

SCHOOL-SCOUT.DE



Unterrichtsmaterialien in digitaler und in gedruckter Form

Auszug aus:

*Berechnen von Reaktionsenthalpien - ein Abiturtraining (Sek.
II)*

Das komplette Material finden Sie hier:

School-Scout.de



Berechnen von Reaktionsenthalpien – ein Abiturtraining

Dr. habil. Harald Kosegarten (Linden) und Philipp Haas (Pohlheim)

Niveau: Sek. II

Dauer: 1–10 Doppelstunden

Bezug zu den KMK-Bildungsstandards

Fachwissen: Begriff Reaktionsenthalpie, Berechnen von Reaktionsenthalpien auf der Basis von gemessenen Wärmemengen im Kalorimeter, Hess'scher Wärmesatz, Berechnen von Reaktionsenthalpien mit Hilfe von Bildungs-, Verbrennungs- und Bindungsenthalpien auf der Basis des Hess'schen Wärmesatzes (Einschrittreaktionen und Reaktionskreisläufe).

Erkenntnisgewinnung: Anwendung von Gesetzmäßigkeiten zur Berechnung von Reaktionsenthalpien.

Kommunikation: fachlich korrektes und folgerichtiges Argumentieren, Vertreten eigener Standpunkte zu chemischen Sachverhalten und selbstkritische Reflexion von Einwänden, Vertreten von Standpunkten gegenüber der Lehrkraft und den Mitschülerinnen und Mitschülern.

Bewertung: Bewerten und Diskutieren der verschiedenen Rechenwege von Reaktionsenthalpien sowie der Bedeutung von molaren und spezifischen Enthalpien im Kontext von Energiedichte, Energiespeicherung und Energiefreisetzung (Heiz- und Brennwerte von Treib-, Brenn-, Heiz-, Explosiv- und Nährstoffen).

Der Beitrag enthält Materialien für

✓ Übungen (Abiturtraining) ✓ Binnendifferenzierung ✓ Präsentation und Diskussion

I/F

Hintergrundinformationen

Der Begriff der Reaktionsenthalpie

Der Begriff **Reaktionsenthalpie** ($\Delta_r H$) ist ein allgemeiner Oberbegriff. Je nach Reaktionstyp wird zwischen Verbrennungsenthalpie, Neutralisationenthalpie, Lösungsenthalpie, Bildungsenthalpie etc. unterschieden. Nicht nur bei chemischen Reaktionen, sondern auch bei der Änderung des Aggregatzustandes werden Enthalpien angegeben, zum Beispiel Verdampfungsenthalpie ($\Delta_v H$) oder Schmelzenthalpie ($\Delta_s H$).

Die Schreibweise der Formelsymbole der Enthalpien ist leider nicht immer einheitlich. Wir verwenden hier die Abkürzungen der Klett-Schulbücher: Der Index m zeigt stets eine molare (auf 1 mol bezogene) Größe an; das Zeichen ° steht für Standardbedingungen (101,3 kPa; 298 K); $\Delta_r H_m^\circ$ = molare Reaktionsenthalpie unter Standardbedingungen (angegeben in J/mol); $\Delta_r H^\circ$ = Reaktionsenthalpie unter Standardbedingungen (angeben in J).

Die **Verbrennungs- und Bildungsenthalpien** sind die wichtigsten Reaktionsenthalpien:

1) Die Bildungsenthalpie ($\Delta_f H$) (f: engl. formation = Bildung) ist die Enthalpie zur Bildung einer Verbindung aus seinen Elementen. Die Bildungsenthalpien der Elemente sind definitionsgemäß Null. Unter Standardbedingungen wird wieder unterschieden zwischen $\Delta_f H_m^\circ$ und $\Delta_f H^\circ$.

2) Viele Stoffe lassen sich in Gegenwart von Sauerstoff leicht verbrennen. Die Höhe der Verbrennungsenthalpie ($\Delta_c H$) (c: engl. combustion = Verbrennung) hängt entscheidend davon ab, wie vollständig die Verbrennung ist. Man unterscheidet die molare Verbrennungsenthalpie ($\Delta_c H_m^\circ$) sowie die spezifische und die volumenbezogene Verbrennungsenthalpie. Die spezifische Verbrennungsenthalpie ($\Delta_c H_{\text{spez.}}^\circ$) ist die Verbrennungsenthalpie pro Gramm, die volumenbezogene Verbrennungsenthalpie ($\Delta_c H_{\text{vol.}}^\circ$)

wird pro Milliliter angegeben. Der Einfachheit halber verwenden wir in diesem Beitrag für beide Bezüge das Formelsymbol $\Delta_c H^\circ_{\text{spez}}$. Die Energie, die bei der Verbrennung von einem Gramm bzw. von einem Milliliter eines Stoffes frei wird, wird oft auch als sein **Brennwert** bezeichnet. Der Brennwert eines Brennstoffes gibt somit die Wärmemenge an, die bei Verbrennung und anschließender Kondensation des Wasserdampfes bei 25 °C freigesetzt wird. Der **Heizwert** entspricht der nutzbaren Wärmemenge, ohne dass Wasserdampf in den Verbrennungsabgasen kondensiert (keine Kondensationswärme). Er ist deshalb kleiner als der Brennwert. Beide Größen charakterisieren die **Energiedichte von Brennstoffen**.

Berechnung von Reaktionsenthalpien aus Bildungs- und Verbrennungsenthalpien

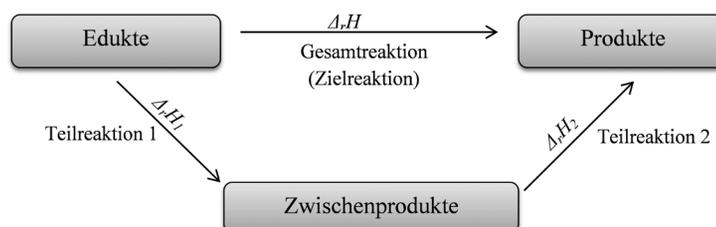
Bei vielen chemischen Reaktionen lassen sich Reaktionsenthalpien über die kalorimetrische Messung der Reaktionswärme bestimmen (Kosegarten und Haas 2013). Es gibt allerdings auch chemische Reaktionen, die experimentell schwierig durchführbar sind, etwa wenn das entstandene Produkt der betrachteten Reaktion sofort weiterreagiert oder wenn für die Zersetzung einer Verbindung sehr viel Energie notwendig ist, was die Verwendung von Wasser zur Messung von Temperaturänderungen einschränkt. Außerdem sind viele Stoffe nicht einfach aus ihren Elementen herstellbar – mit anderen Worten: Die Bildungsreaktion von vielen Verbindungen aus ihren Elementen ist nur rein hypothetisch. In diesen Fällen können Reaktionsenthalpien dieser experimentell unzugänglichen oder hypothetischen Reaktionen aber berechnet werden.

Es gibt allerdings auch Reaktionen, bei denen die Erfassung von Energieänderungen komplizierter ist. Bei diesen Reaktionen wird Energie zum Teil in einer anderen Form als Wärme oder komplett in einer anderen Energieform (zum Beispiel Licht) bei der Reaktion ausgetauscht. Solche Reaktionstypen werden hier nicht betrachtet.

Die Berechnung ist grundsätzlich einfach. Enthalpien sind charakteristische Größen von chemischen Reaktionen, die sich letztlich immer aus der Subtraktion der Enthalpien der Reaktionsedukte von denen der Reaktionsprodukte ergeben – und zwar unabhängig davon, ob die Reaktion aus einem Einzelschritt besteht oder ob dieser in Zwischenschritte zerteilt wurde (siehe Wärmesatz von Hess). **Bildungsenthalpien** – die charakteristischen Reaktionsenthalpien, die für die Bildungsreaktion der Verbindungen aus den Elementen angegeben werden – sind tabellarisch aufgelistet und ein hilfreiches Instrument bei der Berechnung von Reaktionsenthalpien. Da die meisten organischen Verbindungen leicht in einer Sauerstoffatmosphäre vollständig verbrannt werden können, sind die sogenannten **Verbrennungsenthalpien** der meisten Stoffe ebenfalls tabellarisch verfügbar und hilfreich, um indirekt die Enthalpieänderung einer experimentell unzugänglichen oder hypothetischen chemischen Reaktion zu berechnen.

Der Wärmesatz von Hess

Nach Hermann Heinrich Hess hängt der Betrag der Reaktionsenthalpie einer bestimmten Reaktion (Zielreaktion) immer nur vom Betrag der Bildungsenthalpien der Edukte und der Bildungsenthalpien der aus



den Edukten gebildeten Produkte ab. Der Betrag ist unabhängig vom Reaktionsweg, also davon unabhängig, ob die Produkte durch einen einzigen Reaktionsschritt oder über mehrere Zwischenschritte aus den Edukten entstehen (Hess'scher Wärmesatz, 1840). Damit entspricht die Reaktionsenthalpie einer Zielreaktion ($\Delta_r H$) immer der Summe aller Enthalpien von Teilreaktionen, in welche die Zielreaktion zerlegt werden kann. Somit gestattet das Gesetz, die Wärmemengen von Einzelvorgängen oder die einer Gesamtreaktion zu berechnen, indem man sie als Glieder einer Summe darstellt, deren andere Glieder und/oder deren Gesamtwert bekannt sind.

Berechnung von Reaktionsenthalpien aus Bindungsenthalpien

Die **Bindungsenthalpie** $\Delta_b H$ ist die Energiemenge, die zum vollständigen Aufspalten einer Elektronenpaarbindung der Edukte benötigt wird. Dabei bilden sich zwei Radikale (homolytische Spaltung). Der Vorgang ist endotherm (positive Werte). Sie werden in Joule pro mol Bindungen unter Standardbedingungen angegeben ($\Delta_b H^\circ_m$) und beschreiben die Stabilität einer chemischen Atombindung. Bei der Neuknüpfung der Bindungen der Produkte wird ein bestimmter Betrag an Bindungsenthalpie wieder freigesetzt (negative Werte, exothermer Vorgang). Dieser Energiebetrag müsste in einer neuen Reaktion dann aufgebracht werden, um diese neuen Bindungen in einer anderen Reaktion wieder zu spalten. Die molare Bindungsenergie von Ionenkristallen wird als **Gitterenergie** beschrieben. Die Bindungsenergie einer Ionenbindung ist deutlich größer als die einer Atombindung: Durch heterolytische Spaltung entstehen Ionen.

Einige theoretische Hintergründe zur Stabilität von chemischen Bindungen finden Sie auf dem Informationsblatt für Schüler (**M 6**).

Hinweise zur Didaktik und Methodik

Das Thema „Enthalpie und ihre Berechnung“ ist obligatorischer Bestandteil der Lehrpläne ausschließlich in den Leistungskursen für das landesweite Zentralabitur in Hessen der Jahrgangsstufe 13. Aus diesem Grund werden regelmäßig Rechenaufgaben aus diesem Themenbereich in den schriftlichen Abiturprüfungen für die Leistungskurse gestellt. Daher müssen die theoretischen Hintergründe zur Berechnung von Reaktionsenthalpien verstanden und die Rechenwege an verschiedenen Aufgabentypen eingeübt werden. Die mathematischen Formeln sind relativ einfach und bereiten in der Regel auch nicht das Problem beim Lösen dieser Rechenaufgaben. Probleme bereiten eher das Verständnis für die chemischen Zusammenhänge – im Wesentlichen verkörpert durch den Wärmesatz von Hermann Heinrich Hess – und folglich auch seine Anwendung auf die jeweilige Aufgabenstellung. Der vorliegende Artikel ist also vornehmlich auf Leistungskurse ausgerichtet.

Durchführung

Dieser Beitrag bietet Informations- und Übungsmaterialien zur Ermittlung von Reaktionsenthalpien. Das Angebot kann man komplett von **M 1** bis **M 8** nacheinander im Unterricht einsetzen, denn die Inhalte sind in einer logischen Reihenfolge aufeinander abgestimmt. Man kann aber auch genauso gut nur Teile nutzen oder nur das eigentliche Abiturtraining (**M 8a–h**) durchführen. Das Arbeitsblatt **M 1** führt zur Wiederholung in die theoretischen Hintergründe einer Kalorimetermessung (siehe Kosegarten und Haas 2013) und der Berechnung von Reaktionsenthalpien auf der Basis gemessener Temperaturänderungen ein. Die Informations- und Arbeitsblätter **M 2** bis **M 5** befassen sich mit der Berechnung von Reaktionsenthalpien aus Bildungs- und Verbrennungsenthalpien auf der Basis des Hess'schen Wärmesatzes. Die Informations- und Arbeitsblätter **M 6** und **M 7** behandeln die Berechnung der Reaktionsenthalpien aus Bindungsenthalpien. Die Materialien **M 1** bis **M 7** sind daher zunächst für die Erarbeitung des Berechnens von Reaktionsenthalpien gedacht. **M 8** bildet dann das eigentliche Abiturtraining mit motivierenden Übungsaufgaben aus unserem Alltag zur Berechnung von Enthalpien von Treib-, Brenn- und Heizstoffen, Explosiv- und Nährstoffen, die – wie im Zentralabitur – in einen sprachlichen Aufgabenkontext eingebunden sind. Die Aufgabenvorschläge wurden für den Leistungskurs konzipiert mit einem Anforderungsprofil von etwa 25 % aus dem Transferbereich. Der Umfang der einzelnen Aufgabenvorschläge wurde auf eine Bearbeitungszeit von etwa 90 Minuten ausgerichtet, wobei der Schwierigkeitsgrad der Aufgaben an die Anforderungen im Zentralabitur angepasst wurde. Die Aufgabenvorschläge **M 8b** und **8c** sind vom Anforderungsniveau etwas höher anzusiedeln. Sie enthalten viele kleinschrittige Rechnungen, bei denen ein vertieftes Verständnis von Volumina und Dichten vorausgesetzt wird. Sie sind besonders geeignet, um in Kleingruppen problemorientiertes Arbeiten einzuüben. Die Aufgabenvorschläge **M 8a** und **M 8d–h** sind dagegen vom Anforderungs-

rungsniveau so ausgerichtet, dass Schüler selbstständig unter Abiturbedingungen die Aufgaben lösen können. Die Operatoren sind entsprechend der Richtlinien des Hessischen Kultusministeriums angewendet worden. Die Aufgabenvorschläge dienen zwar einer gezielten Vorbereitung auf das Abitur, aber sind auch gut geeignet zum Üben für Lernkontrollen. Die Ergebnisse der Aufgaben können dann gruppenweise präsentiert und im Plenum diskutiert werden. Der Umgang mit Stoffgrößen wie Masse, molare Masse und Stoffmenge wird hier nicht eingeübt, sondern vorausgesetzt.

In den Tabellen (**M 3** und **M 6**) sind entsprechende Enthalpien zur Berechnung der verschiedenen Aufgaben dieses Beitrages aufgelistet. In der Regel führt nach unserer Erfahrung insbesondere bei lernschwächeren Schülern erst die exemplarische Anwendung der Rechenwege im Rahmen von Aufgabenbeispielen zum Verständnis der Enthalpieberechnungen. Die Hilfekarten (**M 5a** und **M 5b**) sind daher unerlässliche Hilfestellungen. Unabhängig von ihrem Leistungsstand haben Schüler insbesondere beim Aufstellen und der Kombination von Teilreaktionen große Schwierigkeiten, um durch Summation dann auf die entsprechende Zielreaktion bei Reaktionskreisläufen (**M 5**) zu gelangen. Nach unserer Erfahrung ist es am einfachsten, wenn die Teilreaktionen nach dem in **M 5** beschriebenen Schema zur Zielreaktion aufsummiert werden und dann die Teilenthalpien der Teilreaktionen entsprechend behandelt und in den mathematischen Ausdruck des Hess'schen Wärmesatzes zur Berechnung der Enthalpie der Zielreaktion eingesetzt werden. Dieser Wärmesatz wird durch einen schematischen Reaktionskreislauf (**M 2**) visualisiert. Eine weitere Hilfestellung beim Aufstellen von Teilreaktionen könnte daher die Verwendung von schematischen Reaktionskreisläufen zumindest anfänglich sein (siehe Erläuterungen und Lösungen M 5).

Die Materialien sind insgesamt so konzipiert, dass in Gruppenarbeiten unter Zuhilfenahme von Hilfekarten und den ausführlichen Lösungswegen (siehe Erläuterung und Lösungen) die Schüler durch gegenseitiges Erklären und Diskutieren in die Lage versetzt werden, sich die Lösungswege selbstständig zu erarbeiten. Gerade beim Abiturtraining ist es sinnvoll, zum Beispiel vorne am Lehrertisch den ausführlichen Lösungsweg einer Aufgabe als Hilfestellung (zum Überprüfen oder als kurzen Ideengeber) zur Verfügung zu stellen.

Literatur und Internet

Atkins, P. W.: Kurzlehrbuch Physikalische Chemie. Wiley VCH. Weinheim 2001. (Standardbildungs- und -verbrennungsenthalpien)

Becker, F.-M., et al.: Formeln und Werte. Duden Schulbuchverlag. Berlin, Mannheim 2011. (Standardbildungsenthalpien)

Kamp, H. und Schreppe, R.: Chemische Formeln und Daten, Ernst Klett Schulbuchverlag Stuttgart. Düsseldorf, Berlin, Leipzig 1995. (Standardbildungsenthalpien)

Kosegarten, H. und Haas, P.: Reaktionsenthalpien in Joghurtbechern ermitteln. 44 RAAbits Chemie, August 2013.

Hessisches Kultusministerium (Operatoren, Landesabitur. 2014.)
http://verwaltung.hessen.de/irj/HKM_Internet?cid=78d3e8a0e5024326a7ed34a7a4f6ec5f

Standard Thermodynamic Properties of Chemical Substances:
courses.chem.indiana.edu/c360/documents/thermodynamicdata.pdf
(Standardbildungsenthalpien)

Materialübersicht

Ab = Arbeitsblatt Info = Informationsblatt ⌚ D = Durchführungszeit

M 1	Ab ⌚ D: 45 min	Reaktionsenthalpien durch Kalorimetermessung
M 2	Info	Der Wärmesatz von Hermann Heinrich Hess
M 3	Info	Bildungs- und Verbrennungsenthalpien
M 4	Ab ⌚ D: 45 min	Reaktionsenthalpien bei Einschrittreaktionen
M 5	Ab ⌚ D: 90 min	Reaktionsenthalpien bei Reaktionskreisläufen
M 5a	Info	Hilfekarte 1: Reaktionenthalpie am Beispiel einer Säure-Base-Reaktion berechnen
M 5b	Info	Hilfekarte 2: Sonderfall Bildungsenthalpie am Beispiel der Bildung von Benzol berechnen
M 6	Info	Die Bindungsenthalpien
M 7	Ab ⌚ D: 90 min	Reaktionsenthalpien über Bindungsenthalpien berechnen
M 8a	Ab ⌚ D: 90 min	Abiturtraining: Übungsaufgaben aus dem Alltag Welcher Kraftstoff ist der Treibstoff der Zukunft?
M 8b	Ab ⌚ D: 90 min	Der Ottokraftstoff E10
M 8c	Ab ⌚ D: 90 min	Sind Holzpellets eine alternative Heizquelle zum Erdgas?
M 8d	Ab ⌚ D: 90 min	Der Raketenstart des Space Shuttles durch Methylhydrazin
M 8e	Ab ⌚ D: 90 min	Die Explosivstoffe Nitroglycerin und Schießbaumwolle
M 8f	Ab ⌚ D: 90 min	Energie durch Verbrennung von Traubenzucker
M 8g	Ab ⌚ D: 90 min	Kohlenhydrate oder Fette: was von beiden ist der Energiespeicher?
M 8h	Ab ⌚ D: 90 min	Brennwerte von Proteinen, Kohlenhydraten und Fetten

Die Erläuterungen und Lösungen finden Sie ab Seite 24.

II/F

SCHOOL-SCOUT.DE



Unterrichtsmaterialien in digitaler und in gedruckter Form

Auszug aus:

*Berechnen von Reaktionsenthalpien - ein Abiturtraining (Sek.
II)*

Das komplette Material finden Sie hier:

School-Scout.de

