

Bestimmung des Energiegehalts von Brot

Von Gudrun Franke-Braun, Lutz Stäudel und Holger Wöhrmann

Herrn Prof. Dr. Schmidkunz zum 75. Geburtstag gewidmet

Bei der Behandlung von Grundfragen der chemischen Energetik im Unterricht trägt die Einbettung in einen sinnvollen Anwendungsbereich entscheidend dazu bei, Schülerinnen und Schüler zu motivieren und Auseinandersetzungen mit dieser schwierigen Materie zu fördern. Daher liegt es nahe, Stoffe des täglichen Bedarfs zu untersuchen, wozu insbesondere die Lebensmittel gehören: Brot bzw. Backwaren in ihrer ganzen Vielfalt stehen als Grundnahrungsmittel des Menschen in der Regel täglich auf dem Speiseplan.

Da auf den meisten Lebensmittelverpackungen eine Nährwertabelle mit Brennwertangaben aufgelistet ist, stellt es eine Herausforderung dar, solche Brennwertangaben zu überprüfen und mit Literaturwerten [1, 2] zu vergleichen. Fachübergreifend zur Biologie kann auf Stoffwechselfvorgänge und die Ausnutzung der Energiegehalte von Lebensmitteln zur Aufrechterhaltung von Körperfunktionen eingegangen werden.

Experimente zur Bestimmung von Verbrennungsenthalpien können z. B. bei der Einführung in eine Unterrichtseinheit *Energetik* eingesetzt werden. In einem Verbrennungskalorimeter werden flüssige oder feste brennbare Stoffe oxidiert. Aus der dabei freigesetzten Wärmemenge lässt sich die Verbrennungsenthalpie, hier der Brennwert eines Lebensmittels, bestimmen.

Die experimentelle Bestimmung von Brennwerten

Eine einfache Apparatur für kalorimetrische Messungen ist in [3] vorgestellt. Sie besteht im Wesentlichen aus einem Reagenzglas mit Seitenarm, das über ein kurzes Stück Silikonschlauch mit einer das Glas umgebenden Kupferspirale verbunden ist. Das Reagenzglas wird mit einem

Gummistopfen, durch den ein Glasrohr geführt wird, verschlossen. Durch das Glasrohr wird aus einer Gasflasche Sauerstoff für die Verbrennung eingeleitet (**Abb. 1**).

Die gesamte Apparatur wird in einen mit 400 mL Wasser gefüllten Kunststoffbecher, der zur besseren Isolierung mit einem zweiten Kunststoffbecher umgeben ist, auf einen Magnetrührer gestellt. Ein Rührkern sorgt für eine gleichmäßige Durchmischung. In das Wasser wird ein Thermometer mit 1/10-Grad-Einteilung getaucht (**Abb. 1**). Für eine einfache

Weiterverarbeitung der Messergebnisse eignet sich auch ein digitales Thermometer, das über eine Schnittstelle mit einem PC verknüpft wird.

Die gesamte Apparatur kann selbst angefertigt werden und führt zu guten und vor allem auch reproduzierbaren experimentellen Ergebnissen.

Der Brennwert von Brot

Brot eignet sich besonders gut zur Untersuchung, da es wegen seiner porösen



Abb. 1: Einfache Apparatur für kalorimetrische Messungen

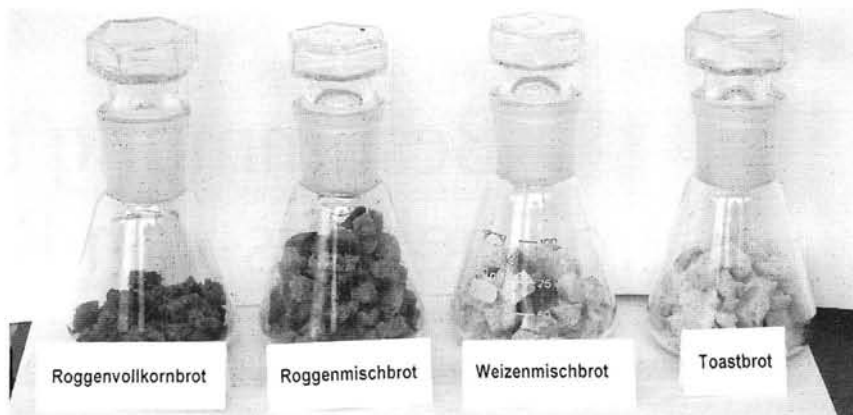


Abb. 2: Verschiedene, für die Untersuchung geeignete Brotsorten

Struktur leicht entzündbar ist, so dass sich die Verbrennung gut starten lässt. Eine Brotscheibe wird zunächst in kleine Würfel geschnitten. Die Brotstücke werden dann bei 105°C getrocknet und anschließend die Trockenmasse (TS in [%]) bestimmt (s. **Versuch**). Die getrockneten Brotstückchen werden in einem geschlossenen Gefäß, möglichst im Exsikkator, aufbewahrt. Von dort werden sie unmittelbar vor der Durchführung des eigentlichen Versuchs entnommen. Die bei der Verbrennung von Brot (**Abb. 2**) freiwerdende Wärmemenge wird zunächst mithilfe der vorgestellten Apparatur ermittelt. Unter Berücksichtigung der Wärmekapazitäten des Wassers, des Glases und der Kupferspirale sowie der Massen des eingewogenen Brotes und

der Trockensubstanz kann abschließend der Brennwert des Brotes berechnet werden.

Bei der Untersuchung verschiedener Brotsorten wurden die in **Tabelle 1** dargestellten Messergebnisse ermittelt. Wie man der Tabelle entnehmen kann, erreicht man mit dem einfachen Kalorimeter gute und reproduzierbare Ergebnisse. Die Differenzen zu den (unterschiedlichen) Literaturwerten betragen weniger als 10 Prozent.

Die Energiegehaltsbestimmungen mit dem einfachen Kalorimeter können in leistungsfähigen Klassen am Ende der Sekundarstufe I, ansonsten in der Sekundarstufe II durchgeführt werden. Bei guter Vorbereitung können die Schülerinnen und Schüler in Gruppen zwei bis

drei Messungen in einer Doppelstunde schaffen. Jede Messung hat einen Zeitbedarf von etwa einer halben Stunde. Begrenzender Faktor ist der Vorrat an Sauerstoffflaschen: Für jede Apparatur muss eine Sauerstoffflasche zur Verfügung stehen, da der Gasfluss für jede Verbrennung an der zugehörigen Flasche regulierbar sein muss.

Der Brennwert anderer Lebensmittel

Auch für andere kohlenhydratreiche und wasserarme Lebensmittel wie Nudeln oder Zwieback konnten sinnvolle Ergebnisse erzielt werden. Diese Lebensmittel müssen vor der Untersuchung nicht getrocknet werden und haben einen Brennwert von ca. 1500 kJ/100 g. Für eine Temperaturdifferenz von 6–8 °C muss die Einwaage entsprechend verringert werden (0,6–0,8 g). Daraus ergibt sich ein höherer Umrechnungsfaktor auf 100 g Nahrungsmittel und eine stärkere Schwankungsbreite der Ergebnisse. Mit Reiskörnern erhält man keine reproduzierbaren Ergebnisse, da nach dem Zünden an der Brennerflamme das Reiskorn an der Pinzette klebt und nicht schnell genug in das Reagenzglas überführt werden kann, um das gesamte Gut zu verbrennen.

Brotsorte	Mittelwert d. Messergebnisse in kJ/100g	Literaturwert in kJ/100g	Packungsangabe in kJ/100g
Roggenvollkornbrot	823 ± 24	887 [1] 817 [2]	802
Roggenmischbrot	981 ± 15	968 [1] 888 [2]	904
Weizenmischbrot	1018 ± 83	1019 [1] 937 [2]	/
Toastbrot	1103 ± 76	1130 [1] 1175 [2]	/

Tab.1: Experimentell ermittelte Brennwerte verschiedener Brotsorten im Vergleich zu den Literaturwerten

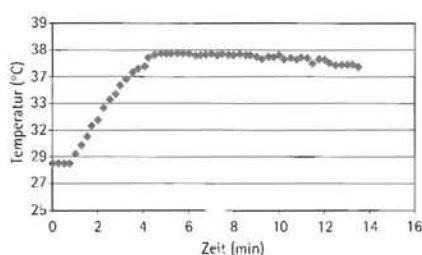


Abb. 3: Temperatur/Zeit-Diagramm

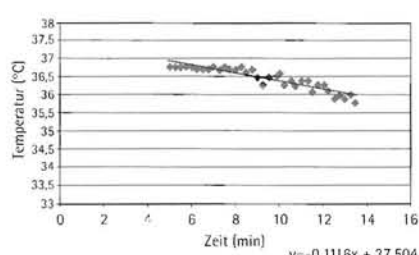


Abb. 4: Extrapolation der Endtemperatur

Literatur

- [1] Senser, F.; Scherz, H.; herg. von d. dt. Forschungsanstalt für Lebensmittelchemie (Garching): Der kleine „Souci . Fachmann. Kraut“. Lebensmitteltabelle für die Praxis. Wiss. Verlags GmbH, Stuttgart 1987
- [2] Elmadfa, I.; Aign, W.; Muskat, E.; Fritzsche, D.: Die große GU Nährwert-Kalorien-Tabelle. Gräfe und Unzer, München 2001
- [3] Melle, I.; Jansen, W.: Einfaches Kalorimeter zur Bestimmung der Verbrennungsenthalpie von Kohlenstoff. PdN-Chemie, H. 2/42 (1993), S. 20–22

► Gudrun Franke-Braun, Lebensmittelchemikerin, Examenkandidatin Lehramt Sek. I (Chemie und Biologie)

Dr. Lutz Stäudel, wiss. Mitarbeiter in der Chemiedidaktik an der Universität Kassel
Lutzs@uni-kassel.de

Prof. Dr. Holger Wöhrmann, Professor für Chemiedidaktik an der Universität Kassel

Gemeinsame Anschrift:
Heinrich-Plett-Str. 40, 34109 Kassel ◀

Der Brennwert von Brot

▼ MATERIAL

1 Scheibe Roggenmischbrot, 400 mL Wasser, Sauerstoffflasche, Filterpapier, Analysenwaage, Exsikkator, Reagenzglas mit Seitenarm, kurzes Silikonschlauchstück, Kupferspirale, Gasbrenner, Thermometer, Magnetrührer, 2 Kunststoffbecher (400 mL-Partybecher)

▼ DURCHFÜHRUNG

Bestimmung der Trockensubstanz

Eine Brotscheibe wird zunächst in kleine Würfel von ca. 0,5 cm Kantenlänge geschnitten. Sowohl die Kruste als auch die Krume werden verwendet. Die Masse der Brotstücke wird mithilfe der Analysenwaage bestimmt. Dann werden die Brotstücke bei 105°C getrocknet und anschließend die Trockenmasse, ebenfalls mithilfe der Analysenwaage, bestimmt. Aus den beiden Werten lässt sich der prozentuale Anteil der Trockensubstanz berechnen:

$$TS [\%] = \frac{m(\text{Brot}_{\text{trocken}})}{m(\text{Brot}_{\text{nicht trocken}})} \cdot 100 [\%]$$

Bestimmung des Brennwertes

Die getrockneten Brotstückchen werden bis zur Durchführung des Versuchs in einem geschlossenen Gefäß, möglichst im Exsikkator, aufbewahrt.

Ca. 1 g trockenes Brot, das sind je nach Sorte 5–9 Stückchen, werden auf einem Stück Papier auf einer Analysenwaage auf 0,01 g genau eingewogen. Ein Stück wird zurückbehalten, die übrigen Stücke werden in das Reagenzglas gegeben. Ein leichter Sauerstoffstrom wird eingestellt.

An der Brennerflamme wird das zurückbehaltene Brotstück mithilfe einer Pinzette gezündet und **sofort** in das Reagenzglas gegeben. Das Reagenzglas wird mit einem Stopfen **leicht** verschlossen. Durch Regulierung des Sauerstoffstroms ist auf eine langsame und kontinuierliche Verbrennung zu achten. Infolge starker Gas- und Raumentwicklung am Anfang kommt es zu einem Druckanstieg in der Reaktionsapparatur. Dabei kann sich der Stopfen leicht lösen, was aber nicht wesentlich zur Beeinträchtigung der Analyseergebnisse führt, wenn er sofort wieder leicht aufgesetzt wird. Ist der Stopfen zu fest aufgedrückt, kann er durch den hohen Druck mit einem explosionsartigen Knall abfliegen. Bleibt das System zu lange offen, sind die Wärmeverluste an die umgebende Luft zu groß. Die Anfangstemperatur des Wassers wird bestimmt und die Wassertemperatur danach alle 15 bzw. 30 Sekunden abgelesen und notiert. Die Gesamtdauer der Messung beträgt 12–15 Minuten.

Die Aufnahme der Messdaten kann – falls an der Schule vorhanden – durch den Einsatz eines Labordatenverarbeitungsprogramms (z. B. CASSY Lab der Fa. Leibold) erleichtert werden. Die Messintervalle und die Gesamtdauer der Aufzeichnung lassen sich vorab einstellen.

Es hat sich bewährt, den Sauerstoffstrom gegen Ende der Verbrennung zu erhöhen, um eine möglichst vollständige Verbrennung zu erreichen. Das Temperaturmaximum ist je nach

Stärke der Verbrennung nach 5–8 Minuten erreicht. Erlischt die Flamme, kann der Sauerstoffstrom abgestellt werden. Der Temperaturfortgang wird weiter aufgezeichnet.

Zur Bestimmung der verbrannten Substanz wird nach Beendigung der Messung der nasse Rückstand aus dem Reagenzglas mit einem Spatel herausgekratzt und auf ein Stück gewogenes Filterpapier gegeben. Der Rückstand wird 30 Minuten bei 105°C getrocknet und gewogen. Diese Masse wird von der Einwaage abgezogen.

Für die Auswertung werden die erhaltenen Wertepaare ab dem Temperaturmaximum in ein Temperatur/Zeit – Diagramm eingetragen (**Abbildung 3** und **4**). Die Punkte der Abkühlkurve werden durch eine Ausgleichsgerade verbunden, und durch Extrapolation wird der Schnittpunkt mit der Ordinate ermittelt. So erhält man die maximale Temperaturdifferenz ΔT . Diese Operationen können mit dem Tabellenkalkulationsprogramm Excel einfach durchgeführt werden.

▼ AUSWERTUNG

Ermittlung der freigesetzten Wärmemenge

Unter Berücksichtigung der Wärmekapazitäten des Wassers, des Glases und des Kupfers wird die freigesetzte Wärmemenge Q berechnet. Zur Vereinfachung wird die Wärmekapazität der Gummiteile gleich der von Glas gesetzt.

$$Q = -\Delta\theta \cdot [m(\text{H}_2\text{O}) \cdot c_p(\text{H}_2\text{O}) + m(\text{Cu}) \cdot c_p(\text{Cu}) + m(\text{Glas}) \cdot c_p(\text{Glas})]$$

Es bedeuten:

$c_p(X)$ = spez. Wärmekapazität bei 20°C

$m(X)$ = Masse des entsprechenden Bestandteiles (X)

$c_p(\text{H}_2\text{O}) = 4,19 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

$c_p(\text{Cu}) = 0,385 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

$c_p(\text{Glas}) = 0,847 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

$m(\text{H}_2\text{O}) = 400 \text{ g}$

$m(\text{Cu}) = 97,0 \text{ g}$

$m(\text{Glas}) = 72,20 \text{ g}$

Ermittlung des Brennwertes von Brot

Aus Einwaage, Trockenmasse und durch Umrechnung auf 100 g wird der Brennwert des Brotes errechnet:

$$\Delta H = \frac{Q \cdot 100 \cdot \% TS}{m(\text{Brot}) \cdot 100} \text{ kJ pro } 100 \text{ g}$$

Beispiel

Bei Einsatz von 1,08g Roggenmischbrot ergeben sich für Q und ΔH folgende Werte (vgl. Abb. 3, Tab.1):

$$Q = -9,0 \text{ K} \cdot (400 \cdot 4,19 + 97 \cdot 0,385 + 72,2 \cdot 0,847) \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \\ = -15.970 \text{ J}$$

$$\Delta H = \frac{-15.970 \text{ kJ} \cdot 57,7}{0,94 \text{ g} \cdot 100} = 980 \text{ kJ pro } 100 \text{ g}$$

ZU DIESEM HEFT



Liebe Leserinnen, liebe Leser,

es ist hinreichend bekannt, dass chemische Umsetzungen immer auch mit energetischen Phänomenen verbunden sind. Häufig werden solche Reaktionen ausschließlich wegen der dabei frei werdenden Wärmeenergie durchgeführt. So dienen in Mittel- und Nordeuropa Verbrennungsprozesse (Oxidation von organischen Brennstoffen) in großem Ausmaß zum Heizen von Wohnungen, Büroräumen und Produktionssälen sowie zur Aufrechterhaltung des Verkehrs. Auch als Prozesswärme in der Industrie (z.B. in Hochöfen und bei chemischen Umsetzungen) wird Energie benötigt. Es ist deshalb begreiflich, dass nach alternativen Energien gesucht wird, um die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen weitgehend zu unterbinden.

Der Zusammenhang von stofflichen Umsetzungen mit den gleichzeitigen Erscheinungsformen der Energie bereitet erfahrungsgemäß Schwierigkeiten. In diesem Heft werden deshalb sowohl klassische Aspekte der Energie bei chemischen Reaktionen (z.B. in den Basisartikeln), als auch moderne Entwicklungen der Energiespeicherung angesprochen. Gerade der letztgenannte Gesichtspunkt ist Gegenstand der heutigen Forschung. Einige interessante Ergebnisse dieser Entwicklung werden hier im Kontext mit schulgerechten, einfachen Experimenten vorgestellt.

Wir wünschen Ihnen viel Spaß und Energie bei der Betrachtung der energetischen Aspekte bei chemischen Reaktionen.

Viel Spaß beim Lesen wünscht Ihnen

Heinz Schmidkunz

Kurzfassungen und
Jahresregister 2004 jetzt unter
www.friedrich-verlag.de

Naturwissenschaften im

Unterricht Chemie

Heft 85, Januar 2005, 16. Jahrgang

ENERGIE BEI CHEMISCHEN REAKTIONEN

Herausgeber:
Prof. Dr. Heinz Schmidkunz

BASISARTIKEL

Dietrich Büttner
Aktivierungsenergie und Reaktionswärme 4

Rolf W. Schmutzler
Die Energetik chemischer Reaktionen 8

UNTERRICHTSPRAXIS

Thomas Zahn
Energieumsetzungen bei chemischen Reaktionen 14
Ein experimenteller Einstieg zur Klärung der Grundbegriffe

Friedel Heumann und Vera Brendel
Reaktionsenergie sichtbar gemacht 19
Energetische Betrachtungen bei der Bildung von Eisensulfid

Inge Frigge-Hagemann und Heinz Schmidkunz
Reaktionsenthalpie einfach bestimmt 22

Gudrun Franke-Braun, Lutz Stäudel und Holger Wöhrmann
Bestimmung des Energiegehalts von Brot 25

Heinz Schmidkunz
Der Heizwert von Brennstoffen 28
Berechnungen von Brennstoffen

Heinz Schmidkunz
Wärmespeichersysteme in Gebäuden 30

Heinz Schmidkunz
Intelligente Textilien 33
Latentwärmespeicher in der Kleidung

Viktor Obendrauf
Aluminothermische Bronze 36
Mit brisanter Gitterenergie zum alchemistischen Gold

MAGAZIN

INFORMATION
Heinz Schmidkunz
Sonnenöfen 42

Hans-Jürgen Becker
FADOK als Energiequelle 45

Udo Hülsenbeck und Bernd Lutz
Übermäßiger Lakritzgenuss –
was passiert im Körper? 46

ANREGUNG
Simone Häberlein und Peter Pfeifer
Experimente zum Thema „Taschenwärmer“ 49

VERSUCHSKARTEIEN
Rudolf Barthle
Versuche rund ums Zündholz 51

Simone Häberlein und Peter Pfeifer
Herstellung eines Taschenwärmers 51