44. Internationale PhysikOlympiade

Kopenhagen, Dänemark 2013

Wettbewerbsleitung
Dr. Stefan Petersen
Tel.: 0431 / 880 - 5120
email: petersen@ipho.info

Sekretariat
Lulu Hoffmeister
Tel.: 0431 / 880 - 5387
email: sekretariat@ipho.info

Anschrift: IPN an der Universität Kiel
Olshausenstraße 62
24098 Kiel

Fax: 0431 / 880 - 3148
Webseite: **www.ipho.info**

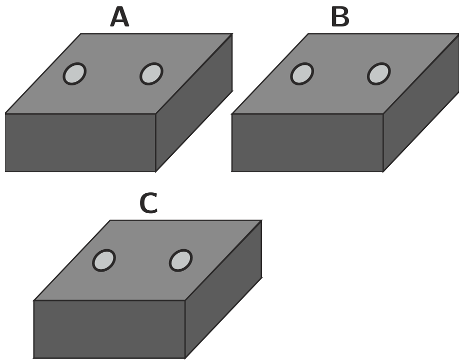
Aufgaben der 2. Runde im Auswahlwettbewerb zur 44. IPhO 2013

Hinweise zur Bearbeitung

- Teilnahmeberechtigt sind alle Schülerinnen und Schüler, die die 1. Runde erfolgreich abgeschlossen oder sich über einen anderen Wettbewerb für die 2. Runde qualifiziert haben und **nach dem 30. Juni 1993 geboren** sind.
- Die Aufgaben sind **ohne fremde Hilfe und in Einzelarbeit** zu lösen. Gemeinschaftslösungen sind nicht zulässig. **Beachten Sie hierzu auch die erste Seite des beigefügten Adressbogens und schicken Sie diesen ausgefüllt und unterschrieben mit!**
- Bitte bearbeiten Sie jede Aufgabe auf gesonderten Blättern und schreiben Sie auf jedes Blatt Ihren Namen und Ihren Schülercode.
- Die Lösungen können handschriftlich abgegeben werden. Die Darstellung sollte logisch vollständig und nicht unnötig breit sein. Wenn Sie Formeln oder Zwischenergebnisse, die nicht im Physiklehrbuch der Schule stehen, aus anderen Quellen entnehmen, geben Sie diese bitte an.
- **Das Lösen der Probleme mit dem Computer ist nicht zulässig**. Sie dürfen einen Computer unterstützend (zum Beispiel zum Tippen Ihrer Bearbeitung oder zum Zeichnen) verwenden. Die Lösung muss aber ohne Computer nachvollziehbar sein.
- Der **Abgabetermin ist der 30.10.2012** (Poststempel). Bis zu diesem Datum müssen Sie Ihre **Bearbeitung unkorrigiert zu Ihrem Landesbeauftragten schicken**. Die Mitteilung, ob Sie in die nächste Runde kommen, erhalten Sie kurz vor Weihnachten. Eingeladen werden die etwa 50 Bestplatzierten. Der **Termin der 3. Runde ist der 27.01. bis 02.02.2013**.
- Die eingereichten Arbeiten werden nicht zurückgeschickt. Es wird deshalb empfohlen, für eigene Zwecke eine Kopie anzufertigen. Eine Musterlösung geht ihnen mit der Benachrichtigung über Ihr Abschneiden in der 2. Runde zu.
- In der Regel haben selbst die Bestplatzierten nicht alle Aufgaben richtig gelöst. **Verlieren Sie also nicht den Mut** und schicken Sie Ihre Aufgaben auch dann ein, wenn Sie nicht alle Aufgabenteile bearbeiten konnten. Wir wünschen viel Erfolg!
- Weitere Informationen und Aktuelles finden Sie unter **www.ipho.info**.

Aufgabe 1 Black-Boxen (17 Pkt.)

Sie sollen den Inhalt von drei elektrischen Black-Boxen (**A**, **B** und **C**) mit jeweils zwei Anschlüssen untersuchen, deren Schaltungen alle aus identischen Bauelementen aufgebaut sind, nämlich Widerständen mit Widerstandswert R, Spulen mit Induktivität L und Kondensatoren mit Kapazität C. In den Boxen **A** und **B** ist von jedem der Bauelemente genau eines verbaut, während in der Box **C** insgesamt vier beliebige Elemente miteinander verbunden sind.



Bei einer Messung des Scheinwiderstandes als Funktion der Kreisfrequenz zeigen die Boxen das folgende Verhalten:

Box A - Bei einer angelegten Gleichspannung und bei sehr hohen Kreisfrequenzen beträgt der Widerstand etwa R_0. Bei einer Kreisfrequenz ω_0 steigt er hingegen unbegrenzt an.

Box B - Sowohl bei Gleichspannung als auch bei sehr hohen Kreisfrequenzen besitzt diese Box einen beliebig hohen Widerstand[1]. Bei der Kreisfrequenz ω_0 hingegen beträgt ihr Widerstand R_0.

Box C - Der für die Box C gemessene Widerstandswert beträgt unabhängig von der Kreisfrequenz der angelegten Spannung R_0.

a) Geben Sie mit Hilfe der gegebenen Informationen alle möglichen, unterschiedlichen Schaltskizzen[2] für die drei Black-Boxen **A**, **B** und **C** an. Begründen Sie die Wahl Ihrer Schaltungen. *(9 Punkte)*

Bei einigen der möglichen Realisierungen der drei Black-Boxen sind die gegebenen Informationen ausreichend, um die Kennwerte der Bauelemente zu bestimmen.

b) Drücken Sie für diese Fälle die Größen R, L und C durch R_0 und ω_0 aus. Bestimmen Sie für $R_0 = 100\,\Omega$ und $\omega_0 = 40{,}0\,\mathrm{kHz}$ jeweils die Werte von R, L und C. *(3,5 Punkte)*

Schaltet man die in Aufgabenteil b) verwendeten Boxen **A** und **B** in Serie, so gibt es Kreisfrequenzen, bei denen der Widerstand dieser Serienschaltung genau $2\,R_0$ beträgt.

c) Bestimmen Sie diese Kreisfrequenzen. *(4,5 Punkte)*

Sie können die Bauteile als ideal annehmen und davon ausgehen, dass die Elemente in allen Boxen in den Stromkreis integriert sind, also weder kurzgeschlossen sind noch offene Anschlüsse haben.

[1] Der Scheinwiderstand steigt also in diesen Fällen unbegrenzt an.

[2] Schaltungen, die sich nur durch das Vertauschen der Reihenfolge der Glieder in einer Serienschaltung oder der Anordnung der einzelnen Zweige in einer Parallelschaltung unterscheiden, können dabei als äquivalent betrachtet werden.

Aufgabe 2 Rotierende Flüssigkeiten (23 Pkt.)

Ein dünnwandiges, zylindrisches Glas der Höhe $H = 50\,\mathrm{cm}$ und mit einem Radius $R = 0,40\,H$ ist, wie in der nebenstehenden Abbildung skizziert, bis zu einer Höhe $y_\mathrm{i} = 0,40\,H$ mit einer inkompressiblen Flüssigkeit gefüllt. Dreht man das Glas langsam um seine Zylinderachse, so beginnt auch die Flüssigkeit aufgrund von Reibung zu rotieren, und die Flüssigkeitsoberfläche verformt sich.

Nun soll die Winkelgeschwindigkeit ω der Rotation langsam erhöht werden.

a) Leiten Sie einen Ausdruck für die Höhe y des Flüssigkeitsspiegels als Funktion des Abstandes x zur Drehachse ab. Bestimmen Sie außerdem, bei welcher Winkelgeschwindigkeit ω_max das Glas beginnt überzulaufen. *(9 Punkte)*

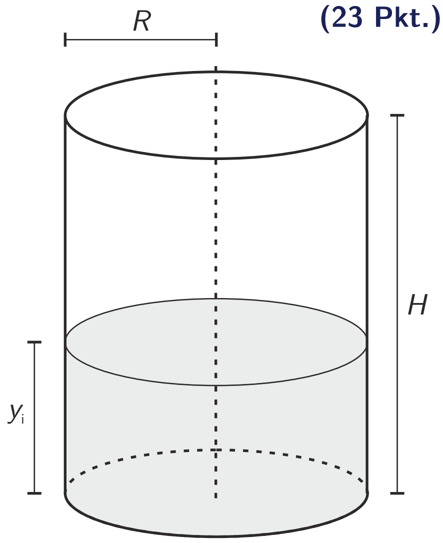


Abb. 1: Skizze zum rotierenden Glas.

Sie können bei den Rechnungen einen Wert von $g = 9{,}81\,\mathrm{m\,s^{-2}}$ für die Schwerebeschleunigung der Erde annehmen und Effekte aufgrund von Oberflächenspannung außer Acht lassen.

Interessanter wird es, wenn man zwei Flüssigkeiten unterschiedlicher Dichten ρ_1 und $\rho_2 < \rho_1$ in das Glas füllt[3] und dieses dann in Rotation versetzt. Da die Viskositäten der Flüssigkeiten ganz unterschiedlich sein können, übernehmen die Flüssigkeiten unterschiedlich schnell die Rotationsbewegung des Glases und besitzen unter Umständen verschiedene Drehgeschwindigkeiten. Auf **www.ipho.info** finden Sie in der Rubrik „aufgaben" einen Link zu einem Video, in dem Sie sich für Wasser und eine Ölsorte anschauen können, wie sich die Gestalten der Oberflächen während des Einsetzens der Drehung und des Abbremsens verändern.

Nehmen Sie zur Untersuchung der Oberflächenformen vereinfachend an, dass jede der beiden Flüssigkeiten mit einer festen Winkelgeschwindigkeit ω_1 bzw. ω_2 rotiert, die Flüssigkeiten keiner Reibung unterliegen und die anfänglichen Füllhöhen ab dem Boden des Glases $y_{1\mathrm{i}}$ bzw. $y_{2\mathrm{i}} > y_{1\mathrm{i}}$ betragen.

b) Bestimmen Sie die Form der beiden Flüssigkeitsoberflächen, geben Sie also $y_1(x)$ und $y_2(x)$ als Funktionen der auftretenden Parameter an. Beschränken Sie sich dabei auf den Fall, dass die Grenzfläche der beiden Flüssigkeiten nicht die Oberfläche der oberen Flüssigkeit berührt und keine der Flüssigkeitsoberflächen Kontakt mit dem Boden hat. Außerdem soll das Glas nicht überlaufen. *(8 Punkte)*

c) Verwenden Sie die Werte $\rho_2 = 0,80\,\rho_1$, $y_{1\mathrm{i}} = 0,40\,H$ sowie $y_{2\mathrm{i}} = 0,70\,H$, um die folgenden Fälle zu untersuchen:

   i. Bei einsetzender Drehung soll sich die obere Flüssigkeit bereits mit einer Winkelgeschwindigkeit ω_2 drehen, während die untere Flüssigkeit aufgrund einer niedrigeren Viskosität noch in Ruhe ist.
   Bestimmen Sie die maximale Winkelgeschwindigkeit $\tilde{\omega}_2$, mit der sich die obere Flüssigkeit drehen kann, bevor eine der in Aufgabenteil b) genannten Einschränkungen verletzt wird. Skizzieren Sie die Formen der Flüssigkeitsoberflächen für diesen Fall. *(2,5 Punkte)*

   ii. Nach einiger Zeit soll auch die untere Flüssigkeit mit der gleichen Winkelgeschwindigkeit $\tilde{\omega}_2$ rotieren.
   Bestimmen Sie den maximalen vertikalen Abstand der Flüssigkeitsoberflächen für diesen Fall und skizzieren Sie ebenfalls die Formen der Flüssigkeitsoberflächen. *(2 Punkte)*

[3] Sie können davon ausgehen, dass die Flüssigkeiten inkompressibel sind und sich nicht vermischen.

iii. Beim Abbremsen kommt nun zunächst die obere Flüssigkeit zur Ruhe, während die untere eine Zeit lang noch annähernd mit der Winkelgeschwindigkeit $\tilde{\omega}_2$ weiterrotiert, bevor auch sie abgebremst wird.
Bestimmen Sie die bei diesem Vorgang auftretende maximale Steighöhe der unteren Flüssigkeit und vergleichen Sie die Form der unteren Flüssigkeitsoberfläche mit der aus Aufgabenteil a). *(1,5 Punkte)*

Aufgabe 3 Schrotturm (25 Pkt.)

Die Herstellung von Bleikügelchen für Schrotmunition war ein sehr aufwändiger Prozess, bis sich Anfang des 19. Jahrhunderts die Nutzung von so genannten Schrottürmen zur Produktion durchsetzte, mit denen eine große Menge Kugeln in kurzer Zeit produziert werden konnte. Das Funktionsprinzip eines Schrotturmes ist relativ einfach. Im oberen Teil des Turmes wird Blei erhitzt, bis es schmilzt. Das flüssige Blei wird durch ein Sieb gegossen. Beim Fallen im Turm bilden sich aufgrund der Oberflächenspannung kugelförmige Bleitropfen, die während des Falles abkühlen und erstarren. Am unteren Ende des Turmes werden die Bleikügelchen in einem Wasserbecken aufgefangen. In dieser Aufgabe sollen Sie die zur Produktion einer bestimmten Sorte Bleischrot notwendige Fallhöhe eines Turmes abschätzen.

Die Abkühlung der Kügelchen während des Falls kann über Konvektion, Wärmeleitung oder Abstrahlung erfolgen. Der durch Konvektion und Wärmeleitung erzeugte Wärmestrom $P_{\text{K+W}}$ der Kügelchen kann modelliert werden durch den Zusammenhang

$$P_{\text{K+W}} = \alpha\, A\, (T - T_0)\ ,$$

wobei A die Oberfläche der Kügelchen bezeichnet, T die Temperatur der Kügelchen angibt und T_0 die Umgebungstemperatur ist. Der Faktor α ist der so genannte (mittlere) Wärmeübergangskoeffizient, der im Gegensatz zur Wärmeleitfähigkeit λ keine Materialkonstante ist, sondern von den vorliegenden Bedingungen für den Wärmeaustausch abhängt. Zur Charakterisierung des Wärmeübergangskoeffizienten kann die dimensionslose Nusselt-Zahl Nu verwendet werden, die das Verhältnis des obigen Wärmestromes zu der mittleren Wärmeleitungsleistung über eine Länge L bei gleicher Oberfläche und Temperaturdifferenz angibt. Es ist also

$$\mathrm{Nu} = \frac{P_{\text{K+W}}}{P_{\text{W}}} = \frac{\alpha\, A\, (T - T_0)}{\lambda\, A\, \frac{T-T_0}{L}} = \frac{\alpha\, L}{\lambda}\ .$$

Die Länge L ist eine charakteristische Länge der gegebenen Konfiguration. Für den Fall der Bleikügelchen in Luft entspricht diese dem Durchmesser D der Kügelchen. Die Nusselt-Zahl erlaubt damit den Vergleich der Wärmeübertragung bei zueinander ähnlichen Konfigurationen. Für viele Situation existieren empirische Formeln zur Berechnung der Nusselt-Zahl. Sie können für die von Luft umströmte Kugel den folgenden, experimentell ermittelten Zusammenhang verwenden:

$$\mathrm{Nu} = 0,37\left(\frac{\rho_{\text{Luft}}\, v\, D}{\eta_{\text{Luft}}}\right)^{\frac{3}{5}}\ .$$

Hierbei bezeichnet v die Geschwindigkeit der Kugel relativ zur Luft. ρ_{Luft} und η_{Luft} geben die Dichte und die dynamische Viskosität der Luft an.

Verwenden Sie für die Bearbeitung der Aufgaben die folgenden Angaben: In dem zu untersuchenden Schrotturm sollen Bleikügelchen mit einem Durchmesser von $D = 4{,}0\,\text{mm}$ hergestellt werden. Das Blei wird anfänglich bis knapp oberhalb der Schmelztemperatur erhitzt. Sie können annehmen, dass die Bleitröpfchen sofort eine Kugelform annehmen. Die am unteren Ende des Fallturmes in das Wasserbecken fallenden Kügelchen sollen eine Temperatur knapp unterhalb der Siedetemperatur von Wasser besitzen, um übermäßige Dampfbildung zu vermeiden. Die Umgebungstemperatur sei konstant und betrage $T_0 = 20\,°\text{C}$. Außerdem sei in dem Turm keine Luftströmung vorhanden.

a) Zeigen Sie, dass der Wärmetransport von den Bleikügelchen an die Umgebung hauptsächlich durch Konvektion erfolgt. *(6 Punkte)*

Der Fall der Kügelchen wird durch Luftreibung abgebremst, so dass sich die Geschwindigkeit der Kügelchen nach einiger Zeit einer konstanten Grenzgeschwindigkeit v_f annähert. Abbildung 2 gibt das bei den verwendeten Kügelchen auftretende Verhältnis der momentanen Fallgeschwindigkeit v bezüglich der umgebenden Luft zur Grenzgeschwindigkeit als Funktion der Zeit an.

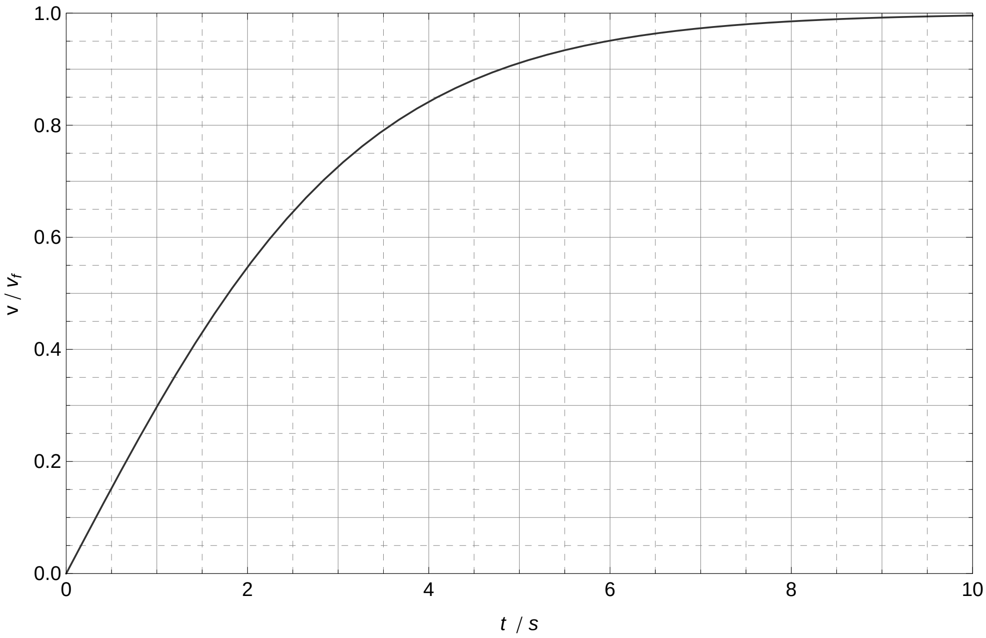


Abb. 2: Graph des Verhältnisses der momentanen Fallgeschwindigkeit v eines Bleikügelchens zur Grenzgeschwindigkeit v_f als Funktion der Zeit.

b) Schätzen Sie die minimal notwendige Fallhöhe für den beschriebenen Schrotturm ab und geben Sie an, nach welcher ungefähren Fallstrecke die Kügelchen erstarren. Es geht hierbei nicht um eine exakte Berechnung sondern darum, das Ergebnis sinnvoll und möglichst gut anzunähern. Geben Sie dabei die von Ihnen gemachten Näherungen an. *(12 Punkte)*

Um die Höhe des Fallturmes zu verringern, kann man von unten Luft in den Turm blasen.

c) Schätzen Sie ab, welche Windgeschwindigkeit in dem Fallturm vorhanden sein müsste, um die minimal notwendige Fallstrecke auf die Hälfte zu reduzieren. Nehmen Sie dazu an, dass sich die gesamte Luft in dem Turm mit einer konstanten Geschwindigkeit aufwärts bewegt. *(7 Punkte)*

Sie können für die Aufgabe die folgenden Daten verwenden:

Schwerebeschleunigung auf der Erde	$g = 9{,}81\,\mathrm{m\,s^{-2}}$
Dichte von Blei	$\rho_{Pb} = 11\,340\,\mathrm{kg\,m^{-3}}$
Schmelztemperatur von Blei	$T_{Pb} = 601\,\mathrm{K}$
Spezifische Wärmekapazität von Blei	$c_{Pb} = 131\,\mathrm{J\,kg^{-1}\,K^{-1}}$
Spezifische Schmelzwärme von Blei	$\kappa_{Pb} = 23{,}4\,\mathrm{kJ\,kg^{-1}}$
Dichte von Luft	$\rho_{Luft} = 1{,}29\,\mathrm{kg\,m^{-3}}$
Wärmeleitfähigkeit von Luft	$\lambda_{Luft} = 2{,}6 \cdot 10^{-2}\,\mathrm{W\,m^{-1}\,K^{-1}}$
Dynamische Viskosität von Luft	$\eta_{Luft} = 1{,}7 \cdot 10^{-5}\,\mathrm{Pa\,s}$

Die Werte können als konstant angenommen werden. Sollten Sie weitere Daten benötigen, geben Sie bitte die verwendeten Quellen an.

Aufgabe 4 Experimentelle Aufgabe - Physik mit Wackelpudding (35 Pkt.)

In der experimentellen Aufgabe sollen Sie die Dichte und den Torsionsmodul von Wackelpudding, der auch als Götterspeise oder Wackelpeter bezeichnet wird, bestimmen. Besorgen Sie sich dazu zunächst fertigen Wackelpudding[4]. Alternativ können Sie auch Wackelpuddingpulver oder ersatzweise Gelatine gemäß der entsprechenden Anweisungen auf der Verpackung zubereiten. Die Farbe des Puddings kann beliebig gewählt werden.

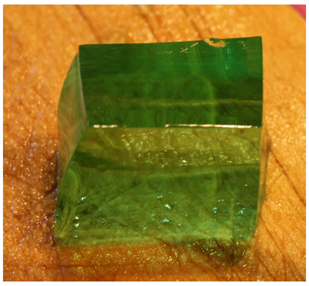


Abb. 3: Ein Block aus leckerem Wackelpudding.

Für die Versuche dürfen Sie darüber hinaus lediglich die folgenden Materialien verwenden:

- Lineal(e)
- Messer, Schere o.ä. (zum Zuschneiden des Wackelpuddings)
- Behälter mit Wasser
- Trinkhalme
- Zahnstocher/Streichhölzer
- Knetmasse
- Stoppuhr
- Schreibmaterialien

Es ist nicht zulässig, Massen direkt mit einer Waage zu wiegen.

a) Bestimmen Sie mit einem geeigneten Versuchsaufbau die Dichte des Wackelpuddings bzw. der Gelatine. Sie können dabei annehmen, dass die Dichte von Wasser $1000\,\mathrm{kg\,m^{-3}}$ beträgt. Geben Sie den Fehler Ihres Ergebnisses an. *(17 Punkte)*

Um einen soliden, elastischen Zylinder, dessen Bodenfläche fixiert ist, wie in der nebenstehenden Abbildung skizziert, um einen kleinen Winkel α zu verdrehen, muss an der Zylinderoberseite ein Drehmoment wirken, das sich mit dem Torsionsmodul G des Zylindermaterials und den Bezeichnungen in der Abbildung ausdrücken lässt durch

$$M = \frac{\pi\, G\, R^4\, \alpha}{2\, L}\,. \qquad (4.1)$$

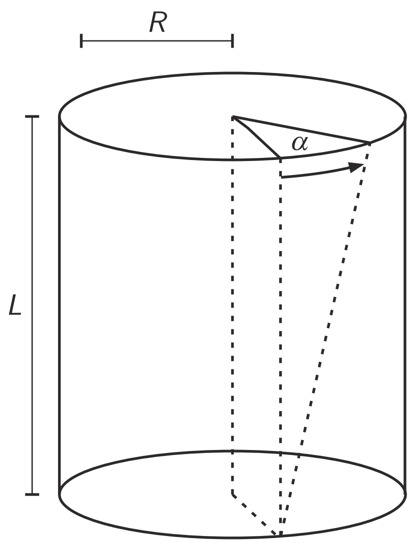


Abb. 4: Skizze zum verdrehten Zylinder.

b) Leiten Sie den Ausdruck (4.1) her. *(4 Punkte)*

c) Bestimmen Sie experimentell den Torsionsmodul von Wackelpudding. Geben Sie den Fehler Ihres Ergebnis an und nennen Sie wesentliche Faktoren, von denen das Ergebnis abhängt. Wenn Sie im Aufgabenteil a) kein Ergebnis für die Dichte des Wackelpuddings erhalten haben, können Sie bei Bedarf ersatzweise mit einer Dichte von $1000\,\mathrm{kg\,m^{-3}}$ für den Wackelpudding rechnen. *(14 Punkte)*

Beschreiben Sie Ihre theoretischen Überlegungen, die Versuchsaufbauten, die experimentelle Durchführung und die Auswertung so, dass sie gut nachvollziehbar sind.

- Viel Erfolg ! -

[4] Die evtl. beiliegende Vanillesoße sollten Sie erst nach dem Experimentieren darübergießen.