



Experimentalvorlesung

Hauptgruppenchemie

*Axel Schulz
Institut für Chemie
der Universität Rostock
2015*



Der Sauerstoff

■ Inhalt

- **Sauerstoff – Vorkommen, Darstellung**
- **Sauerstoff - Eigenschaften**
- **Ozon – Darstellung, Eigenschaften**
- **Ozonloch**

Alle Folien sind im Internet als pdf Dokument erhältlich:

<http://www.schulz.chemie.uni-rostock.de/>



Der Sauerstoff im PSE

1 H 1.0079																	2 He 4.0026									
3 Li 6.941	4 Be 9.0122											5 B 10.811	6 C 12.011	7 O 15.999	8 N 14.007	9 F 18.998	10 Ne 20.180									
11 Na 22.990	12 Mg 24.305											13 Al 26.982	14 Si 28.086	15 S 32.066	16 Cl 35.453	17 Ar 39.948										
19 K 39.098	20 Ca 40.078	21 Sc 44.956	22 Ti 47.867	23 V 50.942	24 Cr 51.996	25 Mn 54.938	26 Fe 55.845	27 Co 58.933	28 Ni 58.693	29 Cu 63.546	30 Zn 65.39	31 Ga 69.723	32 Ge 72.61	33 As 74.922	34 Se 78.96	35 Br 79.904	36 Kr 83.80									
37 Rb 85.468	38 Sr 87.62	39 Y 88.906	40 Zr 91.224	41 Nb 92.906	42 Mo 95.94	43 Tc* 98.906	44 Ru 101.07	45 Rh 102.91	46 Pd 106.42	47 Ag 107.87	48 Cd 112.41	49 In 114.82	50 Sn 118.71	51 Sb 121.76	52 Te 127.60	53 I 126.905	54 Xe 131.29									
55 Cs 132.91	56 Ba 137.33											61 La 138.91	62 Ce 140.12	63 Pr 140.91	64 Nd 144.24	65 Pm* 146.92	66 Sm 150.36	67 Eu 151.97	68 Gd 157.25	69 Tb 158.93	70 Dy 162.50	71 Ho 164.93	72 Er 167.26	73 Tm 168.93	74 Yb 173.04	75 Lu 174.97
87 Fr* 223.02	88 Ra* 226.03											81 Tl 204.38	82 Pb 207.2	83 Bi 208.98	84 Po* 209	85 At* 210	86 Rn* 222.02									
												104 Rf* 261.11	105 Db* 262.11	106 Sg* 263.12	107 Bh* 262.12	108 Hs* 265	109 Mt* 268	110 Eka-Pt 271	111 Eka-Au 272	112 Eka-Hg 273						
		57 La 138.91	58 Ce 140.12	59 Pr 140.91	60 Nd 144.24	61 Pm* 146.92	62 Sm 150.36	63 Eu 151.97	64 Gd 157.25	65 Tb 158.93	66 Dy 162.50	67 Ho 164.93	68 Er 167.26	69 Tm 168.93	70 Yb 173.04	71 Lu 174.97										
		89 Ac* 227.03	90 Th* 232.04	91 Pa* 231.04	92 U* 238.03	93 Np* 237.05	94 Pu* 244.06	95 Am* 243.06	96 Cm* 247.07	97 Bk* 247.07	98 Cf* 251.08	99 Es* 252.08	100 Fm* 257.10	101 Md* 258.10	102 No* 259.10	103 Lr* 260.11										



Häufigstes Element auf der Erde

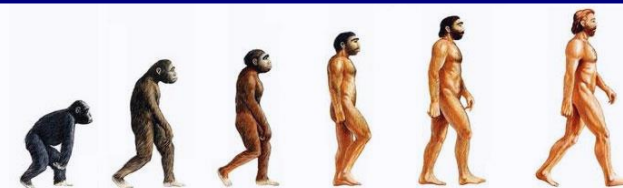
Element	Massenanteil [%]
Sauerstoff	49.4
Silicium	25.8
Aluminium	7.5
Eisen	4.7
Calcium	3.4
Natrium	2.6
Kalium	2.4
Magnesium	1.9
Wasserstoff	0.9
Titan	0.6
Gesamt	99.2

Isotope:

^{16}O (99.76%)

^{17}O (0.04%)

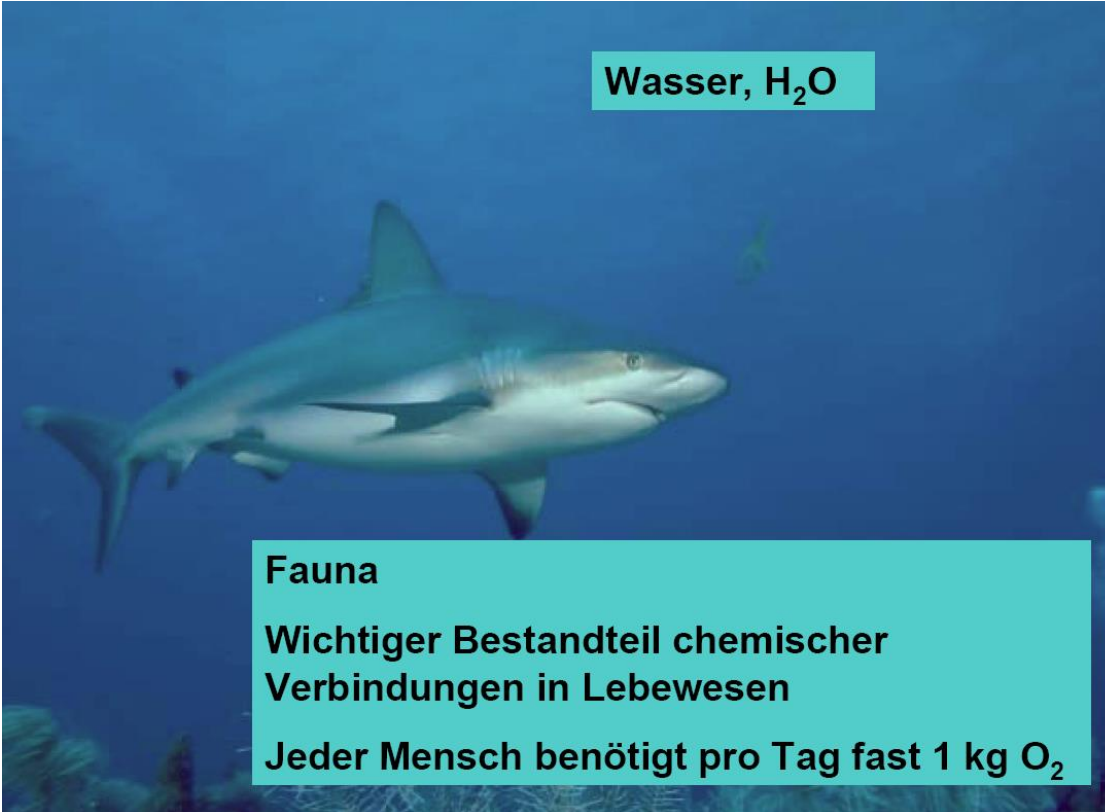
^{18}O (0.20%)



O	45.8 kg	S	175 g
C	17.7 kg	K	1 70 g
H	7.05 kg	Na	105 g
N	2.10 kg	Cl	105 g
Ca	0.70 kg	Mg	33 g
P	0.7kg	Fe	4.2 g
		Zn	3.0 g
		Si	1.4 g
		Rb	1.4 g
		F	0.8 g
	Gesamt 75 kg		



Sauerstoff gebunden im Wasser



Wasser, H₂O

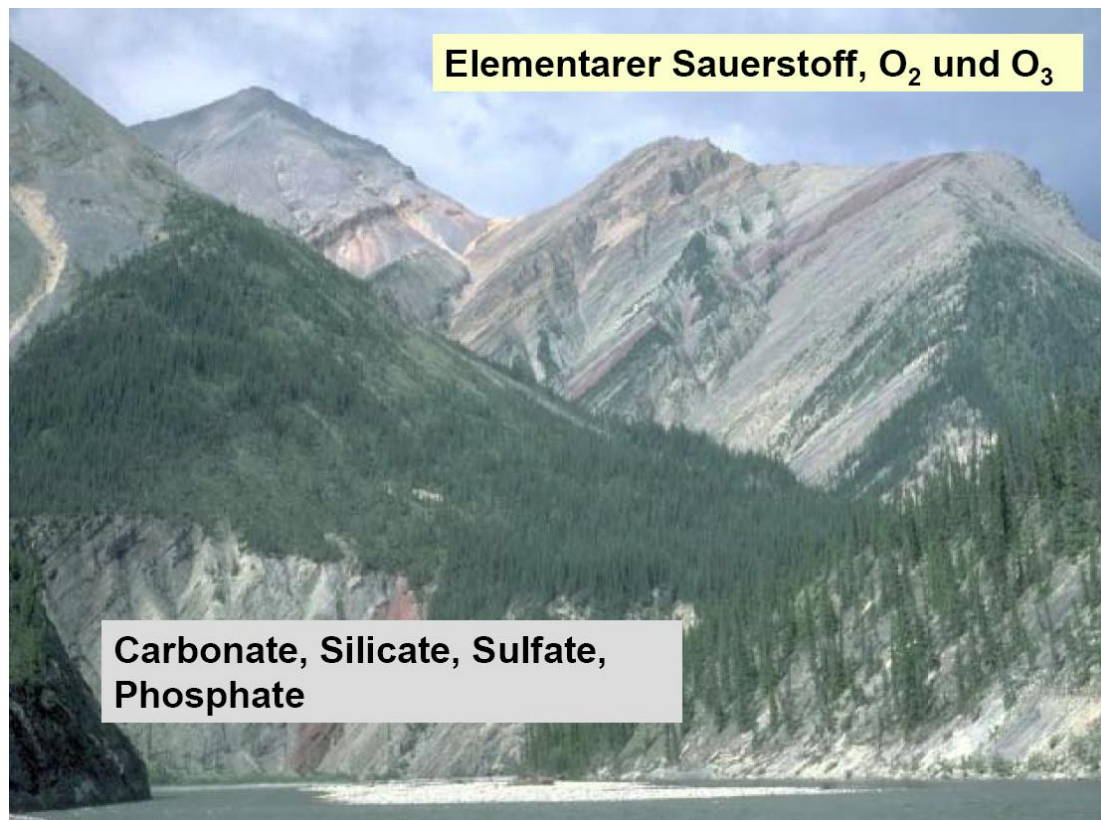
Fauna

Wichtiger Bestandteil chemischer Verbindungen in Lebewesen

Jeder Mensch benötigt pro Tag fast 1 kg O₂



Sauerstoff gebunden in Salzen





Photosynthese



Durch Photosynthese werden weltweit pro Jahr 300 Milliarden Tonnen Sauerstoff produziert;

Ein Baum biosynthetisiert etwa 15 g Sauerstoff pro Tag.





Zur Geschichte



Sir Robert Boyle (Mitte 17. Jhd.)

Substanzen verbrennen nur an der Luft.

Sie nehmen bei der Verbrennung an Gewicht zu.

Alle brennbaren Stoffe müssen eine Substanz enthalten, die für die Brennbarkeit verantwortlich ist.

engl. oxygen, lat. oxygenium ("Säurebildner")



Phlogiston-Theorie



Georg Ernst Stahl (Ende 17. Jhd.)

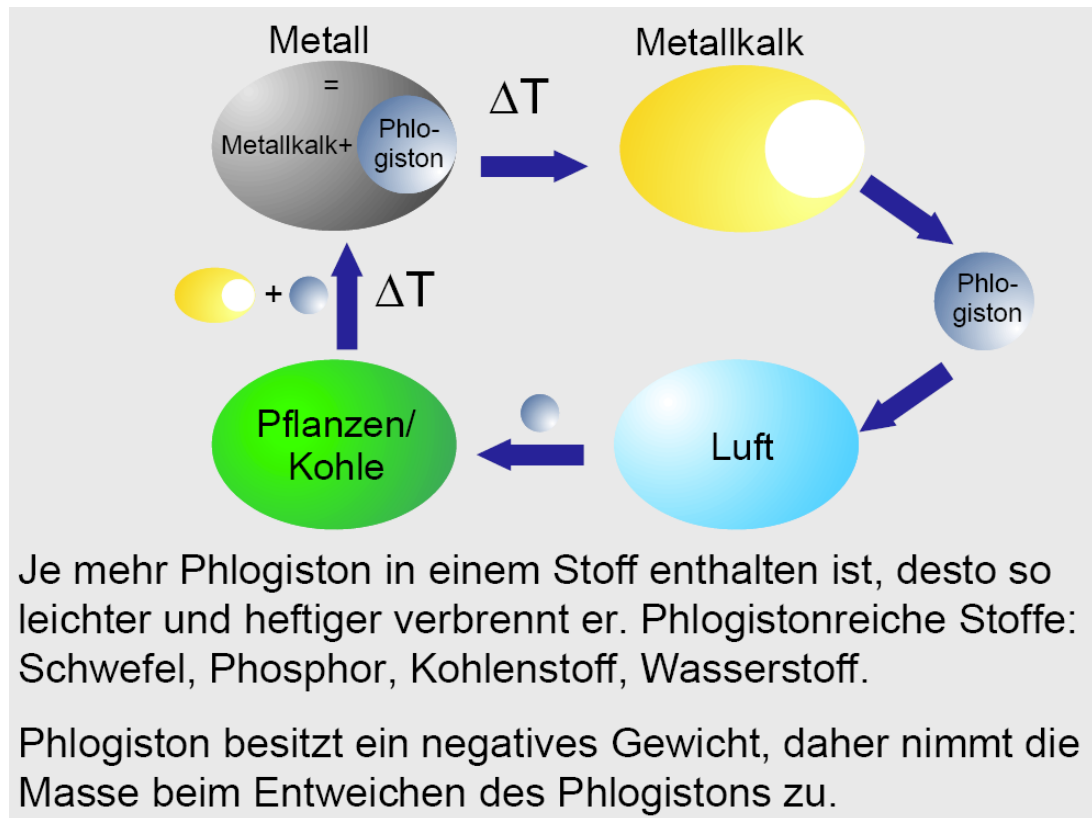
Phlogiston sorgt für die Brennbarkeit von Substanzen

Phlogiston entweicht bei der Verbrennung

Reduktions-Oxidations-Prozesse nicht nur bei „Metallverkalkung“ (= Verbrennung)



Was ist Phlogiston?





Die Entdecker der Luft



Joseph Priestley (1774)



Karl Wilhelm Scheele (1772)



Sauerstoff ist dephlogistierte Luft



*Antoine Laurent de Lavoisier
(Ende 18. Jhd.)*

Quantitative und qualitative
Untersuchung von
Verbrennungsvorgängen

Gewichtszunahme entspricht
etwa dem Anteil
dephlogistierter Luft

Sauerstoff ist diese
dephlogistierte Luft

Verbrennung ist keine
Trennung, sondern eine
Vereinigung von Stoff und
dephlogistierter Luft, die dem
Stoff sein Phlogiston entzieht

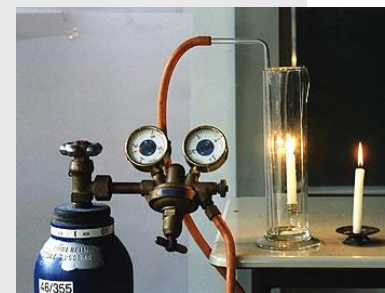
... in einem Schauprozeß wurde Phlogiston vom Sauerstoff angeklagt und „gehängt“



Vorkommen - Darstellung von Sauerstoff

• Aus Luft

Inhaltsstoff	Vol.-%
Stickstoff	78.09
Sauerstoff	20.95
Edelgase	0.93
Kohlendioxid	0.03



Trennung von Stickstoff und Sauerstoff kann **physikalisch** oder **chemisch** erfolgen.

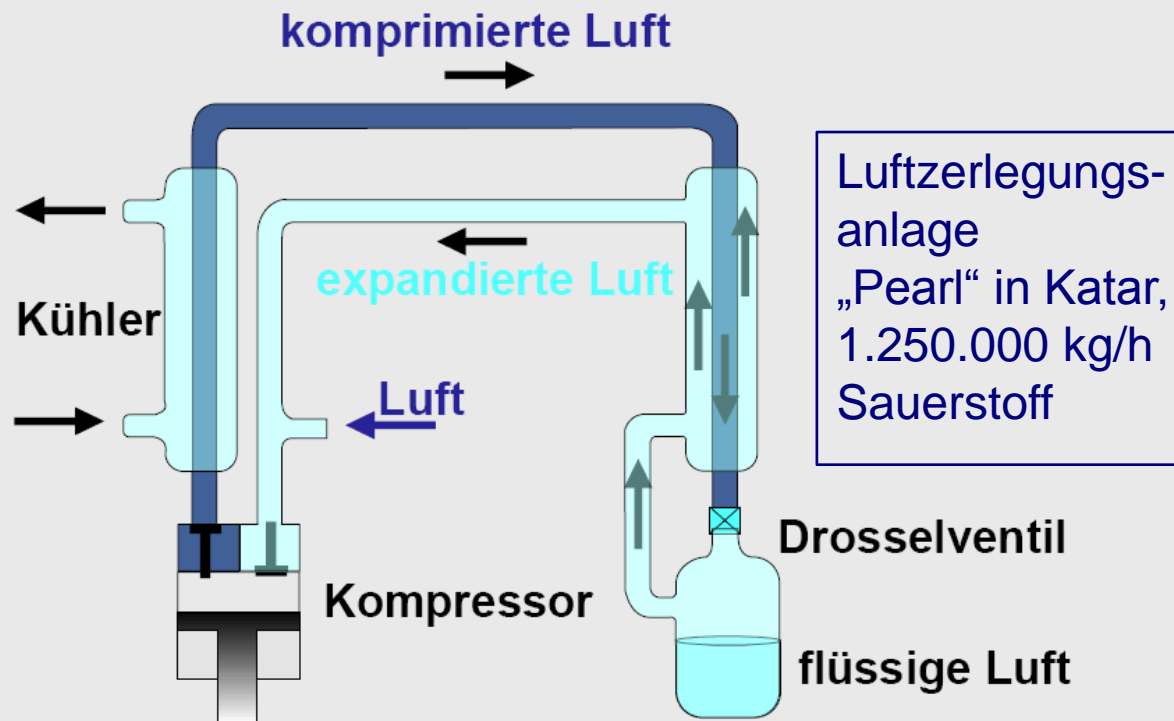
Technisch nur physikalische Trennung: Linde-Verfahren



...aus der Luft



Luftverflüssigung nach dem Linde-Verfahren



Ausnutzung des Joule-Thomson-Effektes



Siedepunkte

Luftverflüssigung

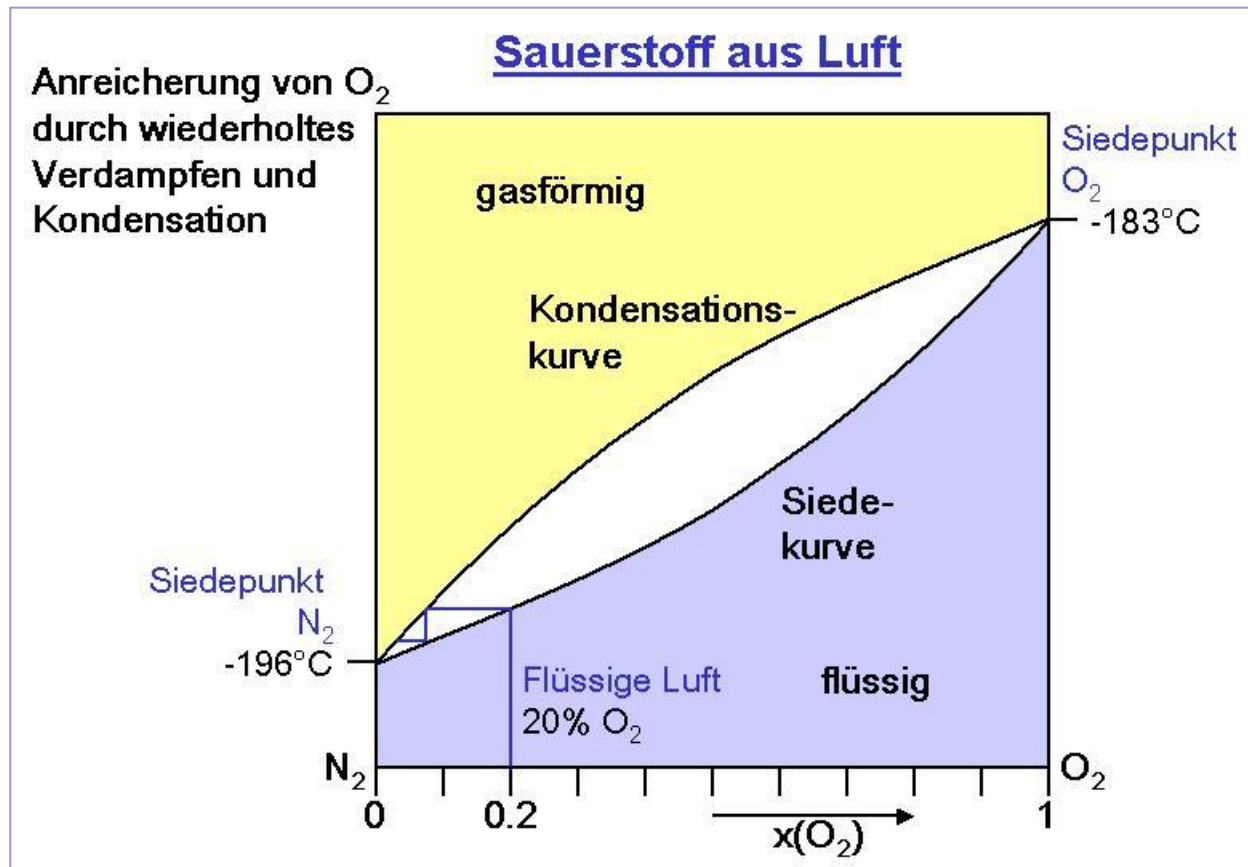
Unterschiedliche Fraktionen vor der Feintrennung

He	Ne	N ₂	Ar	O ₂	Kr	Xe
-269	-246	-196	-186	-183	-153	-108

Diagram illustrating the boiling points of various gases, grouped into fractions before fine separation. The boiling points are listed in degrees Celsius. Brackets indicate groupings: He, Ne, and N₂ are grouped together; Ar and O₂ are grouped together; and O₂, Kr, and Xe are grouped together.



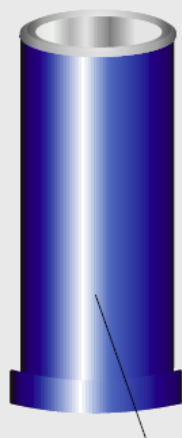
Dampf- und Siedekurven



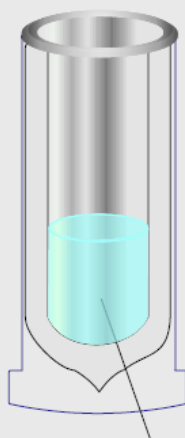


Aufbewahrung flüssiger Luft

evakuiertes Glasgefäß,
innen verspiegelt



Metallmantel



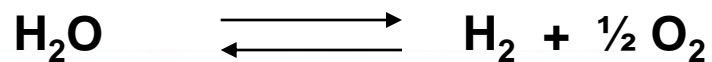
flüssige Luft



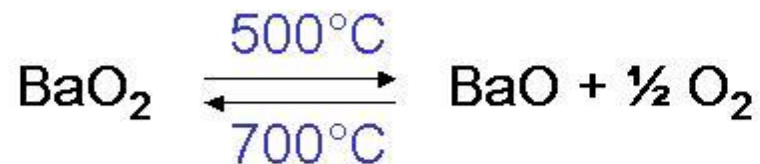


Darstellung im Labor

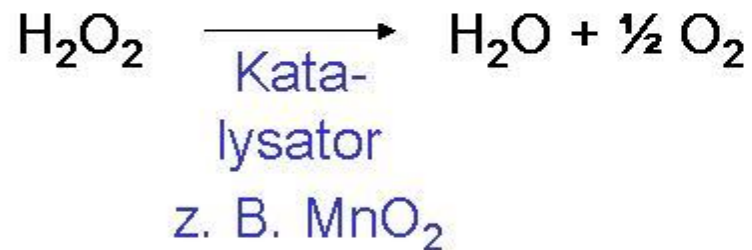
Elektrolyse



Reversible
Bindung von O_2



Katalytische
Zersetzung



Singulett- ($^1\text{O}_2$) vs Triplett-Sauerstoff ($^3\text{O}_2$)



Experimente

■ **Reaktion von Wasserstoffperoxid mit Braunstein**

Zu einer Lösung von 30%igem H_2O_2 wird eine Spatelspitze Braunstein gegeben. Es erfolgt eine heftige Reaktion. (Disproportionierung)

■ **Darstellung von O_2 aus Sodasan Oxi und Nachweis mit Spanprobe**

In das Reagenzglas gibt man 1cm gesiebten Oxi-Reiniger. Während man diesen erhitzt, hält man einen glimmenden Span an die Reagenzglasöffnung.

■ **Knalleffekt mit Oxi-Reiniger und Kerzenwachs**

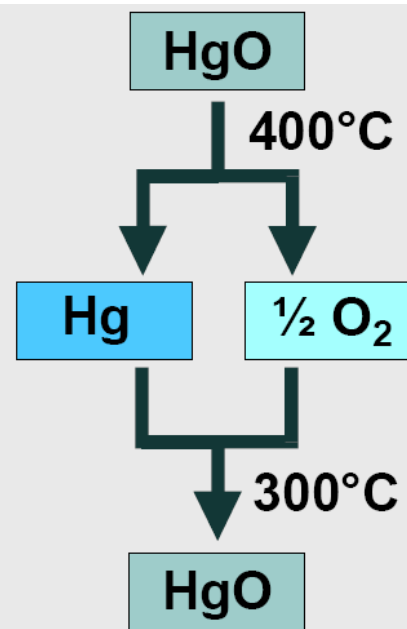
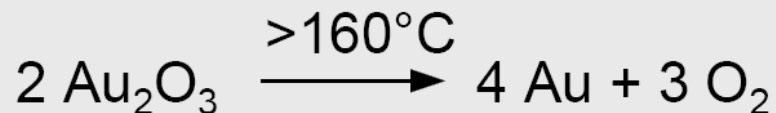
In ein kleines Reagenzglas gibt man ca. 1cm hoch Oxi-Reiniger, darüber etwas Glaswolle und ein wenig Kerzenwachs. Nun hält man das Reagenzglas fast waagrecht so in die Flamme des Brenners, das Wachs und Reiniger gleichzeitig erhitzt werden. Nach kurzer Zeit kommt es zu einem Knall.



Durch Pyrolyse von Metalloxiden

aus edlen Oxiden:

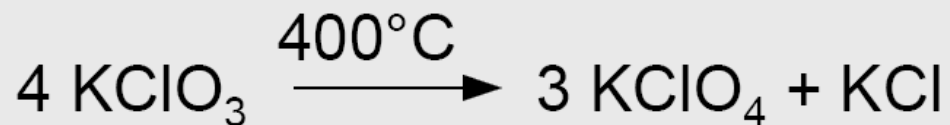
Historischer Versuch von Lavoisier





Durch Pyrolyse von sauerstoffreichen Salzen

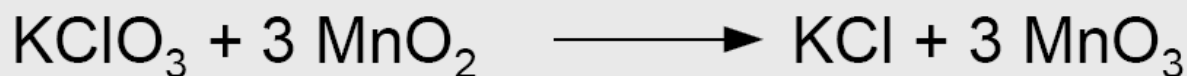
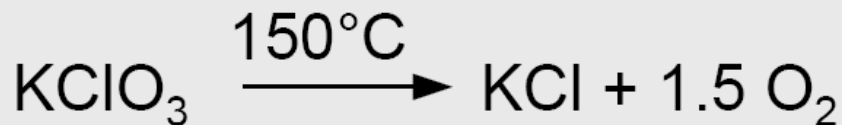
aus Kaliumchlorat:



Explosionsgefahr!

sicherer mit Braunstein als Katalysator

**Temperaturniedrigung
um 350°C!**





Experiment

- **Verreiben von KClO_3 mit Schwefel**

In einem Mörser werden geringe Mengen (2 Spatelspitzen) von KClO_3 mit Schwefel verrieben. (lautes Knacken)!



...?

Thommy: Geheimparty mit Gummibären



HARIBO-FEST Gottschalk sang zu Orgel-Klängen seine Lieblingssongs

Donnerstag, 13. Februar 2003

Die Party war gelungen. Unser Bonner Entertainer **Edgar Weißenfels** machte bei einer großen Haribo-Party im Golfhotel Jakobsberg (Boppard) die Gäste (Geschäftsfreunde des Süßwaren-Riesen) froh und den geheimen Stargast **Thomas Gottschalk** ebenso.

Auf der Hammondorgel spielte Weißenfels zur Begrüßung den Anfangstitel der damaligen Gottschalk-Sendung „Na sowas“. Als er später zum Tanz „The Rock'n'roll over the World“ von **Status Quo** (eine der Lieblingsgruppen des TV-Stars) anstimmte, setzte sich Gottschalk spontan neben den Bonner und sang begeistert mit.

Nicht nur Haribo-Chef **Dr. Hans Riegel** war mit seinem Werbeträger zufrieden. Weißenfels: „Der Thommy ist ein absolut netter Mensch ohne Starallüren.“ Deshalb hatte Mister „Wetten, dass?“ auch nichts dagegen, dass zur Erinnerung an den fröhlichen Abend ein Schnappschuss vom Duo Gottschalk-Weißenfels gemacht wurde.

Auf Briefmarke wurde jetzt das Bonner Beethoven-Haus (zählt etwa 100 000 Besucher pro Jahr) verewigt. Post-World-Net-Vorstand **Hans-Dieter Petram** überreichte die neue 1,44-Euro-Marke an Oberbürgermeisterin **Bärbel Dieckmann** und Beethoven-Haus-Direktor Professor **Andreas Eckhardt**. Welt mehr als 100 Millionen Mal wird das Exemplar aus der Dauerserie „Sehenswürdigkeiten“ jetzt in alle Welt geschickt.

Schon zweimal wurde er verschoben, jetzt aber soll er endlich an den Start gehen. Am 20. Februar heißt es Leinwand frei für die „extreme“ amerikanische Kino-Komödie „Boat Trip“. Das besondere an dem Streifen mit Stars wie **Roger Moore**, **Cuba Gooding Jr.**, Playboy-Playmate **Victoria Silvstedt** oder der bildschönen **Roselyn Sanchez**: Die Innenaufnahmen wurden zu großen Teilen im Bonner Maritim-Hotel gedreht.

Tolle Presseball-Band ist wieder da



Partytime auf dem Jakobsberg: Edgar Weißenfels zauberte auf der Orgel, und Thomas Gottschalk sang begeistert mit. Foto: priv



+ KClO_3



?



Brummender Gummibär

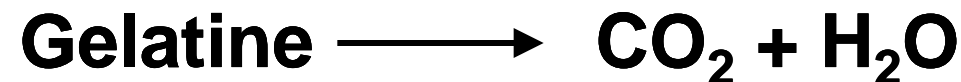
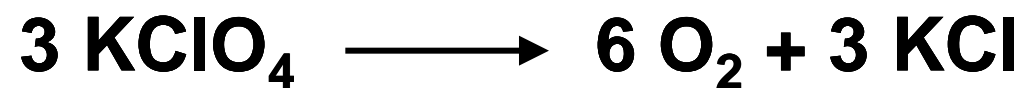
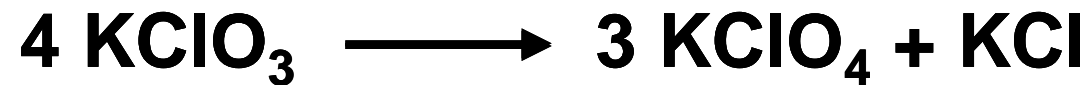
Gummibär

Erstellen einer Kaliumchlorat-Schmelze

+V

+VII

-I



Disproportionierung



Experiment: Brummender Gummibär

■ Brummender Gummibär





Physikalische Eigenschaften

Sdp.: - 183°C (90 K)

Smp.: - 218°C (55 K)

In festem Zustand liegt O₂ in hellblauen Kristallen vor

Dichte:	gasförmig	0.00142 g/cm³
	flüssig	1.18 g/cm³
	fest	1.42 g/cm³

Löslichkeit in H₂O/l:

0°C	49.1 cm³
20°C	30.5 cm³
25°C	27.5 cm³
100°C	17.0 cm³

Die Löslichkeit ist doppelt so groß wie von N₂ !





Warum rosten wir nicht?

... man könnte auch fragen, warum fangen wir nicht an zu brennen ?



Korrosion

Auflösen von Metallen



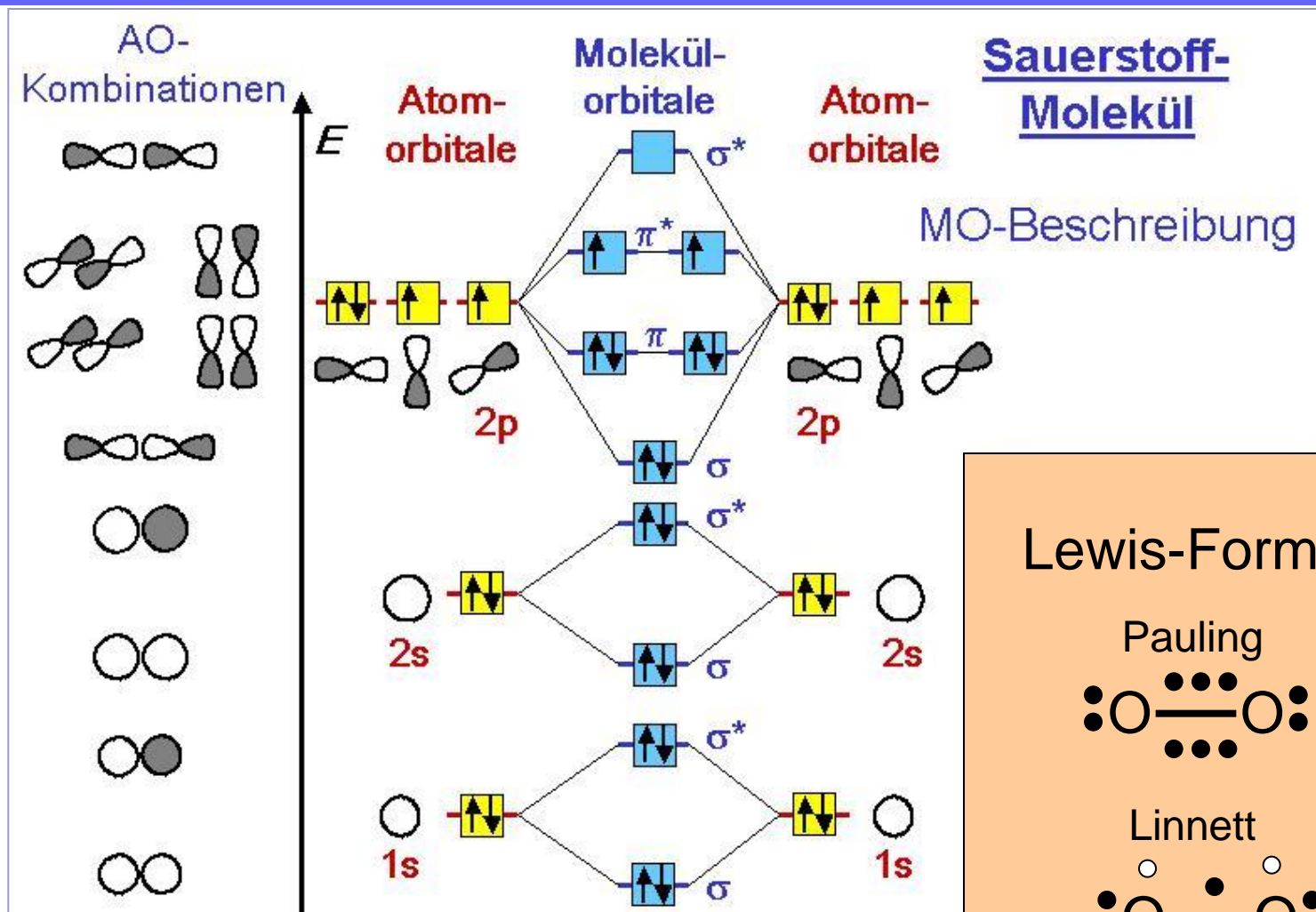
+ O₂ = ?

Spinverbotene Reaktion ☺

...die magische Antwort heißt ... AKTIVIERUNG!



Elektronenkonfiguration: Tripletsauerstoff



Lewis-Formel

Pauling

$$\text{:}\ddot{\text{O}}\text{--}\ddot{\text{O}}\text{:}$$

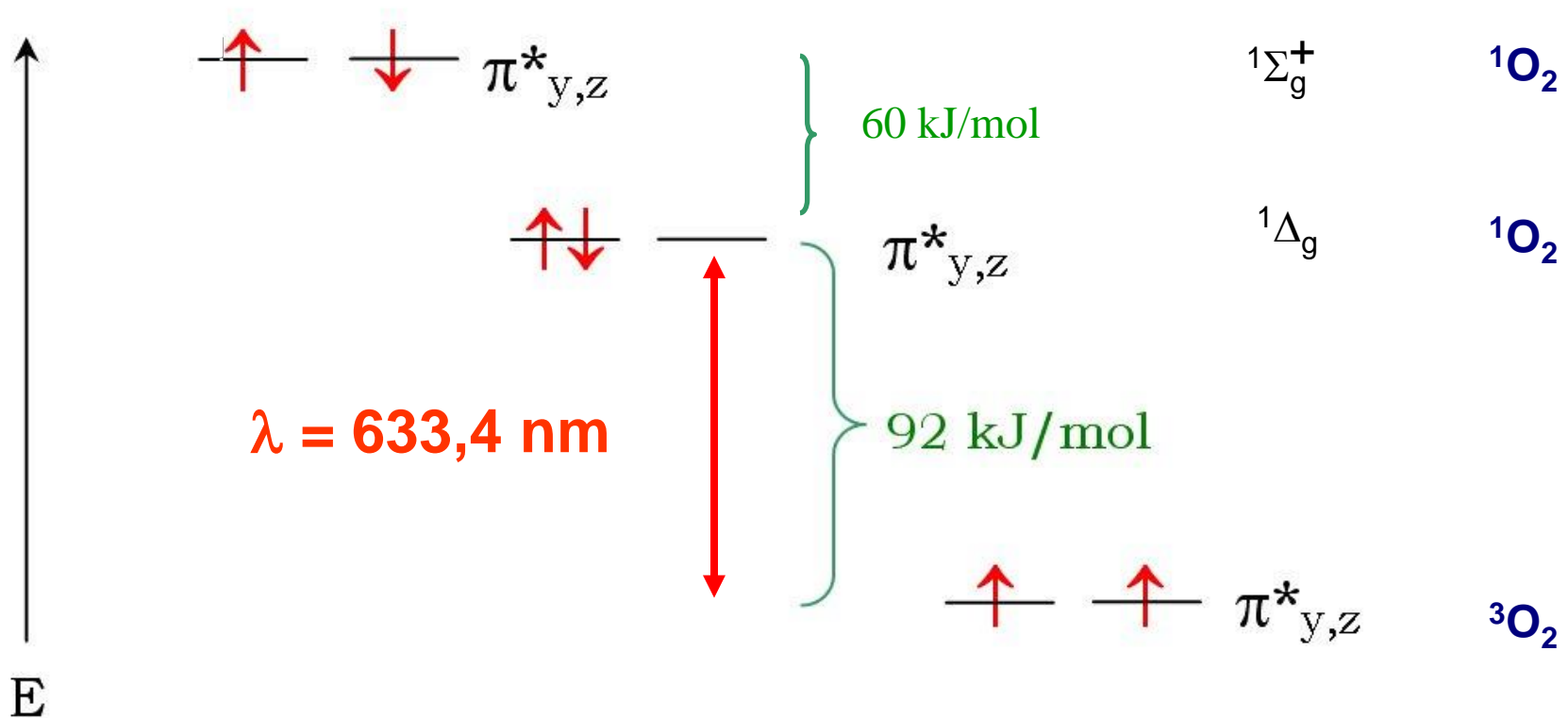
Linnett

$$\begin{array}{c} \circ \qquad \circ \\ \text{:}\ddot{\text{O}}\text{--}\ddot{\text{O}}\text{:} \\ \circ \qquad \circ \end{array}$$

28



Singulett- vs. Triplett-Sauerstoff



Chemolumineszenz



Experiment: Singulett-sauerstoff



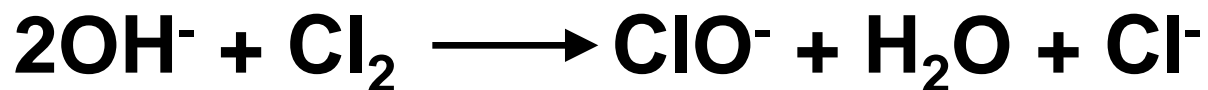
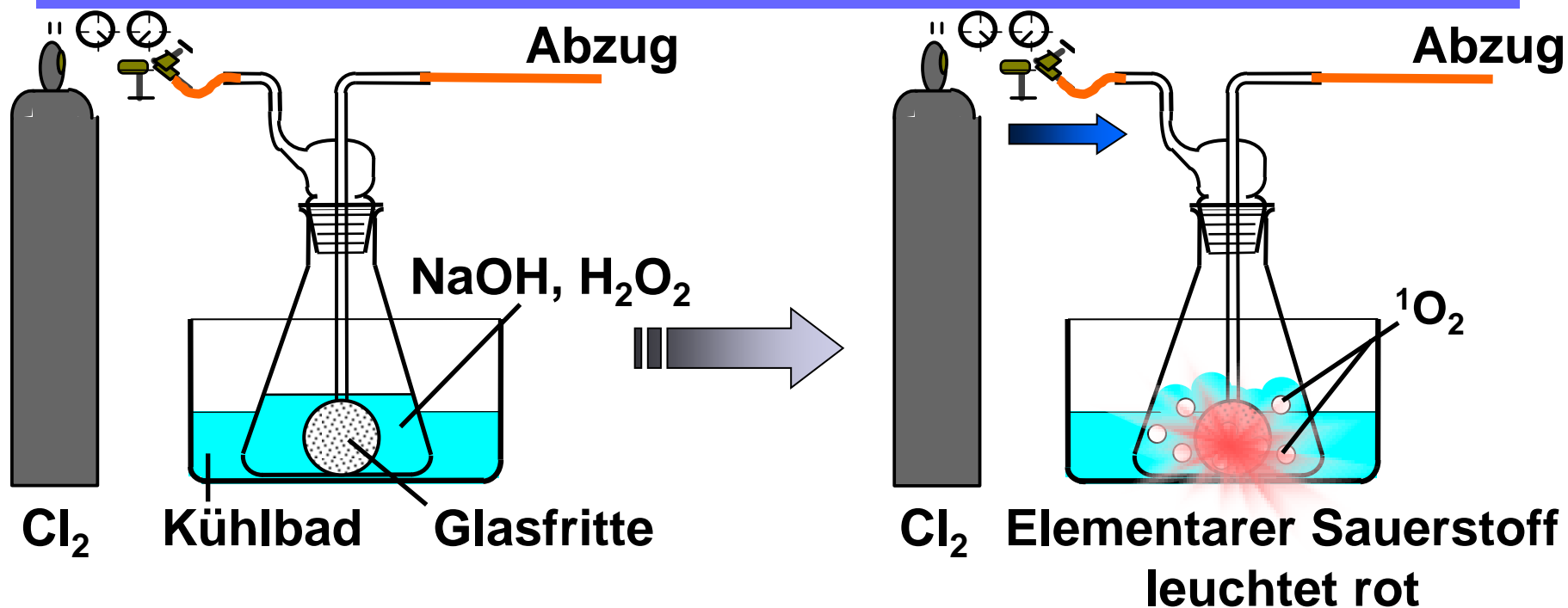
Die Bezeichnung Triplett / Singulett folgt aus den Spinmultiplizitäten: $M = 2S + 1$

Singulett: $^1\text{O}_2$, da Gesamtspin = $2 [+\frac{1}{2} + (-\frac{1}{2})] + 1 = 1$

Triplett: $^3\text{O}_2$, da Gesamtspin = $2 [+\frac{1}{2} + (+\frac{1}{2})] + 1 = 3$



Sauerstofflumineszenz





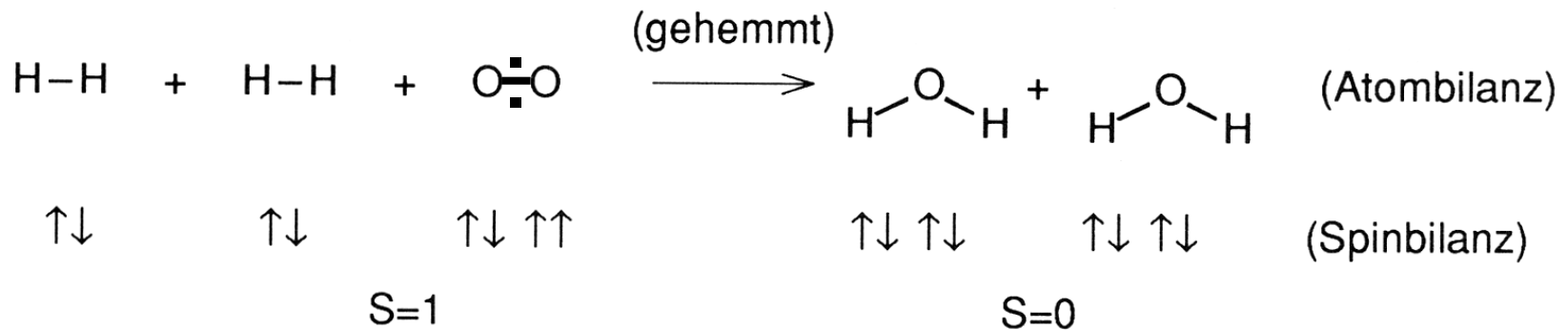
Experiment

■ Singulett-Sauerstoff

Im Experiment wird Chlorgas in eine auf -10°C gekühlte Mischung von Wasserstoffperoxid (30%) und Natronlauge eingeleitet. Man führt die Reaktion in einer Waschflasche durch, um einen möglichst gleichmässigen, feinverteilten Gasstrom zu erhalten. Sobald die Luft aus der Apparatur verdrängt ist, kann man im abgedunkelten Raum die rote Chemilumineszenz des Singulett-Sauerstoffs beobachten.



Spinverbot



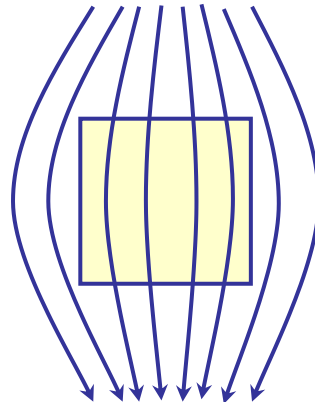
Das Spinverbot gilt jedoch nicht für Reaktionspartner des $^3\text{O}_2$, die leicht Elektronenübertragungsreaktionen eingehen können (CHANON et al.; MASSEY) oder die selbst ungepaarte Elektronen enthalten; zu letzteren gehören

- stabile oder durch Zündung erzeugte freie Radikale ($S = 1/2$),
- Verbindungen mit photochemisch oder anderweitig erzeugten angeregten Triplett-Zuständen ($S = 1$) und
- paramagnetische Übergangsmetallzentren ($S \geq 1/2$).

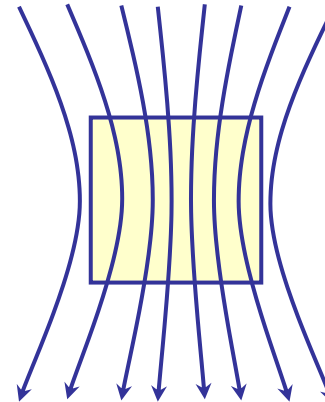


Para/Dia-Magnetismus

Diamagnetismus



Paramagnetismus



	abgeschlossene Schalen	ungepaarte Elektronen
Spinmomente	kompensieren sich	kompensieren sich nicht
magnetisches Moment	kein	permanent
Kraftfluß-dichte	verringert	verstärkt



Experiment

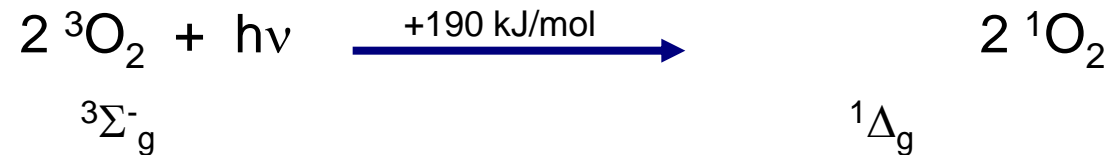
■ Paramagnetischer Sauerstoff

An einem Stativ werden knapp untereinander der Glastrichter, die Einmalspritze und die beiden Permanentmagnete mittels Muffen und Stativklammern befestigt. Zur Demonstration der paramagnetischen Eigenschaften von Disauerstoff füllt man über den Trichter flüssigen Sauerstoff, so erfolgt im Magnetfeld eine von der Feldstärke und dem Abstand der Magnete abhängige Auslenkung des Sauerstoffstrahls.



Warum ist Sauerstoff blau?

Flüssiger Sauerstoff ist **blau**. Dies kann man mit folgender Gleichung erklären:



Hier kollidieren zwei Sauerstoffmoleküle im Grundzustand (Triplett-Zustand). Dabei gehen sie simultan in den angeregten Singulett-Zustand über (eigentlich Spinverboten aber im flüssigen Zustand existieren zwischenmolekulare Wechselwirkungen).

Dadurch werden dem Licht rote, gelbe und grüne Anteile entzogen – es erscheint blau.

Absorption vor allem bei 630nm (gelb) → Komplementär ist blau



Chemische Eigenschaften

Sauerstoff bildet mit allen Elementen außer Helium, Neon und Argon Verbindungen !

Die Verbindungsbildung erfolgt oftmals unter erheblicher Energiefreisetzung (stark exotherme Reaktionen).

Die Freisetzung der Energie kann in Form von Wärme oder Licht erfolgen.

Die Verbindungsbildung mit Sauerstoff wird trivial als Verbrennung, wissenschaftlich als Oxidation bezeichnet.

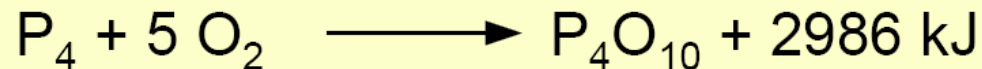
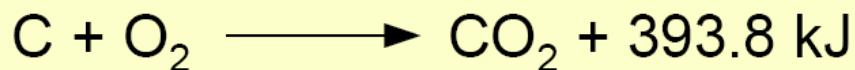
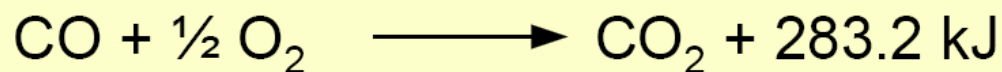
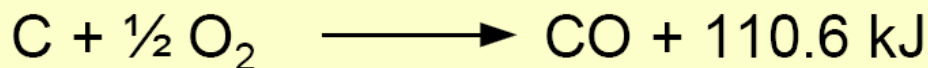
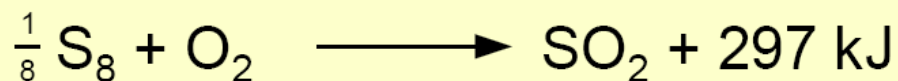


Oxidation - Brände





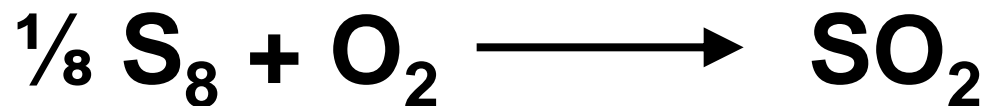
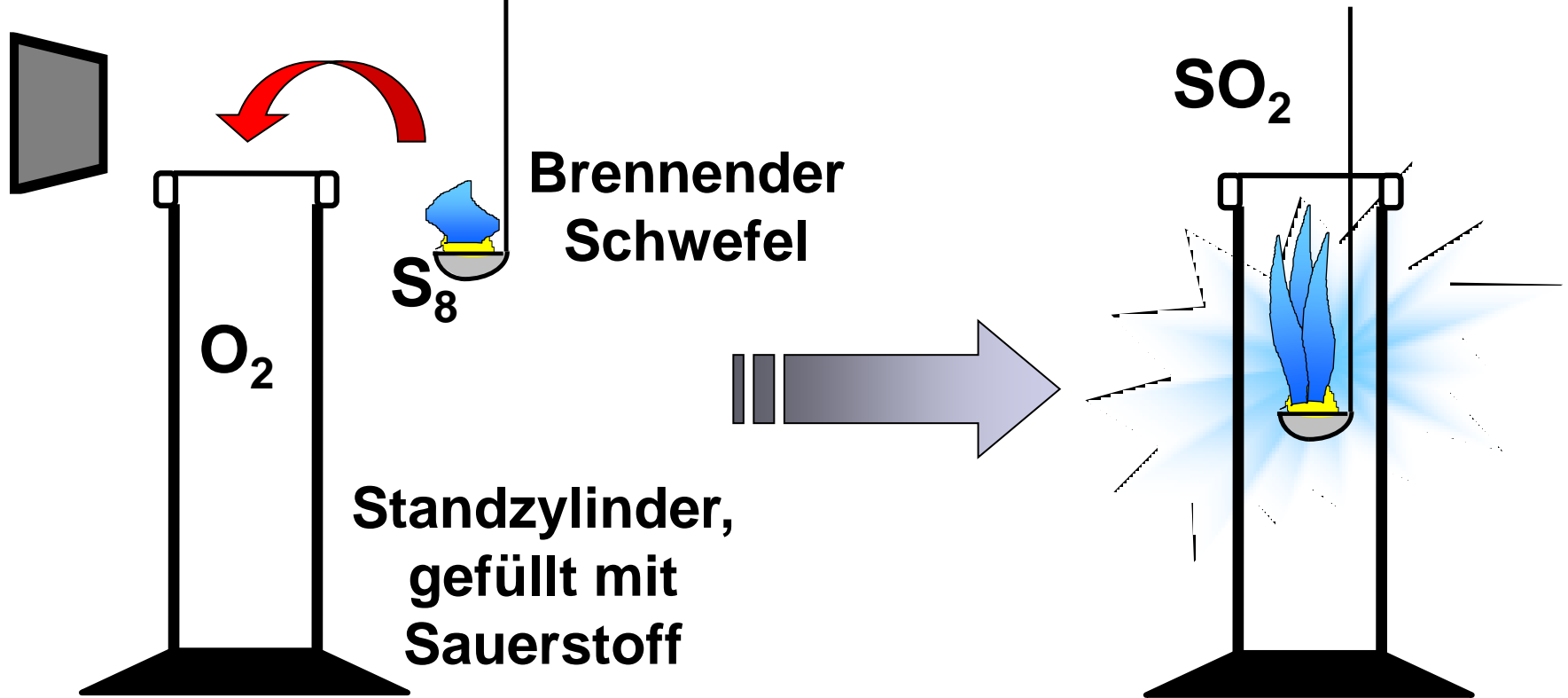
Oxidationsreaktionen mit Nichtmetallen



**Nichtmetalloxide bilden mit H₂O saure Lösungen:
H₂SO₃, H₂CO₃, H₃PO₄**

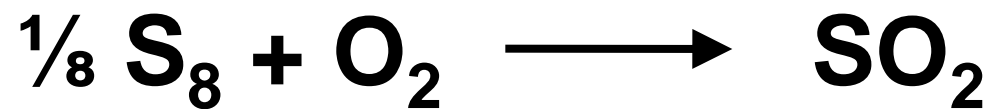


Schwefelverbrennung



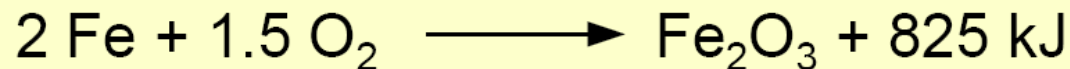


Experiment: Schwefelverbrennung





Oxidationsreaktionen mit Metallen



Andere Metalle sind reaktiver, z. B. Blitzlichtpulver



Metalloxide bilden mit H₂O basische Lösungen:





Verbrennung von Eisen in Sauerstoff





Verbrennung von Cer-Eisen in Sauerstoff





Experimente

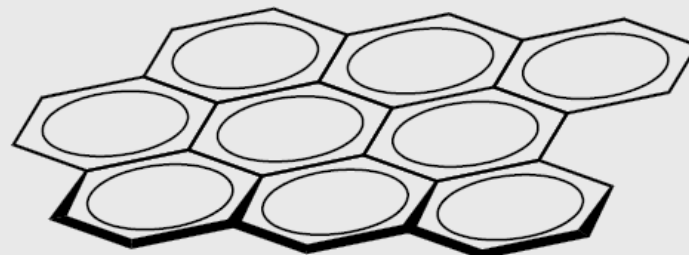
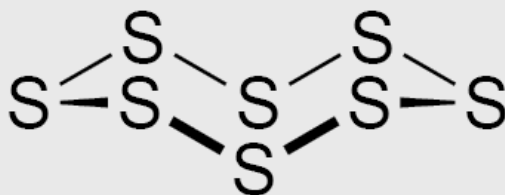
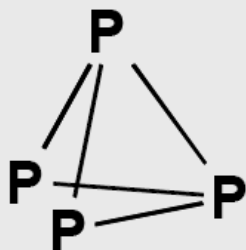
- **Verbrennen von Schwefel in Sauerstoff**
- **Verbrennen von Eisenwolle in Sauerstoff**
- **Verbrennen von Cer Eisen in Sauerstoff**



Verbrennungswärmen

Bei Verbrennungen sind die Wärmetönungen verschieden:

Element	freigesetzte Wärmemenge
1 g Phosphor (P)	6 kcal (25 kJ)
1 g Schwefel (S)	2.2 kcal (9 kJ)
1 g Kohlenstoff (C)	8 kcal (33 kJ)
1 g Eisen (Fe)	1.7 kcal (7 kJ)
1 g Zink (Zn)	1.3 kcal (5.5 kJ)





Verbrennungseigenschaften

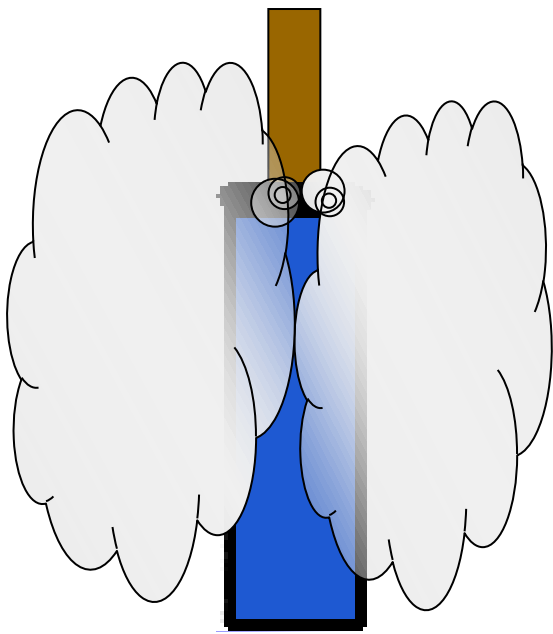
Oxidationsmittel Sauerstoff

Luft besteht zu 80% aus N_2
⇒ Abkühlung der Verbrennungsgase
durch Aufwärmen des N_2
⇒ Relativ geringe Flammentemperaturen

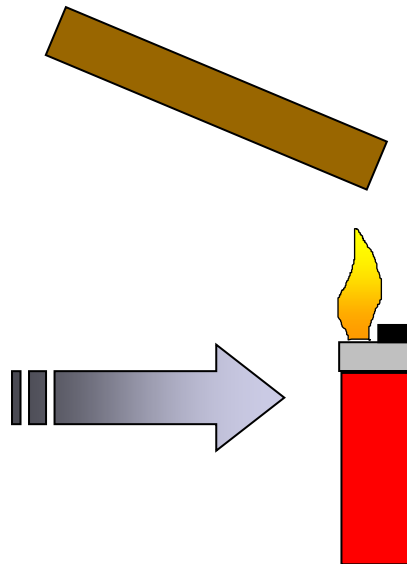
Reiner Sauerstoff (hohe Konzentration)
⇒ Kein Aufwärmen des N_2
⇒ Hohe Flammentemperaturen
⇒ stärkere Oxidationswirkung



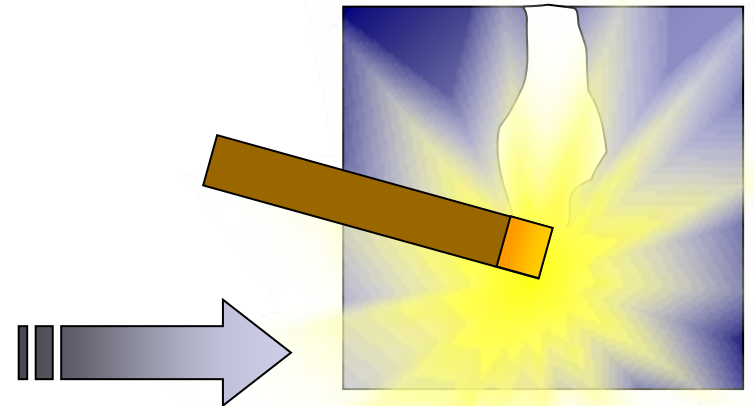
Brennende Zigarre als Schweissgerät!



Zigarre in Dewar
mit flüssigem O₂
-183°C



Zigarre anzünden



Mit brennender Zigarre
kann Metallblech
aufgeschweißt werden



Experiment: Flüssiger Sauerstoff

Eine Zigarette wird 30 Sekunden lang in flüssigen Sauerstoff getaucht.

Die Zigarette wird anschließend angezündet und verbrennt innerhalb von 3 Sekunden.



Am Schluß explodiert der Filter ...



Experiment

- **Brennende Zigarre als Schweissgerät**
- **Zigarette in flüssigem Sauerstoff**



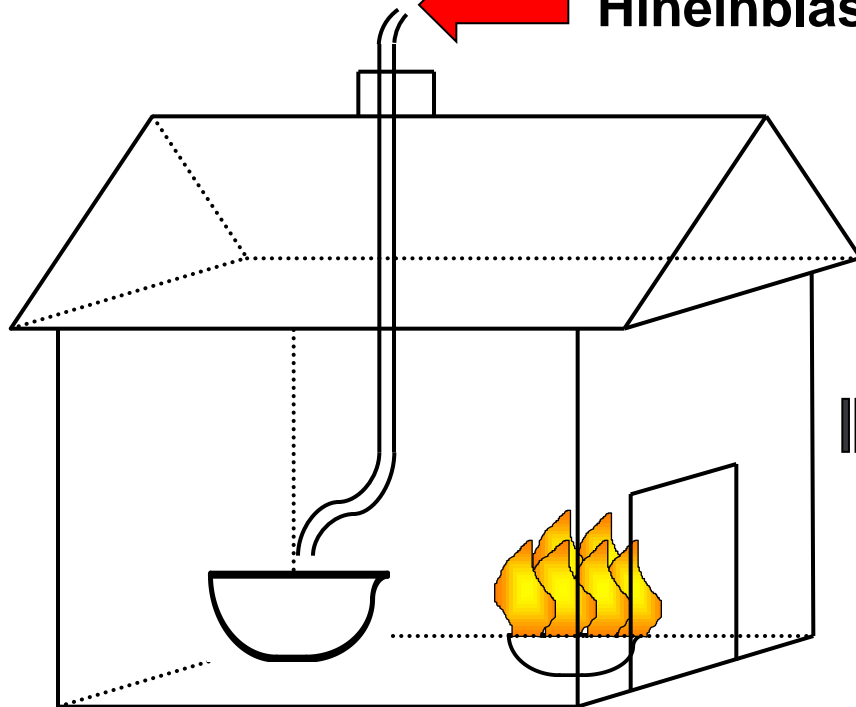
Flüssige Luft + Zigarette





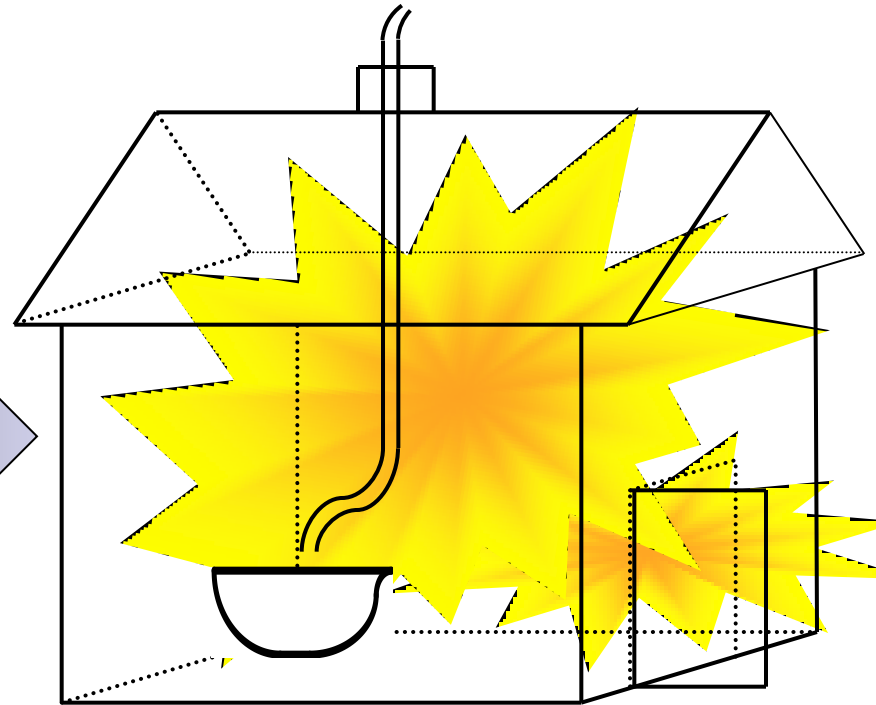
Mehlstaubexplosion

 **Hineinblasen**



**Schale mit
Mehl und
Bärlappsporen**

**Schale mit
brennendem
Ethanol**





Experiment

■ Mehlstaubexplosion

Man schüttet etwa 4g Bärlappsporen in eine kleine flache Porzellanschale, entzündet die Kerze mit einem Streichholz und verschließt dann schnell den Deckel des Reaktionsgefäßes. Nun bläst man unmittelbar darauf kräftig Luft durch den Schlauch. Das entstandene Staub-Luftgemisch explodiert und der Deckel wird herausgeschleudert, während aus der Öffnung eine Flamme hervorbricht.

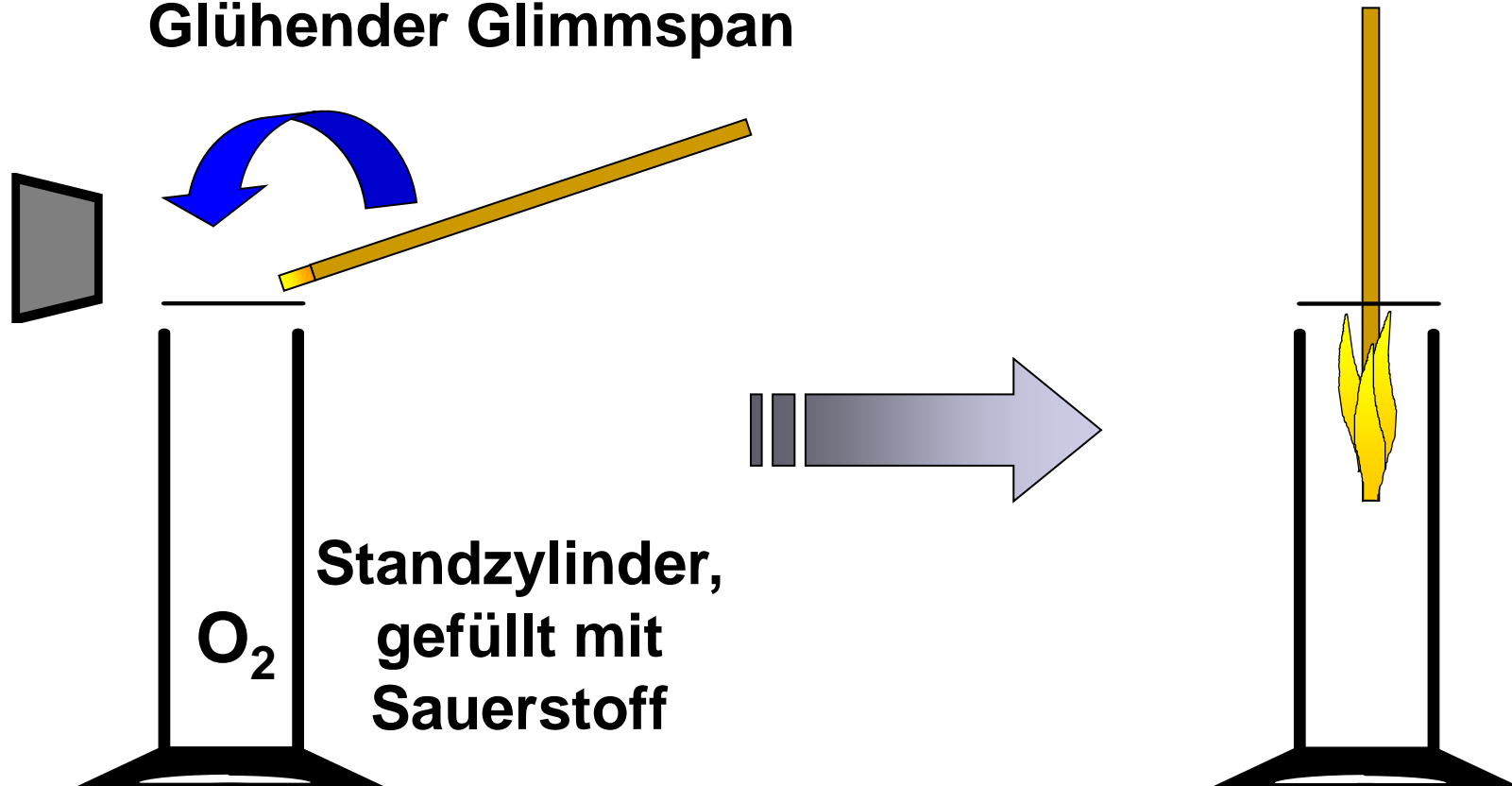
■ Oxiliquid

Leere Büchse ca. 6-8cm Durchmesser- Höhe 5-6 cm. Mit Holzsägemehl füllen und mit groben Spänen mischen. Ca.50ml flüssigen Sauerstoff zugeben und sofort mit glühendem Draht zünden oder den Rest einer noch glühenden Zigarette dazugeben.



Nachweis von Sauerstoff

Glühender Glimmspan





Experiment: Glimmspanprobe auf Sauerstoff



- Nachweis von Sauerstoff durch die Glimmspanprobe



Sauerstoff - Atmung



**Pflanzen
(Photosynthese)**



**Sauerstoff
+ Stärke**

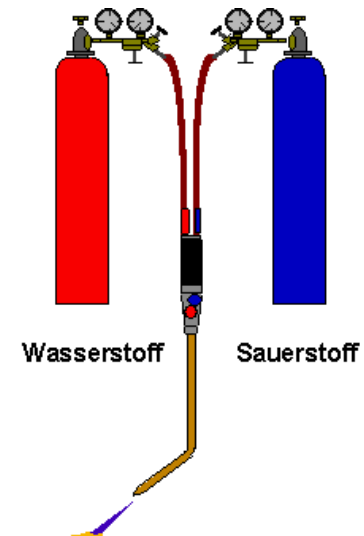


**Kohlenstoff-
dioxid**



**Tiere, Menschen
(Atmung)**

„Sauerstoff aus der Dose“

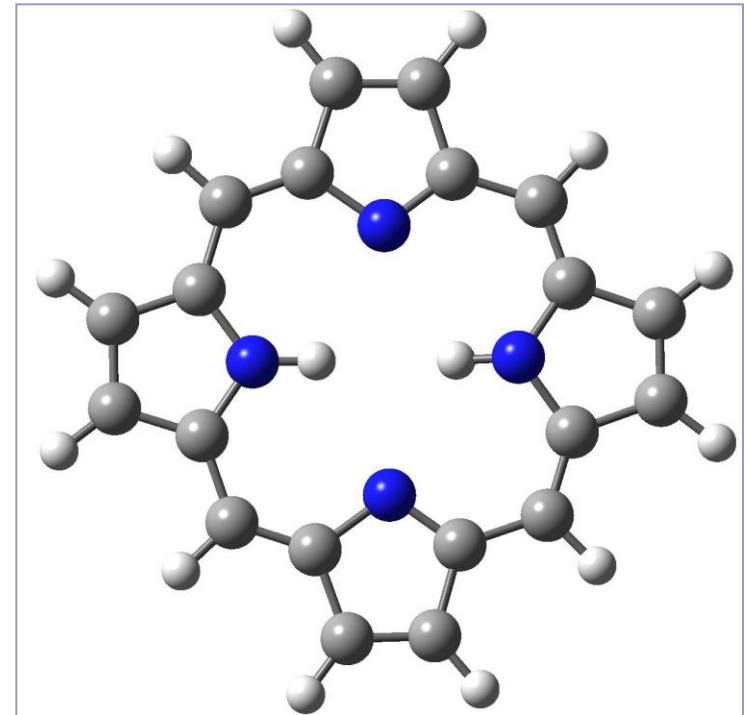
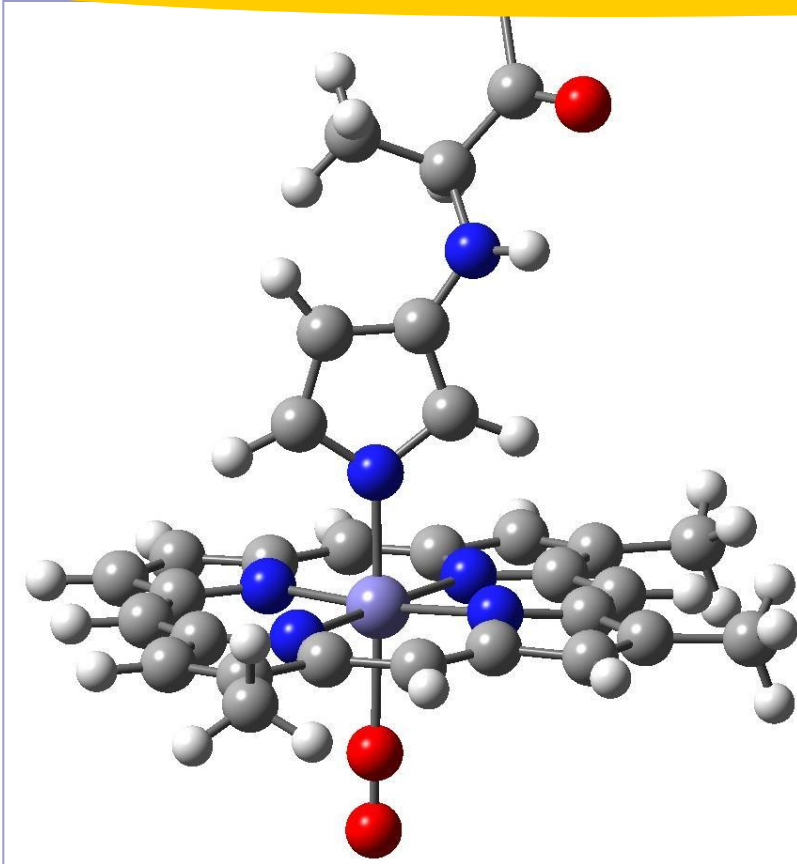




Chromoprotein: Hämoglobin

4% Farbstoff Häm und 96% Eiweiß (Globin)

Eiweiß

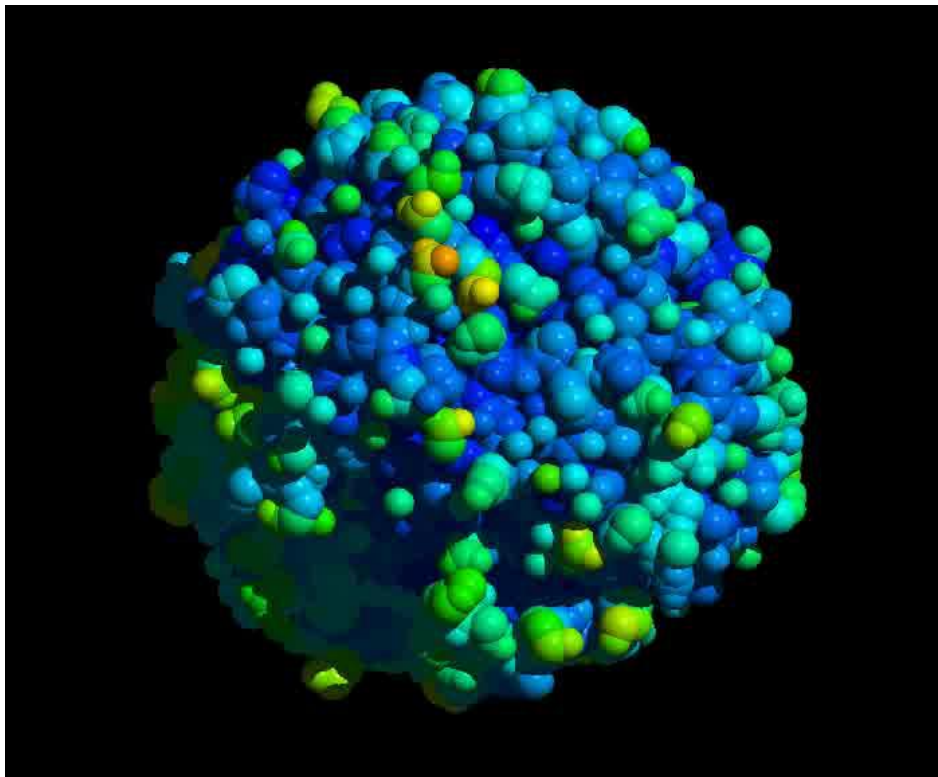
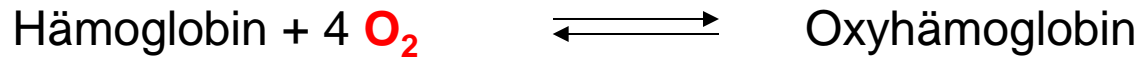


Porphyrin-Grundgerüst im Häm

Ein Hämoglobinmolekül enthält 4 Fe-Atome, d.h. 4 Häme



Sauerstoffaufnahme im Blut

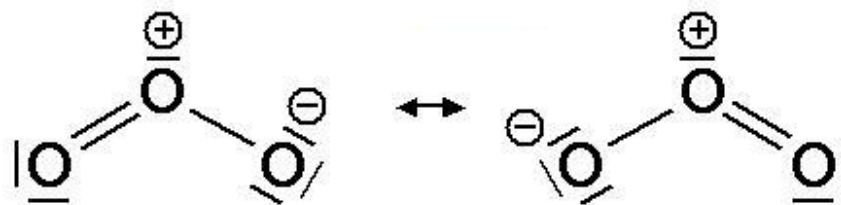


Hämoglobin

Fe(II) nimmt
locker gebunden
O₂ auf, ohne
Oxidationsstufe
zu ändern



Eine Modifikation des Sauerstoffs: Das Ozon



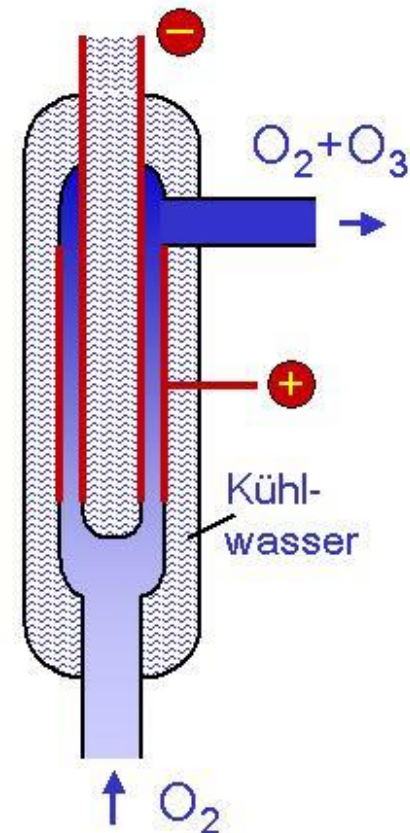
Delokalisierte Bindung
 \Rightarrow O-O-Abstände gleich lang



Ozon:

- endotherme Substanz
- explosiv
- stark oxidierend
(Desinfektion von Trinkwasser)

Siemens'scher
 Ozonisator+
 (~3000 V)



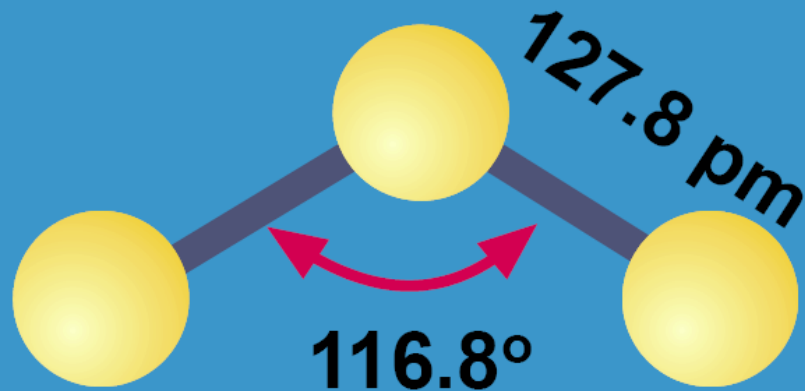


Physikalische Eigenschaften von Ozon

Aggregatzustand	Farbe	Dichte
gasförmig	blau	
flüssig	violettblau	$1.46 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$
fest	schwarzviolett	$1.73 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$

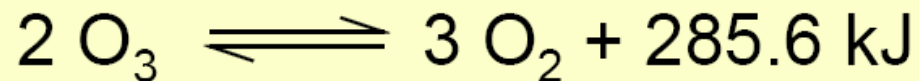
Sdp. – 110.51°C

Smp. – 192.5°C

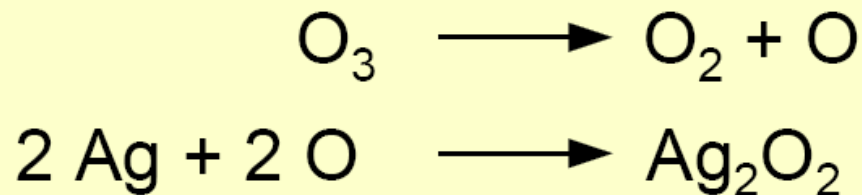




Chemische Eigenschaften

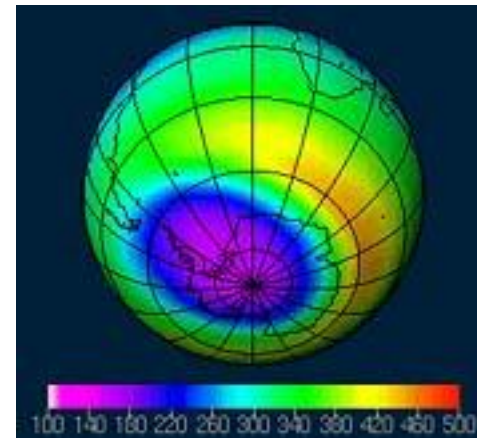
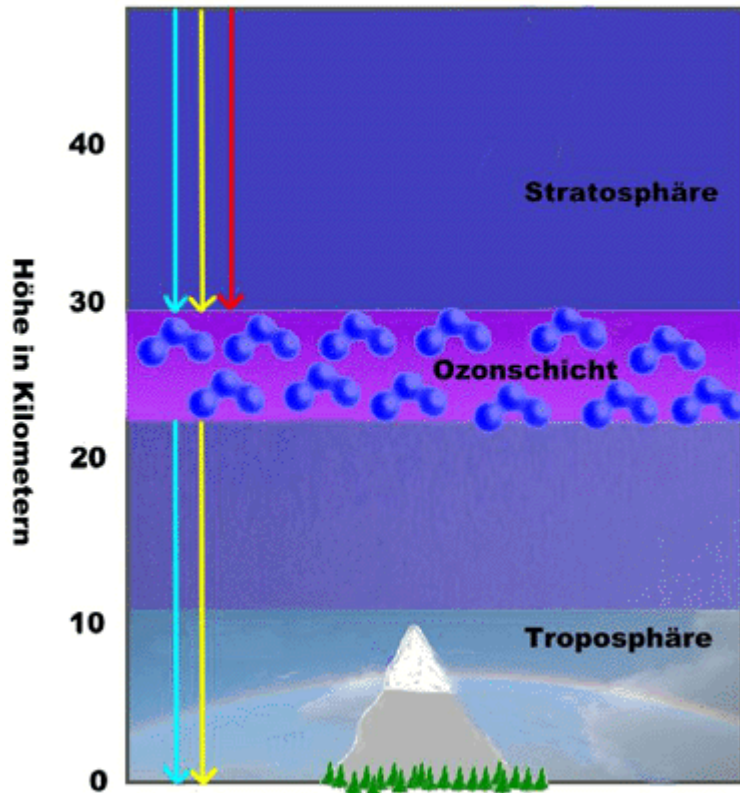


Starkes Oxidationsmittel:



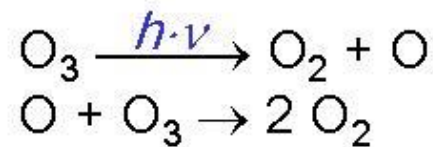
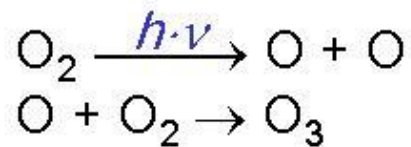
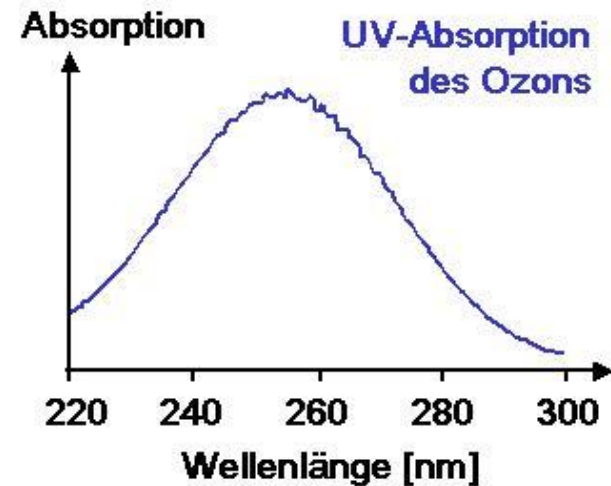
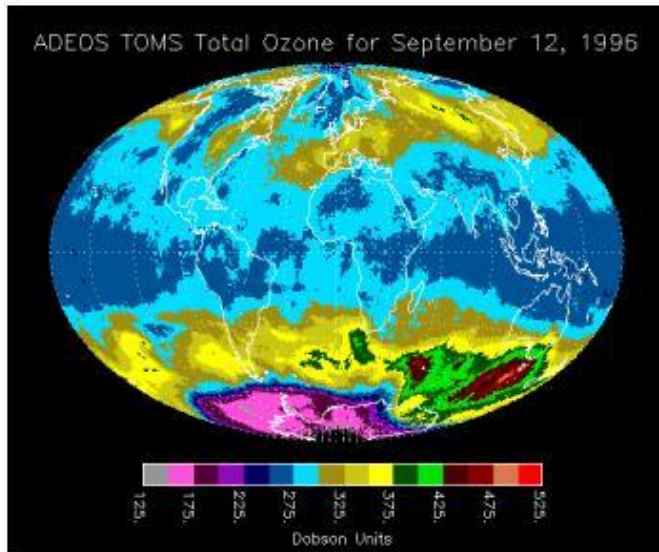


Ozon: „oben gebraucht - unten toxisch“





Ozonloch



Ozonbildung \longleftrightarrow Ozonabbau
Gleichgewicht



Experiment

Darstellung von Ozon

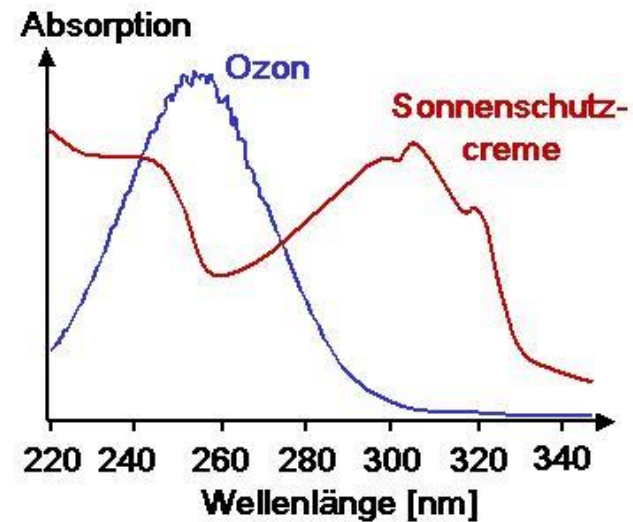
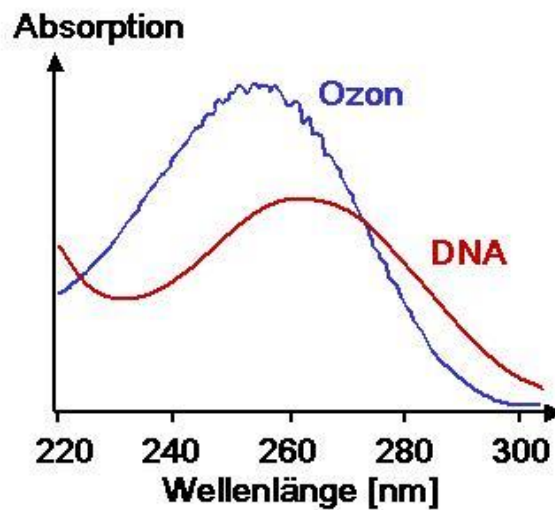
Ozon wird im Siemens'schen Ozonisator aus molekularem Sauerstoff durch elektrische Entladung hergestellt und durch seine Oxidationswirkung nachgewiesen.

KI-Lösung + Stärke → blau



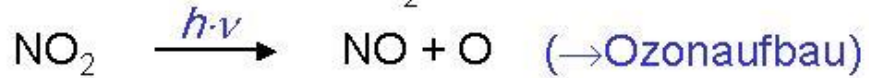
Zusatz

UV-Absorption des Ozons im Vergleich





Zusatz



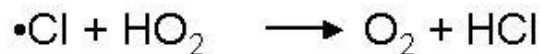
Ozonabbau

Beitrag von Cl

• ohne Licht (Polarnacht):

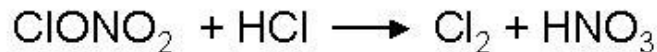


• OH und HO₂ entstehen
photolytisch aus H₂O

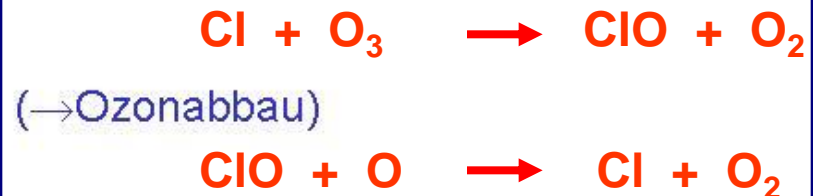
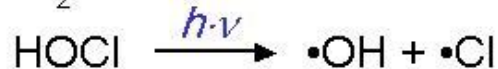
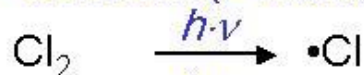


• an den Oberflächen von Aerosolteilchen (Stratosphärenwolken):

-90°C !



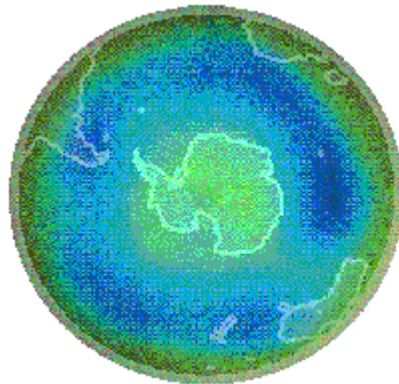
• bei Licht (Polartag):



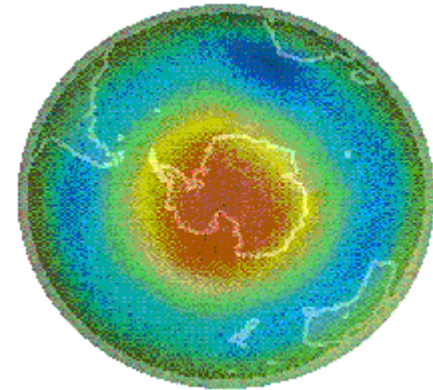


Zusatz

August



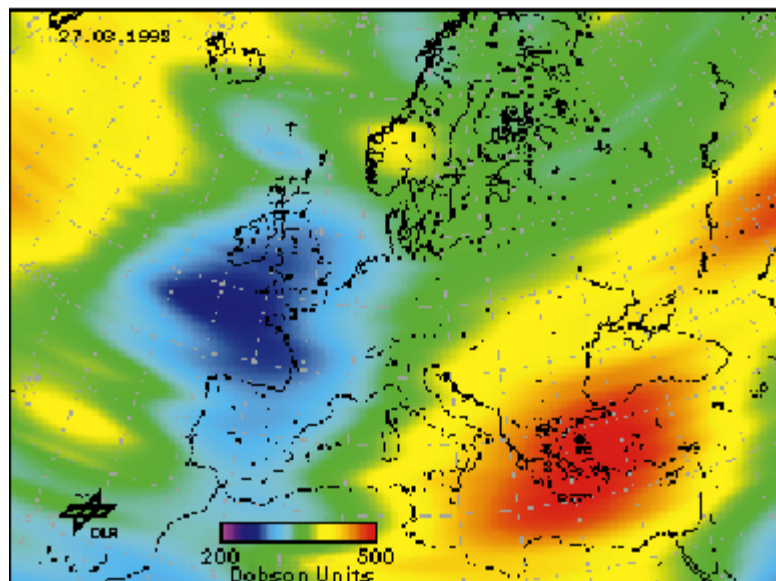
Oktober



Die Abbildung zeigt die Ozonkonzentration in der Stratosphäre (55 hPa , ca. 25 km Höhe) im August und im Oktober: Im südhemisphärischen Frühjahr wird über der Antarktis bis zu zwei Drittel des Ozons abgebaut, das "Ozonloch" tut sich auf. Vornehmlich durch Zustrom von Ozon aus äquatornahen Zonen verschwindet im südhemisphärischen Sommer das Ozonloch wieder. Weltweit nimmt aber die Ozonmenge ab, mit regionalen und ausgeprägten jahreszeitlichen Unterschieden.



Ozon in Erdnähe





Ozon – Wirkungen in niedrigeren Dosen (ca. 120-240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

- Augenreizungen
- Reizungen im Rachen und Hals
- Durstgefühl
- Thorakaler Druck
- Abnorme Müdigkeit
- Arbeit und Hyperventilation verstärkt die Ozonwirkung



Ozon – Wirkungen in mittleren Dosen (ca. 240-300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

- Verstärkung der Wirkungen auf die Schleimhaut der Augen und des Halses
- Kopfschmerzen



Ozon – Wirkungen in höheren Dosen ($>300\mu\text{g}/\text{m}^3$)

- Veränderung der Augenmuskeltätigkeit
- Beeinträchtigung der Dunkeladaption
- Schwere Schädigungen mit Lungenödem kommen erst in extrem hohen Dosen vor



Zusatz



Photooxiginierung

