

Chemische Energetik („Thermodynamik“)

Einführung

Chemische Reaktionen sind gekennzeichnet durch Stoffänderung und Energieumsatz, das bedeutet:

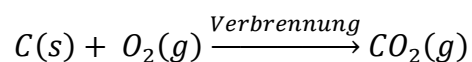
- Bei jeder chemischen Reaktion findet einerseits eine Neuverknüpfung von chemischen Bindungen statt, sodass aus Edukten dann Produkte entstehen.
- Und diese Neuverknüpfung von chemischen Bindungen ist IMMER (!) von einer Änderung der Energie begleitet.

Beide Phänomene sind untrennbar über Ursache und Wirkung verbunden:

Die Ursache der chemischen Reaktion – also die Triebfeder, bzw. der Antrieb einer chemischen Reaktion – ist IMMER (!) eine Energieänderung. Ohne Energieänderung findet keine chemische Reaktion statt! (*Achtung: bei exakter Betrachtung kommt als Triebkraft einer Reaktion später noch das Streben nach dem wahrscheinlichsten Zustand (Entropie) hinzu – hier nur der Vollständigkeit halber erwähnt.*)



Beispiel 1: Verbrennung von Kohle:



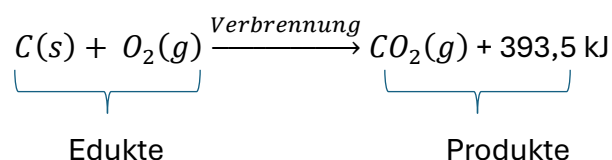
Bei der Verbrennung wird Wärme freigesetzt, der Fachbegriff lautet „die Reaktion verläuft exotherm“.

Man spricht von der **Wärmetönung** einer chemischen Reaktion (endo- oder exotherme Wärmetönung)

Setzt man ein Mol elementaren Kohlenstoff mit einem Mol elementaren Sauerstoff um (Achtung: „O₂“ entspricht einem Mol an Sauerstoff-Molekülen), so

werden 393,5 kJ freigesetzt.

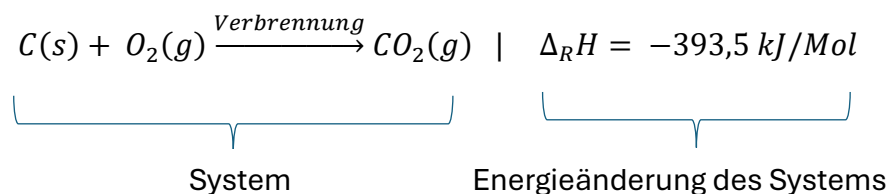
Grundsätzlich unterscheidet man zwei verschiedene Schreibweisen, wenn man den Energieumsatz in der Reaktionsgleichung berücksichtigen will:



Hier wird die Wärmeenergie wie ein Reaktionsteilnehmer betrachtet. Da die Wärmeenergie auf der Produkt-Seite steht, bedeutet: Die Wärme entsteht während der Reaktion und die Umgebung wird warm.

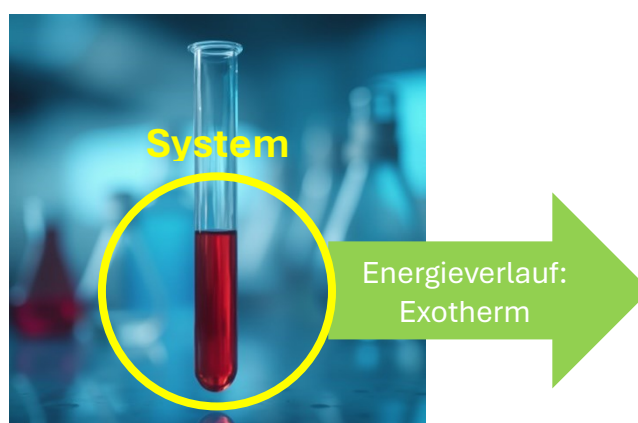
Aufgabe 1: Wo „kommt“ diese Energie eigentlich her? Entsteht sie einfach oder handelt es sich um eine Energie-Umwandlung (wie man sie in der Physik gelernt hat)?

In der Chemischen Energetik ist die Betrachtungsweise und Interpretation – und deshalb auch die Schreibweise - aber ein bisschen anders. Dieselbe Reaktion nochmal:



Der Ort des Geschehens, an dem die Reaktion abläuft, bezeichnet man als **System**. Dieses **System**, welches aus den beteiligten Stoffen besteht, ändert während der Reaktion seinen Energieinhalt. In obigem Fall verliert das **System** also die Verbrennungswärme, welche dann in die **Umgebung** verloren geht.

Weil aus dem System heraus die Wärme-Energie an die Umgebung verloren geht, ist das Vorzeichen der Energie negativ.



Aufgabe 2: Welches Vorzeichen der Energie besitzen endothermen Reaktionen? (Formuliere deine Antwort mit Begründung):

Endotherm oder exotherm?

Aufgabe 3: Fülle die folgende Tabelle aus:

Reaktion	Wärmetönung?	Vorzeichen d. Energie (chem. Energetik)
Verbrennung von Kohle (Rk. von C und O ₂)	exotherm	Negativ
Photosynthese (Pflanzen bilden Zucker aus CO ₂ / H ₂ O / Licht)		
Schmelzen von Eis		
Entladen eines Lithium-Ionen-Akkus im Smartphone		
Laden eines Lithium-Ionen-Akkus im Smartphone		
Verdampfen von Wasser		
	exotherm	
	endotherm	

Enthalpie-Begriff

Der Begriff „ $\Delta_R H$ “ bezeichnet die sogenannte „Reaktionsenthalpie“

(wer's googeln will: in diesem ‚sehr‘ speziellen Fall der CO₂-Verbrennungsgleichung ist das auch gleichzeitig die Standardbildungsenthalpie UND die Verbrennungsenthalpie – also drei Bezeichnungen gleichzeitig, und alle mit exakt demselben Wert, -393,5 kJ/mol)

Aufgabe 4: Befrage eine KI (GPT4o / Claude / Gemini / Llama405B ...) UNGEFÄHR mit dem folgenden Prompt:

„Erläutere in einfachen Worten die Bedeutung des Begriffs der Enthalpie im Kontext der chemischen Energetik.“

Vermutlich wird die KI mit den Begriffen „Innere Energie“ und „Druck mal Volumen“ antworten. Versuche im Dialog, die beiden Begriffe grundsätzlich zu verstehen, z.B. durch Fragen wie

- Was bedeutet hier "innere Energie"? Erkläre in einfachen Worten für einen Schüler.
- Und welche Bedeutung besitzt hier der Zusammenhang mit Druck und Volumen?

Wenn ihr die Antwort der KI nicht versteht, dann hakt nach, indem ihr sie z.B. auffordert „mit einfacheren Worten zu erklären“ oder „anhand einfacher Beispiele zu veranschaulichen“. Erstellt einen Dialog.

Kurze Definition des Lehrers:

Enthalpie – also die Gesamtenergie eines Systems – ist ein etwas sperriger Begriff, an den man sich gewöhnen muss (sic!). Er wird „traditionell“ bzw. historisch als Kombination der „Inneren Energie“ und der „Volumenarbeit“ bezeichnet.

Was ist die „Innere Energie“

Die „Innere Energie“ kann man sich physikalisch als gespeicherte Energie vorstellen. In der Physik haben wir in der Mittelstufe verschiedene Energieformen kennengelernt, wie z.B.

- Chemische Energie (*lässt sich sehr gut speichern*) **NICHT messbar**
- Thermische Energie (*lässt sich sehr gut speichern*) **messbar**
- Lichtenergie (*lässt sich nicht speichern – Licht bewegt sich*) **messbar**
- Mechanische Energie: Lage-E., kinetische E. (*lässt sich gut speichern*) **messbar**
- Elektrische Energie (*lässt sich relativ gut speichern*) **messbar**
- Usw.

All diese Energieformen fasst man zusammen unter „Innere Energie“ eines Systems. Man fasst es zusammen, weil man es nicht besser hinbekommt: Insbesondere die chemische Energie lässt sich nicht bestimmen – man erkennt immer nur die Änderungen durch die Energieumwandlungen. Findet nun eine Energieumwandlung statt, zum Beispiel durch eine chemische Reaktion, so kann man die Wärmeenergie dabei messen.

Welche Rolle spielt die Volumenarbeit?

Es gilt immer und universell der Energie-Erhaltungssatz. Wird bei einer chemischen Reaktion chemische Energie in eine andere Energieform umgewandelt, so gibt es neben der thermischen Energie (also Wärme) noch die Möglichkeit der Volumenänderung.

Beim Verdampfen von Wasser wird (in etwa, grob) aus einem Milliliter flüssigem Wasser ein Liter Wasserdampf. Das Wasservolumen vertausendfacht sich also während des Verdampfungsprozesses. Das Wasser muss hierbei die umgebende Luft verdrängen: nämlich das Volumen von einem Liter gegen den Luftdruck von ca. 1013 Millibar.

Konkrete Zahlenwerte:

$$E_{\text{Volumen}} = -101300 \text{ Pascal} * 0,001\text{m}^3 = -101,3 \text{ Joule} \quad (= -0,1013\text{kJ})$$

Das negative Vorzeichen kommt dadurch zustande, dass das System „Wasserdampf“ diese Energie verliert, weil es die Luft verdrängen muss.

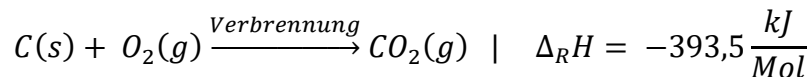
Spielt die Volumenarbeit hier eine Rolle?

Aufgabe 5: Fülle die folgende Tabelle aus:

Reaktion	Veränderung des Volumens	Vorzeichen der Volumenarbeit
Schmelzen von Eis		
Entladen eines Lithium-Ionen-Akkus im Smartphone		
Laden eines Lithium-Ionen-Akkus im Smartphone		
Verdampfen von Wasser	Positiv	Negativ
Limonade verliert Kohlensäure (Blubberbläschen entstehen)		
Eisen rostet mit Sauerstoff $Fe(s) + O_2(g) \rightarrow FeO_2(s)$		

Zusätzliche Aufgaben

6) Es gilt die Verbrennungsgleichung von Kohlenstoff mit Sauerstoff:



Die molare Masse von Kohlenstoff beträgt: $M(C) = 12g/Mol$

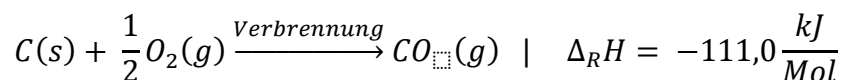
und die Molare Masse von Sauerstoff (molekular): $M(O_2) = 32g/Mol$

Berechne Reaktionsenthalpie und notwendige Masse Sauerstoff für die Umsetzung von

a) 12 Gramm Kohlenstoff

b) 60 Gramm Kohlenstoff

7) Für die unvollständige Verbrennung von Kohlenstoff und Sauerstoff zu Kohlenstoffmonoxid gilt:



a) Formuliere die Reaktion der Verbrennung von Kohlenstoffmonoxid mit Sauerstoff zu Kohlenstoffdioxid.

b) Berechne durch Kombination der beiden obigen Gleichungen und Enthalpiewerte die Reaktionsenthalpie dieser Reaktion.