

Brandlehre



Beim Großen Preis von Deutschland 1994 in Hockenheim steht der Bennetton-Ford von Jos Verstappen (rechts) in Flammen, nachdem der Tankschlauch beim Auftanken verkanntet auf- gesetzt wurde und sich etwa 12 Liter Benzin über Fahrzeug, Fahrer und Boxenmannschaft ergossen. Sekunden später hatten sich die Benzindämpfe im Auspuffbereich (Diffuser) entzündet. Dank der hervorragenden Schutzmaßnahmen ist der Brand innerhalb von 5 Sekunden gelöscht, Jos Verstappen kommt mit nur leichten Verbrennungen davon und erzielt zwei Wochen später in Ungarn im selben Auto einen 3. Platz.

Geschichtliches

Obwohl die Menschen seit Urzeiten mit Feuer vertraut sind, gelang es ihnen erst recht spät, die Vorgänge während eines Feuers zu erklären.

Die ältesten bekannten Erklärungsversuche stammen von dem griechischen Philosophen Aristoteles.



Aristoteles (384 - 322 v. Chr.).

Für ihn gehörte Feuer zu den vier Grundelementen:

- Feuer
- Wasser
- Erde
- Luft

Alle anderen Dinge bestanden für ihn aus Mischungen dieser vier Grundelemente.

Zu Beginn des 18. Jahrhunderts dann stellte Georg Ernst Stahl die so genannte "Phlogistonhypothese" auf.



Georg Ernst Stahl (1660-1734)

Nach dieser Theorie enthält jeder brennbare Stoff Phlogiston, das beim Verbrennen als Flamme entweicht.

Als man aber feststellte, dass Stoffe beim Verbrennen an Gewicht zunahmen, musste die Theorie erweitert werden, indem man dem Phlogiston ein "negatives Gewicht" zuschrieb. Zugutehalten muss man ihm, dass er noch gar nichts von der Zusammensetzung der Luft wusste.

Dem Franzosen Lavoisier gelang es 1775, die Phlogistonhypothese zu widerlegen.



Antoine-Laurent de Lavoisier (1743-1794)

Er erkannte die richtigen Zusammenhänge, die zu unserem heutigen Wissen über die Verbrennung geführt haben:

MERKE: "Bei der Verbrennung verbindet sich ein bestimmter Teil der Luft ("Sauerstoff") unter Wärmeabgabe mit dem brennbaren Stoff."

Eine Verbrennung wird daher auch als "Oxidation" (Verbindung mit Sauerstoff) bezeichnet.

Dieser bestimmte Teil der Luft wurde 1777 von dem schwedischen Wissenschaftler deutscher Herkunft Carl Wilhelm Scheele isoliert.



Carl Wilhelm Scheele (1742-1786)

Er wurde in seinem Buch "Chemische Abhandlung von der Luft und dem Feuer" beschrieben.

Er nannte ihn "Feuerluft", heute kennen wir ihn unter dem Namen "Sauerstoff"

Voraussetzungen

Damit eine Verbrennung "funktioniert", müssen bestimmte Stoffe vorhanden sein oder bestimmte Voraussetzungen erfüllt werden:

- Sauerstoff
- brennbarer Stoff
- in einem bestimmten Mengenverhältnis
- Zündtemperatur

und, gegebenenfalls :

- Katalysator

MERKE: Wird einer dieser Punkte weggelassen, so kann die Verbrennung nicht mehr weiter verlaufen. Ist dann auch noch brennbares Material nachweisbar, haben wir "gelöscht".

Sauerstoff

Sauerstoff (chem. Zeichen: O)ist das häufigste chemische Element der Erdrinde. Es ist in der Luft zu 20,95 Vol.-% enthalten. Wasser z.B. besteht zu 88 Gew.-% aus Sauerstoff.

Es ist ein farbloses, geruchloses und geschmackloses Gas. Sauerstoff selbst ist nicht brennbar, fördert aber die Verbrennung.

Brennbarer Stoff

Brennbare Stoffe sind feste, flüssige oder gasförmige Stoffe einschließlich Dämpfe, Nebel oder Stäube, die im Gemisch mit Sauerstoff und einer geeigneten Zündquelle zum Brennen angeregt werden können.

Brennbare Stoffe können auf verschiedenste Art und Weise eingeteilt werden:

- nach Brennbarkeit
- nach dem Flammpunkt
- nach der Zündtemperatur
- nach der Mindestzündenergie
- nach der Grenzspaltweite

oder, die Bekannteste, nach dem Brandverhalten.

Brennbare Stoffe, die nach dem Brandverhalten beurteilt werden, werden in vier so genannte Brandklassen eingeteilt.

Brandklasse A



Brände fester Stoffe, hauptsächlich organischer Natur.

<u>Brandverhalten</u>	<u>Stoffbeispiel</u>	<u>Löschmittel</u>
Mit Flamme und Glut	Holz Stroh Papier Leder Textilien Kohle Heu Gummi	Löschpulver ABC mit Glutbrandmittelzusatz Schaum (Leicht-, Mittel und Schwertschaum) Wasser Pulverlöscher DIN PG Wasserlöscher DIN W

Brandklasse B



Brände flüssiger oder flüssig werdender Stoffe

<u>Brandverhalten</u>	<u>Stoffbeispiel</u>	<u>Löschmittel</u>
Nur mit Flamme	Benzin	Kohlensäure (CO ₂) Löschpulver ABC Löschpulver BC Schaumverträgliches BC- Pulver (SV-Pulver) Schaum (Leicht-, Mittel und Schwertschaum) Kohlensäuregaslöscher mit Löschbrause DIN K Pulverlöscher DIN PG Pulverlöscher DIN P
	Benzol	
	Öle	
	Alkohol	
	Aceton	
	Ether	
	Wachse	
	Pech	
	Harze	
	Paraffin	
	Fette	
	Teer	
	Lacke	
usw.		

Brandklasse C



Brände gasförmiger Stoffe

<u>Brandverhalten</u>	<u>Stoffbeispiel</u>	<u>Löschmittel:</u>
Nur mit Flamme	Acetylen	Kohlensäure (CO ₂) Löschpulver ABC Löschpulver BC Schaumverträgliches BC- Pulver (SV-Pulver) Kohlensäuregaslöscher mit Gasdüse DIN K Pulverlöscher DIN P Pulverlöscher DIN PG
	Wasserstoff	
	Methan	
	Propan	
	Butan	
	Stadtgas	
	Erdgas	
	Kokereigas oder	
	Grubengas	



Brandklasse D



Brände Metallischer Stoffe

<u>Brandverhalten</u>	<u>Stoffbeispiel</u>	<u>Löschmittel</u>
Nur mit Glut	Aluminium	Löschpulver für Metallbrände (ausgenommen Natrium und Kalium) Spezial- Metallbrandlöschpulver für alle Metallbrände Pulverlöscher DIN M 12 mit Löschbrause Metallbrand-Sonderlöscher mit Löschbrause usw.
	Beryllium	
	Calcium	
	Caesium	
	Cer	
	Kalium	
	Lithium	
	Magnesium	
	Natrium	
	Zinkpulver	
	Zirkonium	
	Legierungen	

Einteilung brennbarer Flüssigkeiten nach VbF

Bei Flüssigkeiten brennt nicht die Flüssigkeit selbst, sondern die über der Flüssigkeitsoberfläche vorhandenen Dämpfe, die mit dem Sauerstoff der Luft durchmischt entzündbar sind.

Die "Verordnung über brennbare Flüssigkeiten" (VbF) teilt brennbare Flüssigkeiten in 2 Gefahrklassen ein. Die Kenntnis über diese Gefahrklassen ist sehr wichtig bei der Wahl der Löschmethode und der Abschätzung der Gefahr, die von dieser Flüssigkeit ausgeht.

Brennbare Flüssigkeiten Gefahrklasse A (nicht wasserlöslich)

Diese Gefahrklasse ist dreifach unterteilt:

<u>Gefahrklasse</u>	<u>Flammpunkt [Grad C]</u>	<u>Stoffbeispiel</u>
A1	unter 21	Benzin Ether.
A2	von 21 bis 55	Petroleum.
A3	von 55 bis 100	Dieselmotorenkraftstoff.

Brennbare Flüssigkeiten Gefahrklasse B (wasserlöslich)

Flüssigkeiten mit einem Flammpunkt unter 21°C, die sich bei 15°C beliebig in Wasser lösen lassen.

Solche Flüssigkeiten kann man beispielsweise mit Wasser löschen, da durch das Vermischen mit dem Wasser der Flammpunkt der brennbaren Flüssigkeit immer weiter nach oben wandert. Beispiel: Alkohol, Aceton

Mengenverhältnis

Das Mengenverhältnis kann großen Einfluss darauf haben, wie eine Verbrennung abläuft.

Ein großes Holzstück lässt sich nur schwer anzünden. Das gleiche Stück Holz aber zu Staub zermahlen lässt sich sehr gut zünden und kann in der Luft verteilt gar zu einer Explosion führen.

Beispiel:

Fehlschlagen wird der Versuch, nur mit einer brennenden Zigarette, die ca. 300 Grad C an der Spitze entwickelt, einen massiven Tisch in Brand zu stecken.

Bei kleinen Holzspänen, ist diese Vorgehensweise mit der Zigarette höchstwahrscheinlich jedoch erfolgreich, da durch das Abhobeln die Oberfläche vergrößert wird, und somit eine bessere Sauerstoffanbindung erreicht wird.

Entscheidend sind also folgende Faktoren:

- **Art des Ausgangsstoffes**
- **Chemische Zusammensetzung des Ausgangsstoffes**
- **Physikalische Beschaffenheit (Oberfläche) des Ausgangsstoffes.**

MERKE: Bei festen Stoffen verläuft die Verbrennung umso schneller, je größer das Verhältnis Oberfläche zu Masse ist.

Durch eine große Oberfläche wird dem Sauerstoff die Möglichkeit gegeben, sich in kurzer Zeit mit sehr vielen Molekülen des brennbaren festen Stoffes zu verbinden. Ein Rechenbeispiel, um sich die Ausmaße klar zu machen, ist im Anhang A geschildert.

Analog dazu kann ein voller Behälter, der z.B. mit Benzin gefüllt ist, nicht zur Explosion gebracht werden; während die berühmte Schnapsglasmenge Benzin im luftgefüllten 200-Liter-Faß bei der Zündung den Zündenden im wahrsten Sinne des Wortes aus den Socken reißt.

Merke: Dämpfe oder Gase im Gemisch mit Sauerstoff müssen nicht in jedem Mischverhältnis zündbar sein. Der so genannte Zündbereich (oder Explosionsbereich) ist die Konzentration, in der sich die brennbaren Gase, Nebel oder Dämpfe im Luftgemisch zünden lassen.

Der Zündbereich ist von Stoff zu Stoff verschieden. Die niedrigste Konzentration, in der sich ein Gas-Gemisch, etc., zünden lässt, nennt man untere Explosionsgrenze; darunter ist das Gemisch zu "mager".

Die höchste Konzentration, in der sich ein Gas-Gemisch, etc., zünden lässt, bezeichnet man als obere Explosionsgrenze; darüber ist das Gemisch zu "fett".

(oberer/unterer) Explosionsbereich am Beispiel von Kohlenmonoxid:

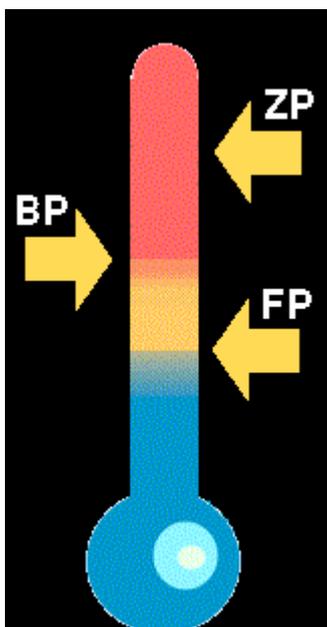
0 Vol. %	12,5 Vol. %	Explosionsbereich	75 Vol. %	100 Vol. %
Mager	<= (unterer)		(oberer) =>	Fett

Beispiele für Explosionsgrenzen von verschiedenen Stoffen:

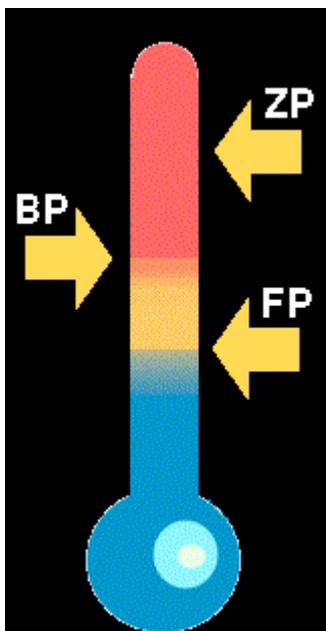
<u>Stoff</u>	<u>untere Explosionsgrenze im Gemisch mit Luft [Vol.-%]</u>	<u>obere Explosionsgrenze im Gemisch mit Luft [Vol.-%]</u>
Acetylen	1,5	82
Ammoniak	15	28
Benzin	0,6	8
Erdgas	4,5	13,5
Kohlenmonoxid	12,5	75
Methan	5	15
Petroleum	0,7	5
Propan	2,1	9,5
Schwefelkohlenstoff	1	60
Wasserstoff	4	75,6

Je größer der Explosionsbereich, desto gefährlicher ist natürlich auch der Umgang mit diesem Stoff. Acetylen ist quasi in jeder Konzentration explosibel.

Flammpunkt



Der "Flammpunkt" (FP) einer brennbaren Flüssigkeit ist die niedrigste Flüssigkeitstemperatur, bei der sich unter festgelegten Bedingungen Dämpfe in solcher Menge entwickeln, dass über dem Flüssigkeitsspiegel ein durch Fremdentzündung entzündbares Dampf/Luft-Gemisch entsteht."(DIN 14011 Teil 1) Nur in diesem bestimmten Dampfmischungsverhältnis zwischen Flüssigkeit / Luft / Sauerstoff können diese entzündet werden.



Die Flamme befindet sich dabei oberhalb der Flüssigkeit und ist stark von der Temperatur des Stoffes abhängig. Wird die Zündquelle weggenommen, so läuft die Verbrennung nicht mehr von alleine weiter: Die Flammen erlöschen.

MERKE: Der Flammpunkt ist die also die niedrigste Temperatur, bei der eine Flüssigkeit entzündliche Dämpfe entwickelt.

Bei Vergaserkraftstoffen liegt der Flammpunkt bei minus 20 Grad C, wobei bei Dieselmotorkraftstoff mindestens plus 55 Grad C erreicht werden müssen, damit eine Verdampfung eintritt.

Deswegen ist auch die Lagerung von Diesel, was diesen Gesichtspunkt betrifft, unproblematischer als die Lagerung von Benzin.

Der Flammpunkt ist also auch eine Bezeichnung, die mit die Gefährlichkeit eines Stoffes klassifiziert.

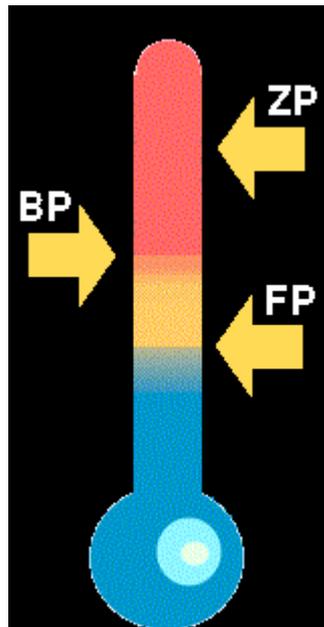
Brennpunkt

Der Brennpunkt (BP) liegt grundsätzlich über dem Flammpunkt. Je niedriger der Flammpunkt ist, umso näher liegt auch der Brennpunkt am Flammpunkt.

Beispiel:

<u>Stoff</u>	<u>Flammpunkt [°C]</u>	<u>Brennpunkt [°C]</u>	<u>Differenz [°C]</u>
Benzol	-11	-9	2
Schmieröl	148	190	42

Schematische Darstellung von Flammpunkt, Brennpunkt und Zündpunkt (Zündtemperatur):



MERKE: Der "Brennpunkt" (BP) einer brennbaren Flüssigkeit ist die niedrigste Flüssigkeitstemperatur, bei der ein Fremdgezündetes Dampf/Luft-Gemisch weiter brennt, selbst wenn die Zündquelle entfernt worden ist.

Zündpunkt

Zündung bedeutet: Chemisch-physikalische Energieübertragung mit gleichzeitiger Freisetzung von Wärme.

Der Zündpunkt (ZP) bzw. die Zündtemperatur eines Stoffes im Gemisch mit Luft ist die niedrigste Temperatur einer senkrechten heißen Oberfläche, an der die brennbare Substanz zur Entzündung kommt. Maßgebend ist die Temperatur bei der sich die Substanz (bei Gemischen mit jeweils optimaler Konzentration) entzündet.

Da die Zündtemperatur von verschiedenen Randbedingungen abhängt, lässt sich eine genaue Angabe der Zündtemperatur eines bestimmten Stoffes nur grob angeben.

Beeinflusst wird die Zündtemperatur zu Beispiel von:

- Art der Zündquelle
- Dauer der Erwärmung
- Sauerstoffgehalt der Umgebungsluft
- das Verhältnis Oberfläche zu Masse
- der Feuchtigkeitsgehalt des Stoffes.
-

MERKE: Die Zündtemperatur ist die niedrigste Temperatur, bei der

- ein fester Stoff zum Brennen angeregt wird
- ein explosionsfähiges Luftgemisch bei Berührung zum Brennen angeregt wird.

Beispiele für Zündtemperaturen verschiedener Stoffe



A Feste Stoffe

<u>Stoff</u>	<u>Zündtemperatur [°C]</u>
Holzkohle	350
Holz	220 - 320
Papier	185 - 360
Schwefel	250



B Flüssige Stoffe

<u>Stoff</u>	<u>Zündtemperatur [°C]</u>
Alkohol	425
Benzin	240 - 500
Petroleum	280
Schmieröle	510 - 610



C

Gasförmige Stoffe

<u>Stoff</u>	<u>Zündtemperatur [°C]</u>
Acetylen	305
Kohlenmonoxid	605
Methan	595
Wasserstoff	560



Metallischer Stoffe

<u>Stoff</u>	<u>Zündtemperatur [°C]</u>
Zinn	450

Katalysator

Die Wirkungsweise eines Katalysators beruht darauf, dass er mit einer der Substanzen des Materials eine reaktionsfähige Zwischenverbindung bildet, die eine geringere Aktivierungsenergie besitzt als das ursprüngliche Material.

Die Zwischenverbindung reagiert mit dem anderen Reaktionspartner dann so, dass der Katalysator im Lauf der Reaktion wieder freigesetzt wird.

MERKE: Katalysatoren beschleunigen oder ermöglichen eine Verbrennung, ohne dabei selbst verbraucht zu werden.

Oxidationsgeschwindigkeit, Oxidationsarten und andere Gefahren

Ein normaler Brand ist nicht die einzige Möglichkeit, wie sich ein Stoff mit dem Luftsauerstoff verbindet. Die meisten dieser Vorgänge laufen vor unseren Augen ab, ohne, dass wir sie in kurzer Zeit bemerken.

Wichtig ist hierbei der Begriff der Oxidationsgeschwindigkeit, also die Geschwindigkeit, in der sich der Sauerstoff mit dem Stoff verbindet.

Wie bereits am Anfang gesagt, entsteht bei einer Oxidation Energie in Form von Wärme. Ab einer gewissen Oxidationsgeschwindigkeit wird soviel Energie frei, dass dabei eine Lichterscheinung beobachtet werden kann, eben Flamme oder Glut.

Oxidationen mit Lichterscheinung bezeichnet man als Brennen.

Oxydationsgeschwindigkeit ->			
ohne Lichterscheinung	mit Lichterscheinung		
gären, rosten	normales Brennen	Deflagration	Detonation

ohne Lichterscheinung: (von oben nach unten zunehmend)

- gären
- rosten
- verwesen

mit Lichterscheinung: (von oben nach unten zunehmend)

- normales Brennen
- Verpuffung
- Deflagration
- Detonation

Interessant für uns sind natürlich nur Oxidationen mit Lichterscheinung. Arten solcher Oxidation sind:

Explosion

Explosion ist eine sehr schnelle Verbrennung, die eine Temperatur- oder Druckerhöhung oder beides gleichzeitig bewirkt. Nach der Ausbreitungsgeschwindigkeit und Druckerhöhung unterscheidet man zwischen Verpuffung, Deflagration und Detonation.

Verpuffung

Eine Verpuffung ist eine Explosion mit einer

Flammenausbreitungsgeschwindigkeit unter 1m/s und einem geringen Druckanstieg unter 1 bar.

Deflagration

Eine Deflagration ist eine gedämmte Explosion mit einer Flammenausbreitungsgeschwindigkeit unter der Schallgrenze (bis 330m/s) und einem Druckanstieg bis zu 1-14 bar.

Detonation

Eine Detonation ist eine aufs äußerste gesteigerte Explosion mit einer Flammenausbreitungsgeschwindigkeit von bis zu einigen km/s und einem Druckanstieg von mehr als 10 bar. Sie tritt meist auf, wenn der brennbare Stoff mit reinem Sauerstoff gemischt vorliegt, wie zum Beispiel bei der Knallgasreaktion (Wasserstoff-Sauerstoff-Gemisch) oder bei Sprengstoffen

Flash-Over (deutsch: "Feuerübersprung"), mittlerweile als "Backdraft" schon zu Hollywooddehnen gekommen, stellt eine besondere Gefahr für die Einsatzkräfte dar.

In einen verschlossenen Raum sei der Sauerstoff aufgebraucht. Durch starke Wärmeentwicklung bei der Entstehungsphase eines Brandes werden brennbare Stoffe in einem Raum thermisch aufbereitet. Es entstehen Brandgase, die ein explosives Gemisch bilden und ihre Zündtemperaturen erreichen. Wird nun dem Gemisch Sauerstoff hinzugefügt (z.B. durch das Öffnen der Zimmertür), so sind alle Voraussetzungen für eine Oxidation vorhanden. Es kommt zu einem schlagartigen Durchzünden und einer Brandübertragung (Stichflamme!).

Abhilfe: Deckung suchen!

(Wenn irgend möglich, beim Öffnen der Türe mit Sprühstrahl gegen die Decke spritzen. Dadurch wird das explosive Gemisch, welches zur Decke gestiegen ist, unter die Zündtemperatur abgekühlt. Wie die zeitliche Abfolge eine solche Aktion zulässt, ist natürlich fraglich.)

Anschauungsbeispiel Oberfläche/Masse

Laut Verbrennungstheorie lässt sich die Verbrennungsgeschwindigkeit eines festen Stoffes erhöhen, indem der brennbare feste Stoff zerkleinert oder feinst zerteilt wird. Dadurch wird die Oberfläche (bei gleich bleibender Masse) des brennbaren Stoffes größer, und der Sauerstoff kann schneller mit dem brennbaren Stoff in Kontakt treten.

Das Verhältnis Oberfläche/Masse wächst also beim Zerteilen. Das folgende Modell soll das Anwachsen des Verhältnisses verdeutlichen:

Man stelle sich einen Würfel mit einer Kantenlänge von 1 m vor, der aus einem Material wie Holz besteht

Die Fläche jeder Seite beträgt $1\text{ m} \cdot 1\text{ m} = 1\text{ m}^2$. Da ein Würfel 6 Seiten besitzt, beträgt seine Gesamtfläche $6 \cdot 1\text{ m}^2 = 6\text{ m}^2$

Wenn ich den Würfel in gleicher Richtung zu zwei Seitenebenen, also parallel zu zwei Kanten, durchschneide, so erhöhe ich die Gesamtfläche meines ursprünglichen Materials um 2 m^2

Will man den großen Würfel in 8 kleinere Würfel (Kantenlänge: 50 cm) zerteilen, so sind 3 Schnitte, nämlich 1 horizontaler und 2 vertikale Schnitte notwendig. Die Gesamtfläche erhöht sich also: $3 \text{ [Schnitte]} \cdot 2\text{ m}^2 = 6\text{ m}^2$.

Die Gesamtfläche hat sich also bereits durch 3 Schnitte verdoppelt.

Man zerteile den großen Würfel in Knobelwürfel von 2 cm Kantenlänge.

Dafür muss der Würfel $3 \cdot (100\text{ cm} / 2\text{ cm} - 1) = 147$ mal zerteilt werden. Die Gesamtfläche beträgt nun $6\text{ m}^2 + 147 \cdot 2\text{ m}^2 = 300\text{ m}^2$.

Unsere ursprüngliche Fläche eines Badezimmers ist mittlerweile auf die Gesamtfläche von 3 großen Wohnungen angewachsen.

Man zerteile den großen Würfel zu grobem Mehl (in Würfelchen von 0.1 mm Kantenlänge). Dafür muss der Würfel $3 \cdot (1000\text{ mm} / 0,1\text{ mm} - 1) = 29.997$ mal zerteilt werden. Die Gesamtfläche beträgt nun $6\text{ m}^2 + 29.997 \cdot 2\text{ m}^2 = 60.000\text{ m}^2$. Dies entspricht einer Fläche von 10 Fußballfeldern.

Man zerteile den großen Würfel zu Staubpartikeln durchschnittlicher Größe (Kantenlänge: 0,0005 mm). Dafür muss der Würfel $3 \cdot (1000\text{ mm} / 0,0005\text{ mm} - 1) = 5.999.997$ -mal zerteilt werden. Die Gesamtfläche beträgt nun $6\text{ m}^2 + 5.999.997 \cdot 2\text{ m}^2 = 12.000.000\text{ m}^2$. Dies entspricht etwa einem Elftel der Fläche der Stadt Bonn ($140.000.000\text{ m}^2$).

Beim letzten Beispiel hat sich also im Vergleich zur Ausgangslage das Verhältnis Oberfläche/Masse verzweimillionenfacht.

Zündtemperaturen ausgewählter Stoffe

Zündtemperaturen in Grad C./Flammpunkte in Grad C. :

Leichtbenzin - 58 bis 10
Äther - 20
Azeton - 19
Vergaserkraftstoff 0 - 5
Terpentinöl 31
Teer 48 - 82
Portwein 54
Phosphor 60
Wachs schmilzt 64
Sprinkleranlagen werden ausgelöst 70
Holz kann bei Langandauernder Hitze entzündet werden 80
Schwefelkohlenstaub 120
Zelluloid 120
Polystyrol kollabiert(dünnwandige Essgefäße bzw. Behälter) 120
Gardinenhaken, Lautsprecher erweichen. 120
Polyetylen schrumpft (Tassen, Tüten, Eimer) 120
Kautschuk schmilzt. 120
Polymethyl- Metacrylat weicht auf (Griffe, Stiele von Töpfen) 130
Steinkohlenstaub 145
Braunkohlenstaub 150
Hartparaffin 160
Gummi 160 - 430
Holzkohlenstaub 160
Oberflächentemperatur von 40-60 Watt Glühlampen 170
Tabak 175
Polyurethan schmilzt (Betten , Möbel , Isolierungen, 175
Oberflächentemperatur von Rotlichtstrahlern. 180
Lötzinn 180

Olivenöl 215 - 260
Rapsöl 220
Bügeleisentemperatur 220

Dieselmkraftstoff(DIN 51601) 220 - 300
Heu 230
Baumwolle 230
Torf 230
Stroh 230
Jute 240
Holzwolle 250
Wellpappe 250
Holzkohle 245 - 350
Schwefel 250
Schmieröl 250 - 400
Terpentinöl 255 - 275
Kohle 250 - 500
Seidenpapier 260
Maximale Temperatur einer 100 Watt-Birne 260

Spanplatte 280
Krepppapier 280
Fichtenholz 280
Kerze in 20 cm Abstand von der Dochtspitze 285

glimmende Zigarette 300
Erhitzungen von Elektroleitungen beim Kurzschluss 300
Wachs 300
Linoleum 300
Watte 320
Schilfmatten 320
Acetylen 335
Eichenholz 330 - 340
Steinkohle 340
Äther 350 - 400
Schreibpapier 360
Beleuchtungsteile Gehäuse erweichen bei 600 Abschmelzungen 400
Luft aus Nachtspeicheröfen 400
Dachpappe 400 - 500
Weizen 420
Leinöl 430
Olivenöl 440
Zinn 450
Baumwollgewebe 450
PVC 450 - 475
Nylon 470
Plexiglas 480
Butan 490
Abschmelzen von Isolierstoffen und verbrennen 500
Styropor 500 - 550
Glas verformt sich und zerfließt bei 850 -550
Koks 500 - 650

Schmieröl 510 - 600 525
Zigarettenglut beim Ziehen 550
Stadtgas 560
Wolle 570
Methan 590 - 750
Brennspiritus 630
Flamme einer Kerze 650 - 950
Temperatur eines Auspuffkrümmers 800
Temperatur beim Wohnungsbrand 800 - 1200
Temperatur einer 800 Watt Kochplatte 900
Email 960
Silber 960

Gold 1100
Gusseisen 1200
Ziegelsteine 1250
Stahl 1300 - 1500
Hitze beim Schweißen 1500

Lötlampe 1500 - 2000
Porzellan 1550
Chrom 1900
Platin 1980
Flamme von Wasserstoff 1975
Flamme Stadtgas 2600
Flamme Propan · 2700
Flamme Acetylen 3200
Temperatur elektrischer Lichtbogen 4000
Temperatur eines Blitzes 15000 - 30000

Quellenverzeichnis

Folgende Literatur wurde beim Erstellen dieser Datei verwendet:

- **Schmitz/ Schneider: Lehrunterlagen der Feuerwehr Bonn :Brandlehre, Ausgabe 1994**
- **Der Feuerwehrmann auf der Schulbank, Heft 2, Auflage 1992**
- **Hamilton: Handbuch für den Feuerwehrmann, Boorberg Verlag, 1995**
- **Latscha/Klein: Anorganische Chemie, Springer Verlag, 1994**
- **Schott/Ritter: FwDV 2/2, Wenzel Verlag, 1994**
- **Prendke: Lexikon der Feuerwehr, Kohlhammer Verlag, 1996**