

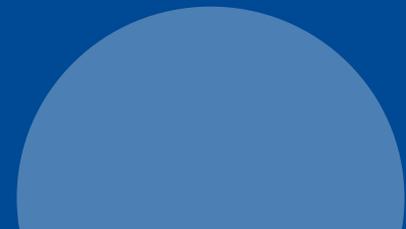
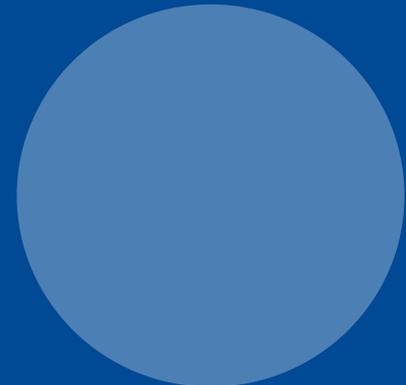
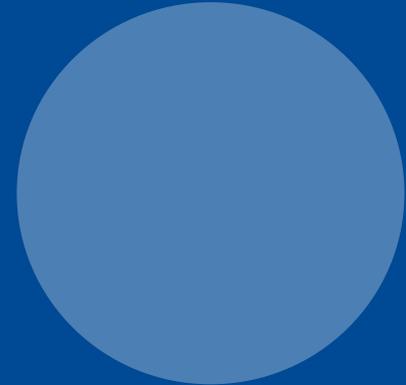
# Brände, Feuer, Explosionen

*Ein Experimentalvortrag*

FASI-Vortrag in Regenstauf

01.12.2023

Dr. Peter Illner



## Warnhinweis

Explosionen mit Knalleffekt!

Hörgeräteträger aufgepasst !

Schwangere aufgepasst!



**Machen Sie die Versuche nicht zu Hause nach!!**

**KB 028-1**  
kurz & bündig



# Brand- und Explosionsgefahren

Schutzmaßnahmen für sichere Tätigkeiten mit brennbaren Stoffen

**VISION ZERO.**  
NULL UNFÄLLE – GESUND ARBEITEN!

Im Medienshop und Downloadcenter der BGR CI unter [www.bgrci.de](http://www.bgrci.de)

# Einführung

*Warum Brand- und Explosionsschutz?*

# Brände und Explosionen in Deutschland pro Jahr

Ca. 400 Tote und ca. 4.000 Verletzte pro Jahr in Deutschland

Ca. 3.000 AU-Meldungen mit Ursache Brand / Explosion bei allen Berufsgenossenschaften

Gesamt-Schadenaufwand bei allen Versicherern > 3 Mrd. Euro

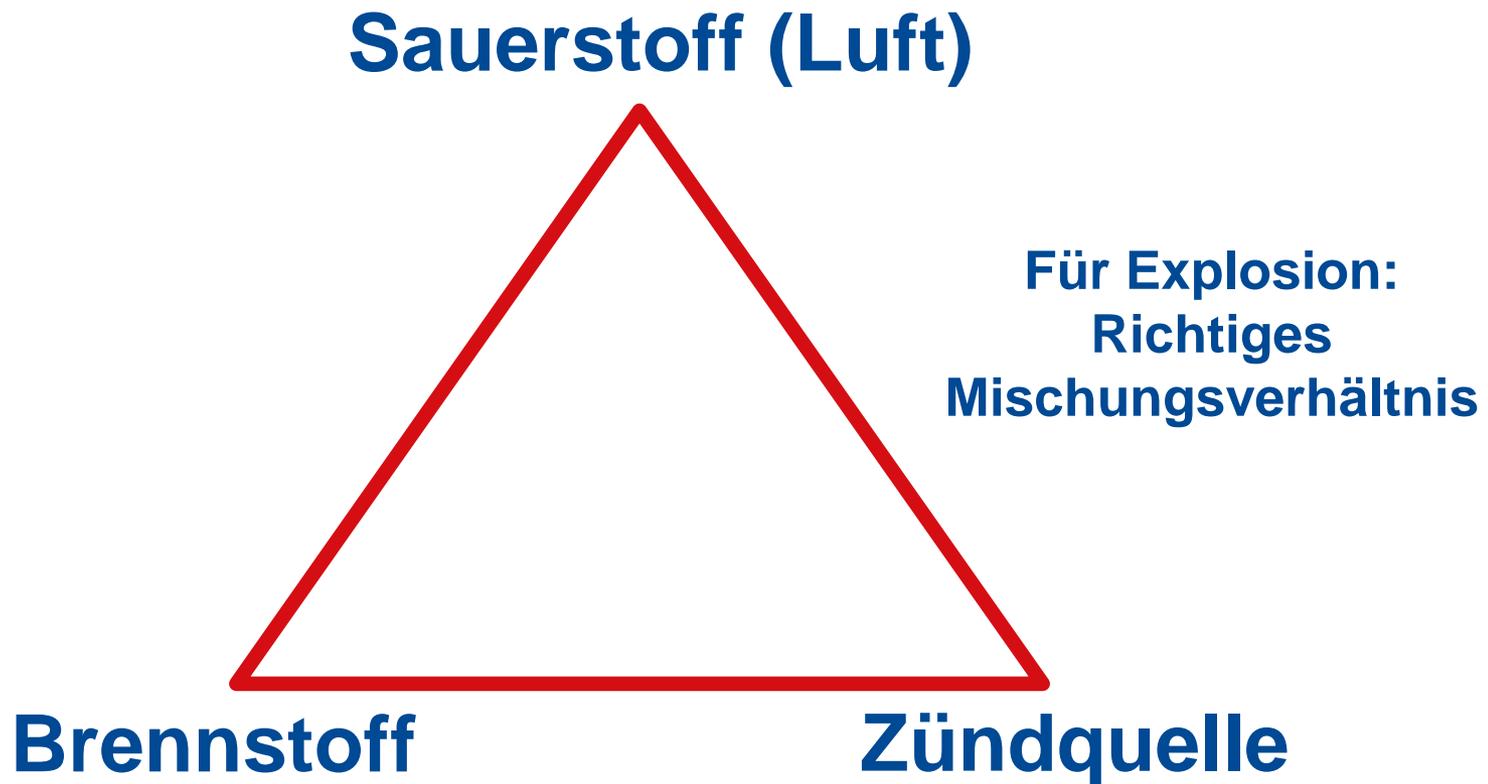
# Schwerste Explosion in Deutschland (21.9.1921 Oppau)



Bild:  
Wikipedia

561 Todesopfer, 2000 Verletzte, 7000 Obdachlose

## Voraussetzungen für einen Brand / Explosion ?



# Sauerstoff-Konzentration

Sauerstoff-Konzentration ist extrem wichtig für Verbrennung:

„Normal“  $\approx 20,9\%$

Inertisierung führt zum Erlöschen

Holz brennt bis  $17\% \text{ O}_2$

Kunststoffe bis  $15\% \text{ O}_2$

Butan-Gas bis  $12-14\% \text{ O}_2$

Wasserstoff bis  $5\% \text{ O}_2$

-> Lager mit reduzierter Sauerstoff-Atmosphäre -> ca.  $13\% \text{ O}_2$

# Zündquellen

*Was kann einen Brand auslösen?*

# Zündquellen

- ➔ Offene Flamme
- Mechanische Funken
- Reibung
- Heiße Oberflächen
- Adiabatische Kompression
- Elektrischer Funke
- Elektrostatische Aufladung / Entladung
- Chemische Reaktion
- Strahlung: Sonnenlicht, Laser, Mikrowellen, radioaktive Strahlung



# Reibung



Durch Reibung entsteht  
Reibungswärme bis zur  
Zündung

Bildquelle: Wellcome Images

<https://wellcomeimages.org/indexplus/image/M0005569.html>

# Heiße Oberflächen: Zündtemperatur

Die Zündtemperatur ist die **Temperatur**, auf die man einen Stoff (oder eine **Kontaktfläche**) erhitzen muss, damit sich eine brennbare Substanz in Gegenwart von **Luft** ausschließlich aufgrund seiner Temperatur – also **ohne weitere Zündquelle** – selbst entzündet.

Zündtemperaturen	
Wasserstoff	560 °C
Benzol	555 °C
Baumwolle	450 °C
Butan	400 °C
Benzin	360°C (220-460°C)
Watte	320 °C
Holz Eiche	300 °C
Holz Kiefer	290 °C
Holz Tanne	280 °C
Holz Buche	270 °C
Diesel (ISO 3579)	255 °C (200-350°C)
Papier	233 °C (165-360°C)
Diethylether	170 °C
Schwefelkohlenstoff	95 °C

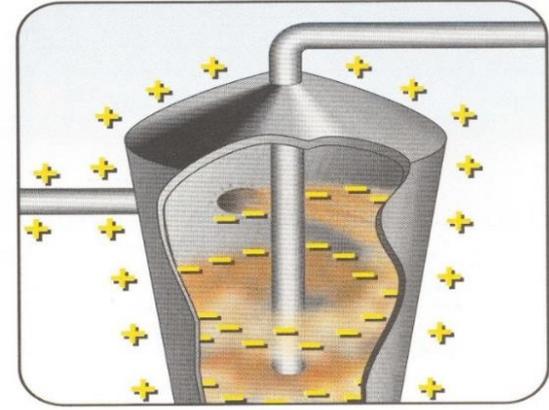
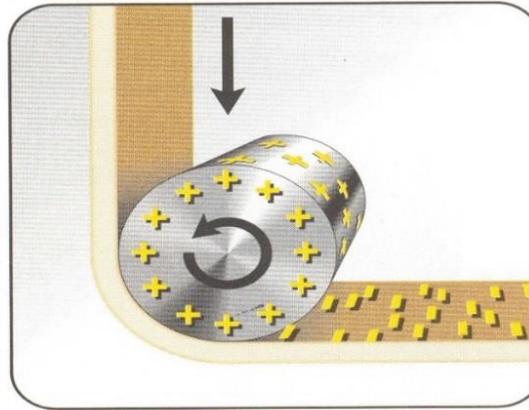
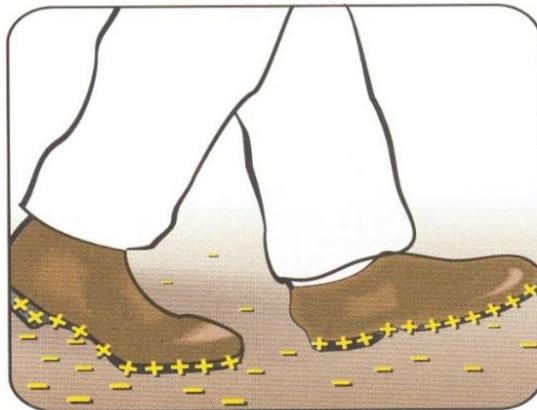
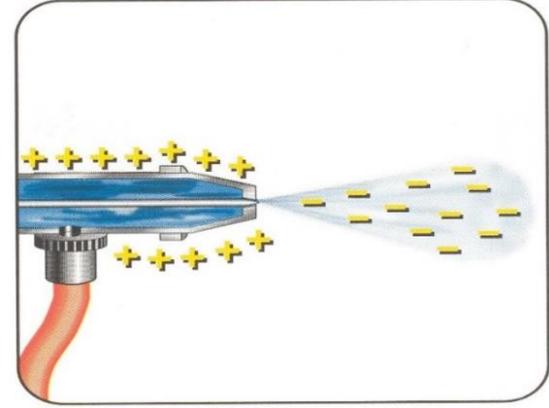
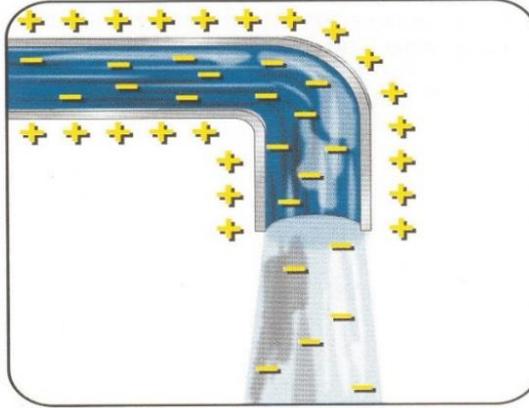
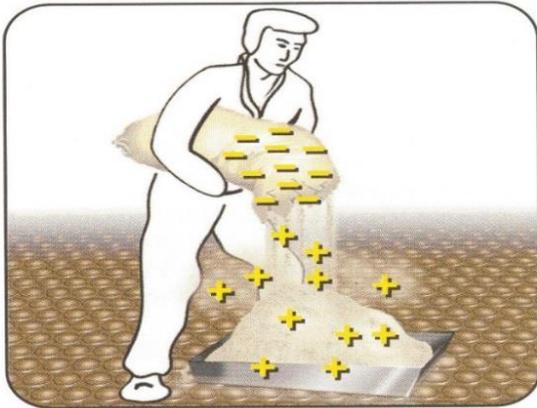
# Elektrischer Funke



Bilder: pixabay

# Elektrostatik

Elektrostatische Aufladung entsteht bei Trennprozessen



Lösungsmittel	Mindest-zündenergie [mJ]
Dichlormethan	9300
1,2-Dichlorethan	1,0
Aceton	0,55
Ethanol	0,28
Benzol	0,20
Diethylether	0,19
Schwefelkohlenstoff	0,009

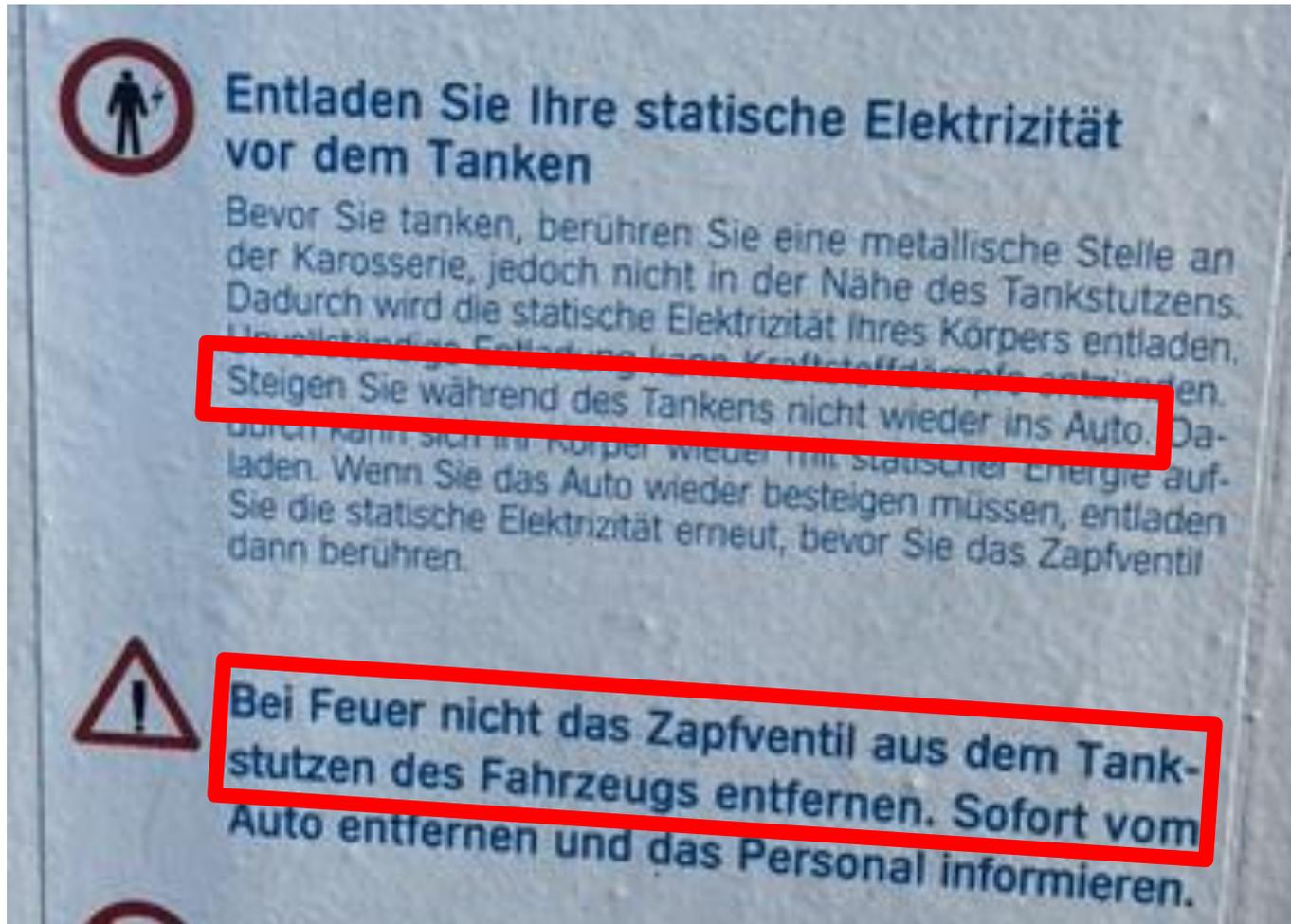
Gase	Mindest-zündenergie [mJ]
Ammoniak	14
<i>N</i> -Butan	0,25
Acetylen	0,019
Wasserstoff	0,016

Stäube	Mindest-zündenergie [mJ]
Normal	> 10
<i>Besonders</i>	3 - 10
Extrem	< 3

Energien von Zündquellen
Person: 7-15mJ
Flansch/Eimer: 0,5mJ
Kleinbehälter (≤ 50 L): 2mJ
Metallbehälter (200 - 500 L): 10-60mJ

Funkenstrecke ca. 1 mm pro 1 kV

# Gefahr an der Tankstelle?



# Sauerstoff

*Was passiert bei erhöhtem Sauerstoffgehalt?*

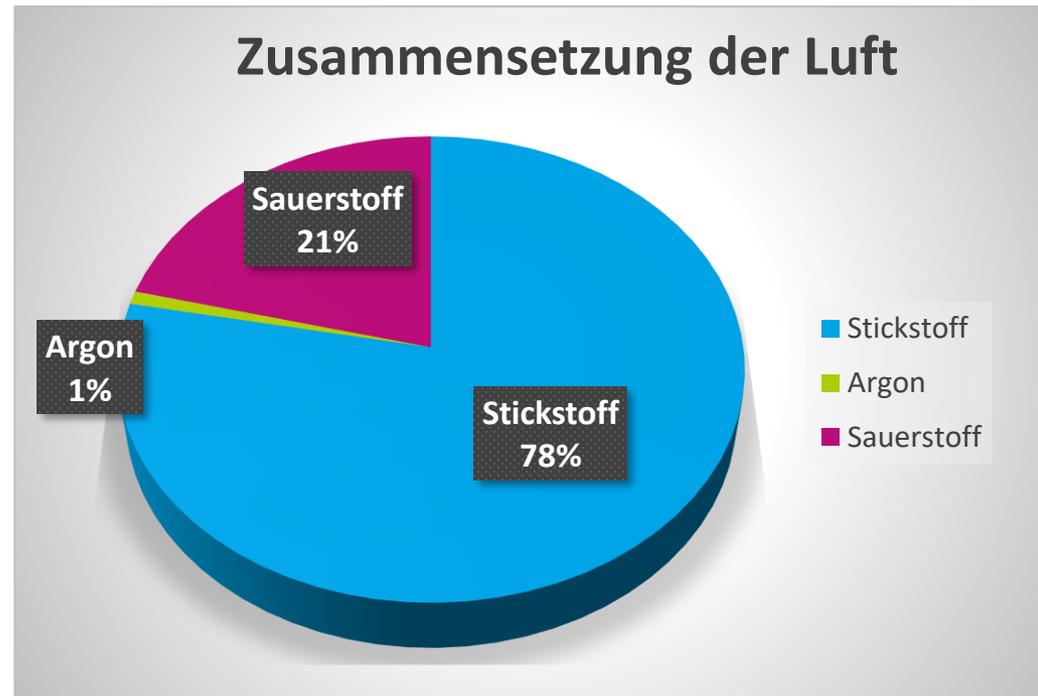
# Sauerstoff

natürlicher Bestandteil der Luft

farblos, geruchlos

selbst nicht brennbar

fördert die Verbrennung



# Brennbare Feststoffe

*Wann brennen Feststoffe?  
Wie lösche ich sie?*

# Brennbare Feststoffe

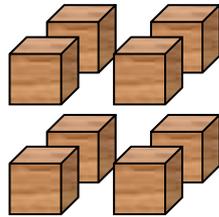
Brennbarkeit abhängig von der Oberfläche

Holz mit Kantenlänge 1 cm

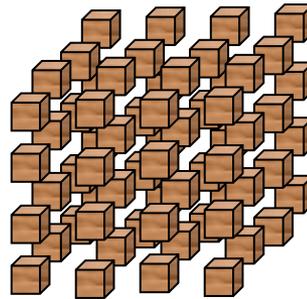
$1 \text{ cm}^3 \approx 1 \text{ g}$



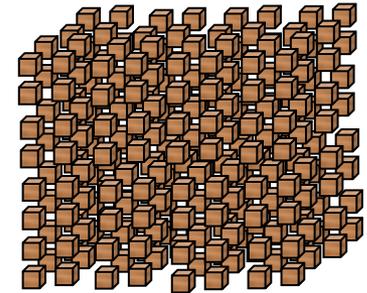
$6 \text{ cm}^2$



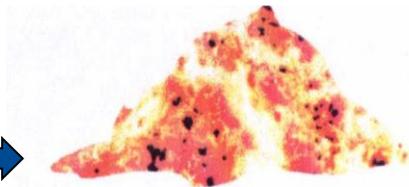
$12 \text{ cm}^2$



$24 \text{ cm}^2$



$48 \text{ cm}^2$



$\approx 0,6 \text{ m}^2$



Staub abblasen

# Staub-Explosionsgefahr

Staub  $\varnothing < 0,5 \text{ mm}$  (500  $\mu\text{m}$ ) (Korngröße)

Zündung bei Konzentrationen, wo man „die Hand vor Augen“ nicht mehr sieht

Staubablagerungen  $> 1 \text{ mm}$  60 – 2000 mg pro  $\text{m}^3$  Luft

Staubexplosionsklassen:

- St 1                      Kst-Wert 0-200 (Mehl)
- St 2                      Kst-Wert 201-300 (Cellulose)
- St 3                      Kst-Wert  $> 300$  (Aluminium)

# Feststoffe löschen

Brandklasse	Beschreibung	Beispiele	Löschmittel
	Brände fester Stoffe, hauptsächlich organischer Natur, die normalerweise unter Glutbildung verbrennen.	Holz, Papier, Kohle, Heu, Stroh, einige Kunststoffe (vor allem Duroplaste), Textilien, usw.	Wasser, wässrige Lösungen, Schaum, ABC-Pulver, Löschgel, verschiedene Kleinlöschgeräte wie z.B. Löschdecke oder Feuerpatsche

**Sauerstoff (Luft)**



**Brennstoff**

**Zündquelle**

Glut entfernen!  
Abkühlen!

Zündtemperaturen	
Holz Eiche	300 °C
Holz Kiefer	290 °C
Holz Tanne	280 °C
Holz Buche	270 °C
Papier	233 °C (165-360°C)

# Kohlenstoffdioxid

*Ideales Löschmittel?  
Tödliche Gefahr?*

# Kohlenstoffdioxid - CO<sub>2</sub>

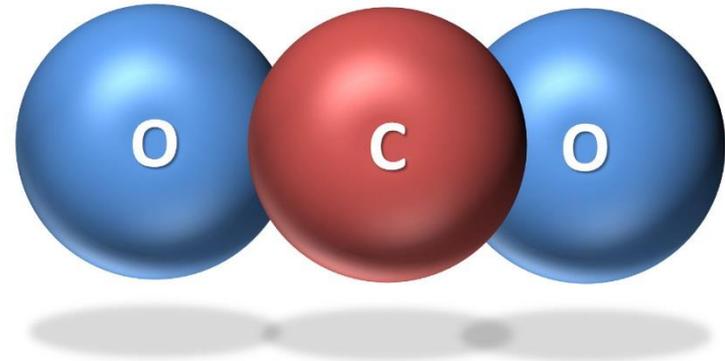


Bild: Dr. Julie Lambert and Alana Edwards

Molekulargewicht: 44 g/mol (normale Luft ca. 28,8 g/mol)

CO<sub>2</sub> ist schwerer als Luft! CO<sub>2</sub> sinkt ab und sammelt sich am Boden.

## Kohlenstoffdioxid - CO<sub>2</sub>

Wird auch bei Elektrobränden verwendet, weil nicht elektrisch leitend.

Pulverlöscher/Wasser vernichtet Elektronik.

ABER: Magnetische Datenträger (Festplatten) können durch Abkühlungseffekt zerstört werden!!

Vorsicht bei kleinen Räumen: Erstickungsgefahr!

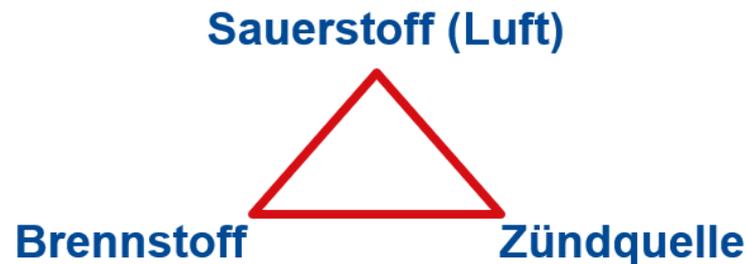
# Brennbare Flüssigkeiten

*Wann brennen Flüssigkeiten?*

*Wie lösche ich sie?*

# Brennbare Flüssigkeiten

Brandklasse	Beschreibung	Beispiele	Löschmittel	Hinweis
	Brände von flüssigen oder flüssig werdenden Stoffen.	Benzin, Ethanol, Teer, Wachs, viele Kunststoffe (vor allem Thermoplaste), Ether, Lacke, Harz	Schaum, ABC-Pulver, BC-Pulver, Kohlenstoffdioxid	auch Stoffe, die durch die Temperaturerhöhung flüssig werden



# Brennbare Flüssigkeiten

Wichtigste Kenngröße: Der Flammpunkt

Def: Der **Flammpunkt** eines Stoffes ist die niedrigste Temperatur, bei der sich über einem Stoff ein zündfähiges Dampf-Luft-Gemisch bilden kann.

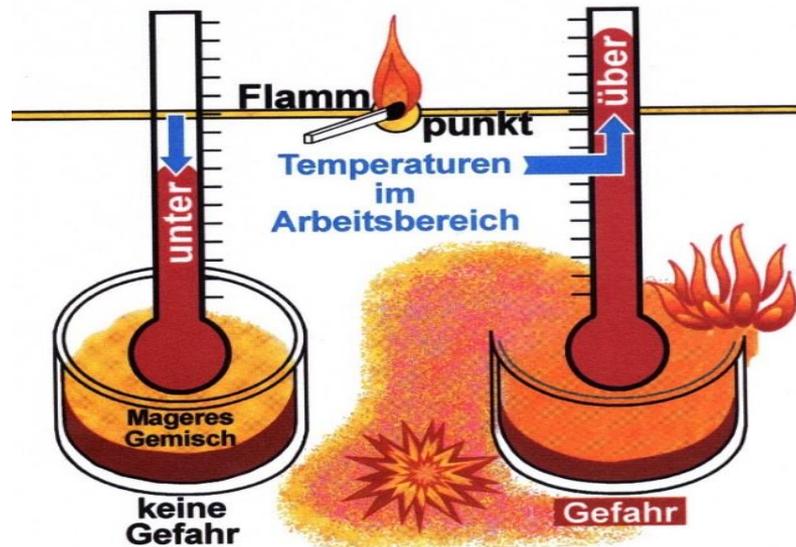
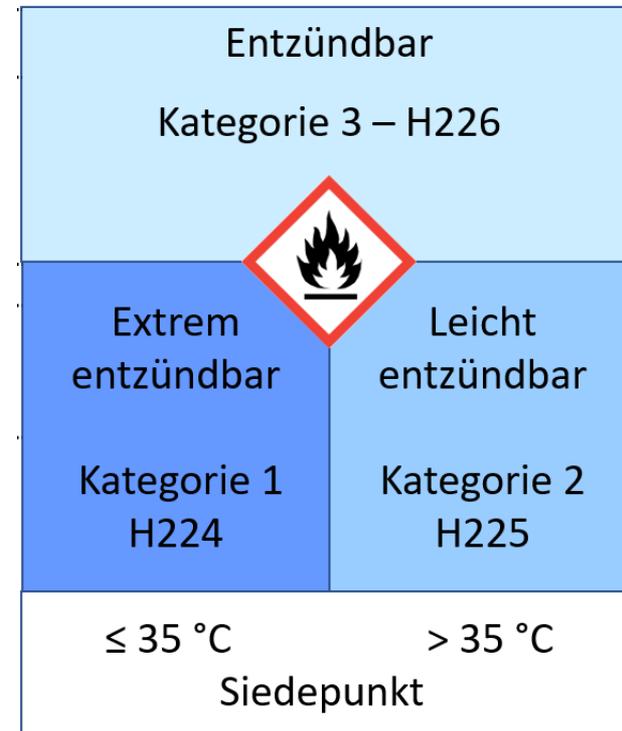


Abb.: „5Minuten-Kurzinformation

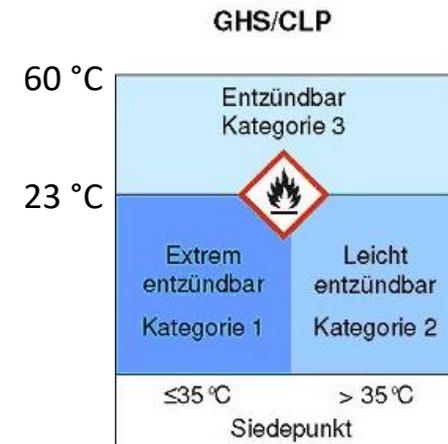
# Flammpunkte

Substanz	Siedepunkt	Flammpunkt
Diethylether	35	- 40
Benzin	70 bis 210	< -20
Aceton	56	- 18
Isopropanol	82	12
Ethanol	78	13
1-Butanol	117	34
Diesel	150 bis 390	> 55

## GHS/CLP



Substanz	Siedepunkt	Flammpunkt	
Diethylether	35	- 40	Extrem entzündbar
Benzin	70 bis 210	< -20	Leicht entzündbar
Aceton	56	- 18	Leicht entzündbar
Isopropanol	82	12	Leicht entzündbar
Ethanol	78	13	Leicht entzündbar
1-Butanol	117	34	Entzündbar
Diesel	150 bis 390	> 55	Entzündbar



# Brennbare Flüssigkeiten

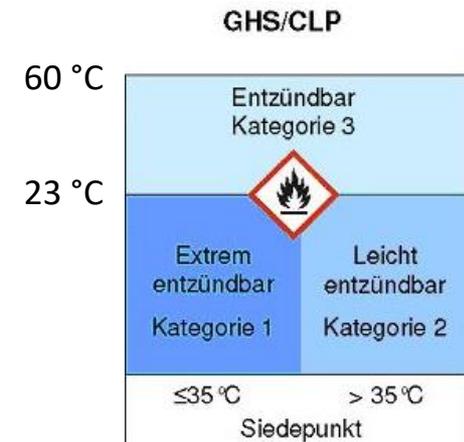
Substanz	Siedepunkt	Flammpunkt
Ethanol	78	13

Leicht entzündbar

Ethanol – wasserlöslich

Früher Gefahrklasse B -> wasserlöslich

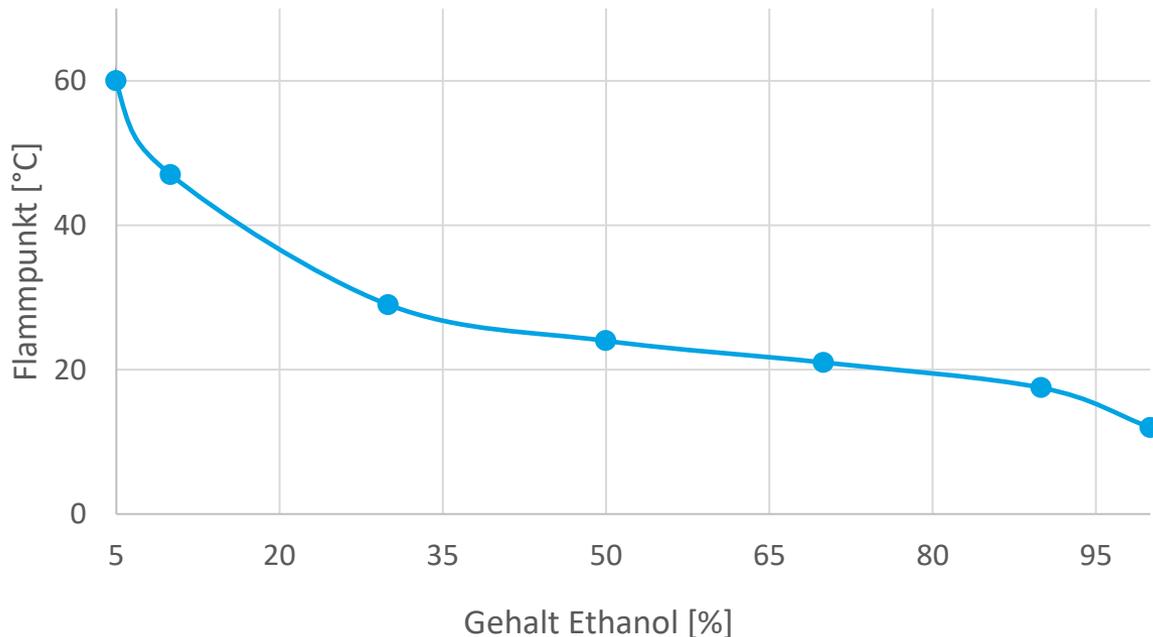
Ethanolbrand -> wie löschen?



# Brennbare Flüssigkeiten

Ethanolbrand -> Löschen durch Wasser

Ethanol und Wasser



**Kein „Löschen“**

**Durch Herabsetzung des  
Flammpunktes entsteht  
weniger brennbarer Dampf**

**-> Feuer geht aus**

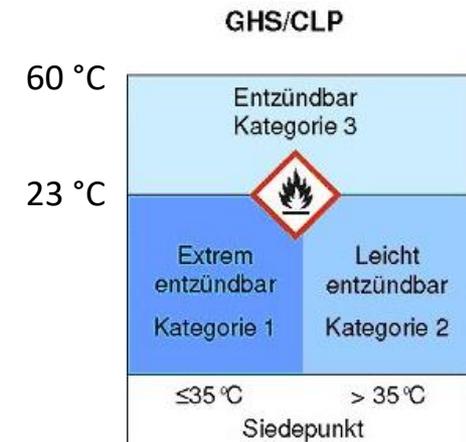
**Bis 17% gilt Ethanol-H<sub>2</sub>O-  
Gemisch als entzündbare  
Flüssigkeit**



## Brennbare Flüssigkeiten

Substanz	Siedepunkt	Flammpunkt
Benzin (Testbenzin)	70 bis 210	40 - 60 entzündbar

Brennt nicht bei Raumtemperatur, oder?

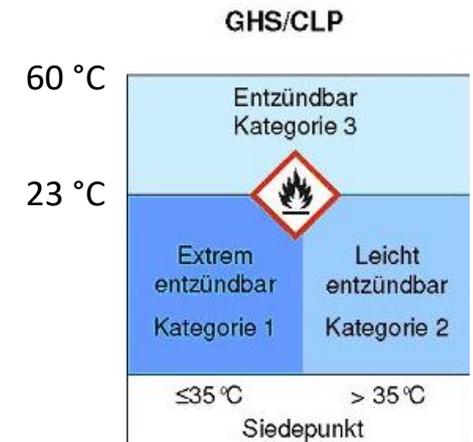


# Brennbare Flüssigkeiten

Substanz	Siedepunkt	Flammpunkt
Benzin (Petrolether)	≈ 40 °C	< -20

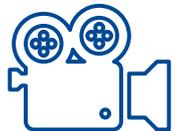
Leicht entzündbar

Benzinbrand löschen?



## Feuerlöscher für Fettbrand

Brandklasse	Beschreibung	Beispiele	Löschmittel	Hinweis
	Brände von Speiseölen/-fetten (pflanzliche oder tierische Öle und Fette) in Frittier- und Fettbackgeräten und anderen Kücheneinrichtungen und -geräten	Speiseöle und Speisefette	Fettbrand-Löscher mit Speziallöschmittel (zur Verseifung) oder geeignetes Löschspray	Bei Bränden der Klasse F niemals Wasser als Löschmittel verwenden.



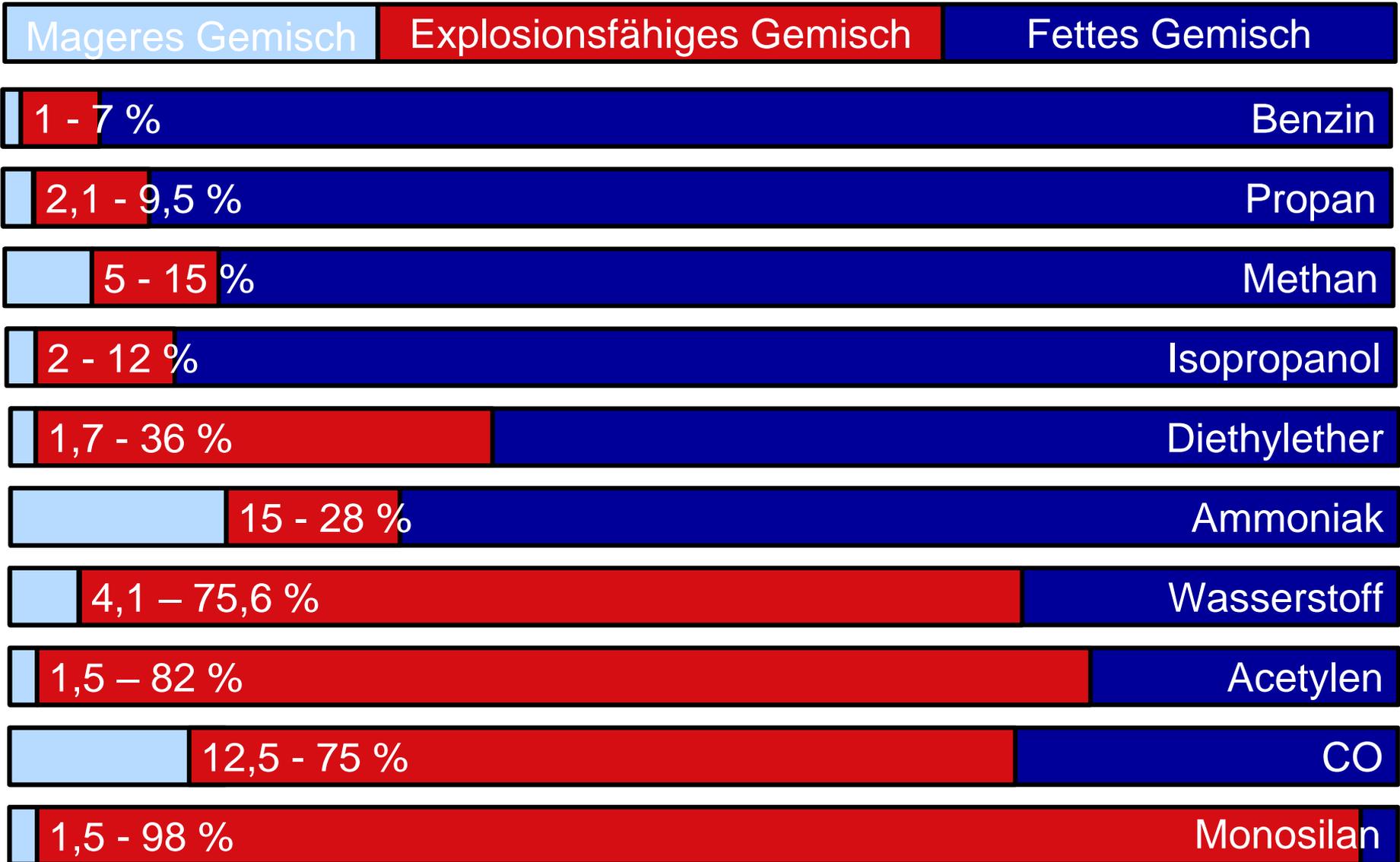
Fettbrand

# Brennbare Flüssigkeiten

## *Explosionsgrenzen*

# Explosionsgrenzen







Is noch was drin?

# Beispiel - Benzin

1 - 7 %

Benzin



Ein kleine Menge von nur 1 Teelöffel Benzin füllt ein 200 l Fass vollständig mit explosionsfähiger Atmosphäre!

# Brennbare Gase

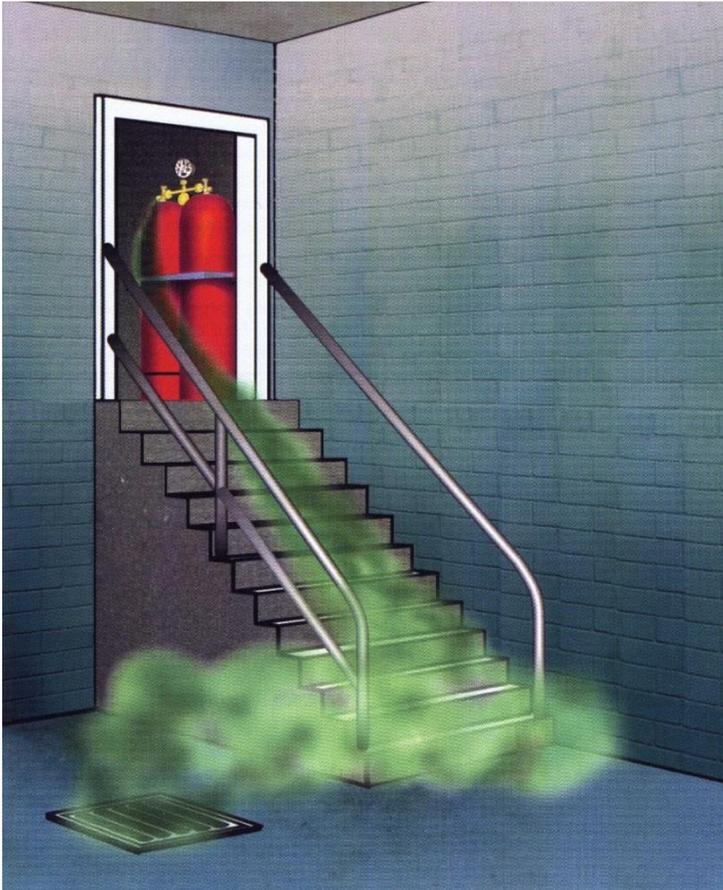
*Löschen*

*Leichte Gase, schwere Gase*

# Feuerlöscher Klassen

Brandklasse	Beschreibung	Beispiele	Löschmittel	Hinweis
	Brände von Gasen.	Ethin (Acetylen), Wasserstoff, Erdgas, Methan, Propan, Butan, Stadtgas	ABC-Pulver, BC-Pulver, Kohlenstoffdioxid nur in Ausnahmefällen (hierfür gibt es sehr selten speziell konstruierte Sonderfeuerlöscher mit Gasstrahldüse), Gaszufuhr durch Abschiebern der Leitung unterbinden	Brände von Gasen in der Regel erst dann löschen, wenn die Gaszufuhr unterbunden werden kann, da sich sonst ein explosionsfähiges Gas-Luft-Gemisch bilden kann.

# Brennbare Gase



Einige brennbare Gase sind leichter als Luft  
(Wasserstoff  $H_2$ , Kohlenstoffmonoxid  $CO$ )

Flüssiggase sind immer schwerer als Luft  
(Propan/Butan)



Laubhaufen  
mit Benzin

# Spaß mit Luftballons

1. Helium
2. Reiner Wasserstoff
3. Wasserstoff-Sauerstoff-Gemisch / 2:1





**BG RCI**

Berufsgenossenschaft  
Rohstoffe und chemische Industrie

**Vielen Dank  
für Ihre Aufmerksamkeit.**

