

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



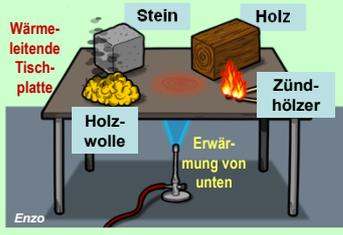
© by Dr. Otto Widetschek, Graz owid

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.



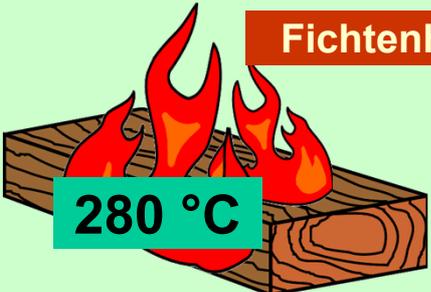
© by Dr. Otto Widetschek, Graz owid

4

Zündpunkt von Holz

Fichtenholz

280 °C



© 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

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 Temperaturerhöhung 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 (Mindestverbrennungstemperatur)!**

Kerze (Paraffin)
Kohlenwasserstoff

Kerze entzünden

© 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

Paraffindämpfe

© by Dr. Otto Widetschek, Graz

owid

10

Springende Flamme

Brandrauch

Flamme

Rückzündung

→ Erkenntnis: Brandrauch ist brennbar!

© by Dr. Otto Widetschek, Graz

owid

11

Brandentwicklung

Temperatur

1.200

500

0

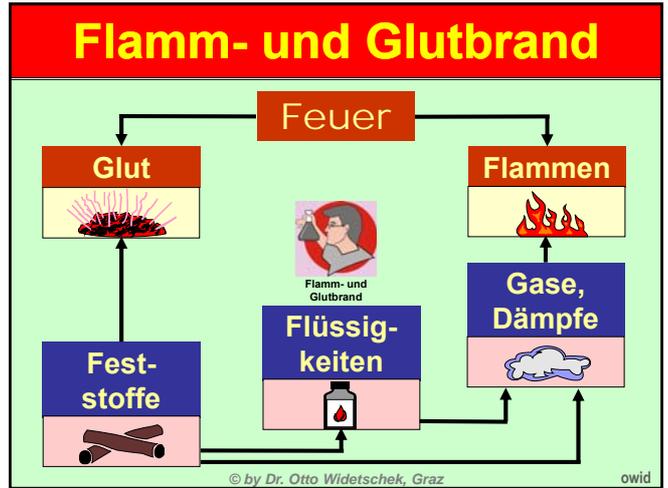
Zeit/Raum

owid

12



13



14

Das Hollywood-Thema

Kann man Benzindämpfe mit einer glimmenden Zigarette entzünden?

Benzindampf
Benzin

owid

15

Explodierende Autos?

Beispiel: Gruselschocker „Die Vögel“ von Alfred Hitchcock.

16

Experiment

Benzin & Zigarette

owid

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 Kucheneinrichtungen (Achtung: Fettexplosion!)	

18

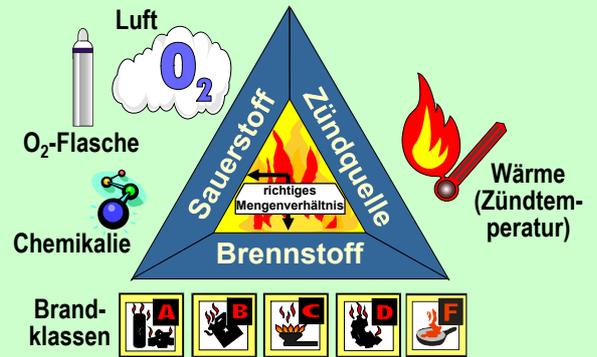
Feuerlöscher



© by Dr. Otto Widetschek, Graz owid

19

Klassisches Feuerdreieck



© by Dr. Otto Widetschek, Graz owid

20

Historisches Feuermachen



Feuerschlagen
Feuerstein, Pyrit und Zunder

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



Feuerbohren
Holz auf Holz

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
Reibbezündung



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

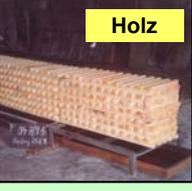
Reibfläche
Roter Phosphor
und Glaspulver

**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**





Holz
Textilien

© by Dr. Otto Widetschek, Graz owid

25

Phänomen Oberfläche



Holzblock



Grobe Späne



Feine Späne

→ **Je feiner zerteilt, desto schneller
brennt es!**



Bärflapp

© by Dr. Otto Widetschek, Graz owid

26

Brandklasse B



Benzin



**Diesel,
Heizöl**



Alkohol



**Thermo-
plaste**

**Bei-
spiele**



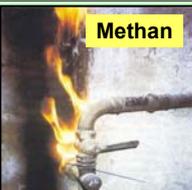


Alkoholbrand
Feuerspucken
Stoppel

© by Dr. Otto Widetschek, Graz owid

27

Brandklasse C



Methan



**Flüssig-
gas**



**Wasser-
stoff**



**Acety-
len**

**Bei-
spiele**





Spraydosen
Singende Dose
Ballon
Gasschlucken

© by Dr. Otto Widetschek, Graz owid

28

Brandklasse D



Natrium



Kalium



Magnesium



Aluminium

**Bei-
spiele**



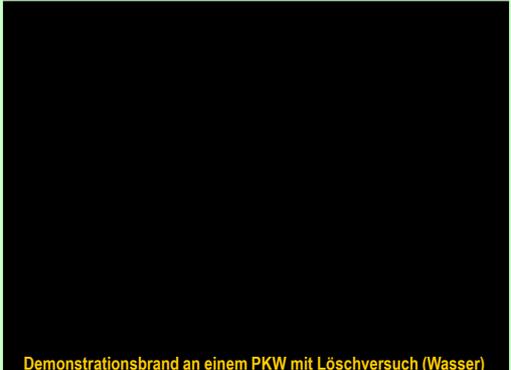


Magnesium
& Wasser

© by Dr. Otto Widetschek, Graz owid

29

PKW-Brand, Mg-Legierungen



Demonstrationsbrand an einem PKW mit Lösversuch (Wasser)

© by Dr. Otto Widetschek, Graz owid

30

Brandklasse F

**Bei-
spiele**



**Fett-
explosion**



Fett-
explosion



F-Löcher



Löschversuch

© by Dr. Otto Widetschek, Graz owid

31

Stationäre Löschanlage

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



Quelle: www.gama-tronik.de

32

Fettexplosion (Film)

Gefahren durch Brennende Fette

© by Dr. Otto Widetschek, Graz owid

33

Sauerstoff



Sauerstoff (normaler-
weise 21 Vol.-%)

„Auf die
Konzentration
Kommt es an!“



© by Dr. Otto Widetschek, Graz owid

34

Sauerstoff (Vorkommen)

Luft



Flasche



Chemi-
kalie



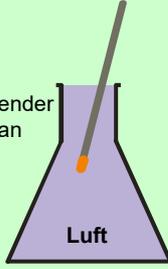
© by Dr. Otto Widetschek, Graz owid

35

Brandförderung

► Sauerstoff brennt nicht, sondern fördert die Verbrennung

glimmender
Span



Luft

Entzündung
(Flamme)



Sauer-
stoff



Brand-
förderung

© by Dr. Otto Widetschek, Graz owid

36

Brandförderung von O₂



Quelle: FF Bruck

37

Brandförderung von O₂



Quelle: FF Bruck

38

Explosionen

Wichtig: Positionierung des Sauerstoffs (O₂)!

Spreng-
explosion



O₂ aus
Explosiv-
stoff

Raum-
explosion



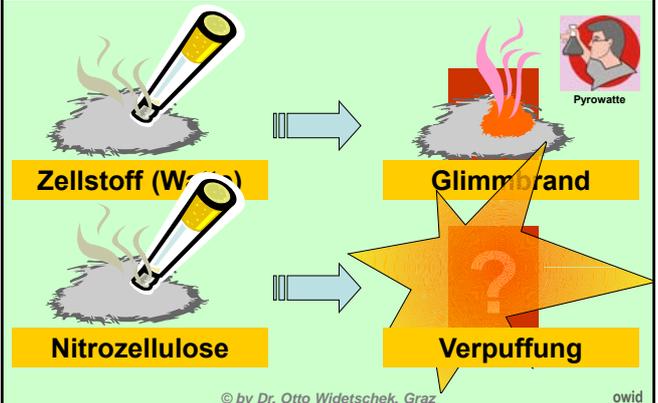
O₂ aus
der Luft

© 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 = C₆H₁₀O₅) 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



Heißenarbeiten



Funken



Pyrotechn.
Gegen-
stände

© 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

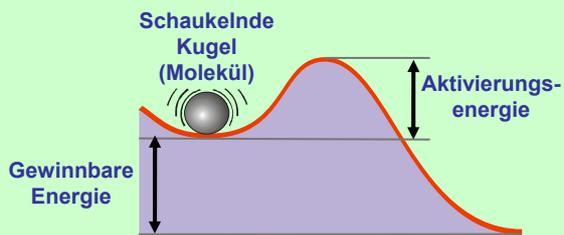
© by Dr. Otto Widetschek, Graz

owid

44

Der Zündvorgang

Schematische Darstellung:



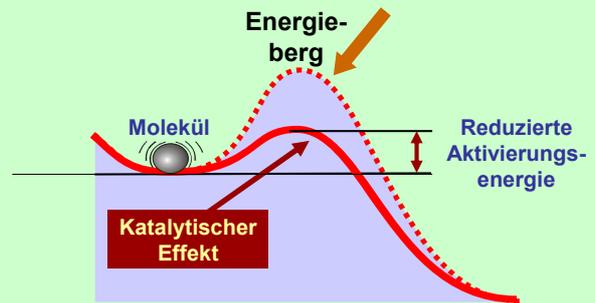
© by Dr. Otto Widetschek, Graz

owid

45

Katalysatoren

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



© by Dr. Otto Widetschek, Graz

owid

46

Katalytische Wirkung

Beispiel:
Zucker



Katalysator (Asche)



Würfelzucker brennt nicht!



Verbrennung ist möglich!

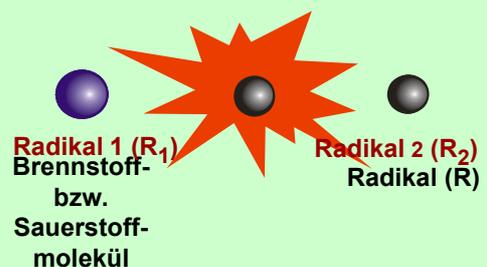
© by Dr. Otto Widetschek, Graz

owid

47

Radikalbildung (schem.)

Schematische Darstellung:



© by Dr. Otto Widetschek, Graz

owid

48

Kettenreaktion (schem.)

1. Generation	2. Generation	3. Generation	4. Generation
Beispiel: Verdoppelung der Reaktionspartner (Radikale)			

© by Dr. Otto Widetschek, Graz owid

49

Feuertetraeder

Ungehinderte Kettenreaktion (Katalysatoren)

© by Dr. Otto Widetschek, Graz owid

50

Verbrennungsprodukte

© by Dr. Otto Widetschek, Graz owid

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:

$C + O_2 \rightarrow CO_2$
 „vollkommene“ Verbrennung

$2C + O_2 \rightarrow 2CO$
 „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

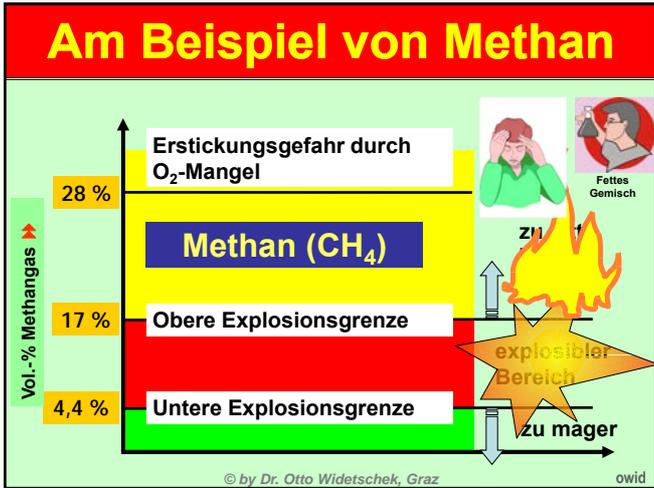
Sauerstoffanteil

Im Freien
(vollkommene Verbrennung)

Gebäude
(unvollkommene Verbrennung)

© by Dr. Otto Widetschek, Graz owid

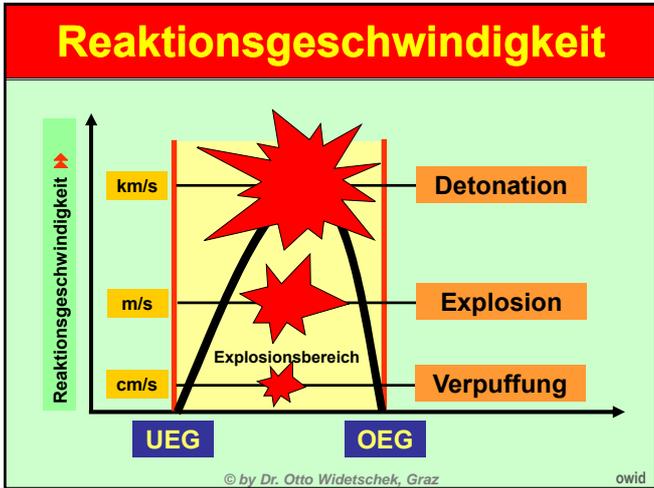
54



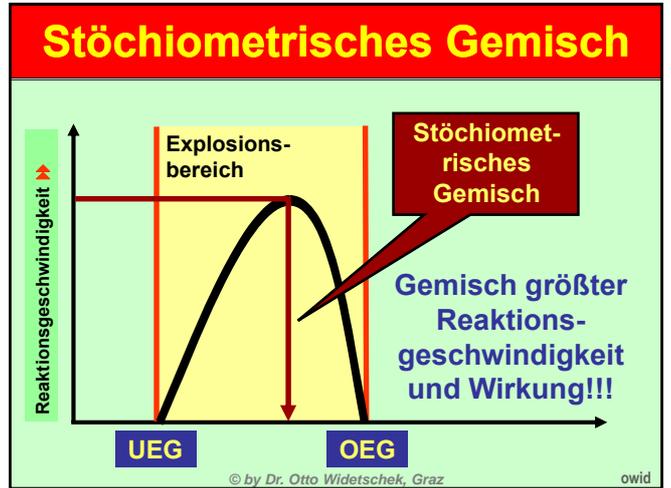
55



56



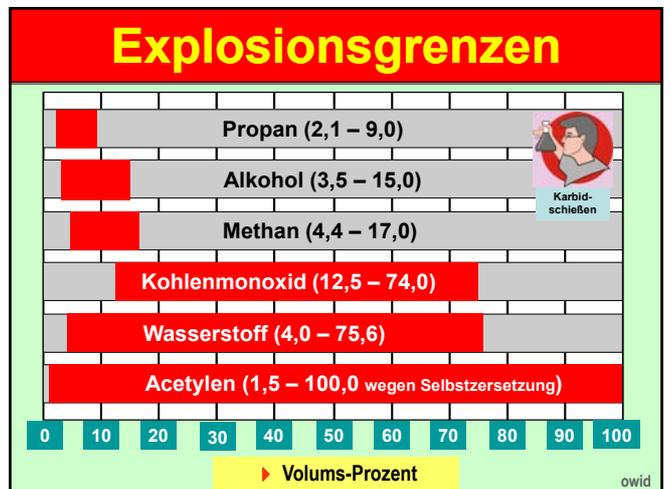
57



58



59



60

Explosionen

Stoff	Zustand	Explosionsgrenzen		Expl. Druck (bar)
		untere	obere	
Braunkohle	feiner Staub	60 g/m ³		10
Holz		60 g/m ³		11
Papier		50 g/m ³		9
Mehl		60 g/m ³		10
Heizöl	Dampf	0,6 Vol.-%	6,5 Vol.-%	9
Benzin		0,6 Vol.-%	7,6 Vol.-%	9
Alkohol		3,5 Vol.-%	15,0 Vol.-%	8
Acetylen	Gas	1,5 Vol.-%	100 Vol.-%	11
Propan		2,1 Vol.-%	9,0 Vol.-%	8
Methan		4,4 Vol.-%	17,0 Vol.-%	8
Kohlenmonoxid		12,5 Vol.-%	74,0 Vol.-%	8

© by Dr. Otto Widetschek, Graz

owid

61

Staubexplosion (Film)



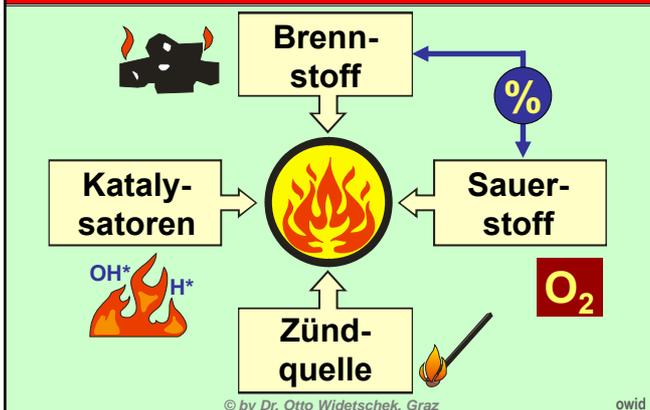
We worden elke dag omringd door deze drie vitale componenten-

© by Dr. Otto Widetschek, Graz

owid

62

Brandbedingungen



© by Dr. Otto Widetschek, Graz

owid

63

Reaktionsbedingungen ändern

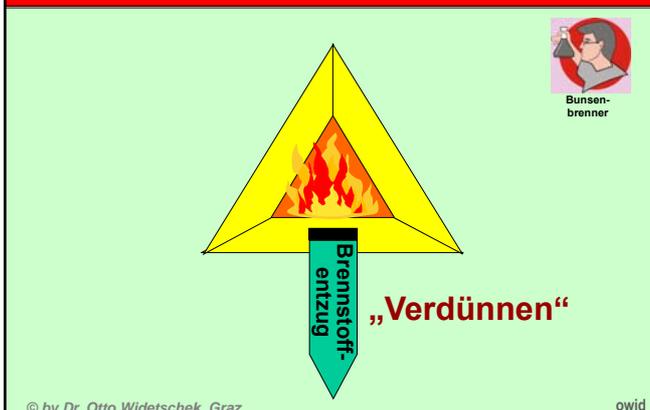
- ▶ **In quantitativer Hinsicht**
Störung des Mengenverhältnisses von brennbarem Stoff und Sauerstoff.
→ Brennstoffentzug ("Verdünnen")
→ Sauerstoffentzug ("Ersticken").
- ▶ **In thermischer Hinsicht**
Unterschreitung der Zünd- bzw. der Mindestverbrennungstemperatur. Wärmeentzug ("Kühlen").
- ▶ **In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

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.

Salze als D-Pulver

Luftschaum als Löschmittel

© by Dr. Otto Widetschek, Graz owid

70

Löschdecke

71

Löschen

Ersticken

Kühlen

Blumenspritze

„Verdünnen“

© 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.

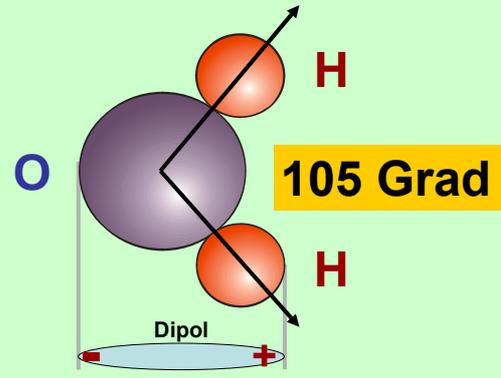


© by Dr. Otto Widetschek, Graz

owid

73

Wassermolekül (H₂O)



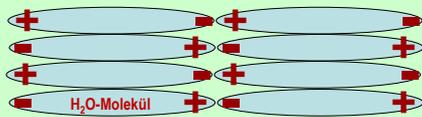
© by Dr. Otto Widetschek, Graz

owid

74

Wasserstoffbrücken

**Clusterbildung
(100-1.000 Moleküle)**



Wasserstoff-Brückenbindung

© by Dr. Otto Widetschek, Graz

owid

75

Löschen



© by Dr. Otto Widetschek, Graz

owid

76

Antikatalytischer Löscheffekt

Beruhrt 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)

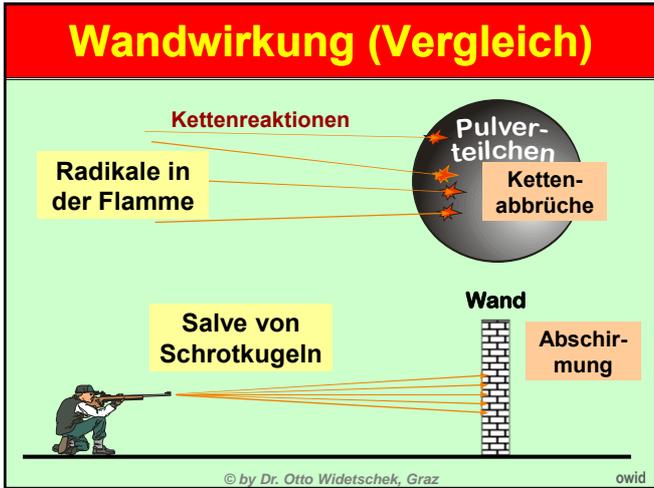
Energieabgabe an das Pulverteilchen und Unterbrechung der Reaktionskette



© by Dr. Otto Widetschek, Graz

owid

78



79

Ende des Vortrags

Danke!

Owid

Feuerfressen

*Letzte Änderung:
Oktober 2024*

owid

80