

Katalysatoren: Unentbehrliche Helfer in der Chemie - Biologie - Technik

Versuch 1: Entzünden von Wasserstoff am Platinkatalysator

- Entzünde den ausströmenden Wasserstoff mit dem Feuerzeug.
- Versuche den ausströmenden Wasserstoff am Platinkatalysator zu entzünden.
Welches Volumen an Wasserstoff wird benötigt bis der Wasserstoff brennt? _____ ml
- Fülle in die Kat-Spritze Wasserstoff ein und füge so viel Luft zu, dass der Wasserstoff vollständig reagiert. Lasse die Spritze mit dem Kat liegen und notiere Deine Beobachtungen

Versuch 2: Zerfall von Wasserstoffperoxid unter katalytischen Bedingungen

Versuch 2.1: Zerfall von Wasserstoffperoxid (H₂O₂-Lösung 5%)

Erhitze Wasserstoffperoxid-Lösung bis zur Zersetzung:

Bei welcher Temperatur entsteht ein Gas? _____ °C

Es können theoretisch 2 verschiedene Gase entstehen: *Wasserstoff* und *Sauerstoff*

Welchen Nachweis für Wasserstoff und Sauerstoff kennst Du?

Welches Gas kann man nachweisen?

Versuch 2.2: Zerfall mit Hilfe von Katalysatoren

Gib zu verschiedenen Metallen tropfenweise 5%- H₂O₂ -Lösung

Ergebnis:

Metall	Beobachtung
<i>Kupfer</i>	
<i>Eisen</i>	
<i>Platin</i>	

Versuch 2.3: Zerfall mit Hilfe von Feststoffen

Gib zu verschiedenen schwarzen Metalloxiden tropfenweise 5%- H₂O₂-Lösung

Ergebnis:

Metalloxid	Formel	Beobachtung
<i>Kupferoxid</i>	<i>CuO</i>	
<i>Eisenoxid</i>	<i>Fe₃O₄</i>	
<i>Manganoxid</i>	<i>MnO₂</i>	

Versuch 2.4: Welcher Bio-Katalysator ist in Hefe?

Gib zu verschiedenen Stoffen tropfenweise 5%- H₂O₂ -Lösung

Ergebnis:

Stoff	Beobachtung
<i>Hefe</i>	
<i>Enzym Katalase</i>	
<i>Enzym Amylase</i>	

Versuch 2.5: Welches Lebensmittel enthält den Bio-Katalysator

Gib zu verschiedenen Stoffen tropfenweise 5%- H₂O₂ -Lösung

Ergebnis:

Stoff	Beobachtung
<i>Karotte</i>	
<i>Kartoffel</i>	
<i>Fleisch</i>	
<i>gekochter Schinken</i>	

Versuch 3.1: Wo findet sich das Enzym Amylase- wie wirkt dieses Enzym?

Versetze Stärkelösung mit folgenden Substanzen und warte 5 min (warmes Wasser ca. 40° C)
Anschließend die Lösung teilen und Zugabe von Jod-Lösung bzw. Fehling-Lösung.
Bevor Du die Reagenzgläser befüllst, solltest Du diese mit wasserfestem Stift markieren.

Ergebnis:

Stoff	Jodzugabe	Fehlingzugabe
Amylase		
Katalase		
Mundspülwasser		
Hefe		

Versuch 3.2: Brennender Zuckerwürfel

Schmelze einen Zuckerwürfel in der Brennerflamme und untersuche seine Brenneigenschaften mit und ohne Katalysator.

Ergebnis:

Stoff	Beobachtung
Nur Zuckerwürfel	
Z. mit Asche	
Z. mit K ₂ CO ₃	

Versuch 4: Vorgang bei der Katalyse: am Beispiel von Eisensalzen

Gib zu verschiedenen Eisensalzen je 5ml 5%- H₂O₂ –Lösung und beobachte die Farbänderung der Lösung, sowie die Temperaturänderung

Ergebnis:

Eisensalz	Beobachtung
Eisen-(II)-sulfat	
Eisen-(III)-chlorid	

**Versuch 5: Vorgang bei der Katalyse:
am Beispiel der Katalyse mit Hilfe von Kobalt-(II)-chlorid**

Wasserstoffperoxid (H₂O₂) reagiert mit Kalium-Natrium-Tartrat-Lösung (6g /100ml)
Kobaltchlorid (CoCl₂ –Lösung 1g/100ml) dient als Katalysator.

Gib K-Na-Tartrat-Lösung und H₂O₂ in ein Reagenzglas und überschichte die Mischung mit Salatöl:

Tropfe anschließend vorsichtig Kobaltchlorid-Lösung zu.

Erwärme das Gemisch im Wasserbad bis die Gasbildung einsetzt.

(Temperaturmessung in einem RG)

Bei welcher der Reaktion entsteht ein Gas: Wie kann man es nachweisen?

Ergebnis:

RG	K-Na-Tartrat	H ₂ O ₂ (15%)	H ₂ O	CoCl ₂	CO ₂	O ₂
RG 1	10 ml	2 ml	1 ml			
RG 2		6 ml	6 ml	1 ml		
RG 3	10 ml	2 ml		1 ml		
RG 4	10 ml		2 ml	1 ml		
RG 5	10 ml		3 ml			
RG 6		10 ml	3 ml			

Versuch 6: Wasserstofftechnologie dank geeigneter Katalysatoren

Versuch 6a: Solarzelle als Energiewandler

Betreib die Elektrolysezelle mit 3 Solarzellen.

Ergebnis:

Vergleiche die Leistung bei Parallel- und Hintereinanderschaltung.

Welche Anordnung liefert die höhere Leistung?

Welche Energie steckt im gebildeten Wasserstoff, wenn dieser zu Wasser verbrannt wird?

(Lit: $\Delta G_{\text{H}_2\text{O}}$ 239 kJ/ mol = ca. 25 000 ml H₂ bei Raumtemperatur / Normaldruck)?

$$P_{el} = U \cdot I = \underline{\hspace{2cm}} \quad W_{el} = U \cdot I \cdot t = \underline{\hspace{2cm}} \quad W_{chem} = \underline{\hspace{2cm}}$$

Diskutiere den Wirkungsgrad.

Versuch 6b: Brennstoffzelle als Energiewandler

Ergebnis:

Betreib einen Elektromotor mit einer Brennstoffzelle

Bringe dazu 5ml Wasserstoff mit Sauerstoff zur Reaktion.

$$P_{el} = \underline{\hspace{2cm}} \quad W_{el} = \underline{\hspace{2cm}} \quad W_{chem} = \underline{\hspace{2cm}}$$

Diskutiere den Wirkungsgrad.

Gesamtwirkungsgrad bei der Kette: Solarzelle- Brennstoffzelle:

**Versuch 7: Wasser abspalten (Dehydratisierung)
und Wasserstoffaddition (Hydrierung)**

Herstellung von *Butenen* und Untersuchung im *Gaschromatografen*.

Stoff	Sicherheitshinweise
1-Butanol	
2-Butanol	
Butan	
Butene	
Wasserstoff	

Versuch 7a: Dehydratisierung am Katalysator

Durchführung:

- Bauen Sie die Apparatur nach vorliegendem Schema zusammen und heizen Sie den Katalysator auf 220°C. / Lötkolben auf 450 °C einstellen
- Spritzen Sie jeweils 2-3 ml 2-Butanol langsam tropfenweise auf den heißen Katalysator.
- Verwerfen Sie die ersten 30 ml des Gases und fangen Sie das Gas mit einem Kolbenprober auf.
- Untersuchen Sie das entstandene Gas mit Hilfe des GC.

Fragen:

- Erstellen Sie eine Reaktionsgleichung für die Wasserabspaltung
- Wie wird das Wasser nachgewiesen bzw. abgetrennt?
- Wie viele Komponenten hat das entstandene Gas?
- Geben sie einen möglichen Reaktionsmechanismus an, der die Entstehung der Produkte erklären kann.
- Diskutieren Sie die Bedeutung der Temperatur anhand der thermodynamischen Werte

Versuch 7b: Hydrierung der Butene

Das Gas aus Versuch 7a soll mit Wasserstoff am Hydrierkatalysator hydriert werden. Dazu wird die Apparatur mit Wasserstoff gespült und zu jeweils 30ml Gas 30ml Wasserstoff zudosiert.

Dieses Gasgemisch wird nun mit dem GC untersucht.

Anschließend drückt man das Gas mehrmals über den Katalysator und verfolgt den Verlauf der Temperatur.

Nach jedem Durchgang nimmt man eine Gasprobe für den GC.

Fragen:

- Wie kann man den Verlauf der Reaktion von Wasserstoff mit Buten verfolgen?
- Beobachten Sie, ob bei der Reaktion Wärme frei wird und vergleichen Sie dies mit den entsprechenden theoretischen Werten

Versuch 8a: Untersuchung der Brennerflamme mit der Lambdasonde als Sauerstoffmesssonde

- Versuch 1:** Aufgabe: Untersuchen Sie die Funktion der Lambdasonde als Sauerstoffmesssonde und vergleichen Sie das Prinzip mit der Messung an zwei Halbzellen (z.B. $c_1 \text{ Cu}^{2+} // c_2 \text{ Cu}^{2+}$) verschiedenen Konzentrationen
- Luft /Luft, Luft /Sauerstoff, Luft /CO₂, Luft /Methan

Achtung: Nach Sauerstoff immer zuerst mit CO₂ spülen, wegen der Explosionsgefahr bei Sauerstoff-Methan-Mischungen an der heißen Lambdasonde.

Ergebnis: _____

- Versuch 2:** Aufgabe: Untersuchen Sie die verschiedenen Zonen der Brennerflamme auf ihre Zusammensetzung:
- Qualitativ mit einem Magnesiastäbchen
 - Qualitativ mit der Lambdasonde

Ergebnis: _____

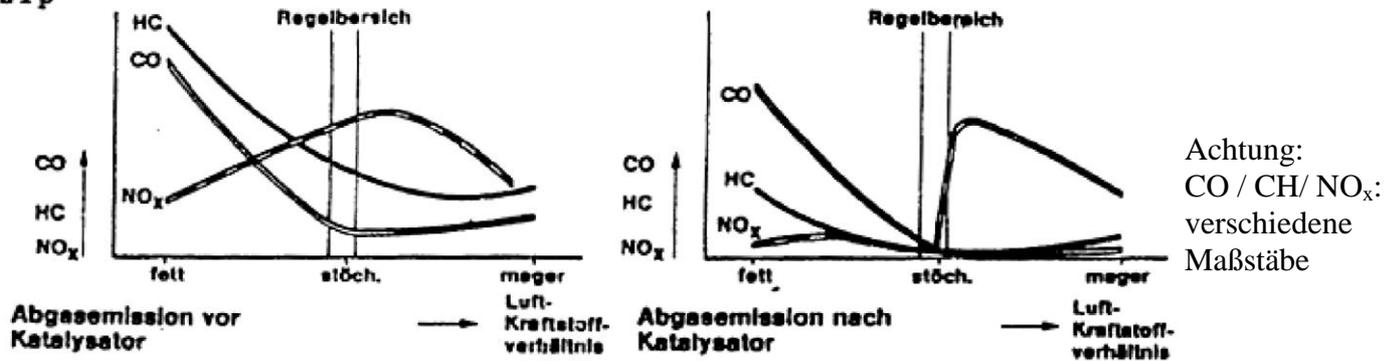
- Versuch 3:** Aufgabe: Untersuchen Sie das Brennverhalten des Abgases aus den verschiedenen Flammenzonen am Katalysator. Saugen Sie dazu Verbrennungsgase aus den verschiedenen Flammenzonen des Brenners und dosieren Sie Luft mit Hilfe der Schlauchklemme zu.
- Brennverhalten der verschiedenen Gase aus der Brennerflamme ohne/ mit zusätzlicher Luftzufuhr.
 - Steuerung einer katalytischen Verbrennung mit der Lambdasonde.

Ergebnis: _____

- Versuch 4:** Regeln Sie mit Hilfe des Computers und dem Vellemann- Board die Luftzufuhr so, dass der Katalysator gleichmäßig arbeitet.
- Erklären Sie den Regelkreis in der Versuchsanordnung
 - Vergleichen Sie den Regelkreis im Auto (mit geregelter Benzineinspritzung) mit der Versuchsanordnung

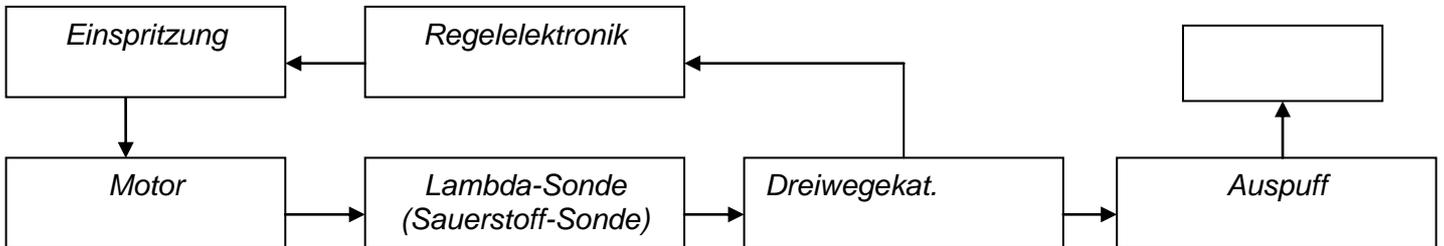
Versuch 8b: Abgasmessung am Verbrennungsmotor

Prinzip

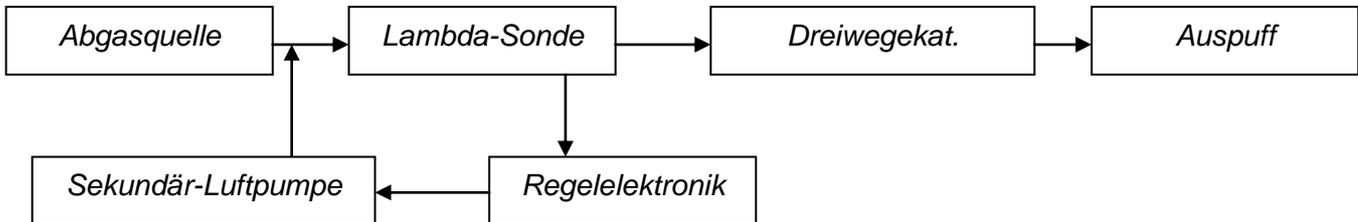


Quelle: LEU- Heft Autoabgaskatalysator (1992)

Schema der Sauerstoffsonden-Regelung im Automobil:



Schema der Sauerstoffsonden-Regelung am Brenner:



Aufgabe: Bestimmen Sie die Abgas-Zusammensetzung bei verschiedenen Betriebszuständen.

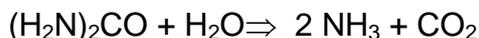
Wichtig: Messung der Spannung an der Lambda-Sonde mit hochohmigem Voltmeter!

Betriebszustand	Zusatzluft	Spannung λ-Sonde [mV]	Katalysator- Temperatur [°C]	Schadstoffkonzentration			
				vor Kat.		nach Kat.	
				CO [%]	NO _x [ppm]	CO [%]	NO _x [ppm]
fettes Gemisch	aus						
mageres Gemisch	ein						
λ = 1 Gemisch							

Versuch 8c: Entstickung nach Prof. Blume

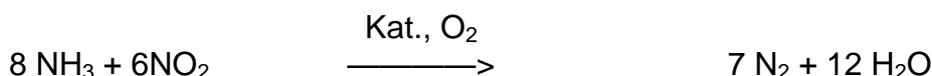
In Dieselmotoren entstehen durch die hohen Temperaturen und die optimierte Verbrennung leider auch beträchtliche Anteile an Stickoxiden. Diese werden derzeit bei LKWs und zukünftig auch bei PKWs mit Hilfe der Harnstoffeinspritzung verringert.

Dabei reagiert der Harnstoff in einer Vorreaktion mit Wasser zu Ammoniak und CO₂



Im Folgenden: Kopie aus Prof. Blume www.chemieunterricht.de

Kraftwerke werden häufig mit Denox-Anlagen durch Zusatz von Ammoniak entstickt. Die chemische Reaktion ist vereinfacht:



Es handelt sich um eine spezielle Redox-Reaktion: Symproportionierung. Aus Visualisierungsgründen müssen die Gase hochkonzentriert eingesetzt werden. Deswegen kann beim Modellversuch bei Zimmertemperatur gearbeitet werden. Das ist aber auch aus Sicherheitsgründen hervorragend, *weil NO_x/NH₃-Gemische knallgasartig explodieren, wenn man sie erhitzt.* Als Katalysator dient einfach die Glaswand. Wichtig für den Reaktionsablauf ist das Volumenverhältnis der Gase. Man darf nicht zu wenig Ammoniak vorlegen.

Geräte

- zur Ammoniakdarstellung: Erlenmeyerkolben (250 ml) oder ein ähnliches Gefäß mit doppelt durchbohrten Schlauchverbindungen, Brenner, Schutzbrille.
- zur Stickoxiddarstellung: Schwerschmelzbares Reagenzglas mit durchbohrtem Stopfen und Gasableitung

Chemikalien Ammoniumchlorid (Xn), Calciumoxid (C), Bleinitrat (T).

Darstellung von Ammoniakgas (Schutzbrille, Abzug!) Man erhitzt eine Mischung von Ammoniumchlorid und Calciumoxid. Man füllt mit dem gebildeten Ammoniakgas den trockenen Kolben (Kolben umgekehrt einspannen, da Ammoniakgas leichter ist als Luft!) und verschließt ihn dann. Den Kolben erst kurz vor dem Versuch füllen, da Ammoniak Glas angreift und dabei verbraucht wird.

Darstellung von Stickstoffdioxid-gas (Schutzbrille, Abzug!)

In einem schwer schmelzbaren Reagenzglas wird Bleinitrat(T) mit dem Brenner erhitzt. Das entstehende Stickstoffdioxid wird mit einem Kolbenprober aufgefangen

Entstickungsreaktion Man verbindet den Kolbenprober mit dem eingespannten Glaskolben, öffnet den Hahn und schiebt das braune Stickoxid langsam in den Kolbenprober mit Ammoniak ein. Das Volumen verringert sich trotz Erwärmung deutlich. Den Kolben darf man nicht zurückziehen, sondern muss die Kolbenprober nach dem Mischen verschließen. Ansonsten bilden sich große Mengen von Ammoniumsalzen, die den Kolbenprober verstopfen.

Beobachtung: Farbe im Kolben, Temperatur, Veränderung des Gasvolumens?

Frage:- Welche Rolle spielt die Temperatur bei der Entstickungsreaktion?

- Diskutieren Sie die Volumenveränderung (Stöchiometrie, Aggregatzustände)

Versuch 9: H₂O₂ - Zerfall quantitativ: Energetik und Kinetik

Aufgabe : Stellen Sie Gefahrenhinweise und Sicherheitsratschläge für die verwendeten Stoffe zusammen. Wie entsorgen Sie die Chemikalienreste?

Versuch 9.1. Energetik des Zerfalls: H₂O₂ ⇒ 0,5 O₂ + H₂O

**Prinzip: Messen Sie die Temperaturänderung im Reaktionsgefäß, es sollte möglichst keine Wärmeabgabe an die Umgebung erfolgen. Messen Sie das entstehende Gasvolumen durch Verfolgen der Gasentstehung mit Hilfe der Waage
Empfohlene Anfangstemperatur: ca. 30 °C**

Geräte und Chemikalien: Reaktionskolben mit Gasableitung, Gleichlaufgasentwickler
Waage zur Messung des verdrängten Wassers oder Messzylinder

Aufgabe 1: Geben Sie mit einer Medizinspritze 2 ml H₂O₂-Lösung (ca.30%) zur Katalysator- Lösung

Messung des entstandenen Gasvolumens V= ml

Messung der maximalen Temperaturdifferenz Δ T= K

entstandene Stoffmenge n= mol

(V_m = molares Gasvolumen bei RT / Normaldruck ca. 25 000ml)

Berechnen sie die molare Reaktionsenthalpie aus dem Versuch
Vergleichen Sie die berechnete Reaktionsenthalpie mit der theoretischen

C_{Wasser} = 4,18 kJ /K*kg ; c_{Glas} = 0,8 kJ / K*kg ; m_{Glas}= 0,15 kg

Δ H_{exp.} / Δ H_{theor.} =

Versuch 9.2. Kinetik des Zerfalls: $\text{H}_2\text{O}_2 \Rightarrow 0,5 \text{ O}_2 + \text{H}_2\text{O}$

Prinzip: Konstant halten der Temperatur durch Temperierung, zeitliches Verfolgen der Gasentstehung (ca. 30 °C)

Geräte und Chemikalien: Reaktionskolben mit Gasableitung, Gleichlaufgasentwickler
Waage zur Messung des verdrängten Wassers oder Messzylinder

Zugabe von 2 ml H_2O_2 (30%), 1 Thermometer, 100°C Wasserbad

Katalysator: FeCl_3 bzw. MnO_2 bzw. Katalase

- Aufgabe 2:** Führen Sie die Reaktion durch und verfolgen Sie den Verlauf der Sauerstoffentstehung durch Messung der Wassermasse auf der Waage, die durch den entstehenden Sauerstoff verdrängt wird. Führen Sie die Reaktion durch und verfolgen Sie den Verlauf der Sauerstoffentstehung durch Messung der Wassermasse auf der Waage, die durch den entstehenden Sauerstoff verdrängt wird.
- Aufgabe 3:** Was müsste auf molekularer Ebene passieren, wenn die Reaktion nach erster bzw. nach zweiter Ordnung ablaufen würde
- Aufgabe 4:** Legen sie eine mit Excel simulierte Kurve auf die experimentell ermittelte Kurve und diskutieren Sie die Reaktionsordnung der verschiedenen Katalysatoren
- Aufgabe 5:** Führen Sie die Reaktion bei verschiedenen Temperaturen durch (30°C und 40°C) und bestimmen Sie die jeweiligen Geschwindigkeitskonstanten
- Aufgabe 6:** Bestimmen Sie die Aktivierungsenergie aus den beiden Geschwindigkeitskonstanten ($k_{30^\circ\text{C}} / k_{40^\circ\text{C}}$)
- Aufgabe 7:** Vergleichen Sie die Aktivierungsenergie bei Verwendung von Braunstein mit der Reaktionsgeschwindigkeit bei Verwendung von Katalase.(30°C und 40°C)
- Aufgabe 8:** Prüfen Sie am Beispiel der H_2O_2 Zersetzung die van't Hoffsche Reaktionsgeschwindigkeits-Temperatur-Regel (RGT-Regel).
- Ergänzungsaufgaben:**
1. Ist die Halbwertszeit konzentrationsabhängig?
 2. Von welchen Faktoren hängt die Reaktionsgeschwindigkeit ab?
 3. Warum wächst die Reaktionsgeschwindigkeit mit zunehmender Temperatur?

Katalyse der H₂O₂-Spaltung bei 25 °C				
Katalysator	E _{akt} (kJ/Mol H ₂ O ₂)	Q ₁₀	Anteil der aktivierten Moleküle (%)	Relative Zunahme der Reaktionsgeschwindigkeit
Ohne	76	2,77	$1,3 \cdot 10^{-11}$	1
Iodid	59	2,21	$1 \cdot 10^{-8}$	$8 \cdot 10^2$
Platin	50	1,97	$3 \cdot 10^{-7}$	$2 \cdot 10^4$
Katalase	6	1,09	6	$3 \cdot 10^{11}$

Lit: Prof. Blume www.chemieunterricht.de (25.6.2011)

Notwendige Daten zur Auswertung der Versuche

	ΔH /(kJ/ mol)	ΔG /(kJ/mol)	$\Delta H / \Delta G$ - Effekt bei Temperaturerhöhung
Elemente	0	0	
H ₂ O(g)	-242	-229	
H ₂ O(l)	-286	-237	
NH ₃ (g)	-46	-16	
NO	+90	+104	
NO ₂	+33	+51	
CO ₂	-111	-137	
H ₂ O ₂	-188	-120	
K-Na- Tartrat	-941	-744	
1-Butanol	-275	-151	
2- Butanol	-293	-168	
tert. Butanol	-313	-178	
1- Buten	+0,1	+71	
cis 2- Buten	-7	+66	
trans 2 Buten	-11	+63	
Butan	-126	-17	

Quelle: G.H. Aylward, T.J. Findlay : Datensammlung Chemie in SI- Einheiten Wiley-VCH

- Erstellen Sie für die einzelnen Reaktionen mit Hilfe von Excel ein Diagramm, in das Sie die Werte eintragen
- Diskutieren Sie die Werte unter dem Gesichtspunkt der jeweiligen Reaktionsführung