

Thermodynamik mit Spaß – ein neues Lehrkonzept



Regina Rüffler, Georg Job



c/o. Institut für Physikalische Chemie,
Universität Hamburg

Einführung



Die Thermodynamik wird allgemein als schwierige Wissenschaft empfunden - nicht nur von Studierenden. Auf Grund ihrer geschichtlichen Entwicklung besitzt sie eine ungewöhnliche Struktur, die mit den Vorstellungen in anderen Teilen der Physik und Chemie kaum kompatibel ist und damit ein intuitives Verständnis erschwert.

Thermodynamik
mit „Spaß“



Mit drei Schritten zum Ziel



1. Ein neues Lehrkonzept



Ein alternativer Einstieg

Erfahrungsgemäß bereiten zwei grundlegende thermodynamische Größen besondere Verständnisschwierigkeiten:

- die Entropie S und
- das chemische Potenzial μ .

So wird zum Beispiel das chemische Potenzial meist beschrieben als partielle Ableitung

~~$$\mu = \left(\frac{\partial G}{\partial n_i} \right)_{p,T}$$~~

einer Größe, in die Energie und Entropie involviert sind.

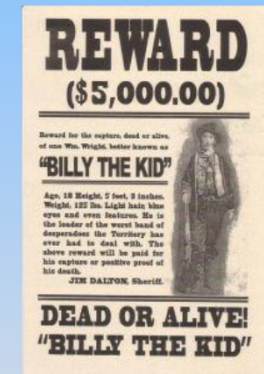
Wir schlagen alternativ einen Einstieg vor, der keine besonderen Vorkenntnisse wie höhere Mathematik erfordert.

Chemisches Potenzial als Grundbegriff



Aus dem Alltag ist jedem bekannt, dass sich die uns umgebenden Dinge gestaltlich und stofflich mehr oder weniger schnell verändern.

Das *chemische Potenzial* μ wird *direkt* als ein allen Stoffen innewohnender „*Umbildungstrieb*“ eingeführt, der durch seine wichtigsten und leicht erkennbaren Merkmale charakterisiert wird wie eine gesuchte Person durch einen „Steckbrief“.



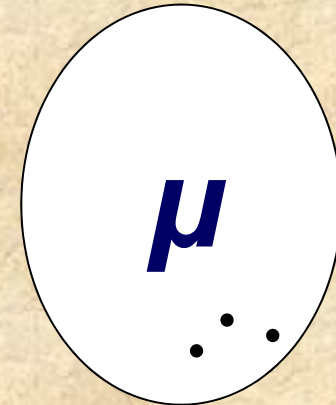
Diese *phänomenologische Charakterisierung* wird ergänzt durch die Angabe eines direkten Messverfahrens, eine Vorgehensweise, wie sie bei verschiedenen Basisgrößen wie Länge, Zeit, Masse üblich ist.

Wanted

◆ Die Neigung eines Stoffes

- sich mit anderen Substanzen *umzusetzen*,
- sich in eine andere Zustandsart *umzuwandeln*,
- sich im Raum *umzuverteilen*,

lässt sich durch ein und dieselbe Größe – sein **chemisches Potenzial μ** – ausdrücken.



◆ Die Stärke dieser Neigung, d. h., der Zahlenwert von μ

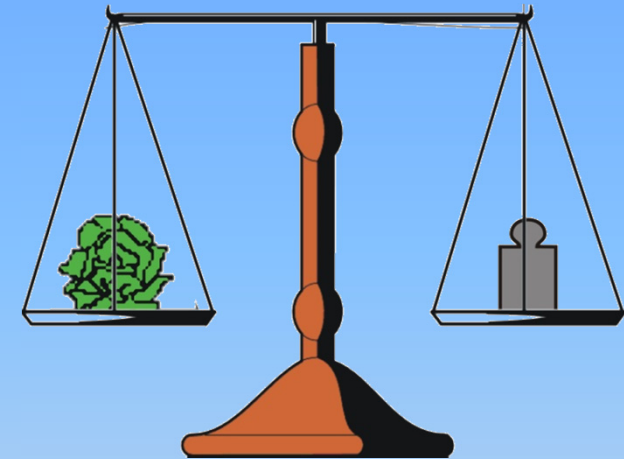
- wird durch die *Art* des Stoffes bestimmt
- und durch das *Umfeld* (Temperatur, Druck, Konzentration, ...),
- aber nicht durch die Art der Reaktionspartner oder Produkte.

◆ Eine *Umsetzung*, *Umwandlung*, *Umverteilung* kann freiwillig nur eintreten, wenn die Neigung hierzu im Ausgangszustand stärker ausgeprägt ist als im Endzustand, d. h., es existiert ein

Potenzialgefälle: $\sum_{\text{Ausc.}} \mu_i > \sum_{\text{End}} \mu_j$

Gewicht als Vorbild

Dass es leichte und schwere Dinge gibt, gehört zu unser aller Alltagserfahrung. Der Umgang mit Waage und Wägestücken ist jedermann geläufig – auch ohne Schulchemie und -physik.

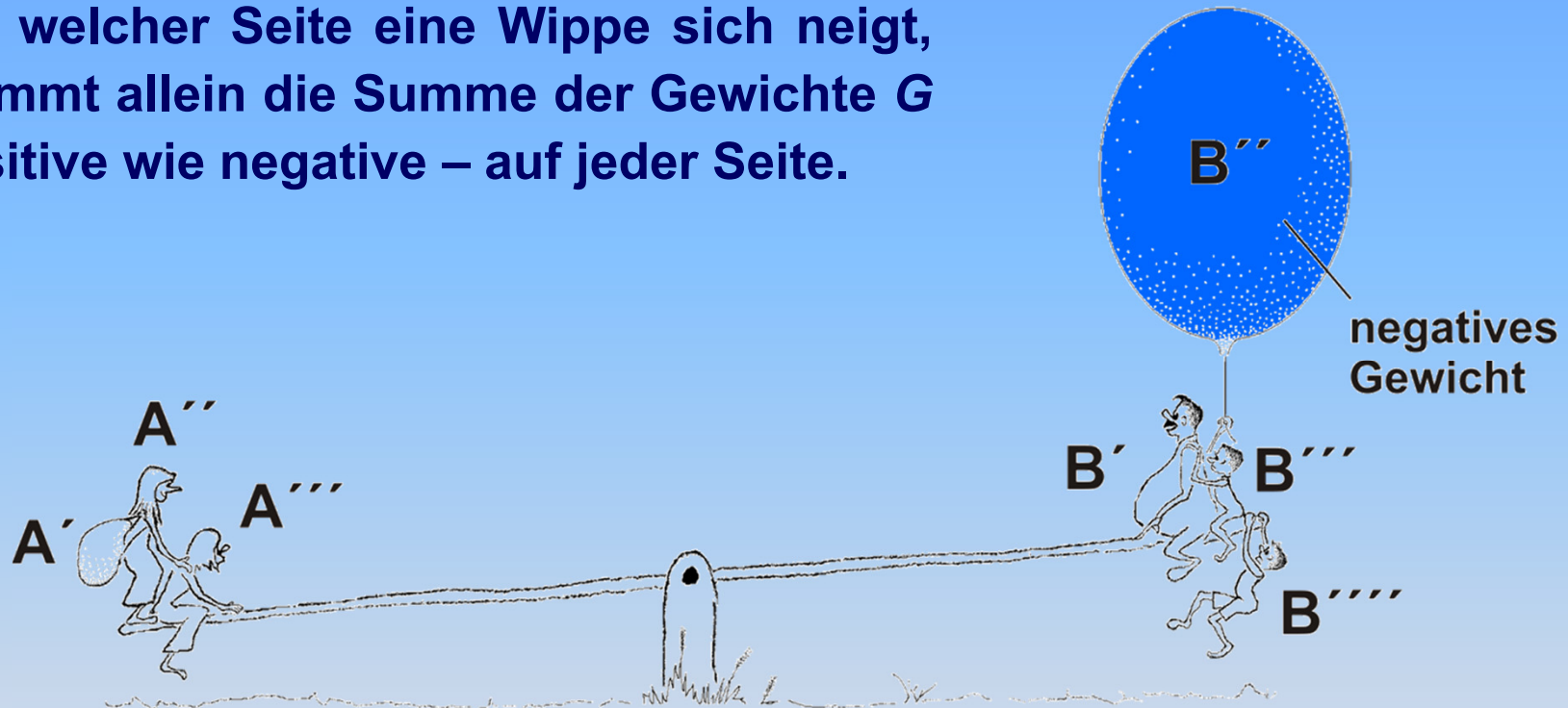


Das Gewicht G – der „Trieb“ eines Gegenstandes, zu Boden zu sinken – kann daher als einfaches Muster für die *Metrisierung* einer Eigenschaft und damit für die Definition einer physikalischen Größe dienen.

Das Spiel der Gewichtskräfte an einer Waage ist zudem ein gern benutztes Vorbild für die Einstellung stofflicher Gleichgewichte, ja, für stoffliche Vorgänge überhaupt.

Gewicht als Vorbild

Nach welcher Seite eine Wippe sich neigt, bestimmt allein die Summe der Gewichte G – positive wie negative – auf jeder Seite.



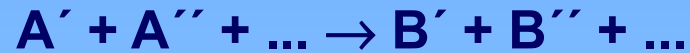
allgemein:

Die linke Seite gewinnt, wenn $G(A') + G(A'') + \dots > G(B') + G(B'') + \dots$

Gleichgewicht herrscht, wenn $G(A') + G(A'') + \dots = G(B') + G(B'') + \dots$

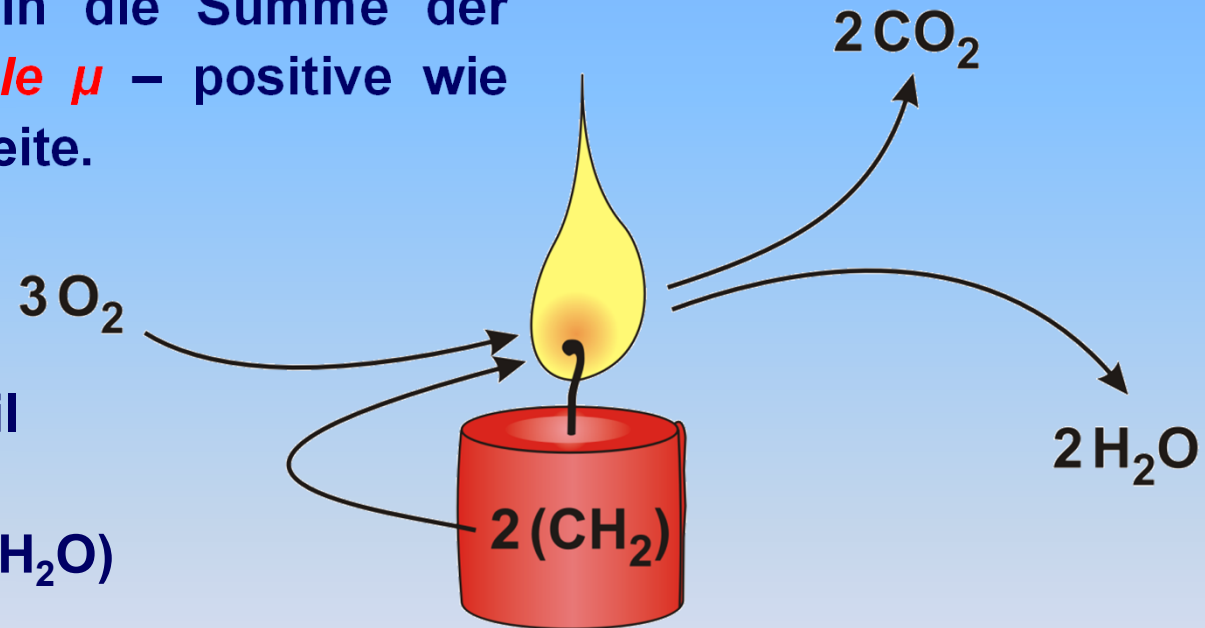
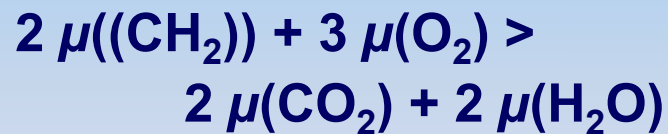
Wettstreit der Stoffe

Nach welcher Seite eine Umsetzung



strebt, bestimmt allein die Summe der **chemischen Potenziale μ** – positive wie negative – auf jeder Seite.

Die Kerze brennt, weil

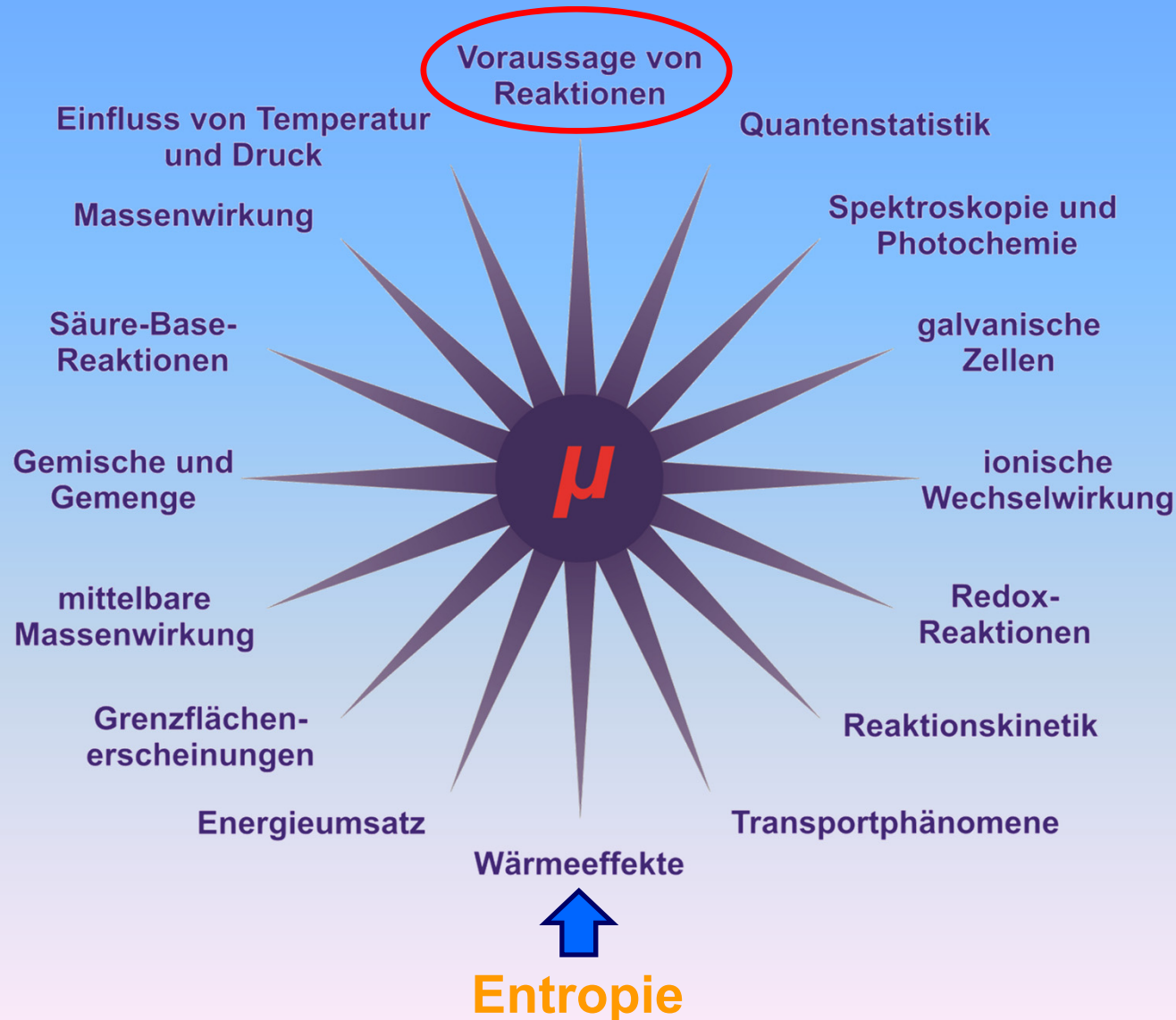


allgemein:

Die linke Seite „gewinnt“, wenn $\mu(A') + \mu(A'') + \dots > \mu(B') + \mu(B'') + \dots$

Gleichgewicht herrscht, wenn $\mu(A') + \mu(A'') + \dots = \mu(B') + \mu(B'') + \dots$

Schlüsselstellung des chemischen Potentials



Experimentalvorlesung „Thermodynamik“

Bewertung durch die Studierenden

Experimentphysik, Chemie, Thermodynamik \Rightarrow Entropie, Enthalpie usw.
 \Rightarrow besseres Verständnis bei Thermodynamik - Veranstaltung; positiv

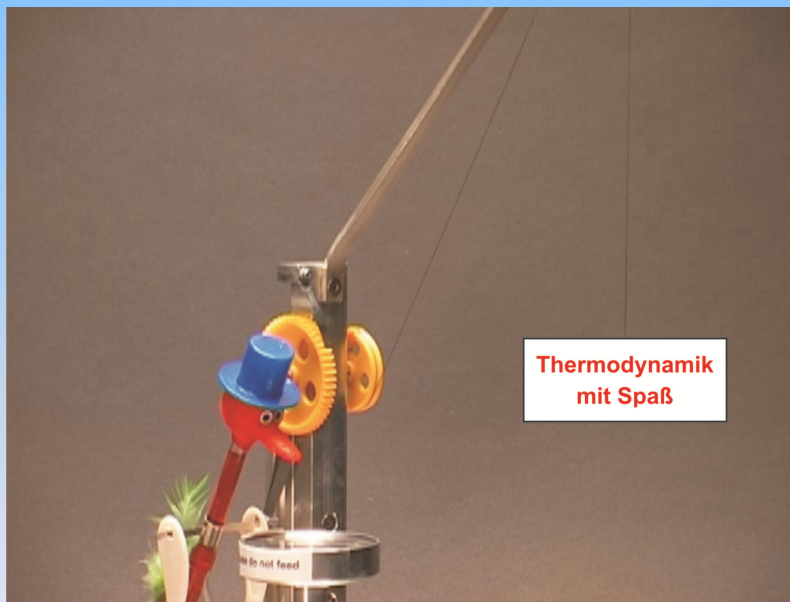
- übermittelt viel Spaß an der Thematik

+ Begeisterung für schwieriges, trockenes Thema

+ Humor

+ zahlreiche praktische Beispiele

2. Demonstrationsexperimente



Demonstrationsexperimente

Gerade die physikalische Chemie und hier insbesondere die Thermodynamik wird von den Studierenden oft als sehr abstrakt und wenig alltagstauglich empfunden. Daher wird im Rahmen des neuen Konzeptes konsequent an Beispiele aus dem Alltag und vor allem an eine Vielzahl von ausgewählten **Demonstrationsexperimenten** angeknüpft.

„Pool“ von weit über 100 Schauversuchen (83 allein zur Thermodynamik) steht zur Verfügung

in jeder Doppelstunde der Vorlesung „Thermodynamik“ Präsentation von drei bis sieben Experimenten

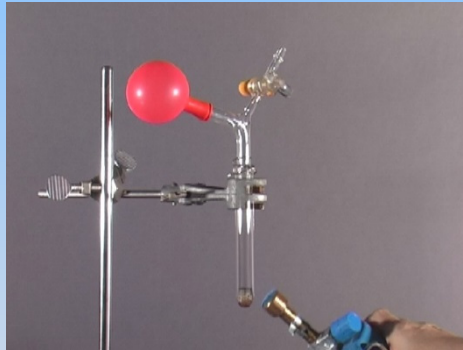
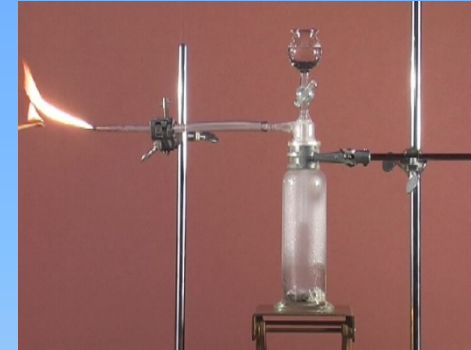
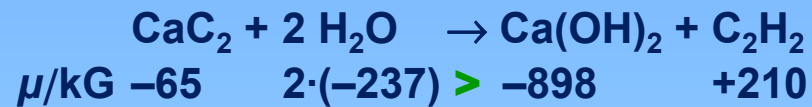


Beispiel „Chemisches Potenzial“



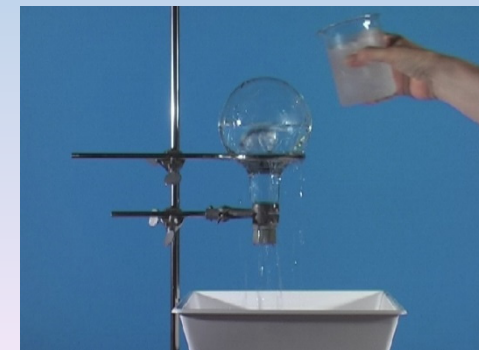
Karbidlampe

Voraussage von Reaktionen



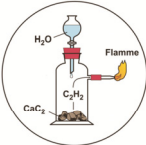
Thermische Zersetzung von Silberoxid T-Abhängigkeit des chemischen Potentials

Sieden durch Kühlen p-Abhängigkeit des chemischen Potentials






Zusatzmaterial

Karbidlampe
- auf Höhlenforschers Spuren -



Geräte:
Waschflasche mit Tropftrichter
kurzer Gummischlauch
Glasrohr mit ausgezogener Spitze
Streichholz oder Feuerzeug
langer Holzspan
Reagenzglas für Explosionsprobe

Chemikalien:
Calciumcarbid (ideale Körnung: 20 – 40 mm)
entionisiertes Wasser

Sicherheitshinweise:
Calciumcarbid (CaC_2):
 H260
 P223, P231 + P232, P370 + P378, P422
 Ethin (Acetylen) (C_2H_2):
 H220
 P210
 Calciumhydroxid ($\text{Ca}(\text{OH})_2$):
 H318
 P280, P305 + P351 + P338, P313

Ethin ist hochentzündlich und bildet mit Luft explosionsfähige Gemische („Acetylen-Knallgas“). Da das Gas insbesondere durch Verunreinigungen giftig ist, muss unter dem Abzug gearbeitet werden. Das Tragen einer Schutzbrille ist erforderlich.

Versuchsdurchführung:
Der Tropftrichter wird mit Wasser, die Waschflasche mit einigen Calciumcarbidbrocken gefüllt. Man lässt **vorsichtig!** Wasser zutropfen, bis sich eine lebhafte Gasentwicklung einstellt. Dann schließt man den Hahn des Tropftrichters. Zunächst tingt man das ausströmende Gas in einem Reagenzglas auf und prüft auf das Vorliegen von Acetylen-Knallgas durch Entzünden mit dem glimmenden Span. Liegt keine Explosionsgefahr mehr vor, d. h. ist die Luft weitestgehend aus der Waschflasche verdrängt, kann das Gas direkt an der Glasspitze mit dem Span angezündet werden (eventuell nach nochmaligem Zutropfen von Wasser). Zur Vermeidung der Explosionsgefahr durch Acetylen-Knallgas ist es empfehlenswert, die Waschflasche vorher mit Stickstoff zu füllen.

Beobachtung:
Das gebildete Ethin verbrennt mit stark rubender, leuchtender Flamme. Man bemerkt einen unangenehmen, leicht knoblauchähnlichen Geruch.

Erstellung von ausführlichen *Versuchsanleitungen* unter Berücksichtigung von GHS und Gefahrstoffverordnung

Eigenproduktion von *Videos*



Experimentalvorlesung „Thermodynamik“

Bewertung durch die Studierenden

Die vielen Versuche waren toll es macht
wiederaufmerksam und verdeutlicht die Theorie.

die vielen Versuche und Videos sind hilfreich um
den Paraxisbezug zu verstehen.

Struktur ~~was~~ ist sehr positiv, besonders gut die anschaulichen
Experimente zwischen durch.

gut ~~sind~~ ist die hohe Anzahl
an Demonstrationen

3. Freihand- und Mitmachexperimente



Freihand- und Mitmachexperimente

Freihandversuche, die während der Vorlesung durchgegeben werden, und Mitmachexperimente in der Pause sollen die Studierenden aktivieren und ihre Motivation fördern.



Hip Hop Hopper
Energieumwandlung

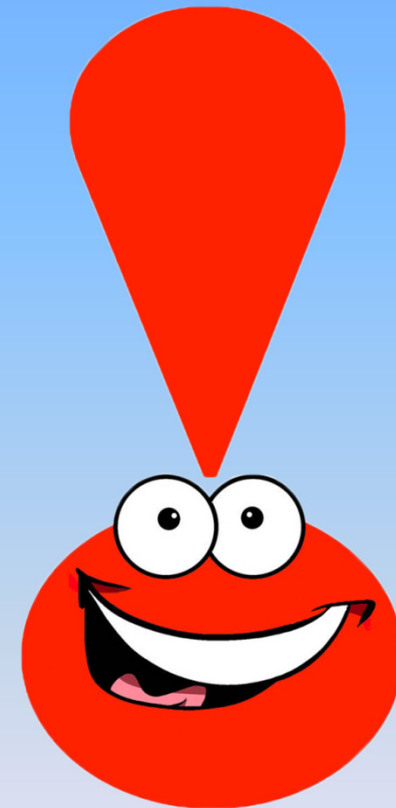
Bimetallic Jumping Disc
Thermische Expansion

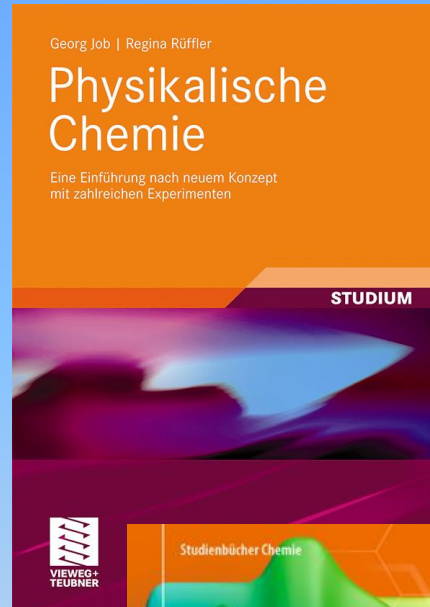


Kartoffelkanone
Gas Law Apparatus
BOYLE-MARRIOTTESCHES
Gesetz



Thermodynamik mit Spaß



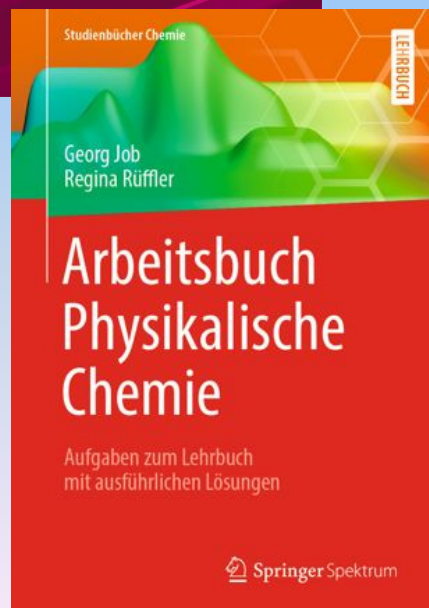


Georg Job, Regina Rüffler
Physikalische Chemie

Eine Einführung nach neuem Konzept
mit zahlreichen Experimenten

Springer-Verlag, Studienbücher Chemie

ISBN 978-3-835-10040-4



Georg Job, Regina Rüffler
Arbeitsbuch Physikalische Chemie

Aufgaben zum Lehrbuch mit ausführlichen
Lösungen

Springer-Verlag, Studienbücher Chemie

ISBN 978-3-658-25109-3



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.

**Weitere Informationen finden Sie
auf unserer Homepage und Facebookseite:**

www.job-stiftung.de

[@JobFoundationPhysChem](https://www.facebook.com/JobFoundationPhysChem)

