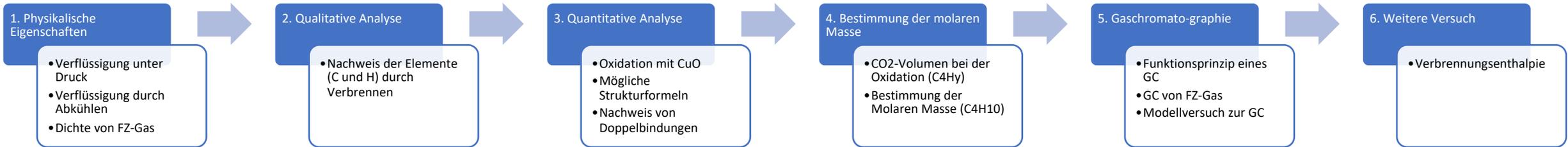


Analyse von Feuerzeuggas

Vorschlag für eine
Unterrichtssequenz
mit MedTech-Geräten



Sequenzverlauf



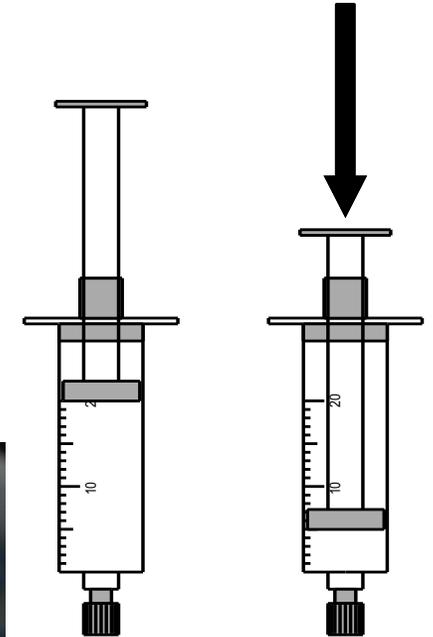


1. Physikalische Eigenschaften

Betrachtet man ein durchsichtiges Einwegfeuerzeug, so erkennt man leicht eine flüssige und eine gasförmige Phase (Phase = einheitlicher Bereich in einem Gemisch), die miteinander in einem Gleichgewicht stehen. Entnimmt man dem Feuerzeug Gas, so verdampft etwas von der Flüssigkeit nach. Der Vorteil dieser Anordnung ist, dass eine bestimmte Gasportion im flüssigen Zustand ein geringeres Volumen beansprucht als im Gaszustand, so kann man viel mehr Brennstoffs auf kleinem Raum unterbringen. Beim "Feuerzeuggas" handelt es sich um ein Gas - oder Gasgemisch - das sich unter Druck verflüssigen lässt.

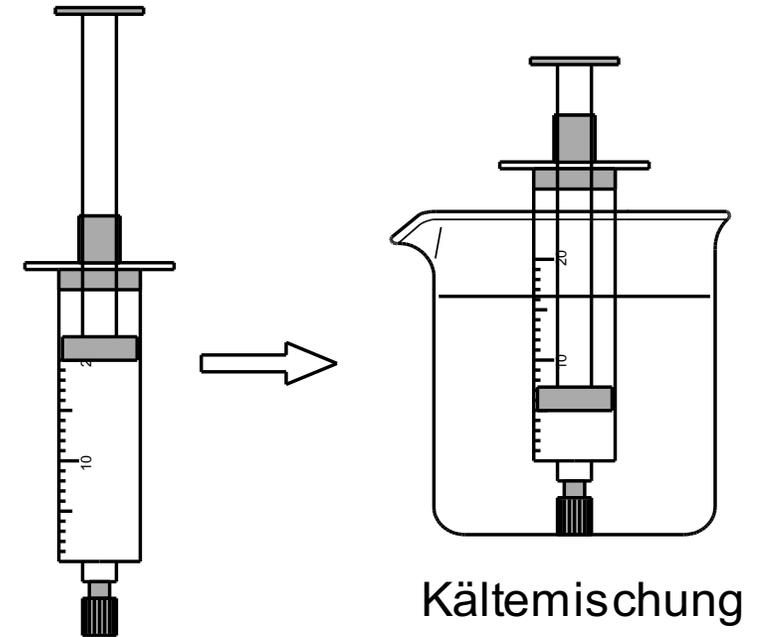
Verflüssigung von „Feuerzeuggas“ unter Druck

Geräte	20 mL-Spritze, Verschlussstopfen, Dreiwegehahn zur Entnahme des Gases aus einer Nachfüllkartusche für Feuerzeuge
Chemikalien	Nachfüllkartusche für Feuerzeuge
Durchführung	Man füllt die Spritze mit dem "Feuerzeuggas", verschließt sie mit einem Verschlussstopfen und komprimiert kräftig. Es lassen sich winzige farblose Flüssigkeitstropfen erkennen, die beim Entspannen wieder verschwinden. Es stellt sich das ursprüngliche Gasvolumen wieder ein.
Deutung	<p>Das Experiment lässt sich deuten, wenn man davon ausgeht, dass zwischen den Teilchen im gasförmigen Zustand Anziehungskräfte herrschen. Diese sind recht schwach und haben nur eine sehr geringe Reichweite. Es handelt sich um die Van-der-Waals-Kräfte, deren Stärke von der Größe und Art der Moleküle abhängen. Im gasförmigen Feuerzeuggas sind sie vorhanden, können jedoch nicht wirken, da die Moleküle zu weit voneinander entfernt sind. Durch das Komprimieren werden die Abstände zwischen den Molekülen kleiner und die Van-der-Waals-Kräfte können wirksam werden. Das Gas wird flüssig.</p> <p>Es ist zu vermuten, dass durch eine Temperaturerniedrigung die Bewegung der Teilchen stark eingeschränkt wird, und auch so eine Verflüssigung möglich ist.</p>



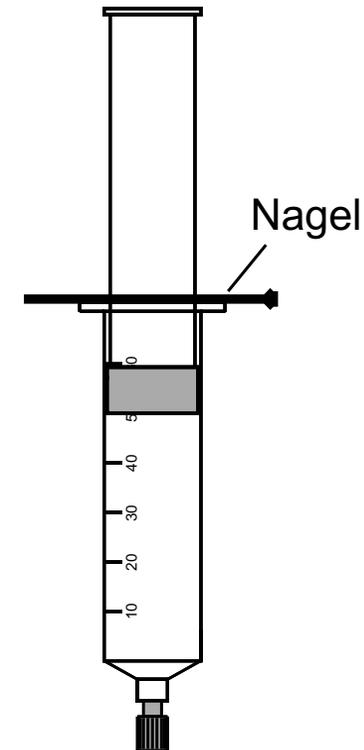
Verflüssigung von „Feuerzeuggas“ durch Abkühlen

Geräte	20 mL-Spritze, Verschlussstopfen, Adapter zur Entnahme des Gases aus einer Nachfüllkartusche für Feuerzeuge
Chemikalien	Nachfüllkartusche für Feuerzeuge, Eis, Streusalz
Durchführung	Man füllt die Spritze mit dem "Feuerzeuggas", verschließt sie mit einem Verschlussstopfen und stellt sie in ein Kältebad (ca. -12 °C), das durch Mischen vom Streusalz, Eis und Wasser (je 1/3) hergestellt wird. Bei leichtem Druck auf den Stempel wird das Gas flüssig. Beim Erwärmen mit der Hand stellt sich der Ausgangszustand wieder ein.



Bestimmung der Dichte von FZ-Gas und Luft

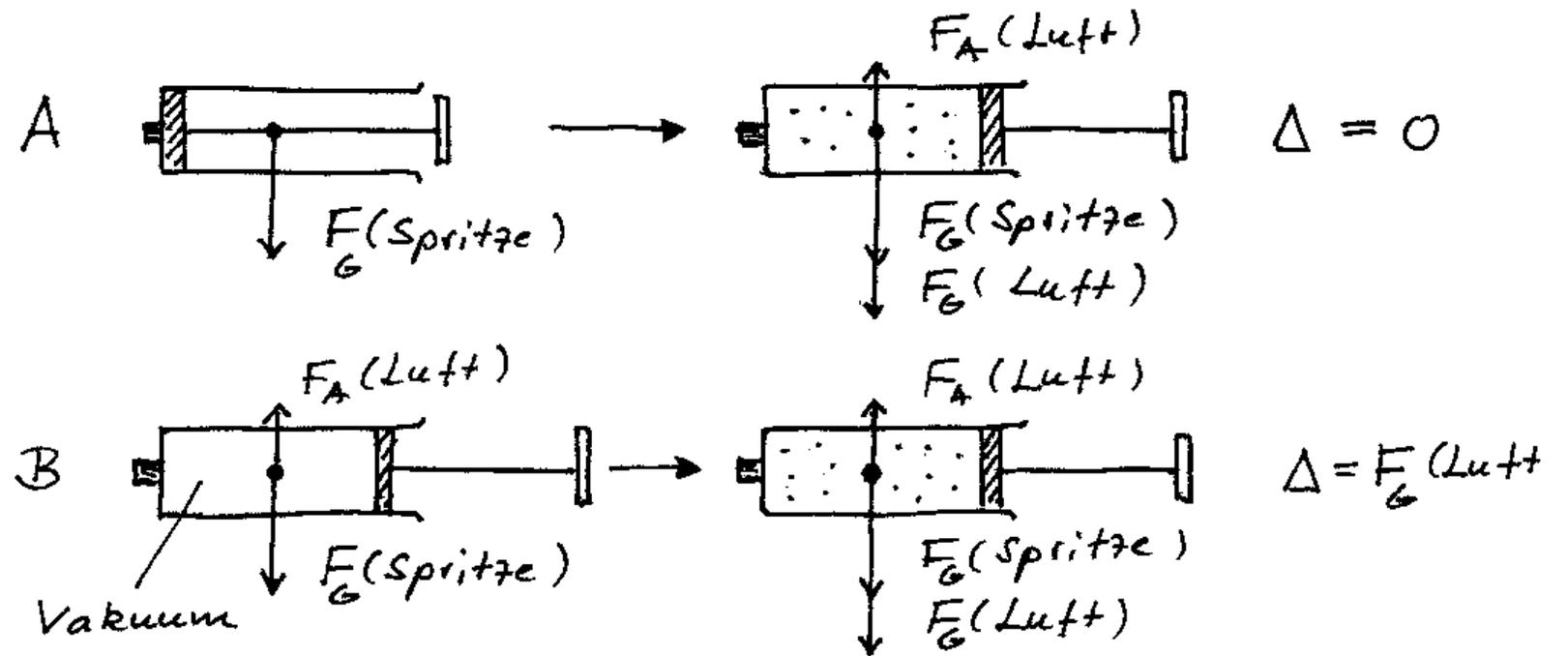
Geräte	50 mL-Spritze mit Querloch im Stempel bei 50 mL, Blindstopfen, Nagel, Waage (0,001 g genau)					
Chemikalien	Nachfüllkartusche für Feuerzeuge, Eis, Streusalz					
Durchführung	Die Spritze wird mit dem Blindstopfen verschlossen und durch Herausziehen des Stempels ein Vakuum erzeugt. Bei der Markierung 50 mL wird der Stempel durch einen Nagel, der durch den Stempel geschoben wird, fixiert. Sodann wird die Masse bestimmt. Danach werden 50 mL Luft bzw. 50 mL Feuerzeuggas eingefüllt und die Masse erneut bestimmt (Nagel nicht vergessen!). Aus der Differenz erhält man die Masse von 50 mL Luft bzw. 50 mL Feuerzeuggas.					
Messwerte						
	Gruppe	V in mL	m(Luft) in g	Dichte (Luft) g/L	m(Gas) in g	Dichte (Gas) g/L
	1	50	0,059	1,18	0,118	2,36
	2	50	0,061	1,22	0,121	2,42
	3	50	0,063	1,26	0,119	2,38
	4	50	0,058	1,16	0,118	2,36
	Mittelwert			1,205		2,38



Ergebnis

Die Dichte von Feuerzeuggas ist doppelt so groß wie die von Luft; d.h. das Gas sinkt zu Boden. Deshalb dürfen in Kellerbereichen keine Flüssiggasflaschen gelagert werden.

Weshalb
muss man
die Spritze
vor dem
Wiegen
evakuieren?



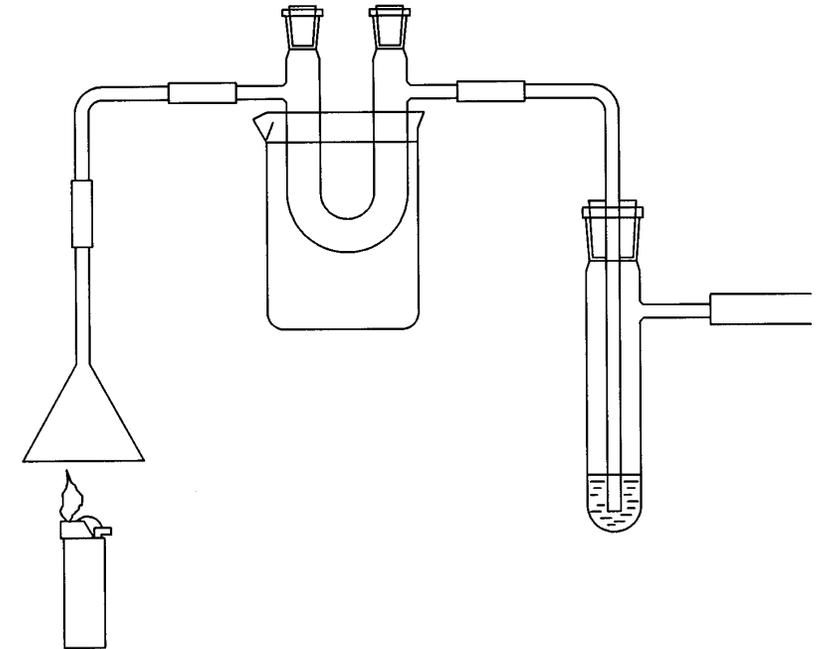
1. Im Fall A wird kein Unterschied in der Anzeige der Waage auftreten. Zur Gewichtskraft der Spritze addiert sich die Gewichtskraft der eingezogenen Luft. Gleichzeitig erfährt die Spritze eine Auftriebskraft, die genau so groß ist wie die Gewichtskraft der verdrängten Luft. Die resultierende Gewichts-differenz ist also Null.
2. Im Fall B erfährt die Spritze mit dem Vakuum eine Auftriebskraft. Die resultierende Massendifferenz entspricht der Gewichtskraft der eingezogenen Luft.

2. Qualitative Analyse

Nachweis der Elemente

Indirekter Nachweis von Kohlenstoff und Wasserstoff

Geräte	Glastrichter, Reagenzglas mit seitlichem Ansatzrohr, U-Rohr, Becherglas 600 ml weit, Winkelrohr (klein), Winkelrohr (groß), div. Gummiverbinder, Gummischlauch, Wasserstrahlpumpe
Chemikalien	Feuerzeug mit Gasfüllung, Eis, Kalkwasser, Watesmo-Papier oder wasserfreies Kupfersulfat
Durchführung	Man baut die Apparatur gemäß der Abbildung zusammen und füllt das Becherglas mit Eis, das Reagenzglas mit Kalkwasser. Während man das brennende Feuerzeug unter den Trichter hält, saugt man mit einem gleichmäßigen Luftstrom die Verbrennungsgase durch die Apparatur. Zu den im U-Rohr abgeschiedenen Flüssigkeitstropfen gibt man etwas wasserfreies Kupfersulfat.
Beobachtung und Deutung	Das wasserfreie Kupfer(II)-sulfat färbt sich bei Kontakt mit der Flüssigkeit blau. D.h. es handelt sich um Wasser. Das Kalkwasser trübt sich, d.h. es handelt sich beim einströmenden Gas um Kohlendioxid.

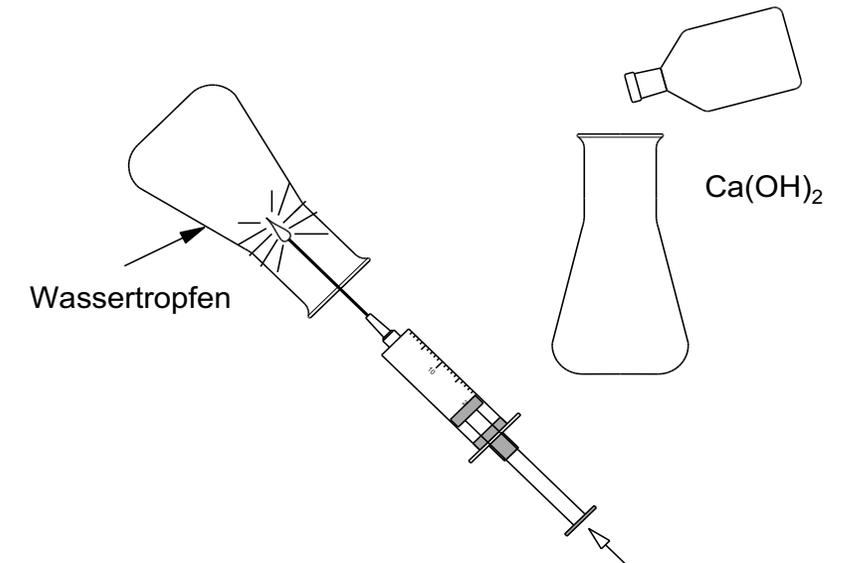


Qualitative Analyse (mit MedTech-Geräten)

Nachweis der Elemente

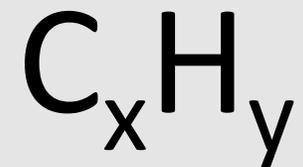
Indirekter Nachweis von Kohlenstoff und Wasserstoff

Geräte	20 mL-Spritze mit Kanüle, Erlenmeierkolben
Chemikalien	Nachfüllkartusche für Feuerzeuge, Eis, Kalkwasser, Watesmo-Papier oder wasserfreies Kupfersulfat
Durchführung	Man füllt die Spritze mit Feuerzeuggas und zündet dies an der Kanüle an. Durch einen gleichmäßigen Druck auf den Stempel erzeugt man eine gleichmäßig brennende Flamme, die man in einen Erlenmeierkolben brennen lässt. Danach wird Kalkwasser zugegeben.
Beobachtung und Deutung	<p>Das wasserfreie Kupfer(II)-sulfat färbt sich bei Kontakt mit der Flüssigkeit blau. D.h. es handelt sich um Wasser.</p> <p>Das Kalkwasser trübt sich, d.h. es handelt sich beim einströmenden Gas um Kohlendioxid.</p>



Hinweis:

Neben den Elementen Wasserstoff und Kohlenstoff, die als Wasser bzw. Kohlendioxid nachgewiesen werden, lassen sich keine weiteren Elemente im Feuerzeuggas nachweisen. Es handelt sich somit um einen reinen Kohlenwasserstoff mit der vorläufigen Formel

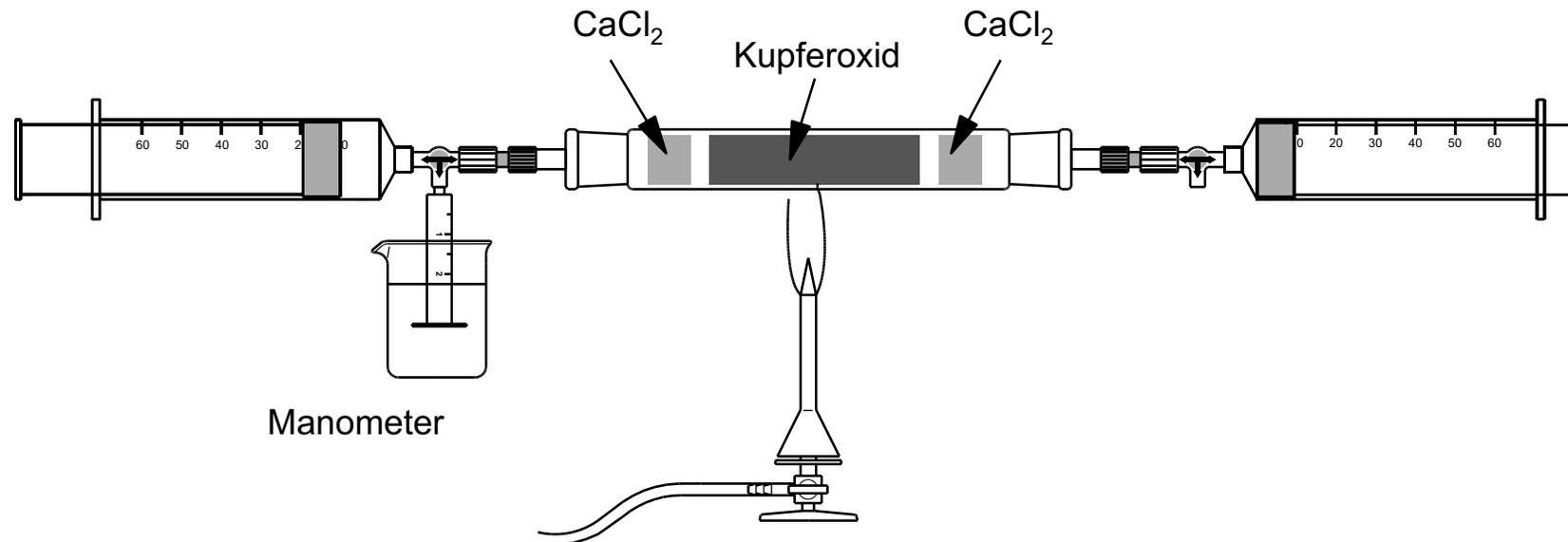


3. Quantitative Analyse

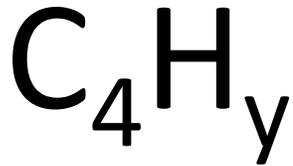
Idee: Mit Hilfe von Kupferoxid wird das Feuerzeuggas zu Kohlendioxid und Wasser oxidiert. Das Kohlendioxid wird mit Hilfe einer Spritze aufgefangen und so das Volumen bestimmt. Auf die Bestimmung der Wassermasse wird in diesem Fall verzichtet.



Aus 1 Raumteil des unbekanntes Gases entstehen x Raumteile Kohlendioxid.

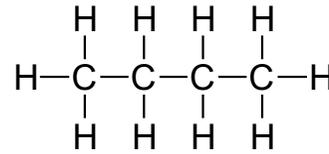


Quantitative Analyse

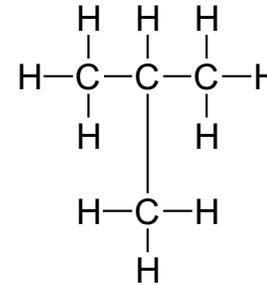


Geräte	2 Spritzen (50 mL, mit Silikonöl geschmiert), 1 Spritze (2,5 mL) ohne Kolben (Manometer), Reaktionsrohr (Quarz), Stopfen, 2 Dreiwegehähne, Brenner, Becherglas 100 mL (weit)
Chemikalien	Feuerzeuggas aus Campinggaskartusche (Brennkopf abschrauben und Schlauch aufsetzen), wasserfreies CaCl_2 , CuO in Stabform, Quarzglaswolle, Stickstoff
Durchführung	Die Apparatur wird gemäß der Abbildung zusammengesetzt. Das Reaktionsrohr wird dabei in der Mitte mit CuO -Stäbchen und zu den Rändern hin mit Quarzglaswolle, CaCl_2 und dann wieder mit Quarzglaswolle gefüllt. Die Spritzenhülse taucht in ein Becherglas mit Wasser als Manometerersatz. Die Apparatur wird zunächst zur Vertreibung von Sauerstoff mit Stickstoff gespült und dann mit 10 ml Feuerzeuggas gefüllt. Das CuO wird kräftig erhitzt und das Gas über das glühende Kupferoxid gedrückt. Nach dem Abkühlen der Apparatur wird die in das Wasser getauchte Spritzenhülse über den Dreiwegehahn dazugeschaltet und durch Verschieben des Kolbens für Druckausgleich gesorgt. Dann wird abgelesen.
Beobachtung und Deutung	Das Kupferoxid wird zu Kupfer reduziert. Das entstehende Wasser wird vom CaCl_2 aufgenommen, das Volumen des entstehenden Kohlendioxids beträgt 40 ml.
Ergebnis	Aus 20 ml Feuerzeuggas entstehen 80 ml CO_2 . D.h. es findet eine Volumenvervierfachung statt. Die Größe x ermittelt sich somit zu $x = 4$. Somit gilt für die Verhältnisformel: C_4H_y

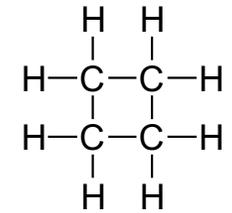
Beispiele für mögliche Strukturformeln



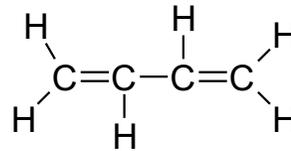
C₄H₁₀
n-Butan



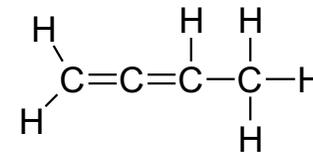
C₄H₁₀
i-Butan



C₄H₈
Cyclobutan



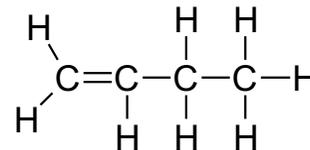
C₄H₆
1,3-Butadien



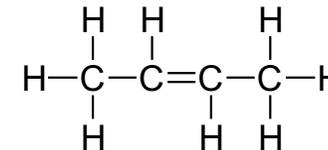
C₄H₆
1,2-Butadien

Dies sind einige der möglichen C₄-Verbindungen. Auch Moleküle mit Dreifachbindungen sind denkbar. Vier der Verbindungen enthalten Doppelbindungen.

Doppelbindungen und Dreifachbindungen in organischen Molekülen lassen sich durch die **Entfärbung von Bromwasser** nachweisen.



C₄H₈
1-Buten



C₄H₈
2-Buten

Nachweis von C=C – Bindungen mit Bromwasser

Geräte	Kleines Reagenzglas, 20 mL-Spritze mit entsprechend langer Kanüle
Chemikalien	Nachfüllkartusche für Feuerzeuge, Bromwasser (hergestellt aus Iodat und Iodid in schwefelsaurerer Lösung (xxx Link einfügen))
Durchführung	Man füllt das Reagenzglas zu 1/3 mit Bromwasser und leitet das Feuerzeuggas hindurch.
Beobachtung und Deutung	Es findet keine Entfärbung statt, d.h. es ist keine Doppelbindung im Molekül vorhanden

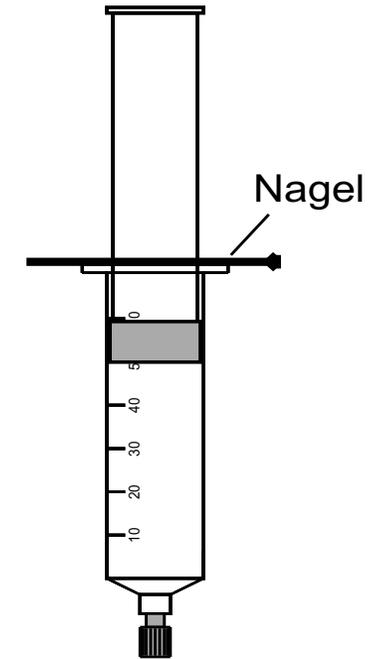
Es bleiben somit nur die Substanzen n-Butan, i-Butan und Cyclobutan als mögliche C₄-Moleküle; das letztere unterscheidet sich von den ersten beiden durch die Molekülmasse bzw. der molaren Masse.

Strukturformel	Name	Summenformel	Molare Masse [g/mol]
$ \begin{array}{cccc} \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \\ & & & \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ & & & \\ \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \end{array} $	n-Butan	C ₄ H ₁₀	58
$ \begin{array}{ccc} \text{H} & \text{H} & \text{H} \\ & & \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ & & \\ \text{H} & \text{H} & \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{H} \end{array} $	i-Butan	C ₄ H ₁₀	58
$ \begin{array}{cc} \text{H} & \text{H} \\ & \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ & \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ & \\ \text{H} & \text{H} \end{array} $	Cyclobutan	C ₄ H ₈	56

$$M = \frac{m}{n}$$

4. Bestimmung der Molaren Masse

Geräte	50 mL-Spritze mit Querloch im Stempel bei 50 mL, Blindstopfen, Nagel, Waage (0,001 g genau)
Chemikalien	Nachfüllkartusche für Feuerzeuge
Durchführung	Man füllt das Reagenzglas zu 1/3 mit Bromwasser und leitet das Feuerzeuggas hindurch.
Beobachtung und Deutung	Die Spritze wird mit dem Blindstopfen verschlossen und durch Herausziehen des Stempels ein Vakuum erzeugt. Bei der Markierung 50 mL wird der Stempel durch einen Nagel, der durch den Stempel geschoben wird, fixiert. Sodann wird die Masse bestimmt. Danach werden 50 mL Feuerzeuggas eingefüllt und die Masse erneut bestimmt (Nagel nicht vergessen!). Aus der Differenz erhält man die Masse von 50 mL Feuerzeuggas.
Messergebnis	$m = 0,119 \text{ g}$ $V = 50 \text{ mL}$ $V_m = 24,1 \text{ L/mol}$ mit $M = \frac{m}{n}$ und $n = \frac{V}{V_m}$ folgt $M = \frac{m \cdot V_m}{V} = \frac{0,119 \text{ g} \cdot 24,1 \text{ L}}{0,05 \text{ L} \cdot \text{mol}} = 57,4 \text{ g/mol}$
Für die Verhältnisformel ergibt sich somit:	
C_4H_{10}	mit $M = (4 \cdot 12 + 10 \cdot 1) \text{ g/mol} = 58 \text{ g/mol}$



Hinweis:

In Abhängigkeit von der Art des verwendeten Feuerzeuggas fällt der gemessene Wert der Molaren Masse fast immer zu niedrig aus. Dies wird am Ende der Reihe nach der gaschromatographischen Untersuchung erklärbar, denn das Gasgemisch enthält noch Propan als weitere Komponente

n-Butan und i-Butan

Es resultieren zwei mögliche Verbindungen, nämlich die Isomere n-Butan und i-Butan
Die beiden Isomere unterscheiden sich in ihren physikalischen Eigenschaften:

Name	Strukturformel	Smt in °C	Sdt in °C
n-Butan	$\begin{array}{cccc} \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \\ & & & \\ \text{H}-\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C}-\text{H} \\ & & & \\ \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \end{array}$	- 138	- 0,5
i-Butan 2-Methylpropan	$\begin{array}{cccc} \text{H} & \text{H} & \text{H} & \\ & & & \\ \text{H}-\text{C} & -\text{C} & -\text{C}-\text{H} & \\ & & & \\ \text{H} & & \text{H} & \\ & \text{H}-\text{C}-\text{H} & & \\ & & & \\ & \text{H} & & \end{array}$	- 160	- 11,7

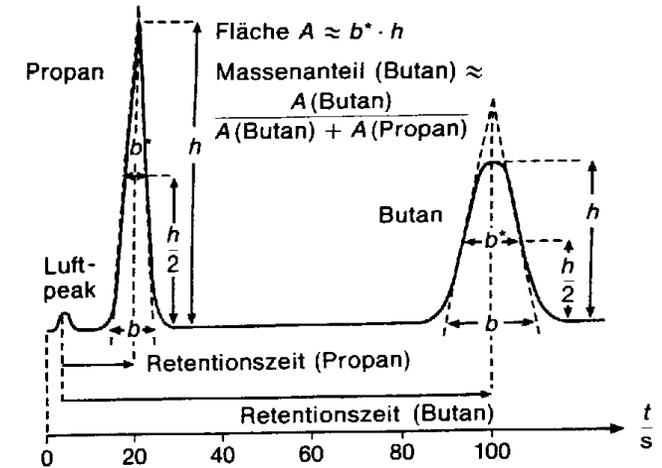
5. Gaschromatografie

Funktionsprinzip des Gaschromatographen

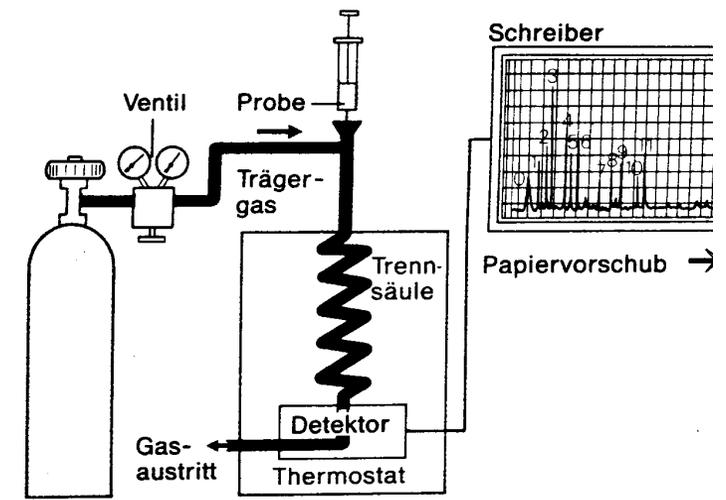
Das Prinzip der **Gaschromatografie** beruht auf der Tatsache, dass Moleküle sich aufgrund ihres unterschiedlichen Aufbaus auch unterschiedlich gut in einem Lösungsmittel lösen, da sie unterschiedlich starke Wechselwirkungen zu den Lösungsmittelmolekülen zeigen. Man läßt einen Gasstrom (z.B. Wasserstoffgas), die **mobile Phase**, über kleine feste Teilchen, die mit einem schwerflüchtigen Öl benetzt sind, **der stationären Phase**, strömen. Dabei lösen sich die unterschiedlichen Substanzen der Substanzprobe, die in den Trägerstrom injiziert wird, unterschiedlich gut in dem Öl der stationären Phase. Es stellt sich ein Gleichgewicht der zu trennenden Teilchen zwischen stationärer und mobiler Phase ein. Diese Gleichgewichte sind von Substanz zu Substanz, je nach Löslichkeit, unterschiedlich. Beim Durchwandern der Säule findet deshalb eine Auftrennung statt.

Mit Hilfe eines Detektors (z.B. Wärmeleitfähigkeitsdetektor) kann man die ankommenden Substanzen registrieren und mit Hilfe eines Verstärkers auf einen Schreiber geben.

Die Zeit, die eine Teilchenart zum Durchwandern der Säule benötigt, nennt man **Retentionszeit**. Sie ist charakteristisch für eine bestimmte Substanz; durch sie lässt sich eine Substanz identifizieren. Die Fläche unter einem Ausschlag (Peak) am Schreiber ist ein Maß für die Substanzmenge.



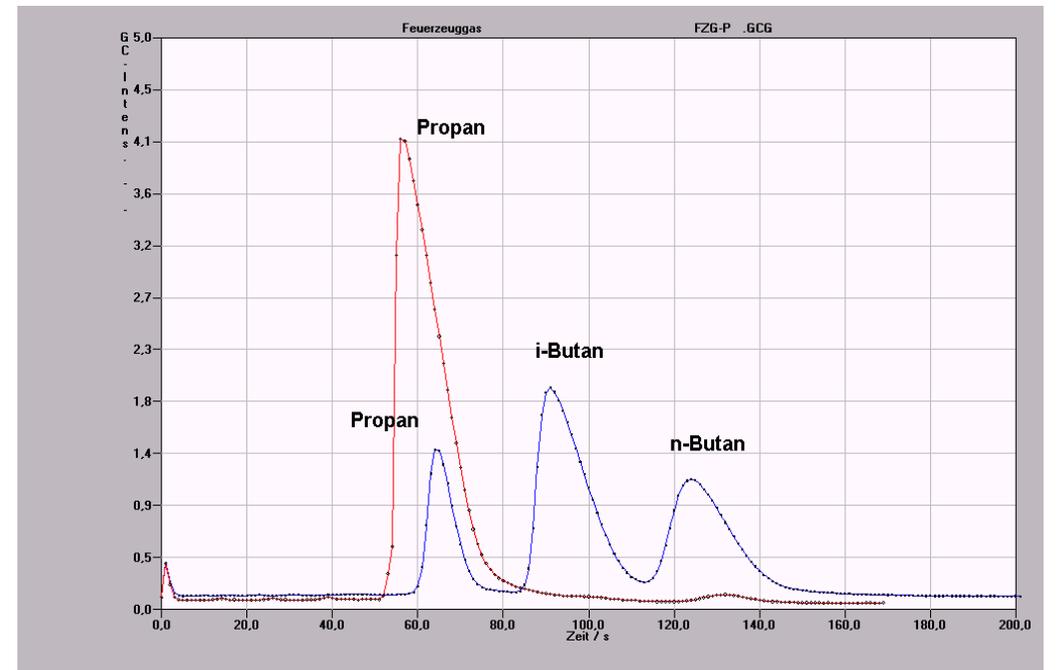
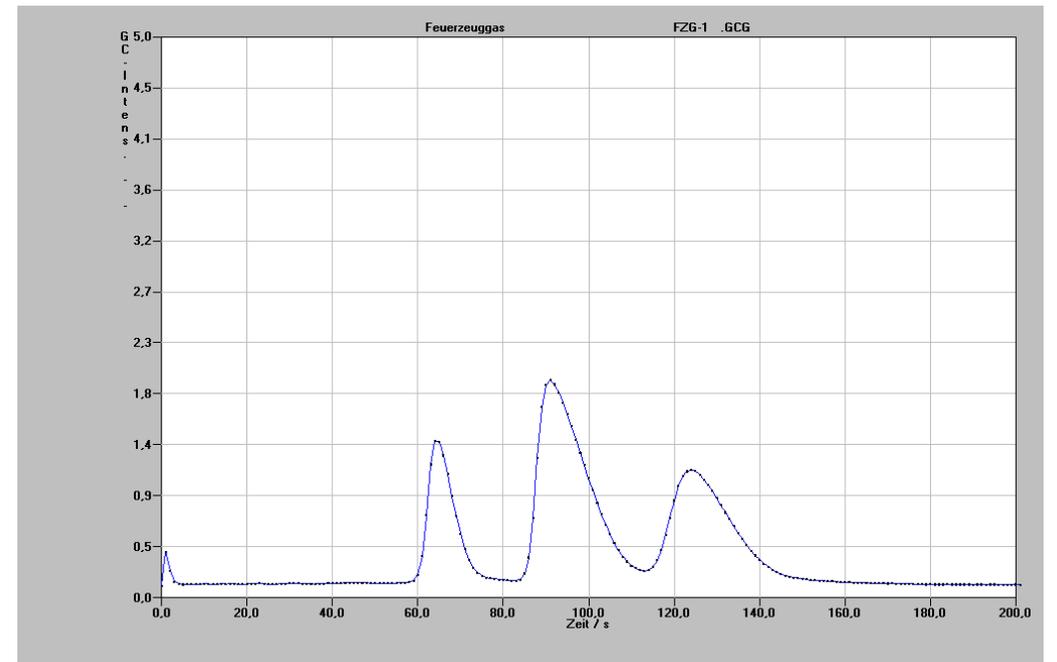
Auswertung eines Gaschromatogramms



Bau eines Gaschromatographen

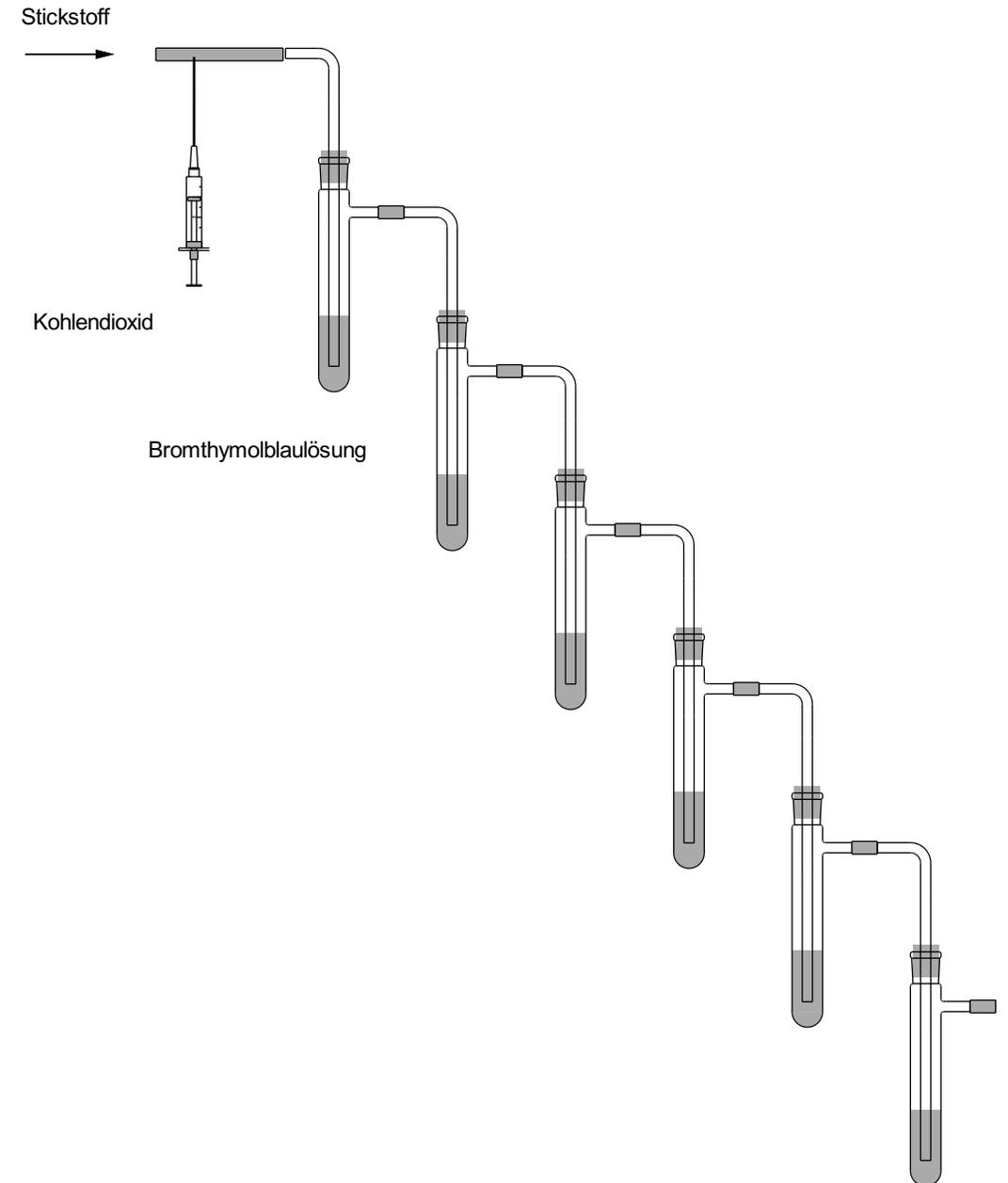
Gaschromatogramm von FZ-Gas

Geräte	GC nach Kappenberg, 2 mL-Spritze, Computer zur Messwerterfassung
Chemikalien	Feuerzeuggas mit Entnahmeeinrichtung
Durchführung	Man injiziert 1 mL des Gases in den Einspritzblock des GC. Empfindlichkeit (GC-Intensität) wird auf 5 eingestellt
Auswertung	Überraschend zeigt sich, dass die Feuerzeuggasprobe neben zwei erwarteten Komponenten (n-Butan und i-Butan) noch eine dritte Substanz enthält. Es könnte sich um einen weiteren Kohlenwasserstoff handeln. Es liegt nahe zu vermuten, dass dies Propan ist. Um dies zu bestätigen, wird von reinem Propan unter den gegebenen Messbedingungen ein Gaschromatogramm angefertigt und über das des Feuerzeuggases gelegt. Ein Vergleich der Retentionszeiten macht eine Zuordnung der Peaks möglich. i-Butan wandert schneller als n-Butan durch die Säule, da die Form „kugelförmig“ ist und so die Möglichkeit mit der Füllung der Säule in Kontakt zu treten geringer ist.



Modellversuch zur GC

Geräte	6 Reagenzgläser mit seitlichem Ansatz, Silikonverbinder, durchbohrte Gummistopfen mit eingesetztem Winkelrohr, Injektionspritze (10 mL)
Chemikalien	Stickstoff aus Druckgasflasche als Trägergas, Kohlendioxid als wanderndes Gas, ganz leicht alkalische blaue Bromthymolblau-Lösung (BTB)
Durchführung	Man befüllt die Reagenzgläser mit der BTB-Lösung (stationäre Phase) und lässt einen gleichmäßigen Stickstoffstrom (mobile Phase) durch die Apparatur perlen. Über einen Dreivehahnn mit Injektstoppfen werden ca. 20 mL Kohlendioxid injiziert.
Beobachtung und Auswertung	Das Kohlendioxid reagiert mit dem Wasser im ersten Reagenzglas und der Indikator schlägt nach gelb um. $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}^+ \text{HCO}_3^-$ Im Verlauf des Versuches wandert die Gelbfärbung nach und nach durch die Reagenzgläser, bis in allen wieder der Indikator auf blau umgeschlagen ist. Die Kohlendioxidportion wird durch die flüssige Phase transportiert aufgrund der Störung des Gleichgewichts $\text{CO}_2(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{g})$ durch den strömenden Stickstoff.





Modellversuch zur GC

Alternative mit Gaswaschspritzen

Alternativ lassen sich anstelle der relativ teuren Reagenzgläser mit seitlichem Ansatz „Gaswaschspritzen“ verwenden ([Gaswaschspritze](#))



Verbrennungsenthalpien: Methan - Butan

Butan wird wegen seines hohen Heizwertes in Butankartuschen oder als Autogas verwendet.

Geräte	2 Reagenzgläser, 2 Thermometer bzw. Thermofühler mit DMM, 2 Spritzen 20 mL, 2 Kanülen (0,4 x 60)
Chemikalien	Stickstoff aus Druckgasflasche als Trägergas, Kohlendioxid als wanderndes Gas, ganz leicht alkalische blaue Bromthymolblau-Lösung (BTB)
Durchführung	Man füllt die Reagenzgläser jeweils mit 7 mL Wasser. Die Spritzen werden mit 10 mL der Gase gefüllt. Man entzündet die Gase an der Kanüle und lässt die Flamme unter gleichmäßigem Druck gegen das Reagenzglas brennen.
Beobachtung und Auswertung	Die Inhalte der Reagenzgläser erwärmen sich unterschiedlich stark. Butan liefert die größere Temperaturerhöhung. Butan hat einen größeren Heizwert als Methan. Verbrennungsenthalpie Methan: - 890 kJ/mol Verbrennungsenthalpie Butan: - 2877 kJ/mol

