

Kalorimetrie – Einstieg in thermodynamische Grundlagen

Ein Beitrag von Dr. Sebastian Röder
Mit Illustrationen von Wolfgang Zettlmeier



© Colourbox

Gerade im Umgang mit dem Begriff der Energie manifestieren sich bei Schülerinnen und Schülern (SuS) teils Fehlvorstellungen, obwohl die Begrifflichkeit mittlerweile omnipräsent im Alltag zu sein scheint (Stichwort: Energiewende). Vertiefende thermodynamische Betrachtungen von chemischen Prozessen stellen aufgrund der erhöhten Abstraktion oft große Herausforderungen dar. Ein Zugang über einen alltagsrelevanten Sachverhalt kann hier die Zugangsschwelle senken und die Motivation der SuS deutlich erhöhen. In dieser Einheit führen die SuS dabei erst die kalorimetrische Untersuchung der Nudelverbrennung durch (hohe Handlungsorientierung) und werten diese nach einer Vorgabe aus. Die theoretischen Hintergründe werden anschließend erarbeitet und können im Anschluss wieder auf den eigens durchgeführten Versuch übertragen werden.

Impressum

RAABE UNTERRICHTS-MATERIALIEN Chemie Sek. I/II

Das Werk, einschließlich seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Es ist gemäß § 60b UrhG hergestellt und ausschließlich zur Veranschaulichung des Unterrichts und der Lehre an Bildungseinrichtungen bestimmt. Die Dr. Josef Raabe Verlags-GmbH erteilt Ihnen für das Werk das einfache, nicht übertragbare Recht zur Nutzung für den persönlichen Gebrauch gemäß vorgenannter Zweckbestimmung. Unter Einhaltung der Nutzungsbedingungen sind Sie berechtigt, das Werk zum persönlichen Gebrauch gemäß vorgenannter Zweckbestimmung in Klassensatzstärke zu vervielfältigen. Jede darüber hinausgehende Vervielfältigung ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Hinweis zu §§ 60a, 60b UrhG: Das Werk oder Teile hiervon dürfen nicht ohne eine solche Einwilligung an Schulen oder in Unterrichts- und Lehrmitteln (§ 60b Abs. 2 UrhG) vervielfältigt, insbesondere kopiert oder eingescannt, verbreitet oder in ein Netzwerk eingestellt oder sonst öffentlich zugänglich gemacht oder wiedergegeben werden. Dies gilt auch für den Einsatz von Schulen und sonstigen Bildungseinrichtungen. Die Aufführung abgedruckter musikalischer Werke ist ggf. GEMA-messpflichtig.

Für jedes Material wurden Fremdrechte recherchiert und ggf. angefragt.

In unseren Beiträgen sind wir bemüht, die Experimente nötigen Substanzen mit den entsprechenden Gefahrenhinweisen zu kennzeichnen. Dies ist eine freiwillige Service. Dennoch ist jeder Experimentator selbst angehalten, sich vor der Durchführung der Experimente genauestens über das Gefährdungspotenzial der verwendeten Stoffe zu informieren, die nötigen Vorsichtsmaßnahmen zu ergreifen sowie alles notwendiges gemäß zu tun. Es gelten die Vorschriften der Gefahrstoffverordnung sowie die Dienstvorschriften der Schulbehörde.

Dr. Josef Raabe Verlag GmbH
Ein Unternehmen der Kleinfachgruppe
Rotebühlstraße 77
70178 Stuttgart
Telefon +49 711 62900
Fax +49 711 62900-60
meinRAABE@raabe.de
www.raabe.de

Redaktion: Bugra Bozan
Satz: RÖHR MEDIA GmbH & Co. KG, Karlsruhe
Bildnachweis Titel: © Colourbox
Illustrationen: Wolfgang Zettlmeier
Korrektur: Stefan Mayer

Kalorimetrie – Einstieg in thermodynamische Grundlagen

Autor: Dr. Sebastian Röder

Methodisch-didaktische Hinweise	1
M 1: Kalorimetrie einer Nudel	4
M 2: Theoretischer Hintergrund	8
M 3: Reaktionsenthalpie und Bildungsenthalpie	10
Lösungen	12
Literatur	15

VORANSICHT

Kompetenzprofil

Niveau	vertiefend
Fachlicher Bezug	Thermodynamik, Kalorimetrie
Methode	Schülerversuch, Kleingruppenarbeit, Einzelarbeit
Basiskonzepte	Energieumsatz chemischer Reaktionen
Erkenntnismethoden	forschend-entwickelnd im Schülerversuch
Kommunikation	Versuchsauswertung, Concept Map erstellen
Bewertung/Reflexion	Bewertung der eigenen Versuchsergebnisse
Inhalt in Stichworten	Kalorimetrie, Thermodynamik, Enthalpie, Reaktionswärme, exotherm, endotherm, Heizwert, Brennwert, Nudel, Schülerversuch, Reaktionsenthalpie, Bildungsenthalpie, Verbrennungsenthalpie

Überblick:

Legende der Abkürzungen:

AB Arbeitsblatt

TX Text

ÜA Übungsaufgaben

SV Schülerversuch

Thema	Material	Methode
Kalorimetrie einer Nudel	M 1	SV
Theoretischer Hintergrund	M 2	AB, TX, ÜA
Reaktionsenthalpie und Bildungsenthalpie	M 3	AB, TX, ÜA

Kalorimetrie – Einstieg in thermodynamische Grundlagen

Methodisch-didaktische Hinweise

Gerade im Umgang mit dem Begriff der Energie manifestieren sich bei Schülerinnen und Schülern (SuS) leicht Fehlvorstellungen, obwohl die Begrifflichkeit mittlerweile omnipräsent im Alltag zu sein scheint (Stichwort: Energiewende) [1]. Vertiefende thermodynamische Betrachtungen von chemischen Prozessen stellen aufgrund der erhöhten Abstraktion oft große Herausforderungen dar. Ein Zugang über einen alltagsrelevanten Sachverhalt kann hier die Zugangsschwelle senken und die Motivation der SuS deutlich erhöhen. Der Energiegehalt von Nahrungsmitteln in Form von sog. Brennwerten ist ein entsprechendes Alltagsphänomen, das eine motivierende Einstieg ermöglicht. Die Einbindung eines Schülerversuchs in den Erarbeitungsprozess des thermodynamischen Energiebegriffs ist schon dadurch legitimiert, dass dies Experiment fundamentaler Bestandteil des naturwissenschaftlichen Lernprozesses ist [2]. Die SuS führen dabei erst die kalorimetrische Untersuchung der Nudelverbrennung durch (hohe Handlungsorientierung) und werten diese nach einer Vorgabe aus. Die theoretischen Hintergründe werden anschließend erarbeitet und können immer wieder auf den eigens durchgeführten Versuch übertragen werden. Dieses Vorgehen inkludiert, dass eine hohe Schüleraktivität vorherzusehen ist. Der Vorteil liegt dabei darin, dass „[b]ildendes Lernen, das die Selbstständigkeit des Lernenden fördert, ... nicht durch reproduktive Übernahme von Einzelkenntnissen und Fertigkeiten gewonnen [wird], sondern dadurch, dass sich der Lernende an einer begrenzten Anzahl von ausgewählten, repräsentativen Beispielen (Exemplen) aktiv an eigene Erkenntnisse, ... erarbeitet“ [3]. Dieses „learning by doing“ erhöht nachhaltig die Lerneffizienz im Chemieunterricht, was lernpsychologisch belegt ist: „90 % von dem, was wir selbst tun, können wir behalten“ [4].

Der hier vorgestellte Versuch der Kalorimetrie wurde bereits 2005 von Franke-Braun, Stäudel und Wöhrmann publiziert [5]. Der Versuch wurde vom Autor abzielend auf eine weitere Vereinfachung und Vergünstigung hin optimiert, sodass man den gesamten Aufbau

als Low-Cost-Kalorimetrie bezeichnen kann. Häufig besteht in Schulen das Problem, dass kostspielige Kalorimeter nicht zur Verfügung stehen. Als Kalorimetriegefäß dient ein durchsichtiger Kunststoffbecher (Abbildung 1 Mitte) mit dem Füllvermögen von 500 ml. Beim Erwerb ist darauf zu achten, dass man eine möglichst maximale Gefäßhöhe hat (mindestens 16 cm). Erhältlich sind diese bei verschiedenen Online-Versandhändlern. Der Vorteil der Nutzung durchsichtiger Becher ist die bessere Regulationsmöglichkeit der Verbrennung, da man diese besser verfolgen kann. Als Kupferspirale wird ein selbst gebasteltes Konstrukt verwendet: Ein Kupferrohr (Durchmesser: 6 mm, Länge 20 cm, Abbildung 1 rechts) aus dem Bastelbedarf wird spiraling um ein Tischbein gedreht, sodass ein langer Schenkel mit einem ca. eine Windung umfassenden Abschluss entsteht. Das Rohr wird am Ende der Windung mit einer Zange verengt und im Bereich der Windung werden kleine Löcher gebohrt.




Abbildung 1 – wichtige Geräte des Kalorimeters: Das RG mit Ansatz und der Kunststoffbecher sollten ähnliche Längen haben. Die Kupferspirale ist in ihrer Einsatzgröße gezeigt.

Dies hat den Vorteil, dass die abgeleiteten Verbrennungsgase gleichmäßiger in das Kalorimeter Wasser einfließen. Zudem erübrigt sich so ein Magnetrührer mit Rührfisch, da eine ausreichende Durchwirbelung stattfindet. Eine Erhöhung der Messgenauigkeit durch die

M 1 Kalorimetrie einer Nudel

Die Kalorimetrie stellt ein einfaches Verfahren dar, um die frei werdende Energie einer chemischen Reaktion zu ermitteln. Wird beispielsweise eine Nudel nahezu vollständig verbrannt (Reaktion mit Sauerstoff), so entspricht die frei werdende Energie in etwa dem Energiegehalt der Nudel.

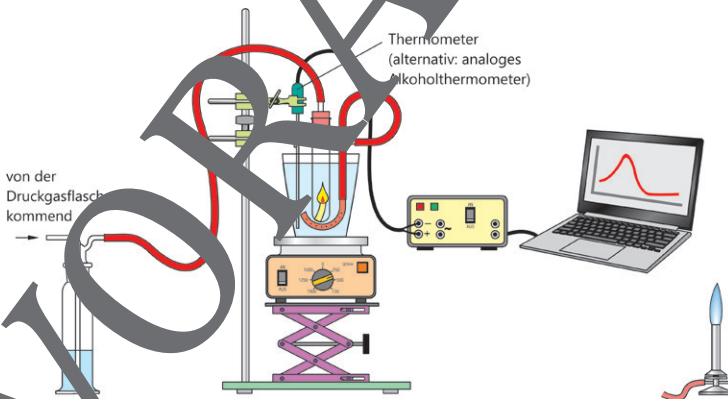
Chemikalien

- Sauerstoff (Druckflasche)  
- Nudel (Penne/Tortiglioni)

Geräte

- Schutzbrille
- Plastikbecher 0,5 l
- Kupferrohr gebogen und gelocht
- Schlauchmaterial
- Spatel
- Waage
- Tiegeltange
- Stativmaterial
- Laborboy
- Reagenzglas mit Ansatz
- Pipetten mit Gasrohr
- Gaswaschflasche
- Uhrglas
- Bunsenbrenner
- Thermometer
- Stoppuhr

Versuchsaufbau



© Weyand Zettlmeier

M 2 Theoretischer Hintergrund

Die Enthalpie H ist eine Zustandsgröße, die energetische Betrachtungen von chemischen Reaktionen bei konstantem Druck relativ einfach zugänglich macht. Die Reaktionsenthalpie setzt sich aus der Änderung der inneren Energie U und der durch die Reaktion geleisteten Volumenarbeit ($p \cdot \Delta V$) zusammen:

$$\Delta_r H = \Delta_r U + p \cdot \Delta V$$

Die innere Energie beschreibt dabei die Gesamtenergie eines Systems, die sich aus verschiedenen Energieformen zusammensetzt.

Bei konstantem Druck (also offenen Reaktionsystemen) gilt darüber hinaus, dass die Reaktionswärme, also die Wärmemenge, die bei einer chemischen Reaktion an die Umgebung abgegeben bzw. aus der Umgebung aufgenommen wird,

$$\Delta_r H = Q_r$$

ist. Hieraus ergibt sich für konstanten Druck, dass

$$\Delta_r H = Q_r$$

ist.

Die Verbrennungsenthalpie $\Delta_r H$ ist die Reaktionsenthalpie eines Verbrennungsvorgangs und stellt durch die Reaktionswärme dieses Prozesses (bei konstantem Druck) dar. Alle Verbrennungen setzen Wärme frei. Die Verbrennungsenthalpie hat daher ein negatives Vorzeichen. Generell werden Prozesse mit negativen Enthalpiewerten als exotherm bezeichnet.

Der RAABE Webshop: Schnell, übersichtlich, sicher!



Wir bieten Ihnen:



Schnelle und intuitive Produktsuche



Übersichtliches Kundenkonto



Komfortable Nutzung über
Computer, Tablet und Smartphone



Höhere Sicherheit durch
SSL-Verschlüsselung

Mehr unter: www.raabe.de