



DECHEMAX – Schülerwettbewerb 2005/2006

„Schneller, höher, weiter“

Aufgaben der zweiten Runde
Team: **„Die neunte Hauptgruppe“**

Kalorienermittlung at home
Ein süßer „Kunst-Stoff“

1. Kalorienermittlung at home

Inhalt

Materialliste	Seite 3
1. Bau eines Kalorimeters	Seite 3
2. Ermittlung der Kalorien einer Walnuss	Seite 3
Durchführung	Seite 3
Beobachtung	Seite 4
Auswertung	Seite 5
3.	Seite 6
1. Kalorien anderer Lebensmittel	Seite 6
2. Fehlerquellen	Seite 10
4. Kalorienvergleich	Seite 12
5.	Seite 12
6. Andere Maßeinheiten	Seite 12

Kalorienermittlung at home

Materialliste

Für den Versuch „Kalorienermittlung at home“ verwendeten wir folgende Materialien:

- eine leere Konservendose (D1)
- eine leere Coladose (D2)
- Stativmaterial (Stangen und Muffen)
- Nadel und Korke
- Alufolie
- Elektrisches Thermometer
- Messzylinder
- Wasser
- versch. Nüsse, Marshmallows, Ethanol, Strohrum
- Feuerzeug

Unser Chemielehrer stellte uns freundlicherweise den Chemieraum zur Verfügung; die oben genannten Materialien waren also für uns leicht zugänglich.

Der Chemieraum als Experimentierraum bringt viele Vorteile mit sich. Hierbei zu nennen sind unter anderem das elektrische Thermometer, mit dem Ablesefehler minimiert werden können oder das Stativmaterial, mit welchem ein einfacher und schneller Aufbau der Versuche möglich ist.

1. Bau des Kalorimeters

Die Halterung für die Nüsse und andere Nahrungsmittel wird aus einem Korke, einer Nadel und Alufolie gebaut. Wie vorgegeben wird ein Stück von einem Korke abgeschnitten und mit Alufolie umwickelt. Die Nadel, auf der nachher die Nüsse befestigt werden können, wird von unten nach oben durchgespießt.

Mittels Muffen und Stativstangen wird die Befestigung der Dose gebaut. Das Thermometer wird von oben durch die

Öffnung der Dose gesteckt. Wichtig: Das Thermometer darf den Boden der Dose nicht berühren.

Für unsere Versuche verwendeten wir zwei Versuchsaufbauten mit unterschiedlichen Dosen (Coladose, Konservendose). Somit war schnelleres Arbeiten möglich und es konnte ein Vergleich der Dosen stattfinden (Welche Dose ist besser?).



Versuchsaufbau, links: Kabel des Thermometers

2. Ermitteln der Kalorien einer Walnuss

Durchführung:

Mit dem Messzylinder werden 100 ml Wasser abgemessen und in die Dose gefüllt. Nach kurzer Zeit wird die Wassertemperatur mit dem Thermometer bestimmt und notiert. Die Hälfte einer Walnuss wird zunächst gewogen, dann aufgespießt (langsam und vorsichtig).

Die Walnuss wird an der unteren Seite mit einem Feuerzeug angezündet. Man sollte die Nuss unten anzünden, da die Flamme später von unten nach oben brennt. Sobald die Walnuss beginnt zu brennen wird sie unter die Dose geschoben. Es wird gewartet, bis die Nuss vollständig verbrannt ist – evtl. muss die Nuss ein zweites Mal angezündet werden. Der maximale Temperaturwert des Wassers wird bestimmt und aufgeschrieben.

Während des Erwärms des Wassers ist es ratsam dieses gut umzurühren

um eine bessere Vermischung des Wassers zu gewährleisten und Schichtenbildung (Temperatur) zu minimieren. Hierbei gibt es bei der Coladose mehr Probleme, da es hier sehr viel schwerer fällt, durch die dünne Öffnung der Dose mit einem Stab o.ä. umzurühren.

Wie in der Versuchsanleitung angegeben lässt sich die Anzahl der Kalorien durch die Temperaturerhöhung berechnen. Da eine Kalorie der Energie entspricht, die man benötigt um ein Gramm Wasser um 1 Grad Celsius zu erwärmen, entsprechen die Kalorien der halben Nuss dem Produkt aus der Masse des Wassers (bei uns 100ml) und der Temperaturänderung des Wassers ΔT . Nach der Verbrennung der Nuss kann diese (vielmehr was davon übrig ist) gewogen werden um den Massenunterschied festzustellen.



Anzünden einer Walnushälfte

Beobachtung:

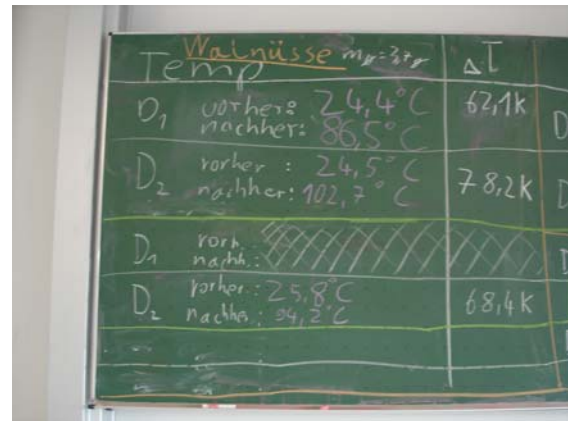
Das Durchschnittsgewicht der Walnushälften beträgt 3,7g.

Wir führten drei Versuchsreihen mit den Walnushälften durch. Davon zwei mit der Coladose (die sich - wie später beschrieben - als die bessere erwiesen hatte) und eine mit der Konservendose.

Die Anfangstemperaturen des Wassers betragen 24,4°C, 24,5°C und 25,8°C. Bei der Konservendose findet

eine Temperaturerhöhung von 24,4°C auf 86,5°C statt. Dies entspricht einer Erhöhung der Temperatur von 62,1°C (bzw. 62,1K). Die Temperaturänderungen bei der Coladose werden in folgender Tabelle dargestellt:

Versuch	T ₁	T ₂	ΔT
1	24,5°C	102,7°C	78,2 K
2	25,8°C	94,2°C	68,4 K



Temperaturunterschiede des „Walnuss-Versuchs“

Die Masse der Walnüsse nach der Verbrennung beträgt im Durchschnitt 0,5g. Die Nuss verliert durch die Verbrennung also 3,2g bzw. ca. 86% ihres ursprünglichen Gewichts.



rechts: Massenunterschiede bei Walnuss und Mandel

Dabei verbrennt sie mit stark rußender Flamme, was auf eine unvollständige Verbrennung hinweist. Nach jedem Versuch muss die Dose gereinigt und vom Ruß befreit werden, da sonst die Messergebnisse in nachfolgenden Versuchen durch die isolierende

Wirkung des Rußes verfälscht werden könnten.

Auswertung:

Wie bereits erwähnt handelt es sich bei der Verbrennung der Nuss um eine unvollständige Verbrennung. Der Gewichtsunterschied der Nuss vor und nach der Verbrennung ist dadurch zu erklären, dass bei der Verbrennung unter Anderem Kohlendioxid, Ruß und Wasser entstehen. Diese und andere Stoffe entweichen in die Umgebung: Es kommt zu einer Massenabnahme.

Mit den erhaltenen Temperaturwerten lassen sich nun die Brennwerte der Walnüsse pro 100g ausrechnen.

Bei der dickeren Konservendose kommt es zu einem deutlich geringeren Temperaturanstieg als bei den Versuchen mit der Coladose. Dies lässt sich dadurch erklären, dass das dickere Blech eine stärker isolierende Wirkung hat als das Aluminium der Coladose. Dies liegt viel weniger am Material der Dosen (Stahl hat sogar eine niedrigere spezifische Wärmekapazität als Aluminium) sondern an der Dicke: Das gewicht der Konservendose beträgt 48,2g, das der Coladose aber nur 26,8g. Aufgrund der dünneren Wände leitet die Coladose also die entstehende Wärme viel besser ins innere der Dose weiter.



Brennende Walnuss unter der Coladose (D2)

Wie viel Energie durch die Versuchsoperatur verloren geht wird im späteren Verlauf dieses Protokolls angesprochen.

Beim „Walnussveruch“ mit Dose 1 (höhere Isolierung daher wahrscheinlich schlechteres Ergebnis) erhöhte sich die Temperatur des Wassers um 62,1K. Daher enthält eine halbe Walnuss 6201 Kalorien. Bei den Versuchen mit der Coladose kommt man auf einen mittleren Wert von 7330 Kalorien. Dies entspricht dem Brennwert von 3,7g Walnuss.

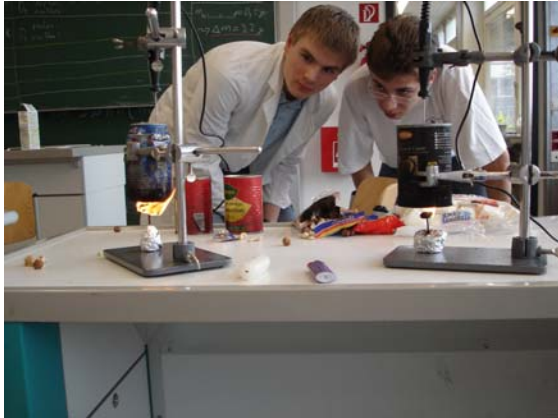
100g Walnüsse haben daher einen von uns ermittelten Brennwert von ca. 198108cal also 198kcal. Schon allein an den Messwerten ist erkennbar, dass der wirkliche Brennwert der Walnüsse viel höher liegen muss als der von uns bestimmte. Im ersten Versuch mit der Coladose stieg die Wassertemperatur in der Dose auf über 100°C an. Bei diesen Temperaturen ist mit Sicherheit viel Wasser gasförmig geworden. Aufgrund der hohen Verdampfungswärme des Wassers (2257 J/g, das sind ca. 537cal) geht bei diesem Prozess sehr viel Energie verloren; ganz zu schweigen von der Wärme, die von der Dose ausstrahlt und anderen Faktoren (siehe Fehlerquellen).

Bei dem oben erwähnten Versuch (Temperaturen über 100°C) wäre es auch nicht möglich gewesen höhere Temperaturen zu messen, da das Wasser nicht heißer als 100°C (in unserem Fall 102°C) geworden wäre (Verdampfen).

Überraschend ist jedoch trotzdem, wie stark unser Wert vom Literaturwert für Walnüsse abweicht. Dieser beträgt 645kcal* (2700kJ) für 100g.

Anscheinend geht in unserer Versuchsanordnung sehr viel Energie ungenutzt verloren.

*Quelle: fddb.info – Lebensmittel-Datenbank



Mögliche Fehlerquelle: Nicht die gesamte Wärme wird zum Aufheizen des Wassers genutzt

3.1 Kalorien anderer Lebensmittel

Für diesen Versuchsteil verwendeten wir folgende Lebens-, Genussmittel:

- Mandeln
- Marshmallows
- Strohrum (80% vol.)*

** hierfür musste die Versuchsaपरatur geändert werden*

Durchführung und Beobachtung:

Mit den Mandeln kann so verfahren werden, wie mit den Walnüssen. Sie lassen sich problemlos auf die Nadel aufspießen (sogar noch besser als die Walnüsse). Sie werden ebenfalls vor und nach dem Verbrennen gewogen (siehe Versuch 1).

Auch die Beobachtung fällt ähnlich aus wie bei den Walnüssen. Es entsteht auch eine stark rußende Flamme. Die Nuss ist nach der Verbrennung schwarz. Interessanterweise ist die Masse der Mandel vor dem Verbrennen 1,4g, nach dem Verbrennen 0,2g. Das entspricht auch hier einem Massenverlust von ca. 86%.

Bei einer Mandel erhöht sich die Temperatur des Wassers um max. 38,2K.



Mandel unter der Konservendose

Bei den Marshmallows gibt es jedoch einige Komplikationen: Sie lassen sich zwar leicht auf die Nadel aufspießen, brennen aber nach dem Anzünden nur sehr kurz. Man stellt fest, dass sie nur äußerlich anschmoren und die Flamme nicht ins Innere des Marshmallows vordringen kann.



Aufgeschnittenes Marshmallow nach dem Verbrennen

Das Marshmallow scheint innerlich geschmolzen zu sein: Unter der verkohlten Schale verbirgt sich ein klebriger, weißer Kern.

Bei der Verbrennung des Marshmallows wurde das Wasser um eine Temperatur von 4°C wärmer (von 25,7°C auf 29,7°C).

Auch in kleineren Streifen geschnitten verbrennt das Marshmallow nicht annähernd vollständig; eine andere Lösung des Problems muss gesucht werden!

Nach längerem Überlegen kamen wir auf eine Idee, die wir im Folgenden näher erläutern möchten.

Theorie:

Die Marshmallows werden in Scheibchen geschnitten und anschließend in Ethanol eingeweicht, bis sie völlig durchtränkt sind. Sie werden gemeinsam mit dem Alkohol verbrannt, bis auch der letzte Tropfen Ethanol verbrannt ist. Jetzt kann der Gesamtbrennwert bestimmt werden. Wichtig bei dieser Methode ist, dass man vorher den Brennwert einer bestimmten Menge Ethanols bestimmt und das Marshmallow dann mit dieser Menge zusammen verbrennt. Die Kalorien des Marshmallows erhält man, indem man die Kalorien des Ethanols vom Gesamtbrennwert abzieht.

Umsetzung:

Man stellt einen Porzellantiegel (oder ähnliches geeignetes Gefäß) unter das mit Wasser gefüllte Kalorimeter. Die Wassertemperatur wird gemessen und notiert.

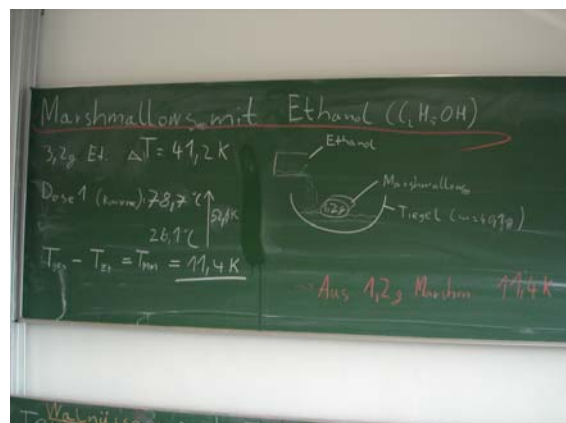
In dem Tiegel werden 3,2g Ethanol (Menge willkürlich von uns festgelegt) vollständig verbrannt. Anschließend wird sofort die maximale Temperatur aufgeschrieben und die Temperaturdifferenz berechnet.

Dann werden die Marshmallows in kleine Scheibchen geschnitten, welche anschließend gewogen werden. Eine Scheibe wird in einen Tiegel gelegt, mit 3,2g Ethanol übergossen und eingeweicht.



Abwiegen der Marshmallowscheiben in einem Tiegel

Dann kann der Inhalt des Tiegels angezündet, unter das Kalorimeter gestellt und vollständig verbrannt werden. Wichtig ist es hierbei, dass die Versuchsanordnung der des Vorversuchs (Verbrennen von reinem Ethanol) möglichst nahe kommt. Wärmeverluste und andere störende Faktoren sollten bei beiden Versuchen möglichst gleich sein um ein optimales Ergebnis zu erreichen. Deshalb ist es auch nicht sinnvoll das Ethanol in einem Brenner zu verbrennen. Hier wäre die Flamme kleiner und fokussiert. Es ginge weniger Wärme verloren als beim Versuch mit den Marshmallowscheiben; Folgen sind Messverfälschungen.



Unsere Idee: Der „Marshmallow-Ethanol-Versuch“

Beim Vorversuch wurde für 3,2g Ethanol eine Temperaturdifferenz von 41,2K gemessen.

Beim Versuch mit einer Marshmallowscheibe stieg die Temperatur

von 26,1°C auf 78,7°C; ein Anstieg also von 52,6K. Ungefähr 41K davon scheinen vom Ethanol zu kommen, der Rest ist der Marshmallowscheibe zuzuschreiben. Dieser beträgt

$$52,6K - 41,2K = 11,4K.$$

Das Gewicht des Marshmallow-scheibchens betrug 1,2g. Die Energie, die 1,2g Marshmallowmasse freisetzt beträgt also ca. 1140cal oder 4788J. Wie bei den vorherigen Versuchen ist anzunehmen, dass der tatsächliche Wert weit über dem von uns ermittelten liegt.

Tatsächlich liegt der von uns im Internet* gefundene Brennwert von 100g Marshmallows bei 324kcal. Somit hätte sich das Wasser bei unserem Versuch eigentlich um zusätzliche 39K erwärmen müssen. Neben den üblichen Fehlerquellen kann hier jedoch auch der Aspekt hineinspielen, dass nicht alle Marshmallows gleich sind und die Kalorienwerte daher variieren. Außerdem wurde der Marshmallowversuch mit der vermeindlich schlechteren Dose 1 (Konservendose mit dickem Blech) durchgeführt.

Beim Strohrum mussten wir – wie bereits erwähnt – den Veruchsaufbau abändern. Es leuchtet ein, dass sich hier schlecht etwas auf die Nadel aufspießen lässt. Aus diesem Grund verwendeten wir einen kleinen Brenner (siehe Bild), den wir unter die Dose stellten.



Strohrumflasche und Brenner

Der Brenner wird mit dem Rum gefüllt und anschließend gewogen. Der Docht des Brenners wird angezündet, der Brenner wird unter das Kalorimeter gestellt (vorher mit frischem Wasser füllen, Anfangstemperatur messen und notieren).

Der Rum verbrennt mit einer nur sehr schwer sichtbaren rötlichen Farbe.



Die Flamme beim Verbrennen des Strohrums ist nur schwer sichtbar

Schon bald fällt auf, dass es viel zu lange dauern würde, den kompletten Rum im Brenner zu verbrennen. Daher kann der Versuch nach einiger Zeit abgebrochen und die Flamme gelöscht (ausgeblasen) werden.

Der komplette Brenner mit Inhalt muss dann gewogen werden. Der Gewichtsunterschied wird notiert.

Bei unserem Versuch betrug der Gewichtsunterschied 1,1g. Die Temperatur des Wassers in der Dose (D2) stieg dabei von 27,8°C auf

*Quelle: www.fettrechner.de

52,2°C; ΔT : 24,4K.

1,1g des 80-prozentigen Strohrums haben also ca. 2440cal. Der Brennwert von 100g dieses Rums liegt also ungefähr bei 222kcal.

Auswertung:

Die Auswertung des „Mandel-Versuchs“ entspricht der des „Walnuss-Versuchs“. Die beiden Nüsse verhalten sich ziemlich ähnlich.

Die Flamme konnte bei den Marshmallows nicht sehr tief eindringen. Im Kern der Süßigkeit ist nicht genügend Sauerstoff für eine Oxidation vorhanden, so bleiben die Verbrennungen an der Oberfläche. Als weiterer Verbrennungs-Erschwerender Aspekt kommt hinzu, dass die Hitze das Marshmallow schmelzen lässt. Eventuelle Poren, durch die die Luft kommen würde verschließen sich sofort. Durch den hohen Zuckergehalt wird das Marshmallow schwarz (das kennt jeder, der schon mal Zucker über der heißen Herdplatte verschüttet hat). Durch das einweichen und das „In-Scheiben-Schneiden“ erreicht man zum Einen eine Oberflächenvergrößerung des Materials, zum Anderen wird das Marshmallow mit dem sehr leicht brennbaren Ethanol durchtränkt. Dieses wirkt dann wie ein Brandbeschleuniger.



Marshmallow nach der Verbrennung

Da der hochprozentige Strohrum zum größten Teil aus Ethanol besteht, brennt dieser sehr gut. Um die Messgenauigkeit zu erhöhen bietet es sich hier an einen Brenner zu benutzen. Somit wird die Flamme zentriert und der größte Teil der Verbrennungswärme kann zum Aufheizen des Wassers in der Dose genutzt werden.

Die folgende Tabelle fasst die Ergebnisse der Versuche 2 und 3 zusammen:

Name	Kalorien pro 100g	Literaturwert pro 100g
Walnüsse	198kcal	645kcal
Mandeln	318kcal	580kcal
Marshmallows	95kcal	324kcal
Strohrum (80%)	222kcal	-

Walnüsse $m_M = 3,0g$		ΔT	Mandeln $m_M = 1,4g$		ΔT
D ₁ vorher: 24,4°C	nachher: 38,5°C	62,1K	D ₁ vorher: 25,9°C	nachher: 34,1°C	38,2K
D ₂ vorher: 24,5°C	nachher: 102,7°C	78,2K	D ₂ vorher: 26,3°C	nachher: 61,3°C	35K
D ₁ vorh. nachh.:			D ₁ vorher: 27,3°C	nachher: 27,3°C ($\Delta m = 0,1g$)	? 2K?
D ₂ vorher: 25,8°C	nachher: 29,2°C	68,4K	Strohrum		
			D ₂ vorher: 27,8°C	nachher: 27,8°C	$\Delta m = 1,1g$ → 24,4K

D₁: Konserve
 D₂: Cdadose
 $m_{\text{Marshmallow}} = 0,5g$
 $\rightarrow \Delta m = 3,2g$
 $m_{\text{Marshmallow}} = 0,2g$
 $\rightarrow \Delta m = 1,2g$
 Walnuss | Mandel
 86% | 86%

Alle Messergebnisse unserer Kalorimeterveruche (bis auf den „Marshmallow-Ethanol-Versuch“) auf einen Blick

Leider scheint unsere Messapertur nicht über die ausreichende Messgenauigkeit zu verfügen. Die von uns ermittelten Werte weichen deutlich von den Literaturwerten ab. Die prozentuale Abweichung vom Literaturwert

Formel:

$$(1 - \text{unser Wert} / \text{Lit.-Wert}) * 100$$

wird in der unteren Tabelle dargestellt:

Name	Abweichung
Walnüsse	69%
Mandeln	45%
Marshmallows	71%

Wie zu erwarten war, ist die Abweichung bei den Marshmallows am größten. Zwar hat uns unsere Idee mit dem „Marshmallow-Ethanol-Versuch“ überhaupt erst Messergebnisse eingebracht, diese sind jedoch alles andere als zufrieden stellend. Der Brennwert von zuckerhaltigen Lebensmitteln scheint sehr schwer zu bestimmen zu sein (zumindest mit dieser Versuchsanordnung).



Anzünden des in Ethanol getränkten Marshmallows
 (leicht neben der Dose)

Mit den möglichen Fehlerquellen der Versuche und deren eventuelle Behebung wird sich der nächste Abschnitt des Protokolls beschäftigen.

3.2 Fehlerquellen

Wie der nebenstehenden Tabelle zu entnehmen ist, ist unser Versuchsaufbau alles andere als perfekt. Daher ist es sehr wichtig nach möglichen Fehlerquellen zu suchen, die zu falschen Ergebnissen führen können. Allgemein zu erwähnen sind als Fehlerquellen u.a.

- Ablesefehler (zu vernachlässigen)
- Rechenfehler (hoffentlich zu vernachlässigen)
- Energieverlust (Wärmeverlust)

Der letzte Punkt scheint uns der wichtigste zu sein. Um ihn näher zu beschreiben zu können und seine Größenordnung näher bestimmen zu können haben wir einen Versuch zur Bestimmung des Wärmeverlusts unseres Aufbaus durchgeführt.

Dabei verbrennt man reines Ethanol in einem Brenner und misst den Temperaturanstieg. Zusammen mit dem Literaturwert der Verbrennungsenthalpie von Ethanol und den spezifischen Wärmekapazitäten von Wasser und Eisen (bzw. Aluminium bei der Coladose) kann man dann errechnen wie heiß die Aperatur geworden sein müsste. Verglichen mit dem Ist-Wert kann man dann den Verlust ausrechnen.

Die Molare Masse von Ethanol (C_2H_5OH) beträgt $46g\ mol^{-1}$
 ($24g + 5g + 16g + 1g = 46g$).

Pro Mol werden bei der Verbrennung von Ethanol $1366kJ$ frei.

Bei unserem ersten Versuch (D1) wurden $1,6g$ Ethanol verbrannt. Das Kalorimeter erwärmte sich um $48,7K$.

Bei unserem zweiten Versuch (D2) wurden $1,9g$ Ethanol verbrannt, dabei erwärmte sich das Kalorimeter um $57,8K$.

Beim Versuch mit der Stahlblechdose (spezifische Wärmekapazität von Stahl $c_{\text{Stahl}} = 0,47 \text{ J g}^{-1} \text{ K}^{-1}$) sollte eine Energie von $47,5 \text{ kJ}$ frei werden. Setzt man alle bekannten Werte in (**) ein (siehe Nebenrechnungen), dann erhält man für ΔT eine Soll-Temperaturerhöhung von $107,3 \text{ K}$. In unserem Versuch stellen wir jedoch nur einen Temperaturanstieg von $48,7 \text{ K}$ fest.

Bei unserem Versuch haben wir also mit der Konservendose einen Verlust von $1 - (48,7 \text{ K} / 107,3 \text{ K}) = 0,546$.

Im Klartext heißt das, dass nur ca. 45% der Verbrennungsenergie zum Erwärmen des Wassers genutzt werden kann. Bei der Aluminiumdose beträgt der errechnete Verlustwert 0,545. Die Aludose hat also einen geringfügig besseren Wert. Allgemein kann man allerdings sagen beide Dosen sind gleich gut – bzw. eher gleich schlecht.

Beim Verbrennen geht also mindestens die Hälfte der Verbrennungsenergie verloren. Dies erklärt die hohen Abweichungen in der obigen Tabelle.

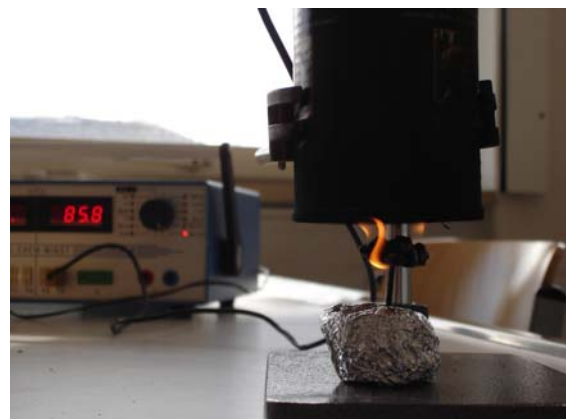
Allgemein geht bei großen Flammen (Walnuss, Marshmallows) auch viel Energie verloren, wobei der Verlust bei kleineren Flammen (Mandeln) vergleichsweise klein bleibt.



Bei einer großen Flamme geht viel Wärme ungenutzt verloren



Durch Zugluft kann dieser unerwünschte Effekt verstärkt werden



Die Dosen verrußen zunehmend: Dies hat eine isolierende Wirkung

Nebenrechnungen:

*1)

1366 kJ - 46g

29,7 kJ - 1g

47,5 kJ - 1,6g

**2)

$$E_{\text{ges}} = c_{\text{Metall}} \cdot m_{\text{Metall}} \cdot \Delta T + c_{\text{Wasser}} \cdot m_{\text{Wasser}} \cdot \Delta T$$

3) $m_{\text{Konservendose}} = 48,2 \text{ g}$ $m_{\text{Aludose}} = 26,8 \text{ g}$

4) Bei der Aludose sollte eine Temperaturerhöhung von $127,1 \text{ K}$ stattfinden. Sie beträgt allerdings nur $57,8 \text{ K}$. Der Verlust beträgt also 0,545 oder 54,5%.

4. Kalorienvergleich

Für diese Aufgabe haben wir uns entschlossen die Literaturwerte der Lebensmittel zu verwenden. Dort sind die Walnüsse Kalorien-Spitzenreiter, bei uns sind es die Mandeln.

Name	Kalorien pro 100g	Literaturwert pro 100g
Walnüsse	198kcal	645kcal
Mandeln	318kcal	580kcal
Marshmallows	95kcal	324kcal

Auf Platz zwei der Kalorien (Literaturwerte) liegen die Mandeln. Die Marshmallows haben auf 100g nur halb so viel Kalorien wie die Walnüsse und belegen Platz drei.

Hinweis: Die Tabelle listet die kcal pro 100g auf, nicht die Kalorien pro Stück!

Die drei großen Energielieferanten in unseren Lebensmitteln sind

Fette, Eiweiße und Kohlenhydrate.

Sie sind für die Kalorien hauptverantwortlich.

Fette haben mit 9,3 kcal/g* die meisten Kalorien der drei Nährstoffe.

Eiweiße und Kohlenhydrate (Zucker) haben jeweils nur 4,1 kcal/g*. Bekanntlich enthalten Nüsse sehr viel Fett; dies erklärt, warum die Walnüsse, dicht gefolgt von den Mandeln, die obige Tabelle anführen.

Übrigens: Alkohol liefert 7,1 kcal/g*. Deshalb bekamen wir einen so großen Energiewert für den Strohrum (weit größer als den der Marshmallows). Es wäre jedoch ratsamer 100g Marshmallows zu essen, als 100g Strohrum zu trinken. Obwohl man sich über den gesundheitlichen Wert von Marshmallows sicherlich streiten kann.

*Quelle:

<http://www.novafeel.de/ernaehrung/kalorientabelle/kalorientabelle.htm>

5.

Auf die Fragestellungen 5a) und 5b) sind wir bereits in den Beantwortungen der vorigen Fragen eingegangen.

Das Gewicht eines Marshmallows lässt sich auch ohne Waage bestimmen, indem man es verbrennt. Von der Temperaturdifferenz kann man auf die Kalorien schließen, die freigesetzt worden sind. Man weiß (aus der Literatur) welchen Energiewert 100g Marshmallows besitzen. Mit einem Dreisatz kann man dann das Gewicht des Marshmallows ausrechnen:

$$\begin{array}{rcl}
 \begin{array}{l} / 324 \\ * x \end{array} & \begin{array}{l} 100g \\ 0,309g \\ xg \end{array} & \begin{array}{l} 324kcal \\ 1kcal \\ \text{erhaltener Wert} \end{array} \\
 & & \begin{array}{l} / 324 \\ * x \end{array}
 \end{array}$$

Besonders bei den Marshmallows ergeben sich hier jedoch Schwierigkeiten (siehe 3.1). Außerdem ist der Versuchsaufbau zu ungenau. Möglichkeiten zur Verbesserung wären unter anderem:

- Verbrennen in einem abgeschlossenen Raum (z.B. Kasten, braucht aber Luftlöcher)
- Für wenig Zugluft sorgen
- Dünnere Dosen benutzen bzw. selbst basteln
- ...

6. Andere Energieeinheiten

Eine unserer halben Walnüsse (errechnete Energie 6201cal) hat im Internationalen System (SI) die Energie von

$$6201 * 4,1868 = \mathbf{25962,3468J.}$$

Zum Umrechnen in die Btu (British thermal unit) muss man zunächst wissen, dass auf der Fahrenheitschen Temperaturskala zwischen 0°F und 100°F 55,6°C liegen. Ein Intervall von 1°F entspricht also einem Intervall von 0,556 °C. 1 Britisches Pfund entspricht exakt 453,59237g.

Eine **Kalorie** ist die Energie, die man braucht um 1g Wasser um 1K (1°C) zu erwärmen:

$$E = 4,1868\text{J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot 1\text{g} \cdot 1\text{K} = \mathbf{4,1868\text{J}}$$

Eine **Btu** ist die Energie, die man braucht um 453,59237g Wasser um 0,556K zu erwärmen:

$$E = 4,2\text{J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot 453,59237\text{g} \cdot 0,556\text{K} = \mathbf{1059,228902\text{J}}$$

Unsere Walnuss hat also eine Energie von ca. 24,51 Btu.

2. Ein süßer „Kunst-Stoff“

Inhalt

1. Offen- und geschlossenporige Schäume	Seite 15
Materialliste	Seite 16
2./3. Herstellung des Zuckerschaums	Seite 16
Durchführung	Seite 16
Beobachtung	Seite 16
4. Warum schäumt der Schaum?	Seite 17
5. Variation der Wassermenge	Seite 18
Durchführung	Seite 18
Beobachtung	Seite 18
6.1 Geschmack und Farbe	Seite 19
Vorbereitung	Seite 19
Beobachtung/Auswertung	Seite 19
6.2 Geschmacksproben	Seite 21
7. PUR- und andere Schäume	Seite 23

Ein süßer „Kunst-Stoff“

1. Offen-, geschlossenporige Schäume im Alltag

1. Einkomponenten-Montageschaum

Für „Häuslebauer“ und Bastler unabdingbar: Der Montageschaum. Ihn gibt es in verschiedenen Ausführungen er ist ein geschlossenporiger Schaum und wird nach dem Aushärten fest.
Anwendung: z.B. Isolierungen

2. Zweikomponenten-Montageschaum



Zwei-Komponenten- und Einkomponenten-Montageschaum

Bei diesem Montageschaum handelt es sich (wenn er hart ist) ebenfalls um einen geschlossenporigen Schaum. Die zwei Komponenten (in den zwei Flaschen) werden zusammengebracht, dadurch kommt es zum Schäumen (ähnlich wie bei der PUR-Reaktion, siehe Aufgabe 7).

3. Baisers/Schäumchen

Die Aufgabe mit dem Zuckerschaum inspirierte uns dazu hier eine Süßigkeit, die Baisers (auch Schäumchen



genannt) als geschlossenporige Schäume aufzuführen. Diese Konditorenspezialitäten sind aus Zucker und sehr fest. In Frankreich werden sie auch Meringues genannt.

4. Polystyrol

Polystyrol ist meistens unter dem Namen Styropor bekannt. Er gehört zu den offenporigen Schaumstoffen. Er wird u. a. zum Verpacken verwendet.



Polystyrol-(Styropor-)platten

5. Polyethylenschaum

Polyethylenschaum findet als offenporiger Schaum in unserem Leben vielfältige Anwendungen. Man findet ihn z.B. in Schwimmgeräten oder in Dichtungen für Türen.



Dichtung aus Polyethylen

Materialliste

Zur Herstellung des Zuckerschaums benötigt man:

- Backpulver (mehrere Päckchen)
- Zitronensäure
- Mehrere Bechergläser
- Waage
- Traubenzucker (Glucose)
- Wasser und versch. Säfte
- Lebensmittelfarbe
- Paprikagewürz
- Heizplatte
- Glasstäbe
- Löffel zum Probieren

2./3. Herstellung des Zuckerschaums

Durchführung:

Man wiegt 15g Backpulver (ein Päckchen) in ein Becherglas und mischt es mit 5g Zitronensäure.



Abwiegen der Zitronensäure
(im Glas ist bereits das Backpulver)

Man wiegt anschließend 30g Glucose in ein weiteres Becherglas. Der Traubenzucker wird mit einem Teelöffel Wasser vermischt und auf der Heizplatte erhitzt, bis er schmilzt. Der Zucker muss dabei flüssig und klar werden, sollte aber nicht braun werden. In unseren Experimenten hat sich der Moment, in dem der Zucker zu köcheln beginnt, als der idealste herauskristallisiert. Der geschmolzene

Zucker wird in ein (hohes) Becherglas gefüllt und mit der Backpulver-Zitronensäure-Mischung vermischt.

Das Volumen des sich bildenden Schaums wird gemessen und die Zeit, die er zum Bilden benötigt, gestoppt. Der Schaum wird auf Konsistenz und Eigenschaften überprüft (z. B. Festigkeit). Dazu ist es wichtig, dass man ihn zunächst abkühlen lässt.

1. Mindert sich dadurch die Verbrennungsgefahr, denn der Schaum ist zu Beginn noch recht heiß;
2. Muss der Schaum erst hart werden.

Beobachtung:

Beim Erhitzen des Traubenzuckers ist es wichtig, dass man ständig mit einem Glasstab umrührt um eine möglichst homogene Masse zu erhalten.



Beim Umrühren des Traubenzuckers

Der Zucker wird langsam erst klebrig, dann flüssig. Die Masse wird dabei immer klarer und durchsichtiger. Wenn sie schließlich zu köcheln beginnt, ist sie völlig durchsichtig und in der Farbe leicht gelblich.

Beim Zusammenschütten von Zucker und Backpulver-Zitronensäure beginnt sich langsam ein Schaum zu bilden. Dieser bildet sich nicht sofort, sondern erst nach kurzer Zeit des Umrührens. Der Schaum hat in etwa die Farbe der Glucose und beginnt im Glas zu wachsen.

Bei allen Versuchen dauerte das Schaumwachstum ca. 75 Sekunden

(bis zum völligen Stillstand des Wachstums).



Der Zuckerschaum beginnt zu Wachsen
(Der blaue Strich markiert den Anfangsstand der Masse)

Bei unserem ersten Versuch stieg der Schaum von einer Grundhöhe von 1,4cm auf eine Höhe von 4,7cm an. Bei einem Becherglasradius von 4cm entspricht dies einem Volumenzuwachs von $70,43\text{cm}^3$ auf $136,25\text{cm}^3$, also ca. 335%.

Nach einiger Zeit ist der Schaum ausgehärtet und abgekühlt. Er kann nun auf seine Beschaffenheit untersucht werden: Stellt man das Glas auf den Kopf, so bleibt der Schaum im Glas und fällt nicht heraus.



Der Schaum fällt nicht aus dem Glas

Er fühlt sich jedoch nicht sehr fest an und ist mit dem Finger oder einem Glasstab leicht zu zerstören. Es fällt auf, dass der Schaum sehr klebrig ist. Um nicht die gesamte Einrichtung zu verkleben sollte man auf jeden Fall

regelmäßig die Waschbecken aufsuchen.

4. Warum schäumt der Schaum

Beim Aufschäumen des Schaumes kommt es zu Blasenbildung, also zu Gasentwicklung. Die Frage nach dem Grund dieser Gasentwicklung kann man nur beantworten, wenn man die Inhaltsstoffe der Zutaten kennt.

Die „Inhaltsstoffe“ der Zitronensäure und der Glucose sind klar:

Zitronensäure und Glucose

Das Backpulver enthält laut Packung ein Säuerungsmittel (E450), Stärke und als Backtriebmittel Natriumhydrogencarbonat.

In der Schule lernt man eine der elementaren Säure-Reaktionen: Die Reaktion einer Säure mit Carbonaten. Dabei entsteht immer Kohlendioxid, Wasser und ein Salz.

Im Backpulver finden wir ein Carbonat: das Natriumhydrogencarbonat (NaHCO_3). Dieses Carbonat reagiert im Versuch mit der Zitronensäure ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$) und bildet dabei Kohlendioxid (CO_2).

Dazu benötigen die Reaktionspartner allerdings Wasser: Wenn man eine Säure und ein Carbonat in Pulverform miteinander vermischt, kommt es zu keiner Reaktion. Man braucht Wasser, welches der Glucose beigemischt wird. Diese wird zunächst flüssig (Hitze) kühlt jedoch dann wieder ab und wird hart, weshalb der Zuckerschaum stabil bleibt.

Die Volumenbildung ist den Bläschen zuzuschreiben, in denen sich Kohlendioxid befindet. Dieses Gas sorgt für das Aufschäumen.

5. Variation der Wassermenge

Durchführung:

Der obige Versuch wurde mit der Wassermenge von 1TL durchgeführt. Die Wassermenge wird nun variiert. Der Versuch wird zunächst mit 2TL, dann mit 3TL Wasser durchgeführt. Wieder wird das Ergebnis notiert und die Volumenänderung ausgerechnet.

Beobachtung:

Wie schon beim vorherigen Versuch schäumt der Schaum nach kurzer Zeit auf und benötigt ca. 75 Sekunden zur vollständigen Bildung.

Die Volumenänderungen in Prozent der einzelnen Schäume werden in der folgenden Tabelle dargestellt:

	1 TL	2 TL	3 TL
Volumenänderung in %	335	226	277

Deutlich zu erkennen ist, dass der höchste Wert bei 1TL erreicht wird. Wir fragten uns, ob es noch eine idealere Wassermenge gäbe. Diese müsste zwischen 1TL und 2TL liegen. Um diese Idealmenge genauer zu bestimmen, mussten wir feststellen, wie viel ml Wasser die einzelnen Werte entsprechen.

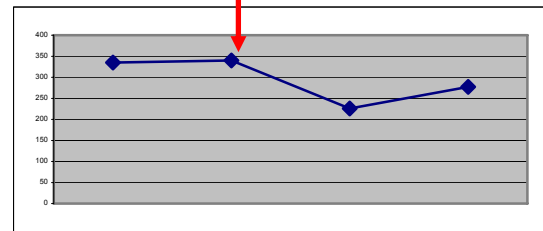
Zur Bestimmung der Wassermenge von einem Teelöffel eignet sich am besten ein kleiner Standzylinder (0-10ml). Durch Abmessen stellten wir fest, dass ein TL ungefähr dem Volumen von etwas mehr als 2ml entspricht. Für unseren Versuch ein Optimum an Volumen zu erreichen entschieden wir uns für eine Wassermenge von 3ml.

Das Volumen des Schaums im Glas stieg von $125,66\text{cm}^3$ auf $427,25\text{cm}^3$. Der Schaum erreicht also ungefähr das 3,4-fache seines ursprünglichen Volumens (etwas mehr als bei 1TL

Wasser). Das Optimum an Wasser für viel Schaumvolumen beträgt ca. 3ml.

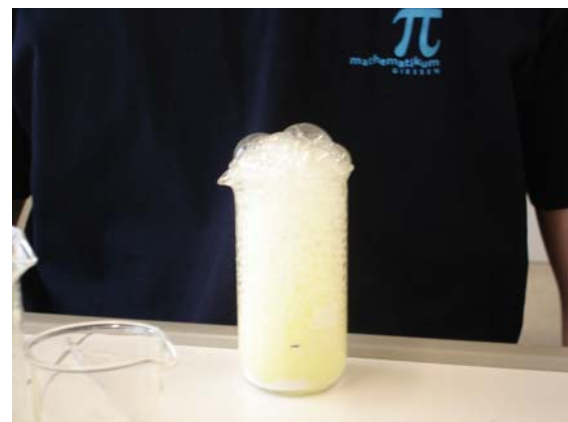
	1 TL	3ml	2 TL	3 TL
Volumenänd. in %	335	340	226	277

Optimale Wassermenge



blaue Linie: Volumen des Schaums

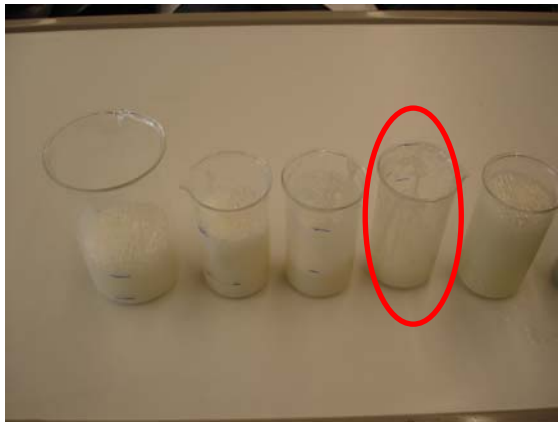
Der Schaum ist ähnlich beschaffen wie der aus Versuch 2. Es ist allerdings festzustellen, dass die Festigkeit des Schaums mit steigender Wassermenge abnimmt. Die Bläschen bei der Bläschenbildung erscheinen auch größporiger. Bei sehr viel Wasser (3TL) bilden sich z.T. einzelne, sehr große Blasen, die jedoch sehr instabil sind. Dies ist ein weiterer Grund dafür warum der Schaum bei relativ großen Wassermengen nicht so hoch wird: Er ist instabil und fällt in sich zusammen.



große Blasen, die jedoch schnell wieder in sich zusammenfallen

Der Schaum mit 3TL Wasser war so instabil, dass er nach dem Abkühlen

den „Kopfüber-Test“ nicht bestanden hat. Nach dem Auf-den-Kopf-Stellen des Glases fiel der Schaum aus dem Glas.



Der 3TL-Schaum überstand den „Kopfüber-Test“ nicht

6.1 Geschmack und Farbe

Der Schaumversuch wird nun anstatt mit Wasser mit gefärbtem Wasser (Lebensmittelfarbe), Fanta und mit Paprika durchgeführt.

Vorbereitung:

Zunächst löst man die Lebensmittelfarben in Wasser auf (in unserem Fall sind es die Farben rot und blau).

Anmerkung: Ab jetzt werden alle Versuche mit einer Wassermenge von 3ml durchgeführt.

Dann werden die Versuche wie üblich durchgeführt.

Um einen Paprika-Schaum zu erreichen mischt man am Besten unter die Backpulver-Zitronensäure-Mischung etwas Paprika-Pulver. Es werden wieder 3ml Wasser verwendet.

Beobachtung, Auswertung:

Erstaunlicherweise war beim gefärbten Wasser ein nicht so großer Volumenzuwachs zu beobachten wie beim „normalen“ Wasser.

Dies lässt sich an folgendem Bild besonders gut erkennen.

Wohlgemerkt: Bei allen drei Schäumen wurde dieselbe Wassermenge verwendet.



links: Schaum mit gefärbtem Wasser
rechts: „normales“, ungefärbtes Wasser

Außerdem kann man das Wasser auch durch Fanta ersetzen (wieder 3ml). Hier entspricht der Volumenzuwachs wieder in etwa dem des „normalen“ Wassers.

Beim Paprika-Schaum ist wiederum ein geringerer Zuwachs an Höhe zu beobachten. Dafür erreicht dieser Schaum bisher nicht geübte Festigkeit.

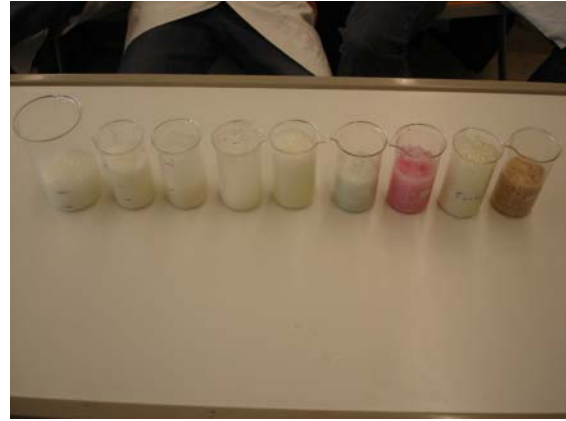


Schaumsorten von rechts nach links:
Paprika, Fanta, rote Lebensmittelf., blaue Lebensmittelf.



Der feste Paprika-Schaum

Nach den Versuchen mit Fanta und Lebensmittelfarbe kam uns der Einfall, das Wasser bei der Schaumherstellung durch Sprudel (Mineralwasser) zu ersetzen. Schließlich ist hier bereits das Gas, das für die Blasenbildung verantwortlich ist, nämlich das Kohlendioxid, vorhanden. Im Prinzip müsste es zu einer noch stärkeren Schaum- und Volumenbildung kommen. Dies ist auch der Fall. Der Schaum mit Sprudel hat in etwa die Konsistenz und Eigenschaften des normalen Wasserschaums, ist jedoch um 1-2 Zentimeter (das entspricht ca. 70cm^3) höher.



alle Schäume im Vergleich:
von links nach rechts: 1TL Wasser, 3ml Wasser, 2TL Wasser, 3 TL Wasser (ausgelaufen), Sprudel, blau, rot, Fanta, Paprika

In den folgenden Tabellen werden noch einmal alle Schäume zusammengefasst:

Name:	1 TL Wasser	3ml Wasser	2 TL Wasser	3 TL Wasser
Beschaffenheit	Fest, weiß (leicht beige), klebrig	Fest, weiß (leicht beige), klebrig	Wie 1 TL Aber größere Poren, weniger fest	Nicht sehr fest, weiß, gr. Poren, rutscht aus dem Glas
Volumenzuwachs (im Vergleich zum ursprüngl. Volumen)	335%	340% (optimal)	226%	277%

Name:	Sprudel	blaue/rote Lebensmittelfarbe	Fanta	Paprika
Beschaffenheit	Fest, weiß (leicht beige), klebrig	Rot bzw. blau, ansonsten wie bei „normalen“ Wasser	Wie „normales“ Wasser, gelblich	Rotbraun, weniger klebrig, fester
Volumenzuwachs (im Vergleich zum 3ml-Wasser)	Mehr als „normales“ Wasser	Weniger als „normales“ Wasser	Wie „normales“ Wasser	Weniger als „normales“ Wasser

6.2 Geschmacksproben

Da wir nun viele verschiedene Schäume herstellen können, interessiert es uns auch, wie diese schmecken. Als erstes wird der „Standard-Schaum“ probiert. Da die Lebensmittelfarbe geschmacksneutral

ist probieren wir zunächst den roten Schaum (die rote Farbe spricht an und macht Mut zum Probieren) um den Geschmack des „reinen“ Zuckerschaums zu erfahren.

Wir denken, die untenstehende Bilderreihe spricht für sich:



Der saure Geschmack der Zitronensäure ist dominierend und überdeckt die anderen; erster Geschmackseindruck: sehr sauer

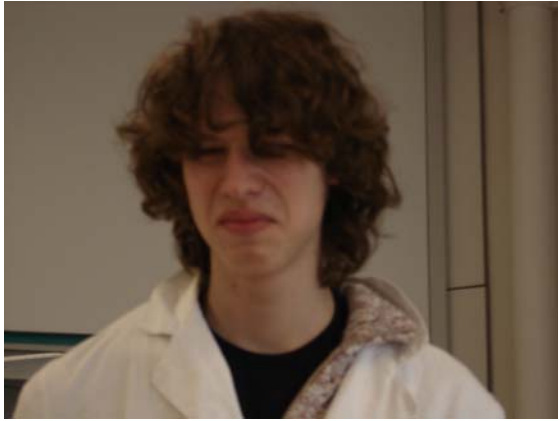
Man kann die Zitronensäure sehr stark herauschmecken. Ihr Geschmack ist dominierend und überdeckt die anderen Inhaltsstoffe. Der Schaum fühlt sich auf der Zunge „prickelnd“ an. Weitere Aussagen über den Geschmack können nicht gemacht werden, da die Säure alles Andere überdeckt. Ein klein wenig Süße ließ sich jedoch trotz allem herauschmecken.

Diese Erfahrung schreckte uns jedoch nicht ab, zumindest zwei weitere Schäume zu probieren:

- Den Paprika-Schaum
- Den Fanta-Schaum

Auch hier haben wir wieder Bilderreihen, die unsere Erlebnisse dokumentieren sollen. Zunächst der Paprika-Schaum:





Nach dem Probieren des Paprika-Schaums

Auch dieser Schaum schmeckt sehr stark sauer. Das Paprikagewürz ist aber herauszuschmecken. Bisher haben wir noch keinen Schaum gefunden, der richtig gut schmeckt. Vielleicht ändert sich ja das beim Fanta-Schaum:



Der Fanta-Schaum schmeckt am Besten; Prädikat: Nicht schlecht – aber auch nicht gut

Der Fanta-Schaum schmeckt von allen Schäumen am Besten. Er ist jedoch auch sehr stark sauer. Dieser Geschmack wird jedoch durch leichte Fruchtigkeit ergänzt.

Ein Kassenschlager wird dieser Schaum jedoch bestimmt auch nicht werden. Auf dem Jahrmarkt sollte man doch wieder zur guten alten Zuckerwatte zurückgreifen.

Fazit: Geschmacklich sind alle Schäume nicht sehr gut und können mit heutigen Süßigkeiten nicht konkurrieren. Das liegt an der Zitronensäure, deren saurer Geschmack hervorsteicht. Diese ist aber für die Reaktion (Säure + Carbonat) unabdingbar und nicht ersetzbar.

Beim Probieren der Schäume lag bei uns immer eine Tafel Bitterschokolade bereit: Ihr intensiver Geschmack neutralisierte den Geschmack im Mund.



Die Zuckerschäume sind alle zu sauer

7. PUR- und andere Schäume

Beim eigentlichen Polyurethan findet eine Polyaddition in einer wässrigen Emulsion statt. Es kommt zur Kohlendioxidabspaltung und zur Blasenbildung. Dadurch entsteht der Schaum, der später ein Vielfaches seines ursprünglichen Volumens erreicht.

Es reagieren Diisocyanate (z. B. Desmophen) und Polyalkohole (z. B. Desmodur) miteinander. Es findet eine **Polyaddition** statt

Der Aktivator (z. B. Desmophen, Moltopren B) enthält Wasser, das mit dem Diisocyanat reagiert. Bei dieser Reaktion entsteht Kohlenstoffdioxid, das das noch weiche Polyurethan aufschäumt* (wie bei unseren Zuckerschäumen).

Der PUR-Schaum findet vielfache Verwendung: Er wird nicht nur zur Herstellung von Fußbällen benötigt. Andere Produkte sind „Schaumgummis“ zur Wärme- und Schalldämmung oder Schaumstoffe für Polstermaterial. Es handelt sich um ein sehr vielseitiges Material.

Andere Kunststoffschäume bestehen zum Beispiel aus Polystyrol, Polyethylen, Polyvinylchlorid (PVC)**. Polysterol, besser bekannt als Styropor, findet Verwendung bei der Verpackung von Ware (v.a. zerbrechliche Ware). In der Elektrotechnik wird Polystyrol z.B. auch verwendet um Kabel zu isolieren. PVC kennt man als Material, aus dem Fußböden hergestellt werden. In der Faserverbundtechnologie findet PVC Verwendung als so genannter „Sandwichwerkstoff“. Bei der Sandwichbauweise werden Bauteile verwendet, die aus verschiedenen Lagen bestehen. PVC findet hier z.B. Anwendung bei Sportbooten und Rotorblättern von Windkraftanlagen***.

*Quelle: <http://pz.bildung-rp.de>

**Quelle: *Lexikon der Chemie* (Spektrum Verlag)

PVC hat im Gegensatz zu den anderen Kunststoffen (z.B. Polyethylen) schwer entflammare Eigenschaften. Das liegt am Chlorgehalt des Materials.



Dichtungen aus PVC

Das untenstehende Bild zeigt eine von vielen Anwendungen von Polyethylenschaum:



Schwimmgerät aus Polyethylenschaum

***Quelle: www.wikipedia.de

Anhang:

Unser Team: „Die neunte Hauptgruppe“



Gruppenfoto

Das Experimentieren und Ausarbeiten hat uns sehr viel Freude bereitet. Leider sind wir schon zu alt, um nächstes Jahr noch einmal mitzumachen.

Vielen Dank für die tollen Aufgaben an das Dechemax-Team und weiterhin viel Erfolg mit dem Wettbewerb!



Beim Spülen



Nach getaner Arbeit: Tafelwischen