

Brandschutzforum Austria

Vorlesung

*„Leicht wird ein kleines Feuer
ausgetreten, das – erst geduldet –
Flüsse nicht mehr löschen!“*
William Sheakespeare

**Verbrennungs- und
Löschvorgang**



© Univ.-Lektor Dr. Otto Widetschek, KFU Graz

1

Phänomenologie

**Glut
und
Flamme**

FEUER



2

Flamm- und Glutbrand

**Flamme
gasförmig**

**Glut
fest**



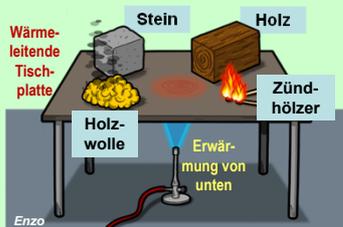
© by Dr. Otto Widetschek, Graz owid

3

Zündtemperatur (Def.)

Zündtemperatur (Zündpunkt):

- ▶ Temperatur, auf die man einen Stoff oder eine Kontaktfläche erhitzen muss, damit er sich in Gegenwart von Luftsauerstoff ohne Zündquelle (nur durch seine Erwärmung) selbst entzündet.

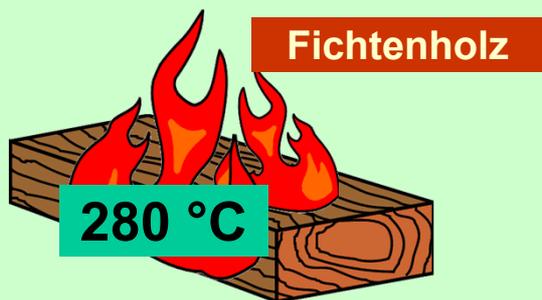


© by Dr. Otto Widetschek, Graz

owid

4

Zündpunkt von Holz



© by Dr. Otto Widetschek, Graz

owid

5

Wichtige Zündpunkte

- ▶ Braunkohle 230-240 °C
- ▶ Papier 230 °C
- ▶ Polyethylen 350 °C
- ▶ Benzine 220-450 °C
- ▶ Acetylen 305 °C
- ▶ Butan 365 °C
- ▶ Methan ca. 600 °C

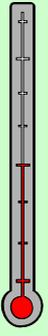
© by Dr. Otto Widetschek, Graz

owid

6

Zündtemperatur

Temperatur (δ)



Oxidationsgeschwindigkeit (v) ↑

**Oxidation mit
Feuererscheinung**
(glimmen, glühen, verbrennen)



Zündtemperatur

**Oxidation ohne
Feuererscheinung**
(gären, rosten, verwesen)



© by Dr. Otto Widetschek, Graz owid

7

Van 't Hoff'sche Regel (1)



**Jakobus Henricus
van 't Hoff (1852-1911)**

Durch eine Temperatur-
erhöhung von **10 °C** ($\Delta\delta$) wird
die Reaktionsgeschwindigkeit
um das **Doppelte bis Dreifache**
gesteigert!

$$v_n = v_0 \cdot x^n$$

v_n = Endgeschwindigkeit
 v_0 = Anfangsgeschwindigkeit
 n = Vielfaches von $\Delta\delta$
 x = „Reaktivität“ des Stoffes ($x = 2-3$)

© by Dr. Otto Widetschek, Graz owid

8

Am Beispiel der Kerze

Brandrauch



Flamme
Gas-, Glüh- und Verbrennungszone
(Aufbereitung und Aktivierung!)
→ **Energie erforderlich (Mindest-
verbrennungstemperatur)!**



Kerze
entzünden

Kerze (Paraffin)
Kohlenwasserstoff

© by Dr. Otto Widetschek, Graz owid

9

Kerzenflamme

Verbrennungszone
C und H verbrennen mit Luftsauerstoff (O), bis 1.100 °C

Glühzone
C und H entstehen, C (Ruß) glüht

Gaszone
Paraffin-Dampf, ca. 300 °C

Kerze (Paraffin)
Kohlenwasserstoff

Paraffin-dämpfe



© by Dr. Otto Widetschek, Graz owid

10

Springende Flamme





Brandrauch

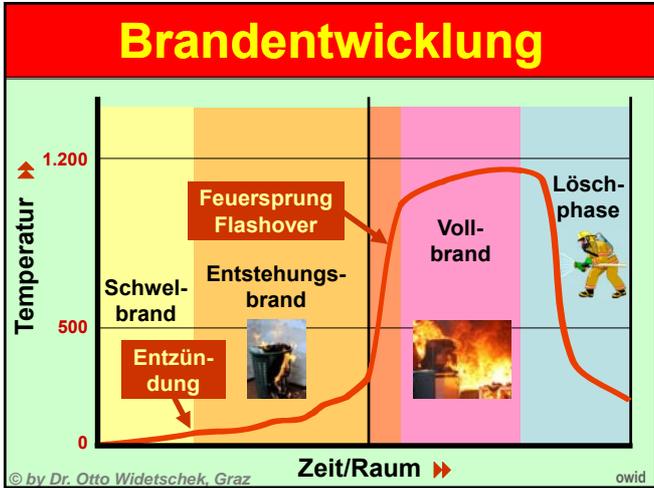
Flamme

Rückzündung

→ Erkenntnis: Brandrauch ist brennbar!

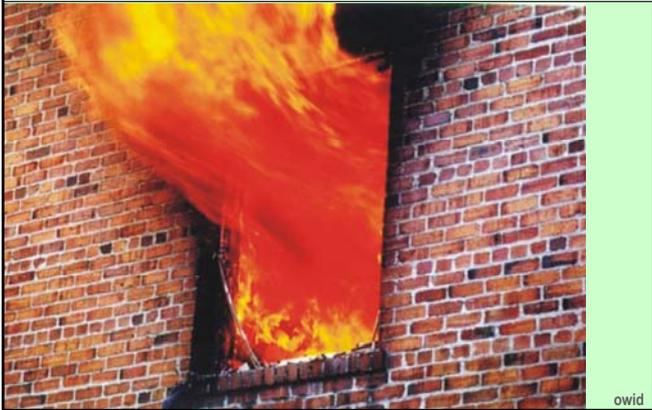
© by Dr. Otto Widetschek, Graz owid

11



12

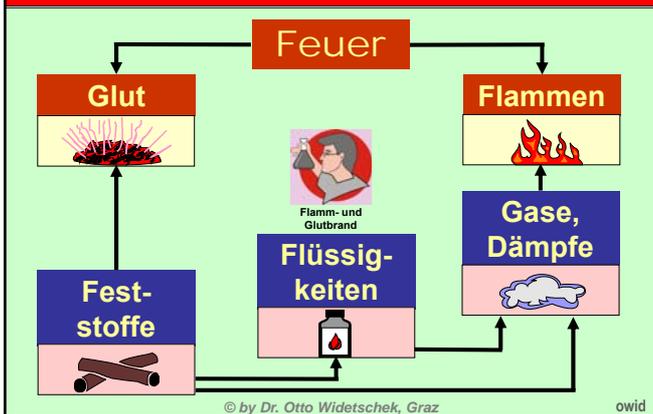
Feuersprung (Flashover)



owid

13

Flamm- und Glutbrand



© by Dr. Otto Widetschek, Graz

owid

14

Das Hollywood-Thema



Kann man Benzindämpfe mit einer glimmenden Zigarette entzünden?



© by Univ.-Lektor Dr. Otto Widetschek, Graz

owid

15

Explodierende Autos?



16

Experiment



17

Brandklassen

Klasse	Art der Brände	Bild- zeichen
A	Brände fester Stoffe , hauptsächlich organischer Natur, normalerweise glutbildend, z. B. Holz, Textilien, Kohle, Duroplaste, Elastomere	
B	Brände flüssiger oder flüssig werdender Stoffe , z. B. Benzin, Diesel- und Heizöl, andere Öle (mit Ausnahme Bkl. F), Alkohole (polare Flüssigkeiten) Thermoplaste (PVC, PE)	
C	Brände von Gasen , z. B. Methan (Erdgas), Propan und Butan (Flüssiggase), Wasserstoff, Ethylen sowie Acetylen (Achtung: Gefahr der Selbstzersetzung!)	
D	Brände von Metallen , z.B. Natrium, Kalium, Aluminium, Magnesium und Legierungen (Achtung: beim Wassereinsatz Reaktions- und Knallgasgefahr!)	
F	Brände von Speiseölen und -fetten , pflanzliche oder tierische Öle und Fette in Frittier- und Fettbackgeräten und anderen Kücheneinrichtungen (Achtung: Fettexplosion!)	

18

Feuerlöscher

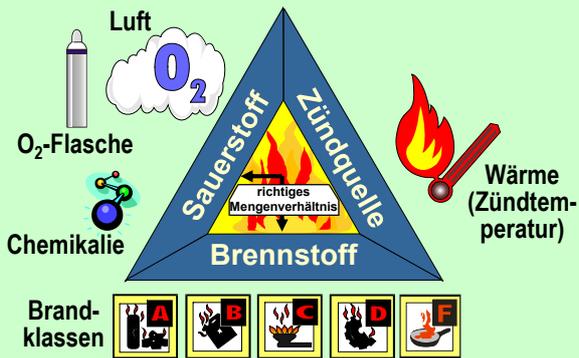


© by Dr. Otto Widetschek, Graz

owid

19

Klassisches Feuertreieck



© by Dr. Otto Widetschek, Graz

owid

20

Historisches Feuermachen



Feuerschlagen
Feuerstein, Pyrit und Zunder



Feuerbohren
Holz auf Holz

© by Univ.-Lektor Dr. Otto Widetschek, Graz

owid

21

Moderner Feuerstahl

Feuerstahl
ca. 0,3 bis 1,4 C-Anteil
bzw. Legierung aus Eisen,
Cer etc. (Auermetall III) .

Metallschaber
(z. B. Messer).

Zunder
(Baumwollfäden oder
Watte).



© by Univ.-Lektor Dr. Otto Widetschek, Graz owid

22

Streichhölzer – Historie



Seit 2.000 Jahren
Schwefelhölzer

1826 John Walker
Reibzündung



1836 Janos Irinyi
Phosphorstreichhölzer

1844 Gustav Eric Pasch
Sicherheitsstreichhölzer
(„Schwedenhölzer“)

© by Univ.-Lektor Dr. Otto Widetschek, Graz owid

23

Sicherheits-Streichhölzer

Zündkopf
Kaliumchlorat, Schwefel,
Eisenoxid und Glaspulver

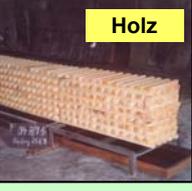
Reibfläche
Roter Phosphor
und Glaspulver

**PRINZIP: Trennung von Brennstoff (roter Phosphor)
und Oxidationsmittel (Kaliumchlorat)**

© by Univ.-Lektor Dr. Otto Widetschek, Graz

24

Brandklasse A



Holz



Textilien



**Duro-
plaste**



**Elasto-
mere**

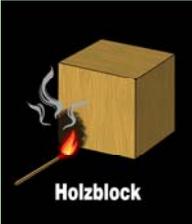
**Bei-
spiele**




© by Dr. Otto Widetschek, Graz owid

25

Phänomen Oberfläche



Holzblock



Grobe Späne



Feine Späne

→ Je feiner zerteilt, desto schneller brennt es!



© by Dr. Otto Widetschek, Graz owid

26

Brandklasse B



Benzin



**Diesel,
Heizöl**



Alkohol



**Thermo-
plaste**

**Bei-
spiele**




Alkoholbrand
Feuerspucken
Stoppel

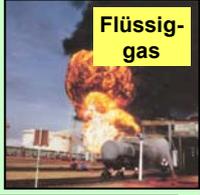
© by Dr. Otto Widetschek, Graz owid

27

Brandklasse C



Methan



Flüssig-gas



Wasserstoff



Acetylen

Bei-spiele




Spraydosen
Singende Dose
Ballon
Gasschlucken

© by Dr. Otto Widetschek, Graz owid

28

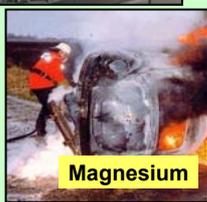
Brandklasse D



Natrium



Kalium



Magnesium



Aluminium

Bei-spiele




Magnesium & Wasser

© by Dr. Otto Widetschek, Graz owid

29

PKW-Brand, Mg-Legierungen



Demonstrationsbrand an einem PKW mit Löschversuch (Wasser)

© by Dr. Otto Widetschek, Graz owid

30

Brandklasse F

Beispiele



© by Dr. Otto Widetschek, Graz owid

31

Stationäre Löschanlage

In Großküchen sind stationäre Löschanlagen bei Fritteusen erforderlich (TM ANSUL)!



32

Fettexplosion (Film)



Gefahren durch Brennende Fette
© by Dr. Otto Widetschek, Graz owid

33

Sauerstoff



Sauerstoff (normalerweise 21 Vol.-%)

„Auf die Konzentration Kommt es an!“



© by Dr. Otto Widetschek, Graz

owid

34

Sauerstoff (Vorkommen)

Luft



Flasche



Chemikalie



© by Dr. Otto Widetschek, Graz

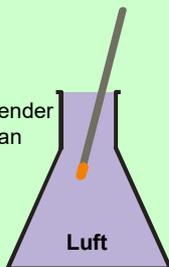
owid

35

Brandförderung

► Sauerstoff brennt nicht, sondern fördert die Verbrennung

glimmender Span



Luft

Entzündung (Flamme)



Sauerstoff



Brandförderung

© by Dr. Otto Widetschek, Graz

owid

36



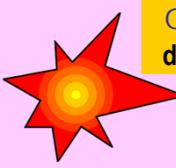
37



38

Explosionen

Wichtig: Positionierung des Sauerstoffs (O₂)!

Spreng- explosion	Raum- explosion
 <div style="background-color: yellow; padding: 5px; display: inline-block;">O₂ aus Explosiv- stoff</div>	 <div style="background-color: yellow; padding: 5px; display: inline-block;">O₂ aus der Luft</div> 

© by Dr. Otto Widetschek, Graz owid

39

Sauerstoff im Molekül

© by Dr. Otto Widetschek, Graz owid

40

Inflation & Feuer

Wunsch-Eigenschaften:

- Temperaturresistent
- Flammfest
- Reißfest
- Mechanisch stabil

EURO-Scheine: Baumwollpapier (Zellulose = $C_6H_{10}O_5$) mit Silberband und Fasern, die unter UV- und IR-Licht leuchten.

Kunststoff-Scheine (Alternative): Australien, Rumänien, Kanada und England. Bessere mechanische Eigenschaften, aber hitzeempfindlicher!

© by Univ.-Lektor Dr. Otto Widetschek, Graz owid

41

Zündquellen (Wärme)

Beispiele:

Offene Glut & Flammen Heiße Oberflächen Elektrizität Pyrotechn. Gegenstände

Funken

© by Dr. Otto Widetschek, Graz owid

42

Zündquellen

Alle Zündquellen lassen sich zurückführen auf

- ▶ Flammen
- ▶ Funken
- ▶ Heiße Oberflächen (z. B. Glut)



© by Dr. Otto Widetschek, Graz

owid

43

Temperaturen (Beispiele)

- ▶▶ Heiße Oberfläche 200 °C
- ▶▶ Reibung (heißes Lager) ... 500-800 °C
- ▶▶ Glut (Zigarette) 560-770 °C
- ▶▶ Flamme (Streichholz) 650 °C
- ▶▶ Reib- und Schlagfunken 1.000 °C
- ▶▶ Glut (Schweißperlen) 1.000 °C
- ▶▶ Weißglut (glüh. Eisen) 1.500 °C

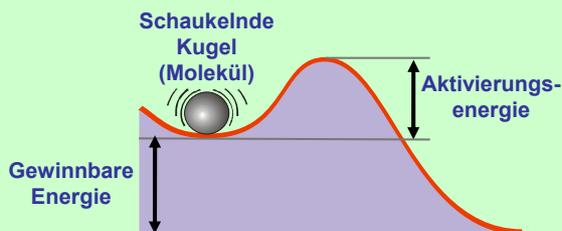
© by Dr. Otto Widetschek, Graz

owid

44

Der Zündvorgang

Schematische Darstellung:



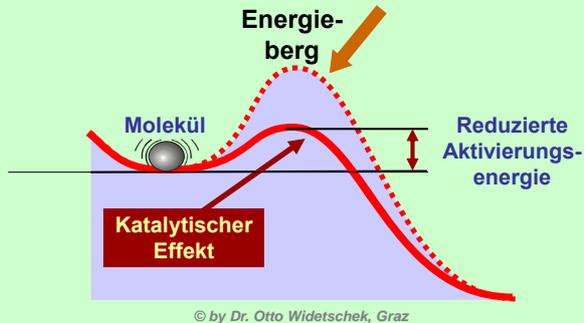
© by Dr. Otto Widetschek, Graz

owid

45

Katalysatoren

Durch Anwesenheit bestimmter Substanzen (Radikale) wird die Aktivierungsenergie reduziert!



46

Katalytische Wirkung

Beispiel:
Zucker



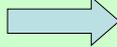
Zucker & Asche



Katalysator
(Asche)



Würfelzucker
brennt nicht!



Verbrennung
ist möglich!

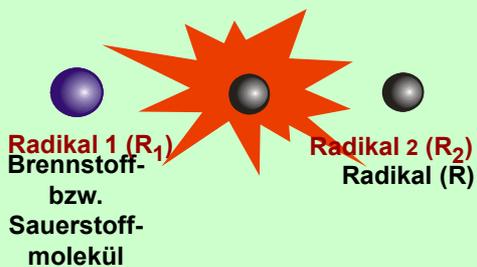
© by Dr. Otto Widetschek, Graz

owid

47

Radikalbildung (schem.)

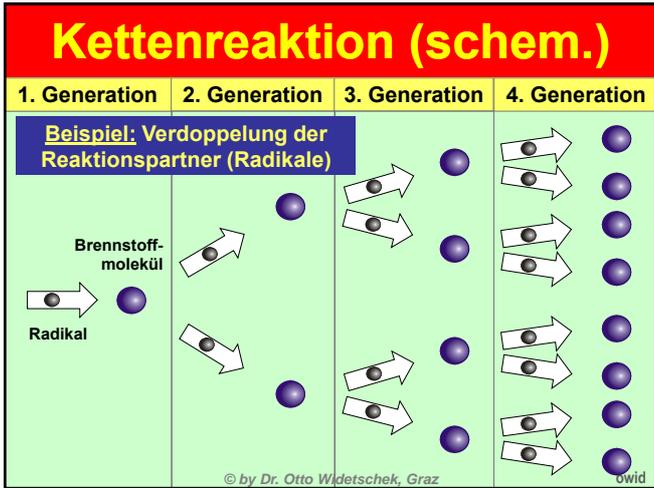
Schematische Darstellung:



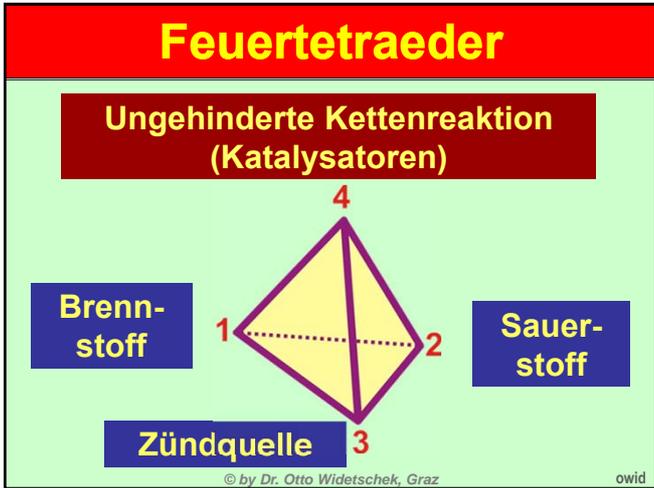
© by Dr. Otto Widetschek, Graz

owid

48



49



50



51

Gluttemperaturen

- ▶ **400 °C:** erstes schwaches Leuchten („Grauglut“)
- ▶ **525 °C:** erste Dunkelrotglut
- ▶ **700 °C:** Rotglut
- ▶ **900 °C:** helle Rotglut
- ▶ **1.100 °C:** Gelbglut
- ▶ **1.300 °C:** beginnende Weißglut
- ▶ **1.500 °C:** volle, blendende Weißglut



Sonne:
ca. 6.000 Grad

© by Dr. Otto Widetschek, Graz owid

52

Die Kohlenoxide

Organische Stoffe sind Kohlenstoffverbindungen:



„vollkommene“ Verbrennung



„unvollkommene“ Verbrennung

MAK-Werte: ▶▶ CO 30 ppm

▶▶ CO₂ 5.000 ppm

MAK = Maximale Arbeitsplatz Konzentration (40 Stunden/Woche)

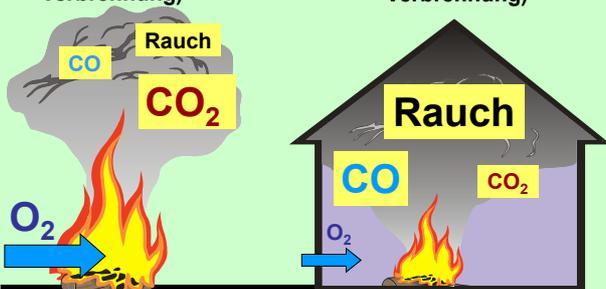
© by Dr. Otto Widetschek, Graz owid

53

Sauerstoffanteil

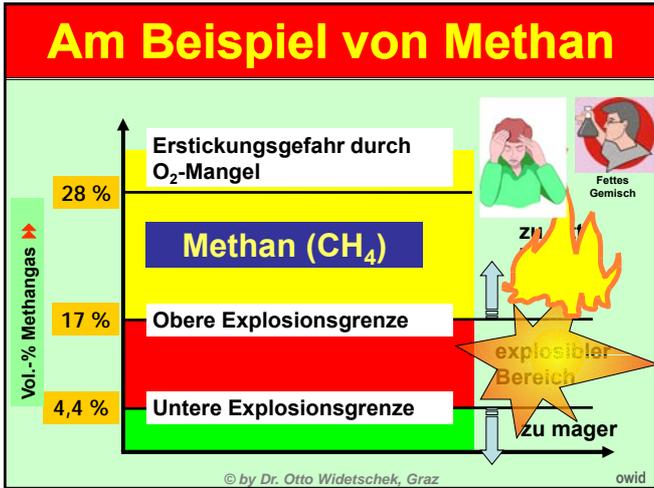
Im Freien
(vollkommene
Verbrennung)

Gebäude
(unvollkommene
Verbrennung)



© by Dr. Otto Widetschek, Graz owid

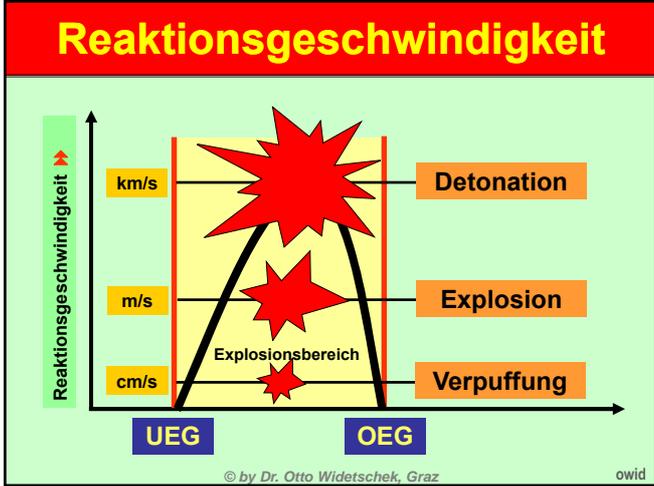
54



55



56



57

Reaktionsbedingungen ändern

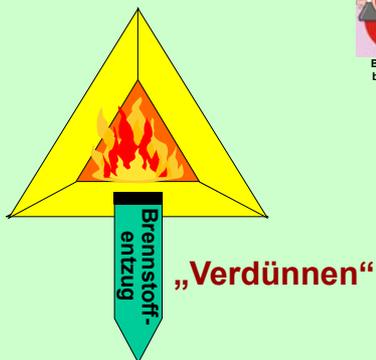
- ▶ **In quantitativer Hinsicht**
Störung des Mengenverhältnisses von brennbarem Stoff und Sauerstoff.
→ Brennstoffentzug ("**Verdünnen**")
→ Sauerstoffentzug ("**Ersticken**").
- ▶ **In thermischer Hinsicht**
Unterschreitung der Zünd- bzw. der Mindestverbrennungstemperatur. Wärmeentzug ("**Kühlen**").
- ▶ **In katalytischer Hinsicht**
Einbringen von Inhibitoren bzw. Ausschaltung von Katalysatoren. ("**Antikatalyse**").

© by Dr. Otto Widetschek, Graz

owid

64

Löschen



© by Dr. Otto Widetschek, Graz

owid

65

Verdünnungseffekt (Beispiele)

- ▶ Unterbindung des Zustromes von Gasen und Flüssigkeiten (Schließen eines Hahnes oder Schiebers).
- ▶ Sprengung von brennenden Erdöl- oder Erdgasquellen.
- ▶ Abschlagen von Druckgasflammen mit hartem Vollstrahl.
- ▶ Ausräumarbeiten bei der Brandbekämpfung.
- ▶ Schlagen einer Schneise bei Waldbränden oder Legen eines Gegenfeuers.

© by Dr. Otto Widetschek, Graz

owid

66

Löschen

Ersticken

Sauerstoffentzug

Brennstoffentzug

„Verdünnen“

Kerze unter Glasbecher
Feuerschlucken

© by Dr. Otto Widetschek, Graz owid

67

Stickeffekt (Beispiele)

▶ O₂-Reduktion um etwa 1/3 (40 bis 50 Vol.-% CO₂)

Sauerstoffanteil

21 %

Gute Verbrennung

14 %

Flamme erlischt

© by Dr. Otto Widetschek, Graz owid

68

Kohlen(stoff)dioxid

CO₂

Mineralwasser

Mineralwasser

© by Dr. Otto Widetschek, Graz owid

69

Stickeffekt (Beispiele)

- ▶ Einsatz der Löschdecke.
- ▶ Stickeffekt durch Löschschaum bzw. oberflächenaktive Löschmittel.
- ▶ Emulsionsschicht durch F-Löcher.
- ▶ Schmelzschicht durch A- bzw. D-Löschpulver.



© by Dr. Otto Widetschek, Graz

owid

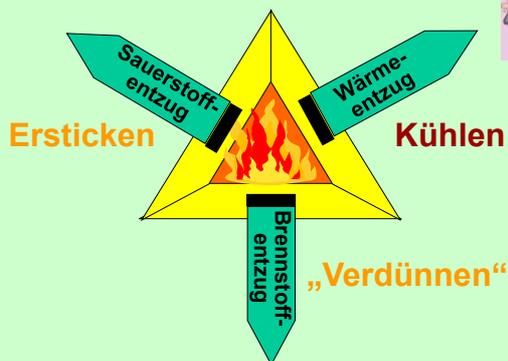
70

Löschdecke



71

Löschen



© by Dr. Otto Widetschek, Graz

owid

72

Kühleffekt (Beispiele)

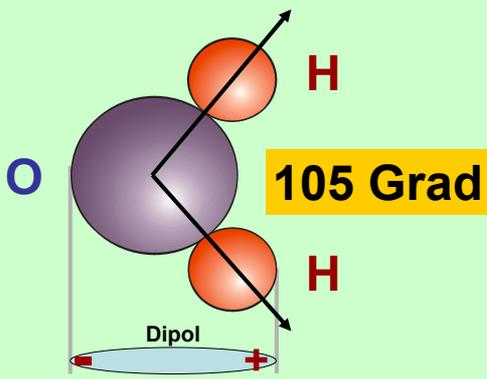
- ▶ Voll- und Sprühstrahl bzw. Wassernebel.
- ▶ Kühleffekt durch Löschschaum bzw. oberflächenaktive Löschmittel.
- ▶ Emulsionsschicht durch F-Löcher.
- ▶ Schmelzschicht durch A- bzw. D-Löschpulver.



© by Dr. Otto Widetschek, Graz owid

73

Wassermolekül (H₂O)

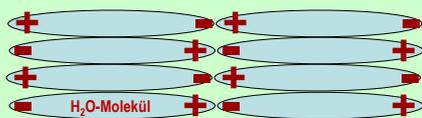


© by Dr. Otto Widetschek, Graz owid

74

Wasserstoffbrücken

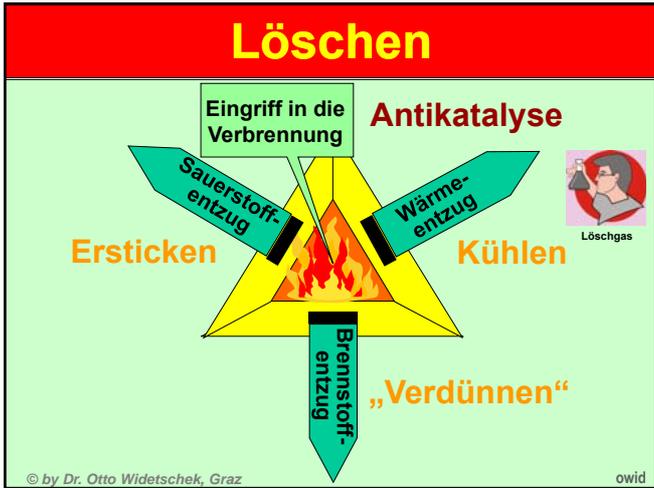
**Clusterbildung
(100-1.000 Moleküle)**



Wasserstoff-Brückenbindung

© by Dr. Otto Widetschek, Graz owid

75



76

Antikatalytischer Löscheffekt

Beruht auf der Ausschaltung von Radikalen (Katalysatoren) in der Flamme, wodurch sie für den weiteren Verbrennungsablauf nichts mehr beitragen können.

▶ Abbruchreaktionen oder Kettenabbrüche (Inhibition)

Homogene Katalyse (HoKa) Eingriff in die Verbrennung (chemische Löschgase, früher Halone)	Heterogene Katalyse (HeKa) Wandwirkung (Flammbrandpulver)
--	--

© by Dr. Otto Widetschek, Graz owid

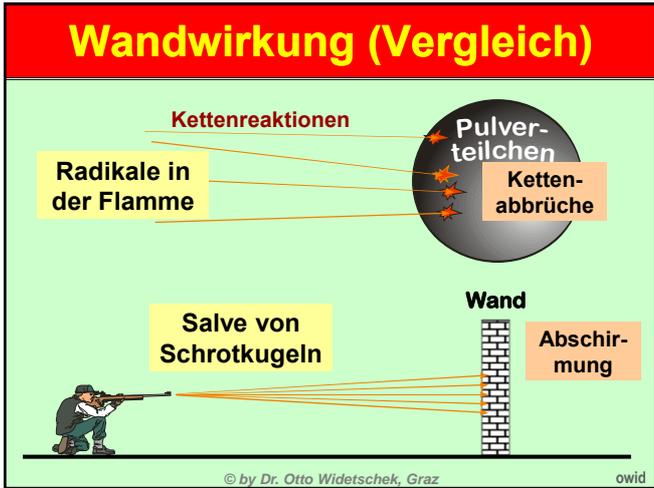
77

Wandwirkung (HeKa)

Energieabgabe an das Pulverteilchen und Unterbrechung der Reaktionskette

© by Dr. Otto Widetschek, Graz owid

78



79



80
