



# Wirkungsgrade bei der Nutzung chemischer Energiequellen

G. Job

Job-Stiftung, c/o Institut für Physikalische Chemie, Universität Hamburg,

Martin-Luther-King Platz 6, D-20146 Hamburg



## Fragestellung

Ein Großteil der technisch genutzten Energie stammt aus chemischen Quellen. Kohle, Erdöl, Erdgas, Holz usw. - zusammen mit dem Luftsauerstoff - sind hierbei die Energieträger. Wie viel Energie tragen sie und welchen Anteil davon gelingt es zu nutzen, etwa in einem Ofen, einem Ottomotor, einer Brennstoffzelle?

## Die Standardantwort

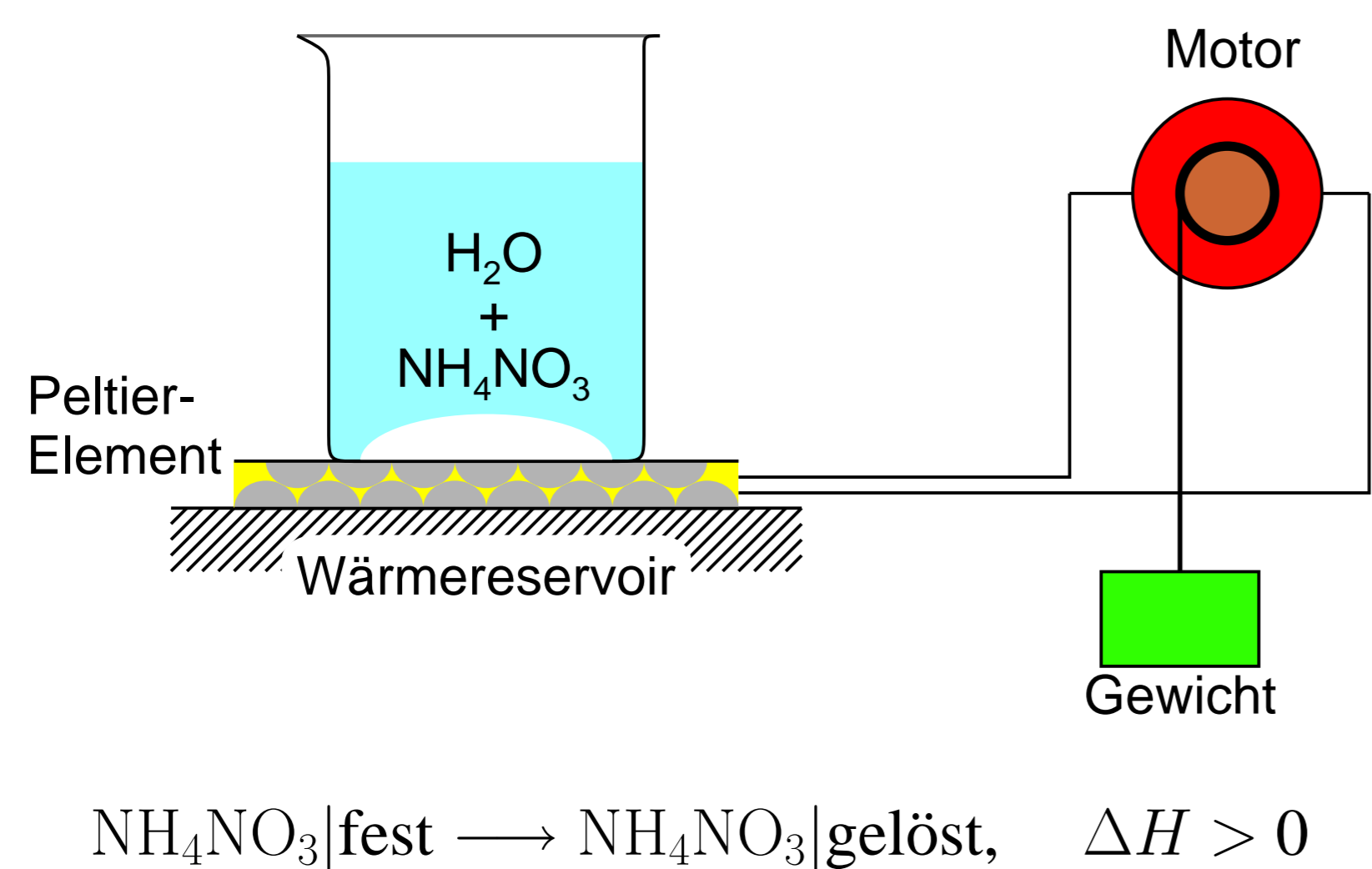
Als eingesetzte Energie gilt die Enthalpiedifferenz zwischen Ausgangs- und Endstoffen,  $H_{\text{Anf}} - H_{\text{End}} = -\Delta H$ . Bei einem Ofen scheint es einleuchtend, weil  $-\Delta H$  die entwickelte Wärme  $Q$  beschreibt, die wir hier als nutzbare Energie betrachten,  $W_{\text{nutz}} = Q$ , und für Motor und Brennstoffzelle übernehmen wir den Ansatz mit  $W_{\text{mech}}$  bzw.  $W_{\text{elek}}$  als  $W_{\text{nutz}}$  - aus Tradition:

$$\eta = \frac{W_{\text{nutz}}}{-\Delta H} \quad (1)$$

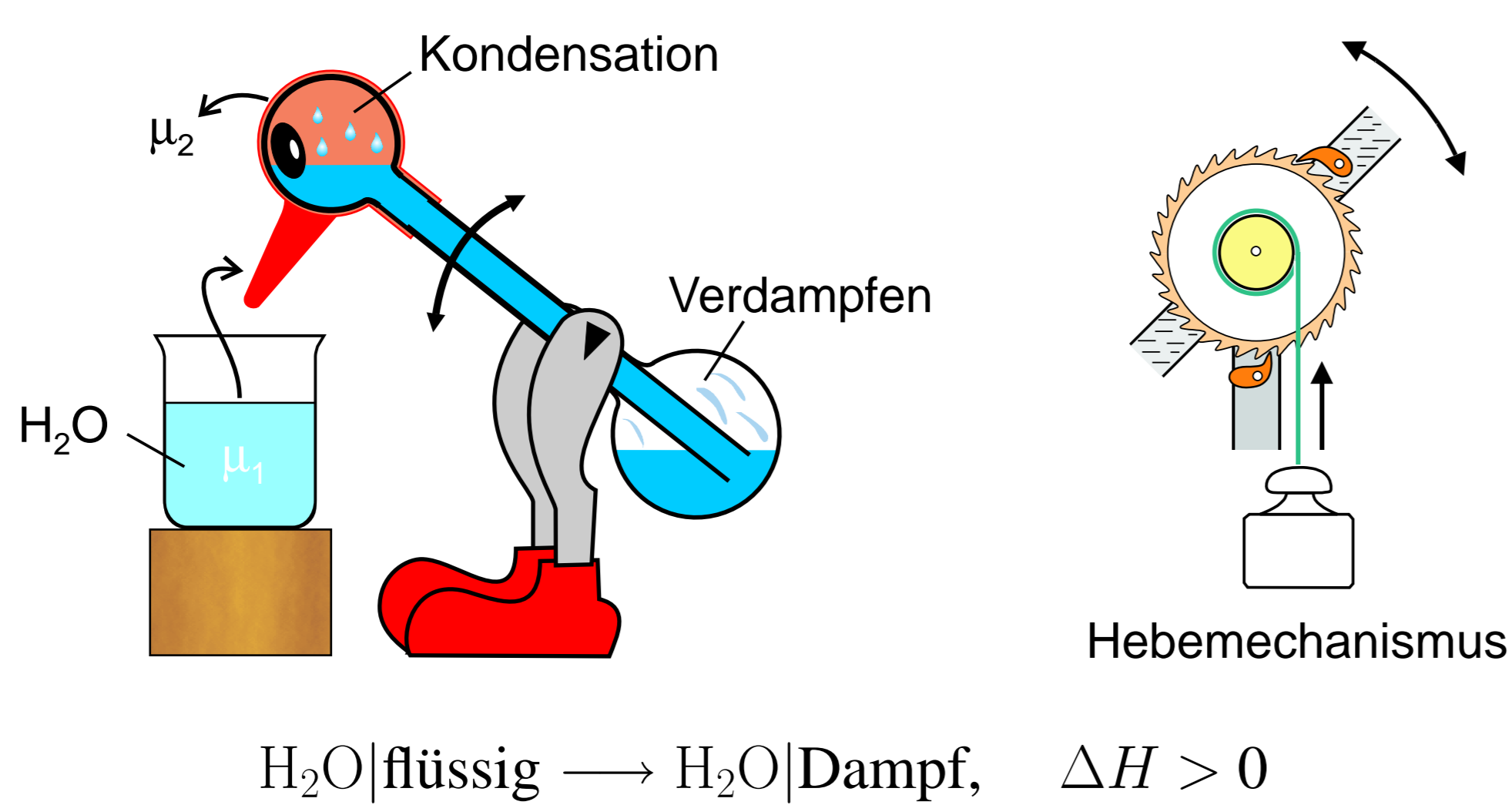
## Die Bedenken

Auch endotherme Reaktionen ( $\Delta H > 0$ ) und „athermische“ ( $\Delta H = 0$ ) können nutzbare Energie liefern und man kann mit ihrer Hilfe auch heizen. Die folgenden Versuche zeigen es:

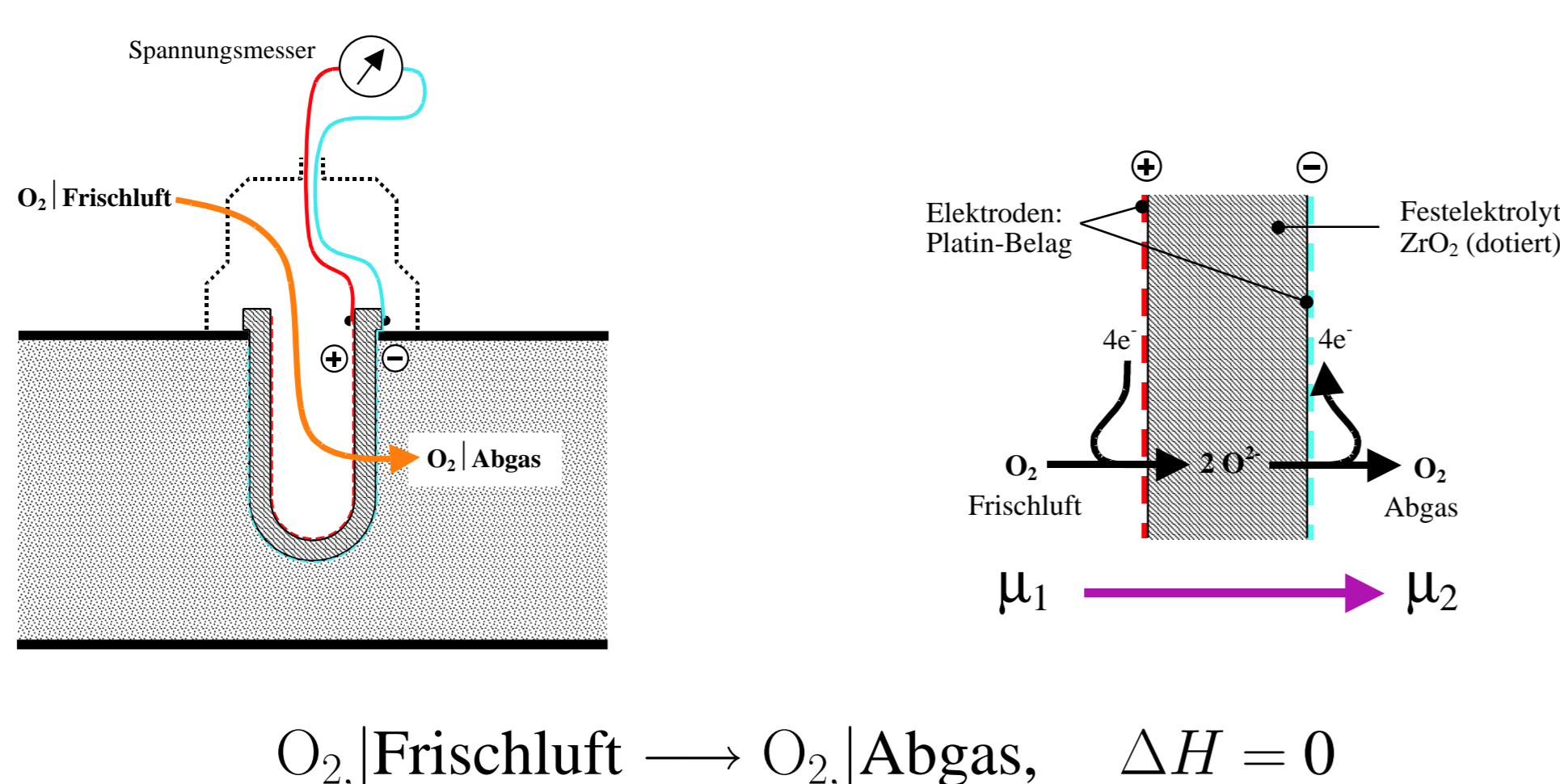
### Peltier-Element



### Trinkende Ente



### Lambdasonde



$W_{\text{nutz}}$  auf ein  $-\Delta H < 0$  oder  $= 0$  zu beziehen, ergibt sinnwidrige negative bzw. unendlich große  $\eta$ -Werte!

## Eine Teillösung

Man erhält sinnvolle  $\eta$ -Werte, wenn man die maximale Nutzarbeit  $W_{\text{max}} = -\Delta G$  statt  $-\Delta H$  als Bezugsgröße wählt:

$$\eta = \frac{W_{\text{nutz}}}{-\Delta G} \quad (2)$$

Das leuchtet ein – im Fall von Motor und Brennstoffzelle, jedoch im Fall der Heizung nur dann, wenn sich  $W_{\text{max}}$  allein zu diesem Zweck nutzen lässt. Für eine übliche Ofenheizung trifft dies jedoch nicht zu!  $\Delta G$  und  $\Delta H$  unterscheiden sich um das Glied  $T \cdot \Delta S$ . Dieses Glied kann je nach Vorzeichen die gelieferten Wärmemenge vergrößern oder verringern.

## Die Rolle der Entropie beim Heizen

Um ein Haus im Winter warm zu halten, müssen wir die Entropie, die das Haus durch Wände, Türen und Fenster verliert, ständig ersetzen. Das können wir, indem wir z.B. Entropie

- mit dem Heißwasser einer Fernheizung liefern lassen,
- in einem Elektroofen im Haus erzeugen,
- in den Flammen eines Ölbrenners freisetzen,
- mittels einer Wärmepumpe von außen ins Haus schaffen.

Der Zweck ist derselbe, der Energieverbrauch unterschiedlich.

## Nutzenergie einer Heizung

Entropie erzeugen kostet soviel Energie, wie Entropie aus einem absolut kalten Speicher ( $T_1 = 0$ ) auf die gewünschte Temperatur  $T_2$  heraufzupumpen. Sind wärmere Entropiespeicher verfügbar ( $T_1 > 0$ ), heißt daher *Entropie erzeugen Energie verschwenden*. Der Idealfall ist eine Wärmepumpe, die Entropie  $S$  vom Niveau  $T_1$  auf das Niveau  $T_2$  hebt, ohne dabei Entropie zu erzeugen. Nur der Energieverbrauch hierfür kann als Nutzenergie gelten; was darüber hinausgeht, ist Verlust:

$$W_{\text{nutz}} = S \cdot (T_2 - T_1) \quad (3)$$

Nach dieser Überlegung ist es falsch,  $Q_2 = S \cdot T_2$  als Nutzenergie anzusehen. Dies führt bei Wärmepumpen zu Wirkungsgraden über 100%, was zu dem Fehlschluss verleitet, man könne mit derartigen Pumpen mehr Energie herausholen, als man hineingesteckt hat.

## Wirkungsgrad einer Heizung

Mit der Korrektur gemäß Gleichung (3) bleibt die Gleichung (2) auch für eine übliche Ofenheizung sinnvoll, sofern man annehmen darf, dass alle an der Verbrennungsreaktion beteiligten Stoffe (Brennstoff, Zuluft, Abgas, Kondenswasser ...) dank fortschrittlicher Brennwertechnik bei der Außentemperatur  $T_1$  zu- oder abfließen. Ob die Entropie dabei der kalten Umwelt oder den gleich kalten Stoffen entnommen oder diesen zugeführt wird, macht keinen Unterschied. Für den stark temperaturabhängigen  $\Delta G$ -Wert ist der bei  $T_1$  einzusetzen.

## Ausblick

Unsere Gleichung (2) für den Wirkungsgrad ist noch unnötig speziell. Die Verwendung des  $\Delta G$ -Wertes zur Beschreibung des Energieaufwandes schränkt die Gleichung ein: auf gleichen, konstanten Druck und gleiche, konstante Temperatur für alle Stoffe. Die Verwendung chemischer Potentiale bietet eine einfache Möglichkeit, nicht nur dies zu vermeiden, sondern auch die Analogien mit anderen Bereichen der Physik aufzuzeigen und damit den Ansatz auf einer weit allgemeineren Grundlage zu rechtfertigen und verständlich zu machen.