

Kohlenwasserstoffe - Energieträger und Rohstoffe

Anna Heynkes

9.5.2005, Aachen

Hier fasse ich möglichst kurz zusammen, was das Chemieschulbuch des Klett-Verlages für die gymnasiale Mittelstufe bemerkenswertes über Kohlenwasserstoffe als Energieträger und Rohstoffe bringt.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Kohle - Brennstoff und Rohstoff	1
2.1	Entstehung der Kohle	1
2.2	Kohle als Energieträger	1
2.3	Umweltbelastung durch Kohle	1
2.4	Verkokung von Steinkohle	2
3	Erdöl und Erdgas	2
3.1	Entstehung von Erdöl und Erdgas	2
3.2	Förderung und Transport von Erdöl und Erdgas	2
4	Methan	3
4.1	Methan-Quellen	3
4.2	Eigenschaften des Methans	3
5	Butan	4
5.1	Butan-Quelle	4
5.2	Eigenschaften des Butans	4
5.3	Struktur des Butans	5

1 Einleitung

Elektrische und mechanische Energie sowie Wärmeenergie wird heute noch größtenteils durch die Verbrennung von Kohle, Erdgas und Erdölprodukten erzeugt. Diese Energieversorgung durch die Verbrennung fossiler Kohlenwasserstoffe ist mit den Problemen der Umweltbelastung durch Schadstoffe sowie nicht unerschöpflicher Lagerstätten verbunden. Letzteres ist besonders bedenklich, weil die vor Jahrmillionen gebildeten Kohlenwasserstoffe seit gut anderthalb Jahrhunderten wertvolle Grundstoffe der organischen Chemie sind. Obwohl Kohlenwasserstoffe - wie der Name schon sagt - fast nur aus Kohlenstoff und Wasserstoff bestehen, gibt es von ihnen eine große Vielfalt.

2 Kohle - Brennstoff und Rohstoff

2.1 Entstehung der Kohle

Kohle ist der einzige fossile Energieträger, von dem Deutschland größere Lagerstätten besitzt. Man sieht in der Kohle noch viele Abdrücke der Pflanzen, aus denen die Kohle entstand. Diese versanken zunächst in sauerstoffarmen Mooren und wurden zu Torf, der sich später unter dem Druck darüber abgelagerter Gesteinsschichten erwärmte und zu Braunkohle verfestigte. Wo Braunkohle im Verlauf der Erdgeschichte in Tiefen von etlichen Hundert Metern geriet, da wandelte sie sich in einem Inkohlungs genannten Prozess langsam in Steinkohle oder sogar Anthrazit um, die wesentlich höhere Kohlenstoffanteile und Heizwerte besitzen.

2.2 Kohle als Energieträger

Braunkohle wird nur zu einem kleinen Teil entwässert und zu Briketts gepresst. Der größte Teil wird direkt in der Nähe der Fördergruben in Kraftwerken zur Stromerzeugung verbrannt. Bei Steinkohle und Anthrazit lohnt sich eher der Transport zu den Haushalten, aber dort wird heute meistens mit Öl oder Gas geheizt.

Tabelle 1: Kohlenstoffanteile und Brennwertqualitäten

Brennstoff	Kohlenstoffanteil (%)	Brennwert in kJ/kg
Holz	50	13.600
Torf	56	15.700
Braunkohle	70	18.800
Steinkohle	85	31.400
Holzkohle	90	31.600
Anthrazit	92	34.300

2.3 Umweltbelastung durch Kohle

Neben Kohlenstoffdioxid und Wasser entstehen bei der Verbrennung von Kohle Schwefeldioxid, Stickstoffoxide und Staub, der auch giftige Schwermetallverbindungen enthalten kann. Elektrofilter können mehr als 90% des Staubes zurückhalten, aber es bleibt immer

noch eine Staubbelastung von rund 50 mg pro Kubikmeter Rauchgas und eine Entschwefelung ist bei der Kohleverbrennung im Gegensatz zu Heizöl und Gas schwierig. Das gelingt aber mit der Wirbelschichtfeuerung, die im Brennraum mit starken Luftströmen Kohlestaub und Kalksteinmehl in einer schwebenden Wirbelschicht zusammen führt. Darin verbrennt die Kohle besonders vollständig und Schwefeldioxid reagiert mit dem Kalk und Sauerstoff zu Calciumsulfat (Gips). Zusätzlich besitzen moderne Kraftwerke eine Rauchgasentschwefelungsanlage, in der Schwefeldioxid mit Kalkwasser aus dem Rauchgas gewaschen wird. Dabei entsteht zunächst Calciumsulfit, welches dann mit eingeblasenem Luftsauerstoff zu Gips oxidiert wird. Stickstoffoxid-Emissionen lassen sich durch niedrige Verbrennungstemperaturen und durch Entstickungsanlagen auf unter 200 mg pro Kubikmeter reduzieren. Dazu läßt man die Stickstoffoxide an einem Katalysator bei etwa 350°C mit Ammoniak zu Stickstoff und Wasser reagieren.

2.4 Verkokung von Steinkohle

Für die Eisengewinnung aus Erz sind sehr hohe Temperaturen erforderlich, die sehr gut mit Koks erreicht werden. Diesen gewinnt man seit 1729 aus Steinkohle, die unter Luftabschluss bei Temperaturen zwischen 1100 und 1400°C in sehr schmalen, aber langen und hohen Kammern 16 bis 18 Stunden erhitzt wird. Aus 1 Tonne Steinkohle entweichen dabei 350-400 Kubikmeter Gas, aus dem beim Abkühlen Ammoniak und etwa 50 kg einer Steinkohlenteer genannten braunen Flüssigkeit kondensieren. Der Ammoniak dient vor allem der Düngerproduktion, während Steinkohlenteer mit seinen über 300 wichtigen Verbindungen zur Basis der in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts aufblühenden organisch-chemischen Großindustrie wurde. Besonders während des zweiten Weltkrieges wurden daraus auch Kraftstoffe für Fahrzeuge gemacht. Übrig bleibt nach der Kondensation ein rund 55% Wasserstoff und 20% Methan enthaltendes Gas, welches früher nach Zugabe von Kohlenstoffmonoxid und Wasserstoff als Leucht bzw. Stadtgas vielen Haushalten zugeführt wurde. Heute verwendet man das Gas nur noch zur Aufheizung der Kokskammern und in Hochöfen. Als fester Rückstand entsteht bei der Verkokung Koks mit einem Kohlenstoffanteil von 95-98% und nur noch geringen mineralischen Rückständen.

3 Erdöl und Erdgas

3.1 Entstehung von Erdöl und Erdgas

Erdöl und Erdgas scheinen sich unter dem Einfluss von Bakterien und organischen Katalysatoren in sauerstoffarmen Faulschlamm aus den zersetzten Überresten vor Jahrmillionen massenhaft abgestorbenen Meeresplanktons gebildet zu haben, nachdem diese von Sedimenten bedeckt wurden, die für großen Druck und Wärme sorgten. Deshalb findet man Erdöl und Erdgas in porösen Sedimentgesteinen, in denen sie allerdings oft gewandert sind und sich getrennt haben, bis sie von undurchlässigen Schichten gestoppt wurden.

3.2 Förderung und Transport von Erdöl und Erdgas

Bohrt man ein Speichergestein mit Erdöl oder Gas an, dann schießt es oft anfangs von selbst heraus, weil es unter dem Druck der darüber liegenden Gesteine und manchmal auch Wassermassen steht. Fehlt dieser Druck oder hat er sich nach einiger Zeit abgebaut,

dann muss man das Öl oder Gas heraus pumpen. Bisher fand man die größten Vorräte auf der arabischen Halbinsel und in Ländern der ehemaligen Sowjetunion, aber man sucht ständig nach neuen Lagerstätten. Es ist allerdings wahrscheinlich, dass die maximalen Förderkapazitäten für Öl bereits jetzt oder in naher Zukunft erreicht sind und es schon bald zu einer zunehmenden Verknappung der Ölreserven kommen wird. Der rasch steigende Verbrauch insbesondere in China wird dies noch beschleunigen. Die Weltgasvorräte scheinen noch länger zu reichen.

Vor dem Transport in Rohrleitungen oder Tankern muss das bis zu 0,2% Wasser und 0,02% Salze enthaltende Erdöl entgast, entwässert und wegen der ansonsten drohenden Korrosionsgefahr entsalzt werden. Das früher meistens einfach abgefackelte Erdgas wird heute ebenfalls gewonnen und zu Verbrauchern transportiert, oder zumindest in die Lagerstätten zurück gepumpt. Für den Transport muss Erdgas durch Abkühlung auf -162°C verflüssigt werden, wodurch sich sein Volumen auf ein Sechshundertstel verdichtet.

Nach Schätzungen sollen jährlich 5-10 Millionen Tonnen Erdöl in die Weltmeere gelangen, wo es teilweise schwere Schäden an Pflanzen, Tieren und Touristik anrichtet. Austretendes Gas verursacht natürlich keine Ölpest, kann aber zu verheerenden Explosionen und Bränden führen. Für die Verbraucher hat Erdgas den Vorteil, dass sie keine eigene Vorrats-haltung betreiben müssen, da es durch Rohrleitungen geliefert wird. Die Umwelt schont es durch niedrigere Schadstoffemissionen.

4 Methan

4.1 Methan-Quellen

Methan ist Hauptbestandteil des Erdgases und des Grubengases in Steinkohlelagern. Es entsteht aber auch heute noch bei der Verdauung von Wiederkäuern und beim Faulen organischer Stoffe unter Luftabschluss. Zunehmend produziert man inzwischen Biogas aus biologischen Abfällen wie Mist und Gülle. In dem Maße, in dem bei der Verrottung Sauerstoff zur Verfügung steht, entsteht statt des Methans teilweise auch Kohlenstoffdioxid. Neben etwa 60% Methan und rund 35% Kohlenstoffdioxid enthält Biogas noch Wasserstoff, Stickstoff und Schwefelwasserstoff.

4.2 Eigenschaften des Methans

Methan ist ein farb- und geruchloses Gas und nur gut halb so dicht wie Luft. Deshalb entweicht es aus oben offenen, nicht aber aus nur unten offenen Gefäßen. Man kann es verbrennen, aber allein ohne Sauerstoff unterhält es die Flamme nicht. Daher verlischt eine Kerze, wenn man sie von unten in einen mit Methan gefüllten Zylinder einführt. Mit Luft oder reinem Sauerstoff bildet Methan bei bestimmten Mischungsverhältnissen hochexplosive Gemische. Dadurch kommt es gelegentlich in Kohlegruben und bei defekten Gasleitungen zu folgenschweren Unglücken. Damit man in solchen Fällen das austretende Gas rechtzeitig bemerkt, wird Erdgas ein Geruchsstoff zugesetzt.

Verbrennt man Methan unter einem Trichter und saugt die Verbrennungsgase durch ein gekühltes Rohr in Kalkwasser, dann schlägt sich im gekühlten Rohr Wasser nieder und im Kalkwasser bildet sich ein Niederschlag aus Calciumcarbonat. Demnach entstehen bei der Verbrennung von Methan Kohlenstoffdioxid und Wasser. Weiteren Aufschluss über die Struktur des Methans liefert seine Molekülmasse, sich sich folgendermaßen ermitteln

lässt. Man saugt mit einem Kolbenprober etwa 200 ml Luft aus einer Gaswägekugel, um darin Platz zu schaffen. Anschließend wiegt man die Glaskugel mit dem mäßigen Vakuum. Danach lässt man wiederum aus einem Kolbenprober 100 ml Methan in die Glaskugel strömen und wiegt diese erneut. Aus der Differenz der Gewichte vor und nach der Einfüllung des Methans ergibt sich die Masse von 100 ml Methan. Dividiert man den Messwert von etwa 67 mg¹ durch das Volumen von 100 ml, dann ergibt sich daraus eine Dichte (ρ) von 670 mg/Liter. Mit der im Buch genannten Gleichung $M = \rho \cdot V_m$ ($V_m = 24$ Liter/mol)² lässt sich die molare Masse M des Methans errechnen: $M = 670 \text{ mg/Liter} \cdot 24 \text{ Liter/mol} = 16,08 \text{ g/mol}$. In Wirklichkeit beträgt die Molmasse des Methans nur 16,04 g/mol. Die in Schulversuchen ermittelten Werte dürften aber nicht zuletzt wegen des im Buch genannten³ V_m -Wertes meistens sehr viel stärker vom erwarteten Wert abweichen. Aus der Molekülmasse von nur 16 u ergibt sich, dass Methan außer einem Kohlenstoffatom mit der Atommasse 12 nur noch 4 Wasserstoffatome enthalten kann. Daraus ergibt sich die Molekülformel CH_4 . Räumlich sind die vier Wasserstoffatome so um das Kohlenstoffatom herum angeordnet, dass sie möglichst weit von einander entfernt sind. Die vier Bindungselektronenpaare des Kohlenstoffatoms sind also tetraedrisch angeordnet, was einer sp_3 -Hybridisierung seiner Valenzorbitale entspricht.

5 Butan

5.1 Butan-Quelle

Erdgas enthält auch Butan, allerdings in wesentlich geringerem Maße als Methan.

5.2 Eigenschaften des Butans

Mit seiner Siedetemperatur von -1°C ist Butan bei Raumtemperatur und einem normalen Druck von 1 Atmosphäre ein süßlich riechendes Gas, welches aber deutlich dichter als Luft ist und sich schon bei geringem Druck verflüssigt. Füllt man beispielsweise in Feuerzeugen ein geschlossenes Gefäß teilweise mit flüssigem Butan, dann steht dieses nicht mehr unter Druck und beginnt zu verdampfen. Dabei steigt langsam der Druck in der Dampfphase bis zu dem Punkt, bei dem sich Butangas verflüssigt. Von da an verdampft immer genau so viel flüssiges Butan, wie umgekehrt Butangas flüssig wird. Deshalb stehen Feuerzeuge unter leichtem Druck und sie enthalten eine leicht flüchtige Flüssigkeit, über der eine Schicht gasförmigen Butans liegt. Verbrennt man einen Teil des Butangases, dann stört man dieses Gleichgewicht und es wird verstärkt flüssiges Butan verdampft. Liegt zum Beispiel ein Feuerzeug in der Sonne und wird warm, dann verstärkt sich natürlich auch die Verdampfung der Flüssigkeit und diese kann erst bei einem höheren Druck gestoppt werden. Größere Butannbehälter müssen daher großen Drücken standhalten können und sollten außerdem möglichst kühl gelagert werden. Dies sollte aber nicht in Kellern geschehen, weil im auslaufendes Butangas aus diesen nicht abfließen könnte.

¹Der Messwert ist stark von Temperatur und Luftdruck abhängig und könnte bei niedrigen Temperaturen auch deutlich über 70 g liegen.

²Dieser Wert gilt nur für bei einer bestimmten Temperatur-Luftdruck-Kombination und beträgt unter Standardbedingungen (273 K und 101.3 hPa) nur 22.4 l/mol

³unter realen Bedingungen aber nur selten stimmenden

5.3 Struktur des Butans

Auch Butan reagiert bei vollständiger Verbrennung zu Kohlenstoffdioxid und Wasser. Aus seiner Molekularmasse von 58 u ergibt sich die Summenformel oder Molekülformel C_4H_{10} , aber es gibt nicht nur eine mögliche Strukturformel. Denkbar und in der Natur auch realisiert sind das unverzweigte Butan und das verzweigte Isobutan.

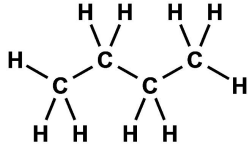


Abbildung 1: Butan

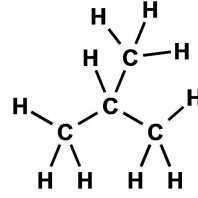


Abbildung 2: Isobutan