-3b2bfb7a89e9>

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

2.4.7 Brandverhalten

Inhaltsübersicht

[2.4.7.1 Brandklasse A – Brennbare Feststoffe](#)

[2.4.7.2 Brandklasse B – Brennbare Flüssigkeiten](#)

[2.4.7.3 Brandklasse C – Brennbare Gase](#)

[2.4.7.4 Brandklasse D – Brennbare Metalle](#)

[2.4.7.5 Brandklasse F – Brennbare Fette](#)

Brennbare Stoffe können in drei Aggregatzuständen vorliegen. Es wird unterschieden zwischen festen, flüssigen und gasförmigen Brennstoffen einschließlich aller Dämpfe, Nebel und Stäube.

Das Brandverhalten eines Stoffes ist neben dem Aggregatzustand von seinen chemischen und physikalischen Eigenschaften sowie von den Umgebungseinflüssen abhängig. Wichtige Größen sind hierbei der Flammpunkt, Entzündungstemperatur, Glimmtemperatur, Zündtemperatur, Sauerstoffzufuhr und Verbrennungsgeschwindigkeit.

Das Brandverhalten ist aber keine Stoffeigenschaft oder Materialkonstante. Wird die Oberfläche eines Stoffes vergrößert, hat dies einen wesentlichen Einfluss auf das Brandverhalten.

Beispiel:

Hält man ein Streichholz an einen Eichentisch, wird dieser nicht brennen. Er wird nur geschwärzt. Hält man nun ein Streichholz an Holzwolle, wird diese sofort entzündet. Vergrößert man die Oberfläche weiter zu Holzstaub und wirbelt man diesen auf, kann es mit Hilfe einer Zündquelle sogar zu einer Explosion kommen.

Die brennbaren Stoffe werden aufgrund ihres Brandverhaltens in verschiedene Brandklassen (s. Kapitel 2.4.3 Tabelle 1) eingeteilt. Die Kenntnis der Brandklasse ist vor allem für das Löschen eines Stoffes von großer Bedeutung.

2.4.7.1 Brandklasse A – Brennbare Feststoffe



Zu dieser Brandklasse gehören alle Brände von festen Stoffen, die normalerweise unter Glutbildung verbrennen.

Holz als Brennstoff

Holz

Holz besteht im Wesentlichen aus 49-50 % Kohlenstoff, 43-45 % Sauerstoff, 6 % Wasserstoff, Kalium, Calcium, Phosphor, Natrium, Magnesium, Schwefel und weiteren Elementen. Voraussetzung, dass es zur Zündung kommt, ist eine thermische Aufbereitung, bei der in der ersten Phase Wasserdampf entweicht. Steigt die Temperatur weiter an, läuft ein Schwelvorgang ab. Hierbei entstehen verschiedene Substanzen:

- Holzgas (ein Gemisch aus Wasserstoff, Methan, Kohlenstoffmonoxid, Kohlenstoffdioxid)
- Methylalkohol
- Essigsäure

2.4.7 Brandverhalten – Seite 2 – 01.04.2010 >>

- Aceton
- Holzteer.

Es entsteht bei der Verbrennung dieser Substanzen eine gelbliche Flamme. Durch die entstehende Wärme wird auch die übrig gebliebene Holzkohle in Brand gesetzt. Sind alle gasförmigen Stoffe verbrannt, glüht die Holzkohle nur noch. Es ist keine Flammenbildung mehr zu sehen.

Die Zündtemperatur des Holzes liegt, je nach Holzart, zwischen 250 °C und 320 °C. Bei längerer Erwärmung auf Temperaturen über 60 °C kann Holz durch Selbsterhitzung auch unterhalb der Zündtemperatur in Brand gesetzt werden.

Kunststoffe

Herstellung

Unter Kunststoffen versteht man heutzutage hauptsächlich künstlich erzeugte, kohlenstoffhaltige Stoffe, die aus Makromolekülen (aus mehreren Tausend Atomen bestehend) aufgebaut sind. Kunststoffe werden aus Kohle, Erdöl oder Erdgas hergestellt. Dazu werden folgende Verfahren angewandt:

- Polymerisation: Bildung einer Molekülkette aus kleinen Molekülen
- Polykondensation: Reaktion zwischen Molekülbausteinen mit mindestens zwei reaktionsfähigen Gruppen und Abspaltung von Wasser und anderen Stoffen
- Polyaddition: Zusammenbau verschiedener Moleküle

Verhalten

Kunststoffe kann man nach ihrem Verhalten in drei grobe Gruppen einteilen:

- Thermoplaste werden bei Erwärmung plastisch und verformbar.
- Duroplaste sind temperaturbeständig und mehr oder weniger hart und spröde.
- Elastomere sind gummielastische und quellbare Kunststoffe. Sie nehmen nach der Beanspruchung wieder ihre Originalform an.

Nachfolgend finden Sie die Verbrennungsarten und die Verbrennungsprodukte der gängigsten Kunststoffe.

Polyolefine

Die wichtigsten Polyolefine sind Polyethylen und Polypropylen (PE, PP). Polyolefine verbrennen mit heller Flamme und unter starker Rauch- und Rußbildung. Als Verbrennungsprodukte treten Kohlenmonoxid, Kohlendioxid und Wasserdampf auf. Bei unvollständiger Verbrennung sind auch Olefine, Paraffine und zyklische Kohlenwasserstoffe im Rauch vorhanden.

Polystyrol

Polystyrol (PS) ist ein glasklares oder eingefärbtes transparentes Material. Bekannt ist dieses aufgeschäumte Material unter dem Handelsnamen Styropor, welches als Verpackungs- und Isoliermaterial genutzt wird. Polystyrol brennt unter starker Rußbildung mit leuchtend gelber Flamme. Die dabei entstehenden Brandgase haben einen süßlichen Geruch. Die Zersetzungsprodukte sind in etwa die gleichen wie bei Polyolefinen. Es tritt jedoch im erhöhten Maße Styrol auf.

Polyvinylchlorid

Polyvinylchlorid (PVC) ist der am häufigsten verwendete Kunststoff. Hart-PVC wird unter anderem für Rohre, Platten und in der Möbelindustrie verwendet. Es verbrennt unter Verkohlung mit grün gesäumter Flamme. Weich-PVC wird für Kabelisolierungen, Schläuche und im aufgeschäumten Zustand verwendet. Es brennt je nach Art und Menge des Weichmachers mit stark rußender Flamme auch nach Wegnahme der Zündquelle.

Die Verbrennungsprodukte sind Kohlenmonoxid, Kohlendioxid und Wasserdampf. Bei der Zersetzung von PVC, welche bei 200 °C beginnt, wird in großen Mengen Salzsäure abgespalten. Bei sehr hohen Temperaturen kann es auch zur Bildung des sehr giftigen Phosgens kommen. Aufgrund des hohen Chlorgehalts ist die Brennbarkeit von PVC im Vergleich zu den anderen Kunststoffen schlechter. Polyvinylidenchlorid (PVDC) besitzt einen noch höheren Chlorgehalt als PVC und brennt daher kaum noch.

Polytetrafluorethylen

Polytetrafluorethylen (PTFE) ist unter den Namen Teflon, Fluon, Hostafion TF im Handel. Es besitzt eine relativ hohe Temperaturbeständigkeit und zersetzt sich erst bei etwa 800 °C in Perfluorethylen und Carbonylfluorid. Unter Luftfeuchtigkeit entsteht Flusssäure (Fluorwasserstoffsäure). Ein Vorteil von PTFE ist, dass es praktisch nicht brennbar ist.

Polyamide

Polyamide (PA) sind unter den Handelsbezeichnungen Nylon, Grilon, Perlon und Rilsan bekannt. Sie verbrennen mit bräunlich gelb geränderter Flamme, blasig aufschäumend und verkohlend. Es entsteht dabei ein Geruch, der an verbranntes Horn erinnert. Die Verbrennungsprodukte sind Ammoniak, Amine und unter Umständen auch die besonders giftige Blausäure.

Polyacrylnitril

Polyacrylnitril (PAN) ist unter den Handelsnamen Orion und Dralon bekannt. Hinsichtlich der Brennbarkeit entspricht es etwa den Polyamiden. Die Gefahr der Blausäurebildung ist jedoch größer als bei diesen. Bei der Verbrennung entsteht eine sprühende gelbe Flamme und starke Rußbildung. Es tritt ein phenolartiger Geruch auf. Die Verbrennungsprodukte, die hier entstehen, sind Phenole, Ketone, Aldehyde, Kohlenmonoxid und Kohlendioxid.

Melamin-Harze

Melamin-Harze werden durch Kondensation von Formaldehyd mit Melamin hergestellt. Melamin-Harze sind praktisch unbrennbar, sie neigen aber, wenn als Füllstoff Holzmehl verwendet wurde, im Brandgeschehen zur Verkohlung. In diesem Fall werden als Brandgase Ammoniak, Formaldehyd und eventuell auch Blausäure frei.

Kautschuk

Kautschuk wird durch Copolymerisation von Polystyrol in Verbindung mit Butadien hergestellt. Er verbrennt unter starker Rauchentwicklung, wobei schwefelhaltige Gase abgespalten werden.

Silikone

Silikone sind sehr temperaturbeständig und praktisch unbrennbar. Es kann jedoch bei sehr hohen Temperaturen zur Zersetzung kommen. Dabei entstehen Kieselsäure bzw. Siliciumdioxid, Kohlenmonoxid und Kohlendioxid.

2.4.7.2 Brandklasse B – Brennare Flüssigkeiten





Zur Brandklasse gehören alle flüssigen Stoffe oder Stoffe, die bei der Erwärmung flüssig werden.

Benzin

Benzin ist eine Mischung aus den gesättigten Kohlenwasserstoffen Pentan, Hexan, Heptan und Oktan. Der Flammpunkt von Benzin liegt je nach Art bei ca. -45 °C . Die Dämpfe von Benzin sind schwerer als Luft und sammeln sich am Boden.

Dieselöl

Das leichtflüssige, gelbliche, mit Wasser nicht mischbare und giftige Dieselöl ist ein Gemisch aus Kohlenwasserstoffen. Da sein Flammpunkt mit über 55 °C sehr hoch liegt, muss es stark erwärmt werden, damit sich genügend brennbare Dämpfe an der Oberfläche bilden, die mit einer Zündquelle entfacht werden können.

Benzol

Beim Benzol (C_6H_6) handelt es sich um einen ungesättigten ringförmigen Kohlenwasserstoff, welcher eine Grundsubstanz für die Farbstoff-, Arzneimittel- und Kunstharzsynthese darstellt. Der Flammpunkt dieser Flüssigkeit liegt bei -11 °C . Benzol ist eine farblose, betäubend riechende, brennbare und giftige Flüssigkeit. Hier ist besondere Vorsicht geboten. Die Flüssigkeit und ihre Dämpfe stellen ein starkes Nervengift dar, das sowohl durch die Atmung als auch durch die unverletzte Haut in den Körper gelangt (Hautresorption).

Methanol

Methanol (CH_3OH) ist der einfachste Alkohol, eine farblose, brennbare giftige Flüssigkeit von brennendem Geschmack. Sie ist mit Wasser in jedem Verhältnis mischbar und brennt mit schwach blauer Flamme. Getrunken oder eingeatmet bewirkt Methanol Erblindung und ab 50 g den Tod. Da Geruch und Geschmack dem trinkbaren Alkohol ähnlich sind, ist eine Gefahr der Verwechslung groß. In der Industrie dient er als Grundstoff für Treibstoff, Lösungs- und Desinfektionsmittel.

Ethanol

Ethanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) ist der gewöhnliche trinkbare Alkohol, welcher auch unter Ethylalkohol, Weingeist, Spiritus oder Sprit bekannt ist. Er ist farblos, brennbar, hat einen angenehmen Geruch. Geringe Mengen sind ungiftig. Wird Ethanol in größeren Mengen aufgenommen, ist er ein berauschendes Nervengift, ab 300 g kann eine tödliche Wirkung eintreten. Alkohol ist stark hydroskopisch, d.h., er entzieht seiner Umgehung Wasserdampf und mischt sich mit Wasser in jedem Verhältnis. Alkohol mit einer Konzentration unter 70 Vol.-% hat einen so hohen Flammpunkt,

2.4.7 Brandverhalten – Seite 5 – 01.04.2010 << >>

dass er unter normalen Umständen nicht mehr brennbar ist. Neben der Getränkeherstellung wird Alkohol als Brennspiritus und insbesondere als Lösungsmittel für chemisch-pharmazeutische Präparate (Medikamente, Toilettenartikel, Farben) eingesetzt.

Ether

Der gebräuchlichste Ether ist der Diethylether ($\text{C}_2\text{H}_5\text{-O-C}_2\text{H}_5$). Es handelt sich hierbei um eine klare, farblose, brennbare Flüssigkeit von typischem Geruch. Ether ist durch seinen tiefen Flammpunkt (-20 °C) und die niedrige Zündtemperatur (170 °C) sehr brandgefährlich. Er wird chemisch durch Synthese hergestellt und ist ein weit verbreitetes Lösungsmittel, welches betäubend wirkt. Ether ist sehr flüchtig, d.h., bei normalen Temperaturen verdampft er stark, da er einen geringen Siedepunkt hat ($34,5\text{ °C}$). Die dabei entstehenden Dämpfe sind aber 2,5-mal schwerer als Luft und können sich daher in entfernten Vertiefungen ansammeln.

Schwefelkohlenstoff

Schwefelkohlenstoff (CS_2) wird in der chemischen Industrie als Lösungs- und Extraktionsmittel eingesetzt. Es handelt sich dabei um eine wasserhelle, brennbare Flüssigkeit mit üblem Geruch. Es ist ein Nervengift, welches auch über die Haut aufgenommen wird (hautresorptiv). Der Schwefelkohlenstoff ist durch seinen breiten Explosionsbereich von 1-60 Vol.-%, den niedrigen Flammpunkt (-30 °C) und die extrem niedrige Zündtemperatur (102 °C) besonders gefährlich. Die Dämpfe können schon durch Druckeinwirkung ohne Luftzufuhr explodieren. Aufgrund der 1,5-mal größeren Dichte als Wasser kann brennender Schwefelkohlenstoff durch Übersichten mit Wasser gelöscht werden. Das Wasser schwimmt auf dem Schwefelkohlenstoff wegen der geringeren Dichte auf und löscht den Brand durch Kühlung und Ersticken.

2.4.7.3 Brandklasse C – Brennbare Gase



In diese Brandklasse gehören alle brennbaren Gase. Unter Gasen versteht man im Brandschutz Stoffe, deren Siedepunkt bei Normaldruck unter 20 °C liegt. Im Gegensatz dazu liegt der Siedepunkt von Dämpfen bei Normaldruck über 20 °C. Gase können sowohl leichter als auch schwerer als Luft sein. Dämpfe hingegen sind meist schwerer als Luft. Hauptsächlich kommen diese Gase in Leitungen, Druckgasflaschen und sonstigen Behältern vor, wo sie unter Druck austreten.

Wasserstoff

Wasserstoff (H_2) ist 14-mal leichter als Luft. Es ist somit das leichteste Gas. Er ist farb-, geruchlos, ungiftig und brennbar. Wasserstoff brennt explosionsartig ab und es kommt im stöchiometrischen Verhältnis von zwei Teilen H_2 und einem Teil O_2 sogar zu einer Detonation (Knallgasreaktion). Der Wasserstoff verbrennt mit einer nicht leuchtenden Flamme zu Wasser.

Methan

Beim Methan (CH_4) handelt es sich um ein farb-, geruchloses, ungiftiges und brennbares Gas, welches rund halb so schwer wie Luft ist. Es bildet den überwiegenden Bestandteil von Erdgas (97-98 %). Methan ist geruchlos, daher wird ihm aus Sicherheitsgründen ein Geruchsstoff beigeetzt.

2.4.7 Brandverhalten – Seite 6 – 01.04.2010 << >>

Propan

Propan (C_3H_8) ist ein farb- und geruchloses, ungiftiges und brennbares Gas. Es ist etwa 1,5-mal so schwer wie Luft. Propan wird meist in Flüssiggasflaschen verwendet. Flüssiggas bedeutet, dass Propan bei Raumtemperatur und einem Druck von 25 bar in der Gasflasche flüssig ist.

Butan

Beim Butan (C_4H_{10}) handelt es sich ebenfalls um ein farbloses, geruchloses und brennbares Gas, welches zweimal so schwer wie Luft ist. Auch dieses Gas ist ein Flüssiggas.

Die Flüssiggase Propan und Butan werden oftmals gemischt verwendet (Feuerzeuggas). Bei Entnahme verdampfen die Flüssigkeiten durch die natürliche Wärmezufuhr aus der Umgebung der Flasche. Da Propan bei -43 °C siedet, Butan aber bei 0 °C, kommt es mit zunehmender Leerung der Flasche zu einer Entmischung, es kann sogar vorkommen, dass reines Butan in der Flasche zurückbleibt. Da bei Minusgraden dieses Butan nicht verdampft, kann es vorkommen, dass diese vermeintlich »leere« Flasche nicht geschlossen wird. Kommt es durch einen späteren Temperaturanstieg wieder zu einem Ausströmen des Gases aus dem geöffneten Ventil, kann dies zu einer Explosion führen.

Ethin

Ethin (C_2H_2) ist besser bekannt unter dem Namen Acetylen. Das Acetylen ist ein farbloses und in reinem Zustand geruchloses Gas mit narkotischer Wirkung. Der typische stechende Knoblauchgeruch von normalem Acetylgas kommt von Verunreinigungen mit Phosphorwasserstoff, Schwefelwasserstoff und Ammoniak. Wird es in Luft verbrannt, rußt die Flamme stark, was erkennen lässt, dass der Kohlenstoff nur unvollständig verbrennt. Erfolgt die Verbrennung jedoch in einem Brenner mit Sauerstoff, kommt es zu einer stark leuchtenden Flamme (Weißglut der Kohlenstoffteilchen) und Flammentemperaturen von 2.000-3.000 °C. Wegen seines hohen Energieinhaltes wird Acetylen für Schweiß- und Schneidbrennarbeiten eingesetzt.

2.4.7.4 Brandklasse D – Brennbare Metalle





Zu dieser Brandklasse gehören alle brennbaren Metalle. Unter bestimmten Voraussetzungen (z.B. in fein verteilter Form oder bei erhöhtem Sauerstoffgehalt der Luft) sind alle Metalle, außer den Edelmetallen, brennbar. Den Hauptbestandteil der Klasse D machen neben den Schwermetallen Zirkonium und Uran die Leichtmetalle (Dichte über 5 kg/dm³) aus.

Natrium

Natrium (Na) ist ein weiches, silberweißes Leichtmetall mit einer Dichte von 0,97 kg/dm³ (somit leichter als Wasser). Kommt es mit Luft in Berührung, läuft es schnell matt an. Bei Berührung mit Wasser (auch in kaltem Zustand) setzt Natrium Wasserstoff frei. Es kann dabei zu explosionsartigen Reaktionen kommen (bei Natriummengen ab 5-6 g). Bei der Verbrennung erscheint eine gelbliche Glut.

Kalium

Kalium (K) ist ein silberglänzendes, weiches Metall (Dichte 0,862 kg/dm³). Es zeigt bei der Berührung mit Wasser ähnliche Reaktionen wie Natrium.

2.4.7 Brandverhalten – Seite 7 – 01.04.2010 << >>

Jedoch läuft die Reaktion hier noch heftiger ab. Bei der Verbrennung zeigt es eine blauviolette Feuererscheinung.

Calcium

Calcium (Ca) ist ein silberweißes, glänzendes Metall, welches an der feuchten Luft eine weiße Hydroxidschicht bildet. Mit Wasser reagiert Calcium im kalten Zustand unter Abspaltung von Wasserstoff. Diese Reaktion verläuft nicht ganz so heftig ab wie bei Natrium. Calcium brennt mit rotgelber Flamme ab.

Barium

Barium (Ba) ist in reinem Zustand ein silberglänzendes Metall (Dichte 3,7 kg/dm³), welches an der Luft grau bis schwarz anläuft. Beim Erwärmen verbrennt es mit grünlicher Flamme zu Bariumoxid und Bariumnitrit. Kommt es mit Wasser in Berührung, spalten sich Bariumhydroxid und Wasserstoff ab. Barium und insbesondere wasserlösliche Bariumverbindungen sind giftig.

Aluminium

Aluminium (Al) ist ein silberweißes Metall (Dichte 2,7 kg/dm³), welches nur in Staubform (explosiv), feinen Spänen oder Folien brennt. Aluminium reagiert in kaltem Zustand nicht mit Wasser.

Beryllium

Beryllium (Be) ist ein hartes, glänzendes, silberweißes Metall (Dichte 1,848 kg/dm³). Es ist sehr giftig und auch nur kurzes Berühren ist sehr gefährlich. Beryllium reagiert in kaltem Zustand nicht mit Wasser und ist praktisch unbrennbar.

Magnesium

Magnesium (Mg) ist ein silberweißes Metall (Dichte 1,745 kg/dm³), welches sich bereits in groben Spänen mit einem Streichholz entzünden lässt. Es brennt im Gegensatz zu Aluminium bei entsprechendem Wärmeeufkommen auch in kompakter Form.

In reiner Form glänzt Titan (Ti) metallisch. Es kommt jedoch meistens als graues bis schwarzes Pulver vor. In kaltem Zustand reagiert es nicht mit Wasser. Die Brennbarkeit von Titan ist mit dem Aluminium gleichzusetzen.

2.4.7.5 Brandklasse F – Brennbare Fette



Diese Brandklasse umfasst Öle, Fette und Wachse pflanzlicher und tierischer Herkunft, wie Speise- und Lacköle. Aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung sind alle natürlichen Öle und Fette brennbar. (Es gibt synthetische Öle, die nicht brennbar sind. Diese werden häufig in der Ölhydraulik verwendet.) Der Flammpunkt von Ölen liegt über 200 °C. Da ein Teil der pflanzlichen Öle aus der Luft Sauerstoff aufnimmt – alle so genannten trocknenden Öle, insbesondere Leinöl –, kommt es bei solchen Ölen bei geeigneten Randbedingungen zur Selbstentzündung.

Natürliche Fette

Eine besondere Gefahr der natürlichen Fette und Öle ist auch die so genannte Fettexplosion. Hierzu kommt es, wenn in eine über 100 °C erwärmte Flüssigkeit Wasser gegossen oder gespritzt wird. Das Wasser, dessen Dichte größer ist als die der Öle und Fette, dringt in tiefere Schichten

2.4.7 Brandverhalten – Seite 8 – 01.04.2010 <<

ein und wird dabei auf die Temperatur der umgebenden Flüssigkeit, also auf über 100 °C, erhitzt. Dabei verdampft das Wasser schlagartig, wobei aus einem Liter Wasser rund 1.700 l Wasserdampf entstehen.

Durch die enorme Volumenvergrößerung wird die heiße Flüssigkeit aus dem Behälter herausgeschleudert, wobei es meist zu einer feinen tröpfchenförmigen Verteilung kommt. Wenn das heiße Öl oder Fett bereits brennt, kommt es in diesem Fall zu einem schlagartigen Abbrennen der herausgeschleuderten Flüssigkeitströpfchen. Der auftretende Feuerball kann leicht Ausmaße von mehreren Metern Durchmesser und 10-20 m Höhe erreichen.

Bearbeitungsdatum: Dezember 2016