

## Thermische Analyse von Kohlenwasserstoffen

### Versuchsziele

- Zusammensetzung von Kohlenwasserstoffen
- Verfahren der thermischen Analyse kennenlernen
- Homologe Reihe der Kohlenwasserstoffe
- Verbrennen von Gasen

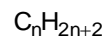
### Grundlagen

Kohlenstoff ist in unzähligen Verbindungen enthalten. Die Chemie der Kohlenstoffverbindungen wird als Organische Chemie bezeichnet. Dieser Begriff wurde von Berzelius im 19. Jahrhundert geprägt. Damals wurde davon ausgegangen, dass organische Substanzen nur von lebenden Organismen gebildet werden können. In der heutigen Zeit werden viele organische Verbindungen jedoch rein synthetisch hergestellt, besonders solche, die nicht in der Natur vorkommen.

Diese Verbindungen enthalten neben Kohlenstoff- auch Wasserstoffatome. Verbindungen, die nur aus diesen beiden Atomen bestehen, werden vereinfacht als Kohlenwasserstoffe bezeichnet. Innerhalb der Kohlenwasserstoffe gibt es noch weitere Unterteilungen, z.B. aufgrund der enthaltenen Bindungen. Kohlenstoff selbst ist dabei immer vierbindig. Die einfachsten dieser Verbindungen sind Alkane, die gesättigten Kohlenwasserstoffe. Sie werden als gesättigt bezeichnet, da alle vier möglichen Bindungen jeweils einen Bindungspartner

haben.

Alkane sind in vielen Mitteln des alltäglichen Lebens enthalten. Hierzu zählen beispielsweise Benzin, Heizöl, Erdgas oder auch Kerzenwachs. In dieser Gruppe ist das Methan die einfachste Verbindung mit der Summenformel  $\text{CH}_4$ . Ähnlich gebaute Moleküle, die sich nur in der Anzahl der C-Atome unterscheiden, bilden eine homologe Reihe, also eine Reihe mit gleichem Bauplan der Moleküle. Die allgemeine Formel der kettenförmigen Alkane lautet:



Kohlenwasserstoffe mit mehr als 3 Kohlenstoffatomen können auf verschiedene Weise miteinander verknüpft werden. Zum einen können die Alkane unverzweigt in Form langer Ketten vorliegen. Diese Alkane werden als normal oder kurz n-Alkane bezeichnet. Zu den kettenförmigen Alkanen gibt es sogenannte Konstitutionsisomere, d.h. sie haben dieselbe Summenformel, sind jedoch verzweigt miteinander verknüpft. Die Anzahl der möglichen Isomere eines Alkans steigt mit der

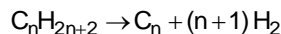


**Abb. 1:** Versuchsaufbau. Die Kolbenprober können auch mit je einer großen und einer kleinen Federklemme befestigt werden. Dann mit den kleinen Federklemmen das Rohr fixieren.

Anzahl der Kohlenstoffatome. Die Isomere unterscheiden sich nicht nur in ihrem Aufbau, sondern auch in ihren physikalischen und chemischen Eigenschaften. Ringförmige Alkane werden als Cycloalkane bezeichnet.

Insgesamt sind die Alkane eine Gruppe von nahezu unpolaren Verbindungen. Sie sind deswegen mit polaren Verbindungen kaum mischbar und bilden mit Wasser zweiphasige Gemische aus. Alkane sind sehr reaktionsträge, aber sie sind sehr leicht entflammbar.

In diesem Versuch soll der Gehalt von Wasserstoff in verschiedenen Alkanen ermittelt werden. Dazu wird eine thermische Analyse in einem sauerstofffreien Reaktionsrohr durchgeführt. Die gasförmigen Alkane verglühen an einem Draht. In der sauerstofffreien Atmosphäre bildet sich Wasserstoff, dessen Volumen gemessen werden kann. Die allgemeine Reaktionsgleichung beim Verglühen der Alkane lautet:





Aus  $n$  Volumenteilen Alkane entstehen danach  $n+1$  Volumenteile Wasserstoff. Ist das Ausgangsvolumen des Alkans bekannt und hat man im Versuch das Endvolumen an Wasserstoff gemessen, so kann hieraus die Summenformel des untersuchten Gases bestimmt werden. Ein unbekanntes Gas kann so identifiziert werden.



### Gefährdungsbeurteilung

Methan und Ethan sind extrem entzündbare Gase. Sie müssen unbedingt von externen Zündquellen ferngehalten und vor elektrostatischer Aufladung geschützt werden.

Die Apparatur sollte hinter einer Schutzwand oder in einem Abzug aufgebaut werden, um im Falle eines Brandes oder einer Explosion vor umherfliegenden Glasteilen zu schützen.

Brände erst löschen, wenn eine Undichtigkeit gefahrlos beseitigt werden kann, da ansonsten weiterhin entflammbares Gas ausströmt.

Methan	
 	<p><b>Gefahrenhinweise</b></p> <p>H220 Extrem entzündbares Gas.</p> <p><b>Sicherheitshinweise</b></p> <p>P210 Von Hitze / Funken / offener Flamme / heißen Oberflächen fernhalten. Nicht rauchen.</p> <p>P377 Brand von ausströmendem Gas: Nicht löschen, bis Undichtigkeit gefahrlos beseitigt werden kann.</p> <p>P381 Alle Zündquellen entfernen, wenn gefahrlos möglich.</p> <p>P280 Schutzhandschuhe / Augenschutz tragen.</p> <p>P410 + P403 Vor Sonnenbestrahlung geschützt an einem gut belüfteten Ort aufbewahren.</p>
<p><b>Signalwort:</b></p> <p><b>Gefahr</b></p>	

Ethan	
 	<p><b>Gefahrenhinweise</b></p> <p>H220 Extrem entzündbares Gas.</p> <p><b>Sicherheitshinweise</b></p> <p>P210 Von Hitze / Funken / offener Flamme / heißen Oberflächen fernhalten. Nicht rauchen.</p> <p>P377 Brand von ausströmendem Gas: Nicht löschen, bis Undichtigkeit gefahrlos beseitigt werden kann.</p> <p>P381 Alle Zündquellen entfernen, wenn gefahrlos möglich.</p> <p>P280 Schutzhandschuhe / Augenschutz tragen.</p> <p>P403 An einem gut belüfteten Ort aufbewahren.</p>
<p><b>Signalwort:</b></p> <p><b>Gefahr</b></p>	

### Geräte und Chemikalien

1	Profilrahmen C100, zweizeilig.....	666 428
2	Magnet-Hafttafel, 300 mm .....	666 4660
1	Blindplatte, 300 mm .....	666 468
1	Blindplatte, 200 mm .....	666 467
2	Magnetische Halter, Gr. 1, 9...11 mm .....	666 4661
2	Magnetische Halter, Gr. 4, 27...29 mm .....	666 4664
2	Kolbenprober mit Dreivegehahn .....	665 914
1	Brennkammer mit Glühdraht.....	666 460
1	Experimentierkabel 19 A; Paar .....	501 45
1	Hochstrom-Netzgerät.....	521 55
1	Geräteplattform 350 mm.....	726 21
1	Schlauchverbinder 4...15 mm .....	604 510
1	Silikonschlauch 4 mm Ø, 1 m .....	667 197
1	Silikonschlauch 7 mm Ø, 1 m .....	667 194
1	Reagenzglas Fiolax, .....	664 042
1	Reagenzglasgestell Holz .....	667 052
1	Bunsenbrenner, Allgas .....	656 016
1	Sicherheitsgasschlauch, 1 m .....	666 729
1	Schutzwand .....	667 605
1	Minican-Druckgasdose Methan .....	660 987
1	Minican-Druckgasdose Ethan .....	660 988
1	Feinregulierungsventil .....	660 980

### Versuchsaufbau und -vorbereitung

#### Aufbau der Apparatur

- Die Magnethafttafeln, das CPS-Modul „Brennkammer mit Glühdraht“ und Blindplatten werden in den CPS-Profilrahmen eingesetzt (siehe Abb. 1).
- Beide Kolbenprober jeweils mit Hilfe zweier Federklemmen an der Magnethafttafel befestigen. Dabei mit den großen Federklemmen den Kolben fixieren und mit den kleinen Federklemmen das Rohr.
- Die Kolbenprober mit der Brennkammer verbinden. Dazu werden die GL-Verschraubungen an der Brennkammer gelöst, um ein leichtes Einführen der Glasrohre der Kolbenprober zu ermöglichen. Die Verschraubungen müssen anschließend festgedreht werden, damit die Apparatur dicht ist und keine Luft eindringen kann. Zuletzt die ganze Apparatur waagrecht ausrichten.
- Nun die beiden Experimentierkabel an die Brennkammer anschließen und in das Netzgerät einstecken.

**Vorbereitung**

Die Apparatur muss zunächst mit dem untersuchten Gas gespült werden, um die enthaltene Luft zu entfernen. Hierzu wird das Feinregulierungsventil auf die Minican-Druckgasdose (Methan oder Ethan) geschraubt. An dieses wird der Silikonschlauch mit einem Durchmesser von 4 mm angeschlossen und über einen Schlauchverbinder ein weiterer Silikonschlauch mit einem Durchmesser von 7 mm angebracht. Der zweite Silikonschlauch kann nun an den Hahn des linken Kolbenprobers angeschlossen werden. Zum Spülen der Apparatur diese vollständig mit Gas füllen. Das Gas durch den Dreiwegehahn des zweiten Kolbenprobers nach draußen leiten. Diesen Vorgang erneut wiederholen und die Apparatur danach schließen. Sie ist nun gespült.

Achtung! Während des Spülvorganges den Raum unbedingt gut lüften!

**Versuchsdurchführung**

1. Für den Versuch nun in den linken Kolbenprober ein Volumen von 20 ml des Gases füllen. Kolbenprober schließen. Sicherstellen, dass beim zweiten Kolbenprober nur eine Verbindung zur Brennkammer, nicht aber zur Umgebung besteht. Nach dem Befüllen des Kolbenprobers die Minican-Druckgasdose gut verschließen, das Ventil abschrauben und beides vom Experimentierplatz entfernen.
2. Die Brennkammer mit Strom versorgen. Dazu eine Spannung von maximal 1,1 V und eine Stromstärke von maximal 9 A am Netzgerät einstellen.
3. Wenn der Draht zu glühen beginnt, den gefüllten Kolbenprober zur Brennkammer hin öffnen. Jetzt haben beide Kolbenprober nur eine Verbindung zur Brennkammer.
4. Das Gas über den glühenden Draht streichen lassen. Dafür langsam beide Kolben hin und her bewegen.
5. Diesen Vorgang so lange wiederholen, bis das Gasvolumen konstant ist. Volumen notieren. Danach den Strom am Netzgerät abstellen.
6. Um das die Identität des entstanden Gases zu überprüfen, wird die Knallgasprobe durchgeführt. Die Durchführung der Knallgasprobe läuft folgendermaßen ab:
  - a. Mit einem Reagenzglas, welches verkehrt herum über die Öffnung eines der Dreiwegehähne der Apparatur gehalten wird, wird das herausströmende Gas aufgefangen.
  - b. Man hält den Daumen über die Öffnung des Reagenzglases und nähert sich einer offenen Brennerflamme. Gleichzeitig wird der Daumen von der Öffnung entfernt.
  - c. Ist nur ein kurzes „Plopp“ zu hören, so handelt es sich um reinen Wasserstoff.

**Beobachtung**

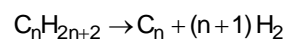
Während des Hin- und Herschiebens der beiden Kolben kann beobachtet werden, wie das Gasvolumen in der Apparatur größer wird. Dieser Vorgang setzt sich fort, bis sich ein konstantes Gasvolumen eingestellt hat. Aus 20 ml eingesetztem Gasvolumen entstehen bei Methan 40 ml und bei Ethan 60 ml Gas. In der Brennkammer ist zu sehen, dass während des Versuches Ruß entsteht, also elementarer Kohlenstoff.

**Auswertung**

Beim Verglühen des Methans bzw. Ethans entstehen zwei Substanzen. Bei der einen handelt es sich um Ruß, also elementaren Kohlenstoff, welcher sich in der Brennkammer sammelt. Bei der zweiten Substanz handelt es sich um ein

Gas. Dieses wird durch die Knallgasprobe genauer analysiert. Es ist Wasserstoff.

Aus dem Volumenverhältnis von eingesetztem Gas zu entstandenem Gas kann die Anzahl an Wasserstoffatomen in der Ausgangsverbindung berechnet werden. Die allgemeine Reaktionsgleichung beim Verglühen der Alkane lautet



Daraus kann abgeleitet werden, dass aus  $n$  Volumenteilen des Alkans  $n+1$  Volumenteile Wasserstoff entstehen.

Bei der thermischen Analyse des Methans verdoppelt sich das Volumen des Gases. Aus einem Volumenteil Methan entstehen zwei Volumenteile Wasserstoff. Beim Ethan verdreifacht sich das Volumen. Aus einem Volumenteil Ethan entstehen also drei Volumenteile Wasserstoff. Daraus können die Summenformeln der Verbindungen und die Reaktionsgleichungen abgeleitet werden (siehe Tab. 1).

Tab. 1: Versuchsauswertung für Methan und Ethan.

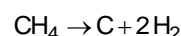
	Methan	Ethan
Volumenverhältnis (gemessen)	1:2	1:3
$(n+1) H_2$	2	3
$n = \text{Anzahl C-Atome}$	1	2
$(2n+2) = \text{Anzahl H-Atome}$	4	6
Summenformel	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>
Reaktionsgleichung	CH <sub>4</sub> → C + 2H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> → 2C + 3H <sub>2</sub>

Die Summenformel für Methan lautet also CH<sub>4</sub> und die Summenformel für Ethan lautet C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>.

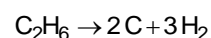
**Ergebnis**

Bei der thermischen Zersetzung von Methan und Ethan entsteht elementarer Kohlenstoff und elementarer Wasserstoff. Aus dem Volumenverhältnis von eingesetztem Gas zu entstandenem Gas kann die Anzahl an Wasserstoffatomen in der Ausgangsverbindung berechnet werden.

Bei Methan entstehen aus einem Volumenteil Gas zwei Volumenteile Wasserstoff. Da der Wasserstoff molekular (H<sub>2</sub>) vorliegt, sind somit im Methan 4 Wasserstoffatome enthalten. Die Reaktionsgleichung lautet daher:



Bei Ethan ist das Verhältnis 1:3 zu entstandenem Wasserstoff. Daraus kann geschlussfolgert werden, dass Ethan 6 Wasserstoffatome enthält. Die Reaktionsgleichung kann nun wie folgt aufgestellt werden:

**Bemerkung**

Der Versuch kann nicht nur mit Methan und Ethan durchgeführt werden. Auch eine thermische Analyse von Propan und Butan ist möglich. Bei diesen beiden handelt es sich um die Verbindungen Nummer 3 bzw. 4 in der homologen Reihe. Dementsprechend würde es bei Propan zu einer Vervierfa-

chung des Gasvolumens kommen und bei Butan zu einer Verfünffachung. Bei der Bildung des Rußes kommt es zu einer Intensitätssteigerung ausgehend von Methan hin zu Butan, da auch der Kohlenstoffanteil zunimmt.

Ist nicht bekannt, ob es sich bei der gasförmigen Verbindung um ein kettenförmiges Alkan handelt, kann also die allgemeine Summenformel  $C_nH_{2n+2}$  nicht angewandt werden. Dann muss der Anteil von C-Atomen in der Verbindung in einem weiteren Versuch bestimmt werden. Der Gehalt an Kohlenstoff kann durch den Versuch Quantitative Analyse von Kohlenstoff (C2.1.1.1) erfolgen.

### Reinigung und Entsorgung

Der Glühdraht der Brennkammer sollte vorsichtig mit einem Wattestäbchen gereinigt werden. Dabei darauf achten den empfindlichen Glühdraht nicht zu beschädigen. Das Wattestäbchen kann anschließend dem normalen Müll zugeführt werden.