

Redoxreaktionen: Explosionsbereich

Roland Rytz

Niklaus Hofer

17. März 2013

Inhaltsverzeichnis

1	Hexan	2
1.1	Berechnungen	2
1.2	Beobachtungen	2
1.3	Fehlerabschätzung	3
1.4	Interpretation	3
2	Erdgas	3
2.1	Berechnungen	3
2.2	Beobachtungen	4
2.3	Fehlerabschätzung	4
2.4	Interpretation	5
3	Chemischer Hintergrund	5
3.1	Verbrennungsreaktion am Beispiel von Hexan	5
3.2	Oxidationszahlen	6
3.3	Reduktion und Oxidation	6
3.4	Redoxreaktion	6
4	Berechnung der optimalen Menge	7

1 Hexan

1.1 Berechnungen

Alle Angaben bei 20 °C

Als Flüssigkeit haben wir Hexan gewählt. Das verwendete Explosionsgefäß hat ein Volumen von $1L = 1dm^3$. Laut Tabelle ist Hexan zündbar bei $35-290\frac{g}{m^3}$. Das entspricht $0.035 - 0.290\frac{g}{dm^3}$.

Um in einem sicheren Bereich zu liegen, haben wir den Mittelwert davon gewählt. Das sind $0.1625\frac{g}{dm^3}$. Hexan hat eine Dichte ρ von $\rho = 0.659\frac{g}{mL}$. Damit lässt sich die für unser Experiment benötigte Menge berechnen:

$$\frac{0.1625g}{0.659\frac{g}{mL}} = 0.247mL$$

Für den zweiten Versuch sollte eine Menge gewählt werden die ca. 50% über dem oberen Explosionswert liegt.

$$\frac{1.5 \cdot 0.290g}{0.659\frac{g}{mL}} = 0.66mL$$

1.2 Beobachtungen

Den ersten Aufbau haben wir gleich nach dem Abfüllen des Hexans zu zünden versucht. Dabei ist natürlich nichts geschehen, da das Hexan zu diesem Zeitpunkt noch nicht verdampft war und stattdessen als Flüssigkeit auf dem Grund des Gefässes lag. Es war also noch keine explosive oder zündbare Mischung entstanden. Wir liessen das Hexangemisch deshalb stehen, während wir den Versuch mit dem Erdgas vorbereiteten.

Nachdem wir den Versuch mit dem Erdgas vorbereitet hatten, war das Hexan verdampft und wir versuchten erneut es zu zünden. Zuerst geschah wiederum nichts. Uns fiel aber auf, dass es beim Zünder keinen Funken gab. Wiederholtes Versuchen (des Zündvorganges) führte schlussendlich zum gewünschten Ergebnis. Der Deckel des Gefässes wurde abgehoben und eine Stichflamme stach kurz aus dem offenen Ende des Gefässes. Dabei und kurz darauf lief das Gefäss kurz an um dann wieder durchsichtig zu werden.

Die Menge Hexan die für den zweiten Versuch verwendet wurde war deutlich grösser als die des ersten Versuches. Dadurch dauerte auch das Verdunsten länger. Durch das Verteilen der Flüssigkeit am Gefässrand konnten wir die Oberfläche vergrössern und somit die benötigte Zeit zum Verdunsten verringern. Wie erwartet geschah beim Zünden des Gemisches nichts. Wir entfernten daraufhin den Deckel von dem Gefäss und richteten es schräg nach unten, so dass das Gas, das schwerer ist als die Luft, entweichen konnten. Dazu betätigten wir wiederholt den Zündknopf. Nach einigen Versuchen zündete das Gemisch und es entstand eine Stichflamme die diejenige des ersten Versuches in der Grösse deutlich übertraf.

1.3 Fehlerabschätzung

Abgemessen haben wir das Hexan mit einer Eppendorfpipette. Die Messungenauigkeiten

Menge	Ungenauigkeit	Menge effektiv
0.247mL	$\pm 1\%$	0.24453 - 0.24947mL
0.66mL	$\pm 1\%$	0.6534 - 0.666mL

Tabelle 1: Fehlerabschätzung bei den Versuchen mit Hexan

liegen also deutlich innerhalb des Explosionsbereiches und können deshalb vernachlässigt werden.

Ausserdem ist die genaue Zusammensetzung der Luft in dem Gefäss unbekannt.

1.4 Interpretation

Beim ersten Zündversuch, als das Hexan noch nicht verdampft war, hatte das Gemisch die zur Zündung benötigte Menge an Hexan in Gasform noch nicht erreicht gehabt. Erst als alles Hexan verdampft war, lag es innerhalb des Zündbereiches.

Mit der 1.5 fachen Menge des oberen Randes des Zündbereiches war das Gemisch wiederum in einem Zustand in dem keine Zündung stattfinden konnte. Diesmal allerdings nicht mangels Hexan, sondern mangels Sauerstoff. Nach dem Entfernen des Deckels

ist zunehmend Hexan entwichen und durch Sauerstoffhaltige Luft ersetzt worden bis eine Zündung möglich wurde.

2 Erdgas

2.1 Berechnungen

Alle Angaben bei 20 °C

Erdgas hat einen Zündbereich von 5-15% des Volumens. Auch hier haben wir wieder den Mittelwert, also 10%, genommen um im sicheren Bereich zu liegen. Das Zündgefäß ist ein Typengleiches wie dasjenige welches wir für die Versuche mit Hexan auch verwendet haben und hat ebenfalls $1L = 1000mL$ Volumen.

$$0.1 \cdot 1000mL = 100mL$$

Für den zweiten Versuch, bei das 1.5 Fache des oberen Wertes des Zündbereiches gewählt werden soll sehen die Berechnungen wie folgt aus:

$$1.5 \cdot 25\% = 22.5\% = 0.225$$

$$0.225 \cdot 1000mL = 225mL$$

2.2 Beobachtungen

Das Abfüllen des Erdgases in das Explosionsgefäß war nicht ganz einfach und wurde dadurch erschwert, dass das Gas nicht sichtbar ist. Da Erdgas eine geringere Dichte hat als die Luft und deshalb steigt, mussten wir das Gefäß mit der Öffnung nach unten halten und von unten her abfüllen. Bei den ersten zwei Versuchen entfernten wir den Deckel vollständig und füllten das Gas langsam von unten her in das Zündgefäß. Dabei ist aber ein beträchtlicher Teil des Gases entwischt, was dazu geführt hat, dass das Experiment gescheitert ist.

Wir wurden von der Lehrkraft darauf aufmerksam gemacht, dass wir das Gas abfüllen sollten, indem wir den Deckel nur am rande leicht anheben und dann das Gas einfüllen. So lässt sich der Deckel gleich nach dem Abfüllen wieder verschliessen.

Beim dritten Versuch funktionierte es dann auch wie erwartet. Das Zündgefäß war leicht schräg nach oben gerichtet. Der Deckel wurde „abgesprengt“ und flog ca. zwei Meter weit. Dabei gab es eine deutlich vernehmbare Geräuschentwicklung.

Bei dem zweiten Versuch, bei dem die deutlich grössere Menge Erdgas verwendet wurde ist erwartungsgemäss nicht geschehen beim Zünden, obschon beim Zünder deutlich sichtbar Funken entstanden. Wir entfernten anschliessend den Deckel und richteten die Öffnung des Gefässes leicht schräg nach oben (da das Gas steigt) und drückten, während das Gas entwich, wiederholt den Auslöser. Nach einigen Versuchen entzündete sich das Gemisch und es entstand eine Stichflamme die diejenige des ersten Versuches in ihrer Grösse deutlich übertraf.

2.3 Fehlerabschätzung

Das Erdgas haben wir mit einem Kolbenprober abgemessen. Das gestaltete sich nicht ganz einfach, da die Zufuhr schwierig zu regeln war. Alleine dadurch ist bereits eine ziemlich hohe Arbeitsungenauigkeit von ca. 4% aufgetreten. Gravierender aber noch, ist die Ungenauigkeit die durch das Abfüllen entstanden ist. Wie bereits in den Beobachtungen erwähnt hat das unvorsichtige Vorgehen in einem Falle selbst zum Scheitern des Versuches geführt. Wir gehen hier für die geglückten Experimente von einer Arbeitsungenauigkeit von ca. 10% aus. Auch hier liegt also die Ungenauigkeit deutlich innerhalb

Volumen in %	Ungenauigkeit	Volumen in % effektiv
10	$\pm 10\%$	9.9 - 10.1
22.5	$\pm 10\%$	22.275 - 22.725

Tabelle 2: Fehlerabschätzung bei den Versuchen mit Erdgas

des Zündbereiches und kann deshalb vernachlässigt werden.

Ausserdem ist die genaue Zusammensetzung der Luft in dem Gefäss unbekannt.

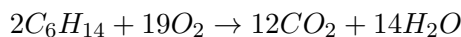
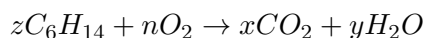
2.4 Interpretation

Bei den ersten beiden Versuchen ist durch unser ungeschicktes Vorgehen beim Abfüllen des Gases in das Zündgefäss zu viel Gas entwichen und es ist keine zündbare Mischung entstanden da zu wenig Gas vorhanden war. Nachdem wir das Gas vorsichtiger abgefüllt hatten, konnten nun eine Zündung stattfinden, da die benötigten Verhältnisse gegeben waren.

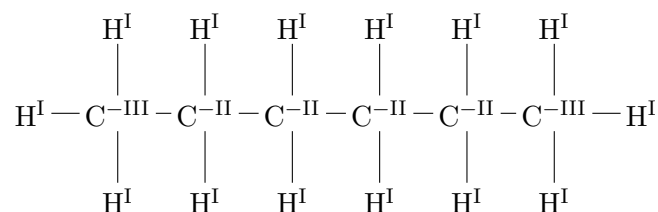
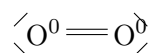
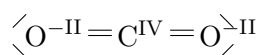
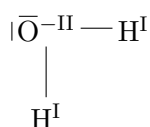
Mit der 1.5 Fachen Menge oberhalb des oberen Zündbereiches konnte das Gemisch nicht gezündet werden, da zu wenig Sauerstoff vorhanden war. Als der Deckel entfernt war, entwich immer mehr Gas und wurde durch sauerstoffhaltige Luft ersetzt, solange bis ein zündbares Gemisch vorhanden war.

3 Chemischer Hintergrund

3.1 Verbrennungsreaktion am Beispiel von Hexan



3.2 Oxidationszahlen

Abbildung 1: Oxidationszahlen von Hexan (C_6H_{14})Abbildung 2: Oxidationszahlen von Sauerstoff (O_2)Abbildung 3: Oxidationszahlen von Kohlenstoffdioxid (CO_2)Abbildung 4: Oxidationszahlen von Wasser (H_2O)

3.3 Reduktion und Oxidation

$\text{O}^0 \rightarrow \text{O}^{-\text{II}}$ Reduktion (Zufuhr von 2 Elektronen)
 $\text{C}^{-\text{II}} \rightarrow \text{C}^{\text{IV}}$ Oxidation (Entzug von 6 Elektronen)
 $\text{C}^{-\text{III}} \rightarrow \text{C}^{\text{IV}}$ Oxidation (Entzug von 7 Elektronen)
 $\text{H}^{\text{I}} \rightarrow \text{H}^{\text{I}}$ Keine Veränderung

3.4 Redoxreaktion

Oxidation 1: $2\text{C}^{-\text{III}} - 2 \cdot 7e \rightarrow 2\text{C}^{\text{IV}}$

Oxidation 2: $4\text{C}^{-\text{II}} - 4 \cdot 6e \rightarrow 4\text{C}^{\text{IV}}$

Reduktion : $19\text{O}^0 + 19 \cdot 2e \rightarrow 19\text{O}^{-\text{II}}$

Ausserdem : $14\text{H}^{\text{I}} \rightarrow 14\text{H}^{\text{I}}$

Redoxreaktion : $2\text{C}^{-\text{III}} + 4\text{C}^{-\text{II}} + 19\text{O}^0 + 14\text{H}^{\text{I}} \rightarrow 6\text{C}^{\text{IV}} + 19\text{O}^{-\text{II}} + 14\text{H}^{\text{I}}$

Korrektur : $2\text{C}_6\text{H}_{14} + 19\text{O}_2 \rightarrow 12\text{CO}_2 + 14\text{H}_2\text{O}$

4 Berechnung der optimalen Menge

Annahme: Die Luft in dem Gefäss besteht zu 100% aus reinem Sauerstoff (O_2). Ausserdem herrschen Normbedingungen.

1 Mol Gas entspricht 22.4L. Das Gefäss hat also ein Volumen von $\frac{1}{22.4}$ Mol. Die Anzahl Teilchen pro Mol ist festgelegt. In der Verbrennungsgleichung sind 38 Sauerstoff (O) Teilchen, 12 Kohlenstoff (C) Teilchen und 28 Wasserstoff (H) Teilchen enthalten. Zusammen erhalten wir: $38 + 28 + 12 = 78$ Teilchen.

Menge Sauerstoff: $\frac{38}{78} \cdot \frac{1}{22.4} = 0.021749$ Mol

Menge Hexan: $\frac{40}{78} \cdot \frac{1}{22.4} = 0.022894$ Mol

1 Mol Hexan lässt sich ermitteln durch Molzahlen von Kohlenstoff und Wasserstoff:
 $6 \cdot 12.011 + 14 \cdot 1.0079 = 86.1766 \frac{g}{mol}$

$$0.022894 mol \cdot 86.1766 \frac{g}{mol} = 1.97291g$$

$$\frac{1.97291g}{0.659 \frac{g}{mL}} = 2.99379mL$$

Die optimale Menge Hexan gemäss Verbrennungsgleichung wäre demzufolge 2.99379mL.

Dieser Wert weicht natürlich deutlich vom realen Wert ab, da die Luft nicht nur aus Sauerstoff besteht, und die Raumtemperatur wiederholt nicht berücksichtigt worden ist.

Tabellenverzeichnis

1	Fehlerabschätzung bei den Versuchen mit Hexan	3
2	Fehlerabschätzung bei den Versuchen mit Erdgas	4

Abbildungsverzeichnis

1	Oxidationszahlen von Hexan (C_6H_{14})	6
2	Oxidationszahlen von Sauerstoff (O_2)	6
3	Oxidationszahlen von Kohlenstoffdioxid (CO_2)	6
4	Oxidationszahlen von Wasser (H_2O)	6