

Ermittlung der Struktur organischer Stoffe

- | | |
|-------------------------|--|
| 1. Reindarstellung | z.B. durch Destillation u.a. |
| 2. Qualitative Analyse | Verbrennung mit Analyse der Verbrennungsprodukte z.B. CO_2 , H_2O , Beilsteinprobe, Flammenfarbe etc. |
| 3. Quantitative Analyse | (Elementaranalyse nach Liebig)
Bestimmung von C, H, O
Ergebnis: Verhältnisformel
z.B. $(\text{CH})_z$, $(\text{C}_2\text{H}_6\text{O})_y$ |
| 4. Molmassenbestimmung | Ergebnis aus 3. und 4.: Summenformel
z.B. C_2H_2 , $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ |
| 5. Strukturformel | mögliche Strukturisomere |
| 6. funktionelle Gruppen | experimentelle Nachweise |

Herstellung von Alkohol durch alkoholische Gärung



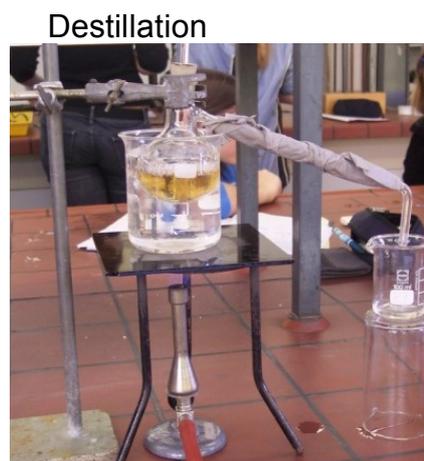
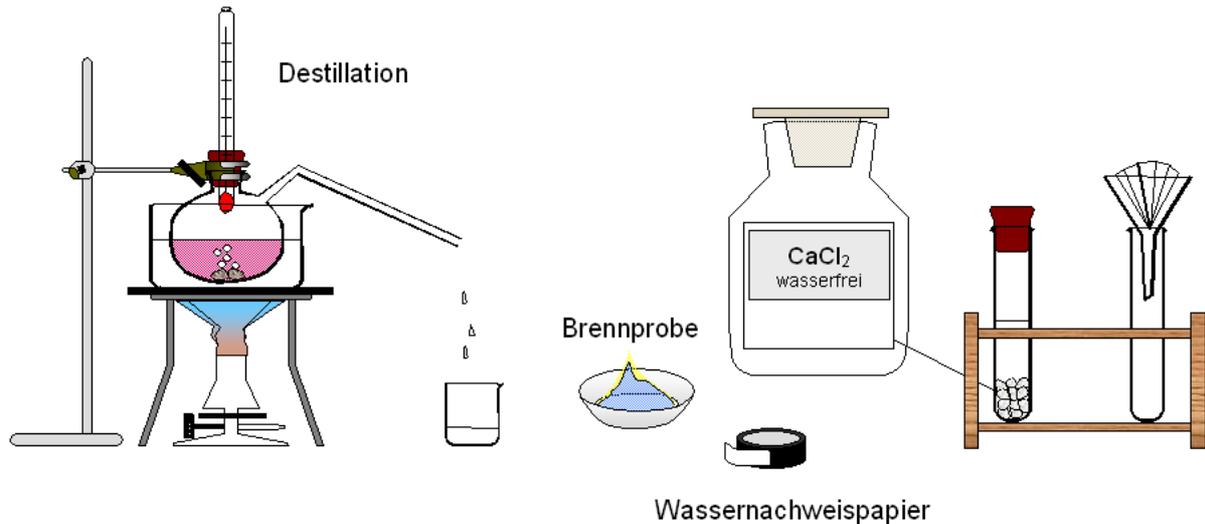
Zuckerlösung und Hefe werden in einem Erlenmeyerkolben gemischt.
Zum Luftabschluss dient ein U-förmig gebogenes Glasrohr, das in Kalkwasser taucht.

1. Reindarstellung

z.B. Destillation und andere Verfahren

Beispiel: Gewinnung von Alkohol (Ethanol) aus Wein

Durch eine einfache Destillation kann aus Wein kein reiner Alkohol gewonnen werden. Es gelingt nur eine Anreicherung. Bei der Brennprobe mit dem Destillat bleibt eine nicht brennbare Flüssigkeit zurück. Diese kann mit Wassernachweispapier als Wasser identifiziert werden. Die Behandlung des Destillats mit wasserentziehenden Mitteln kann reinen (absoluten) Alkohol liefern, der dann durch Filtration abgetrennt werden kann.



2. Qualitative Analyse

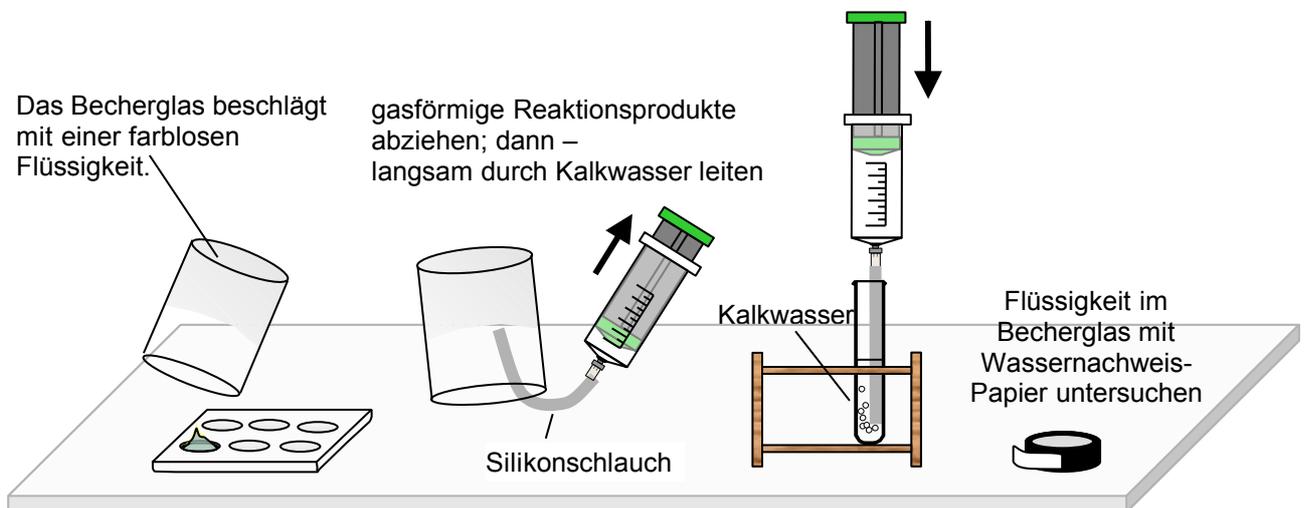
Verbrennung mit Analyse der Verbrennungsprodukte (CO_2 , H_2O)
Sauerstoffnachweis, Beilsteinprobe, Flammenfarbe etc.

Beispiel: Alkohol (Ethanol)

2.1. Kohlenstoff und Wasserstoff- Nachweis in Alkohol

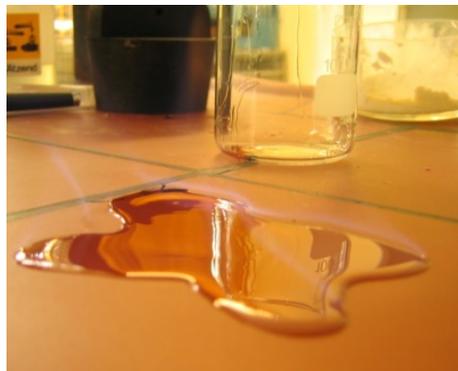
Verbrennen einer Probe (aufgearbeitetes Destillat aus 1) auf der Tüpfelplatte. Die Probe brennt mit bläulicher Flamme mit gelbem Saum.

Nach Entzünden der Probe wird ein Becherglas darüber gehalten (vgl. Skizze). Die Verbrennungsprodukte sind heiß, haben daher eine geringe Dichte als die umgebende Luft und steigen nach oben.

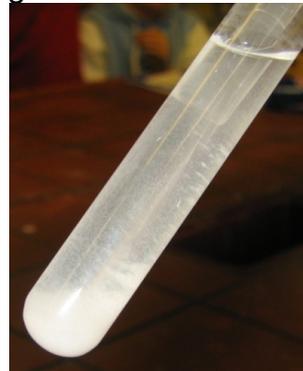


Die Nachweise auf Wasser (mit Wassernachweispapier oder weißem Kupfersulfat) und Kohlenstoffdioxid (mit Kalkwasser) verlaufen positiv. Damit ist bewiesen Alkohol enthält Kohlenstoff und Wasserstoff.

brennendes Destillat



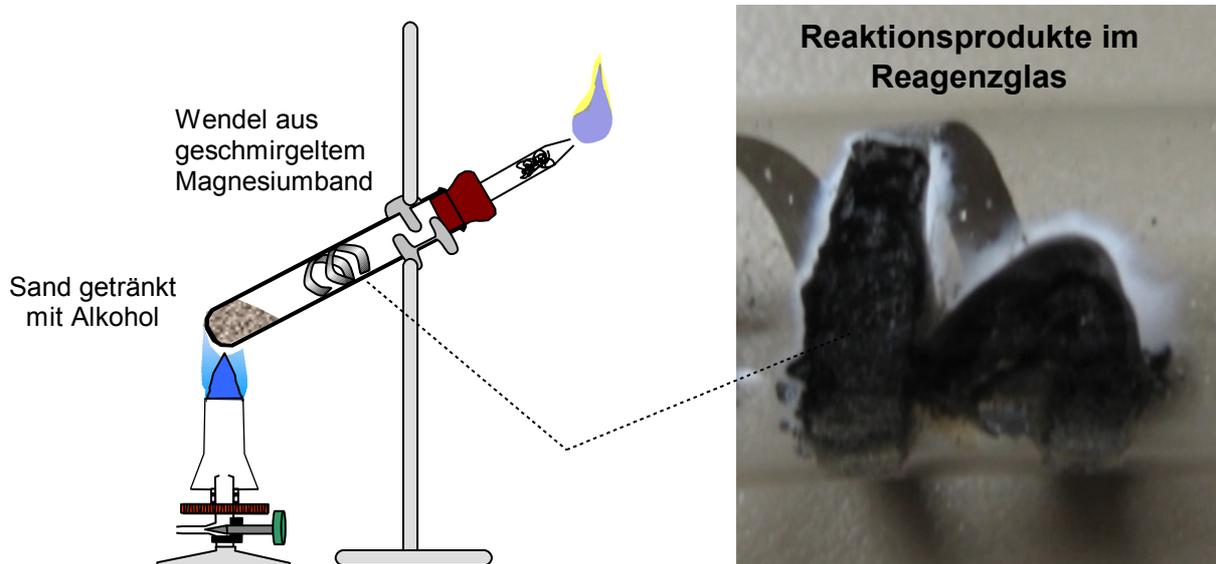
getrübtes Kalkwasser



2.2. Nachweis von Sauerstoff in Ethanol

Alkoholdämpfe werden in einem schwer schmelzbaren Reagenzglas mit dem Element Magnesium umgesetzt.

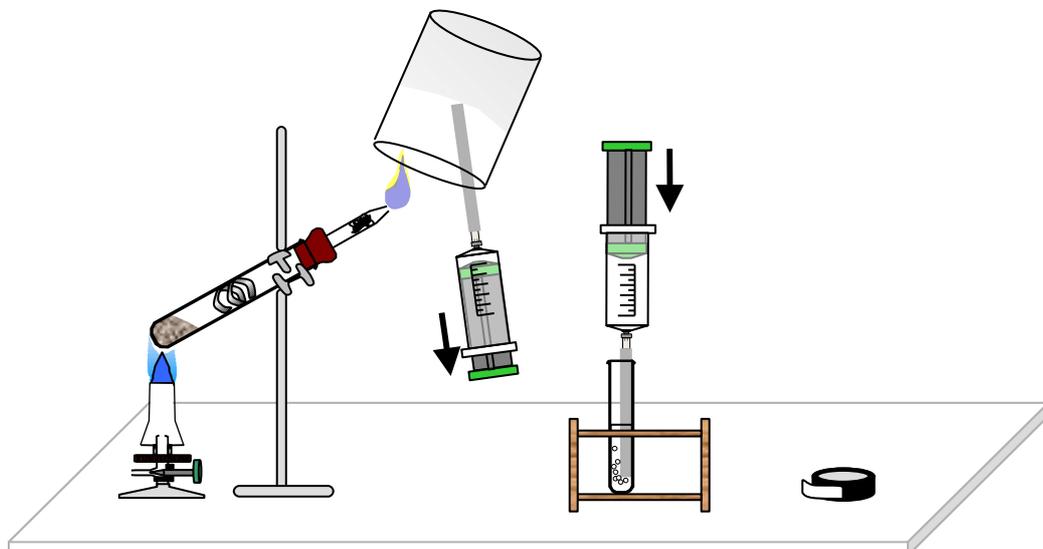
Die zunächst noch enthaltene Luft in der Apparatur wird durch Verdampfen des Alkohols verdrängt. Erst dann erhitzt man das Magnesiumband. Anders als an Luft verläuft die Reaktion von Alkoholdampf mit Magnesium nur unter schwacher Rotglut.



Es entstehen: Ein schwarzes Reaktionsprodukt: Kohlenstoff (Ruß) und ein weißes Reaktionsprodukt. Dieses lässt sich als Magnesiumoxid identifizieren. Wenn die Apparatur nur Alkoholdämpfe und Magnesium enthielt (frei von Luft war), muss der Sauerstoff mit dem sich das Magnesium umgesetzt hat aus dem Alkohol stammen.

Anmerkung

Geübtere Experimentatoren können mit diesem Experiment zwar alle qualitativen Nachweise (Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff) schaffen, es wird aber empfohlen arbeitsteilig vorzugehen. Im Demonstrationsunterricht können Schüler assistieren.



3. Quantitative Analyse

(Elementaranalyse nach Liebig)

Versuchsaufbau

Verbrennungsrohr

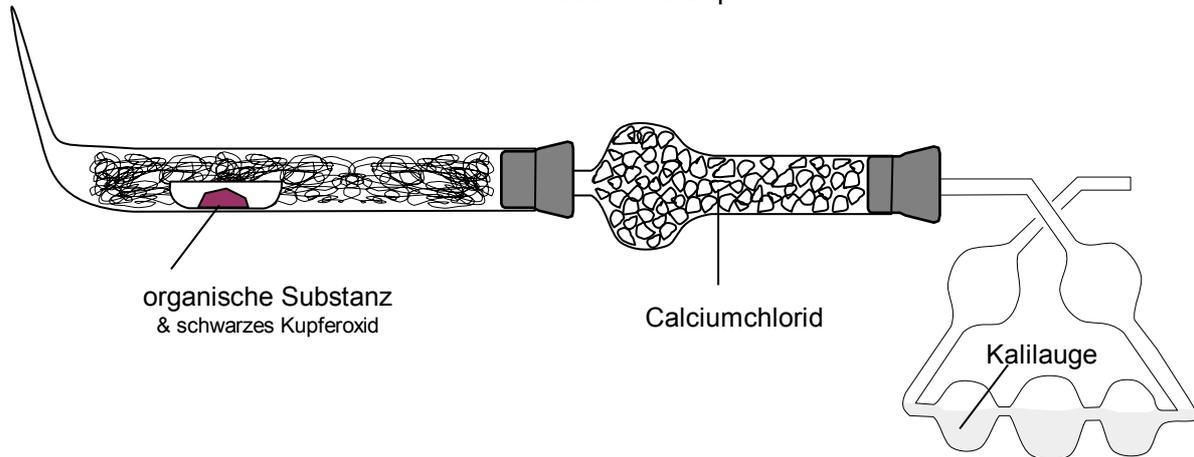
genau abgewogene Probe der organischen Substanz, vermischt mit Kupferoxid, plus weiteres Kupferoxid (oxidiertes Kupferdraht).

Trockenrohr

wasserfreies Calciumchlorid ist stark wasseranziehend und absorbiert den bei der Verbrennung entstehenden Wasserdampf

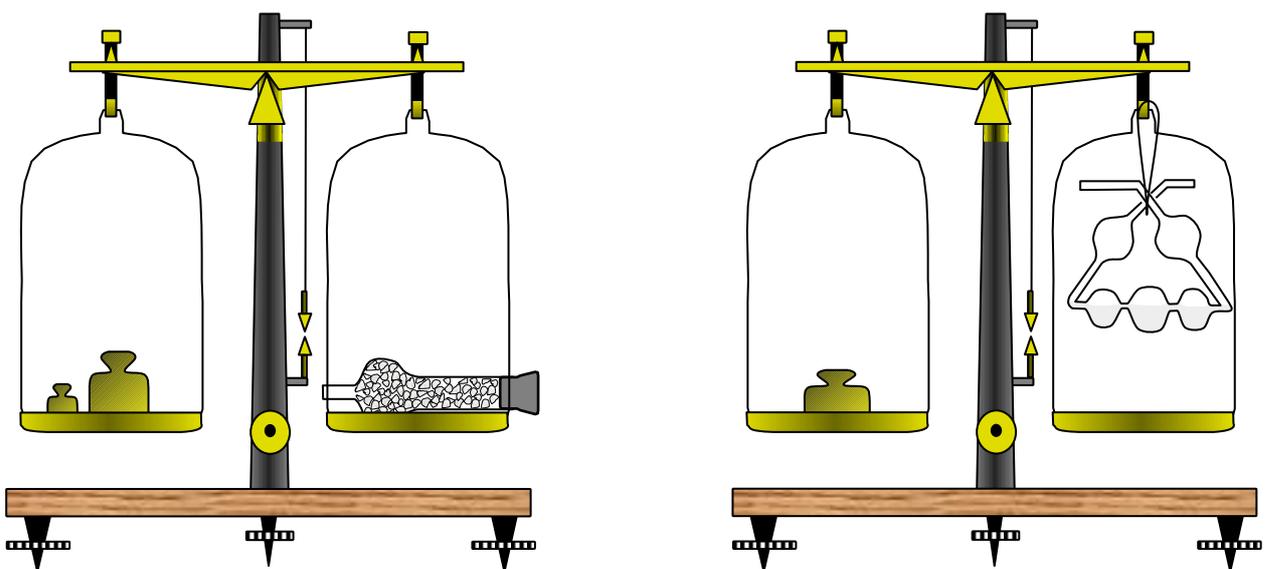
Kaliapparat

Die konzentrierte Kalilauge bindet das bei der Verbrennung entstehende Kohlenstoffdioxid



Das Kupferoxid liefert den zur Verbrennung des organischen Stoffs notwendigen Sauerstoff. Dabei wird das schwarze Kupferoxid zu elementarem Kupfer (bzw. rotem Kupferoxid) reduziert. Um die notwendige Temperatur beim Experiment selbst zu erreichen, umgab Liebig das Verbrennungsrohr mit glühender Holzkohle.

Massenbestimmungen von Trockenrohr und Kaliapparat mit der Balkenwaage



3. Quantitative Analyse

Auswertungsbeispiel

Ergebnisse einer Elementaranalyse nach Liebig

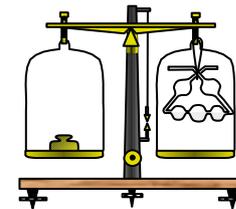
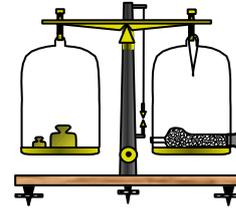
Einwaage organische Substanz: 0,391g

Massenzunahme Trockenrohr:

0,469g (H₂O)

Massenzunahme Kaliapparat:

0,742g (CO₂)



Berechnung

Masse von C

und

H in der org Sub.

CO₂

C

H₂O

2H

44g --- 12g (siehe PSE)

18g --- 2g (siehe PSE)

0,742g --- X

0,469g --- X

$$X / 0,742g = 12g / 44g$$

$$X / 0,469g = 2g / 18g$$

$$X = 0,202g$$

(Masse C in org. Sub.)

$$X = 0,052g$$

(Masse H in org. Sub.)

Aus der Differenz zur Masse der Einwaage organischer Substanz (0,391g) ergibt sich:

Massenanteil für Sauerstoff : 0,137g (Masse O in org. Sub.)

Massenverhältnis:

C : H : O = 0,202 : 0,052 : 0,137

Vom Massenverhältnis zum Stoffmengenverhältnis

Massenverhältnis:

$$\text{C} : \text{H} : \text{O} = 0,202 : 0,052 : 0,137$$

Masse dividieren durch die Molmasse ergibt das

Stoffmengenverhältnis:

$$\text{C} : \text{H} : \text{O} = 0,202\text{g} / 12\text{g/mol} : 0,052\text{g} / 1\text{g/mol} : 0,137\text{g} / 16\text{g/mol}$$

$$\text{C} : \text{H} : \text{O} = \underbrace{0,017 \text{ mol}} : \underbrace{0,052 \text{ mol}} : \underbrace{0,009 \text{ mol}}$$

Dividieren der Werte durch die kleinste Zahl (hier 0,009) ergibt:

$$\text{C} : \text{H} : \text{O} = 1,9 \text{ mol} : 5,8 \text{ mol} : 1 \text{ mol}$$

Diese experimentell ermittelten Werte (Messfehler!) rundet man nun auf die nächste ganze Zahl und hat dann das Atomzahlenverhältnis.

Atomzahlenverhältnis:

$$\text{C} : \text{H} : \text{O} = 2 : 6 : 1$$

In dem untersuchten Stoff kommen demnach auf zwei Kohlenstoffatome, sechs Wasserstoffatome und ein Sauerstoffatom.

Verhältnisformel:



zur Verhältnisformel: $(\text{C}_2\text{H}_6\text{O})_n$ gibt es folgende möglichen Summenformeln

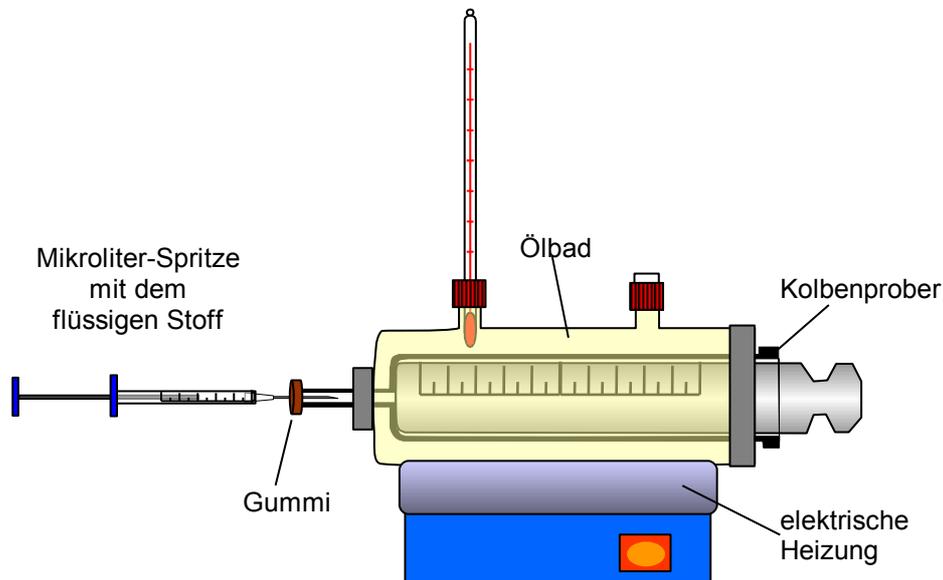
mögliche Summenformeln	$\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$	$\text{C}_4\text{H}_{12}\text{O}_2$	$\text{C}_6\text{H}_{18}\text{O}_3$...	$(\text{C}_2\text{H}_6\text{O}) * n$
zugehörige Molmassen (g/mol)	46	92	138	...	$46 * n$

Eine Molmassenbestimmung legt die Summenformel fest (Art und Anzahl der Elemente in einer Verbindung).

4. Molmassenbestimmung

Versuchsaufbau

Molmassenbestimmung einer leicht verdampfaren Flüssigkeit



Zur Bestimmung der Molmasse wird eine genau abgemessene Menge des Stoffes verdampft und das zugehörige Gasvolumen bestimmt. Da nach Avogadro ein Mol jeden Gases ein Volumen von 22,4 L bei Normalbedingungen (273 K, 1013 hPa) einnimmt, kann über einen Dreisatz die Molmasse bestimmt werden, wenn man zuvor das Gasvolumen auf Normalbedingungen umgerechnet hat.

zu erhebende Messwerte:

Masse der Flüssigkeit, die verdampft wird. m : _____ g

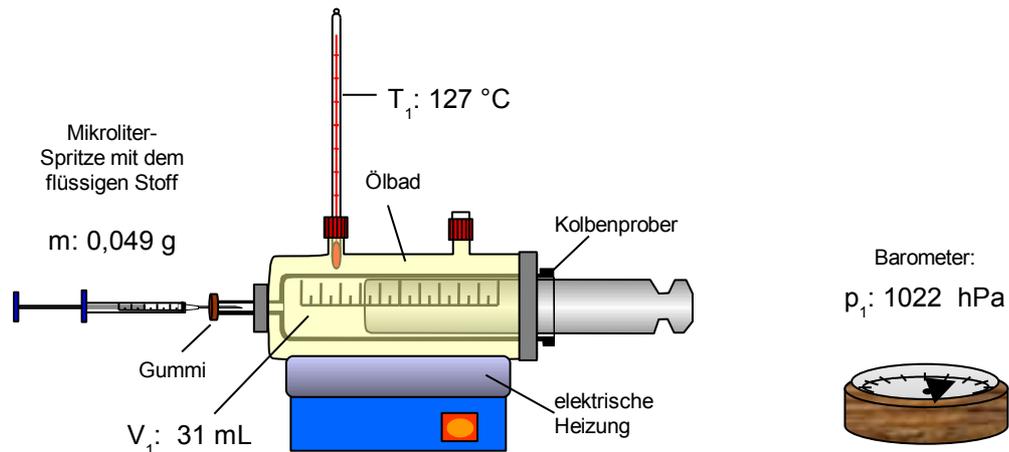
Die Masse bestimmt man am einfachsten durch Rückwiegen der vollen und leeren Spritze (Waage: Messbereich auf ein Milligramm genau). Nach dem Einspritzen der flüssigen Probe lässt man die Spritze bis nach dem Ablesen der Temperatur und des Volumens in der Apparatur. Dann wiegt man die leere Spritze zurück

Volumen der verdampften Flüssigkeit V_1 : _____ mL

Temperatur des Dampfs (= Temperatur Ölbad) T_1 : _____ °C

Luftdruck im Raum p_1 : _____ hPa

4. Molmassenbestimmung *Auswertungsbeispiel: Stoff Ethanol (99,8%)*



Umrechnung des Volumens auf Normalbedingungen:

Für eine Gasportion gilt: $p_o; V_o; T_o$: Normalbedingungen $p_1; V_1; T_1$: Raumbedingungen

$$\frac{p \cdot V}{T} = \text{konstant} \quad \frac{p_o \cdot V_o}{T_o} = \frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} \quad V_o = \frac{p_1 \cdot V_1 \cdot T_o}{T_1 \cdot p_o}$$

$$V_o = \frac{1022 \text{ hPa} \cdot 31 \text{ mL} \cdot 273 \text{ K}}{400 \text{ K} \cdot 1013 \text{ hPa}}$$

$$V_o = 21,35 \text{ mL} \quad \text{Gasvolumen bei Normalbedingungen}$$

Berechnung der Molmasse

Masse Gasvolumen (Normalbedingungen)

0,049 g --- 21,35 mL

 x --- 22 400 mL (Molvolumen bei Normalbedingungen)

$$\frac{x}{22\,400 \text{ mL}} = \frac{0,049 \text{ g}}{21,35 \text{ mL}}$$

$$x = 51,4 \text{ g} \quad \text{Masse für ein Mol des Stoffs (experimentell bestimmt)}$$

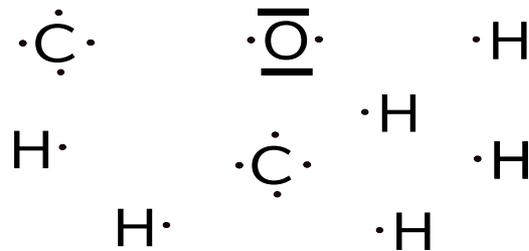
Da nach obigen Überlegungen die Molmasse nur 46g/mol oder ein ganzzahliges Vielfaches davon sein kann, kann man von der **Molmasse 46 g/mol** ausgehen.

Summenformel: C₂H₆O

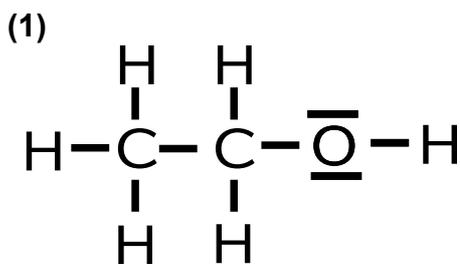
5. Mögliche Strukturformeln

Eine Verbindung, die aus zwei Kohlenstoffatomen, sechs Wasserstoffatomen und einem Sauerstoff besteht, kann unterschiedlichen Aufbau haben. Es gibt zur Summenformel C_2H_6O verschiedene mögliche Strukturformeln (Isomere).

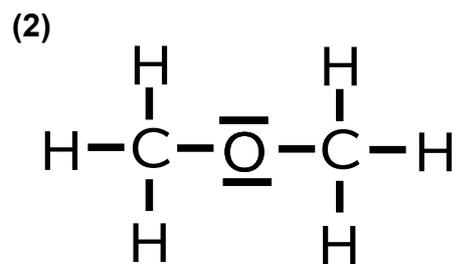
Atome in Lewis-Schreibweise



mögliche Strukturformeln



Ethanol
(CAS-Nummer: 64-17-5)



Dimethylether
(CAS-Nummer: 115-10-6)

Heute kann man via Internet und CAS-Nummern sehr leicht Stoffeigenschaften recherchieren. Es zeigt sich, dass Stoff (1) der gesuchte Stoff ist.

Aus den Formeln selbst ergeben sich aber auch schon Hinweise. Bei Stoff (2) sind alle Wasserstoffatome an Kohlenstoff gebunden. Zwei Methyl-Gruppen hängen an einem Sauerstoff-Atom. Das entspricht den Bindungsverhältnissen wie sie bei den Alkanen vorliegen. Durch den räumlichen Bau sind die Methyl-Gruppen selbst unpolar. Das Molekül insgesamt muss allerdings ein Dipolmoment zeigen, da das Sauerstoff-Atom freie Elektronenpaare hat und sein Bau gewinkelt ist.

Bei Stoff (1) handelt es sich formal um eine Ethyl-Gruppe an der eine OH - Gruppe hängt. Diese OH - Gruppe zeigt große Ähnlichkeit mit Wasser, wenn man mit der Lewis-Formel vergleicht. Von der Struktur her muss dieser Stoff Wasserstoffbrücken ausbilden können, da der Wasserstoff in der OH - Gruppe positiv polarisiert sein muss und am Sauerstoff-Atom freie Elektronenpaare vorliegen.

6. funktionelle Gruppen

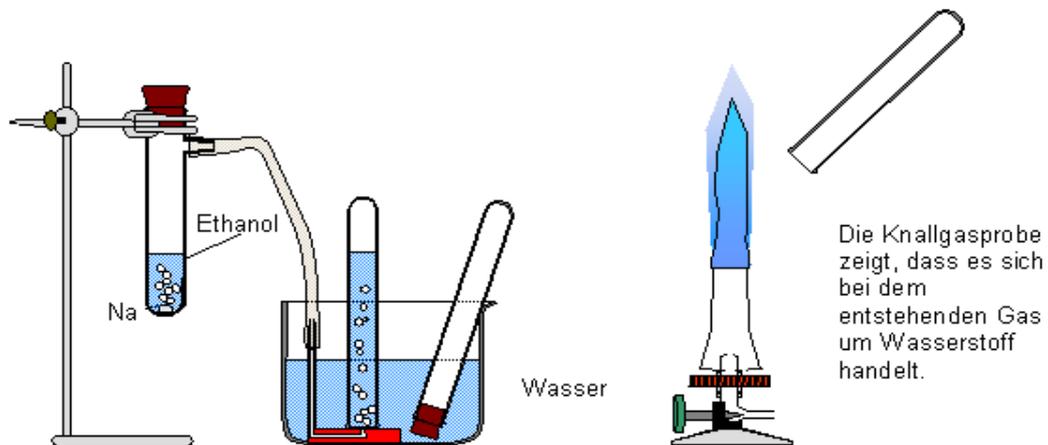
Die Gewinnung von Alkohol durch Gärung zeigt, dass Alkohol in Wasser löslich sein muss. Bei allen alkoholischen Getränken (Wein, Whiskey, Wodka) handelt es sich um Lösungen. Falls Alkohol nicht mit Wasser mischbar wäre, müssten sich zwei flüssige Phasen zeigen, wie sie beim Zusammengeben von Benzin und Wasser zu beobachten sind. Die folgenden Experimente zeigen qualitativ Eigenschaften von Alkohol.

Leitfähigkeitsprüfung beim Lösen von Ethanol in Wasser

Es ist keine Erhöhung der Leitfähigkeit feststellbar, daraus folgt: Ethanol ist eine Molekülverbindung und - beim Lösen in Wasser entstehen keine Ionen.

Reaktion von Ethanol mit elementarem Natrium

Ein linsengroßes, blankes Stück elementares Natrium wird in einem großen Reagenzglas zu Ethanol gegeben. Das entstehende Gas wird pneumatisch über Wasser aufgefangen und damit die Knallgasprobe durchgeführt.

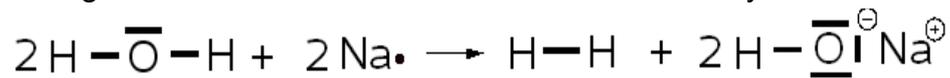


Beobachtungen:

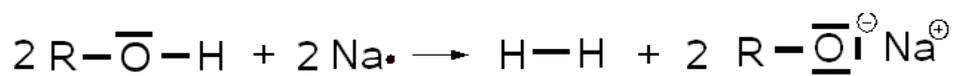
Das Natrium sinkt zunächst unter, dann Bildung von Gasblasen am Natrium; es steigt an die Oberfläche der Flüssigkeit, weitere Gasentwicklung am Natrium, die Lösung erwärmt sich, das Natrium löst sich in Ethanol auf.

Die Reaktion verläuft analog zur Umsetzung von Wasser mit Natrium

Wasser reagiert mit Natrium zu Wasserstoff und Natriumhydroxid



Alkohol reagiert mit Natrium zu Wasserstoff und Natriumalkoholat



(R: Alkylrest)