

# **52. Internationale PhysikOlympiade Belarus 2022**



## **Wettbewerbsleitung**

Dr. Stefan Petersen                      Dürken Quaas  
Tel.: 0431 / 880 - 5120                      Tel.: 0431 / 880 - 5387  
email: [petersen@ipho.info](mailto:petersen@ipho.info)                      email: [quaas@ipho.info](mailto:quaas@ipho.info)

Anschrift: IPN · Leibniz-Institut für die Pädagogik der  
Naturwissenschaften und Mathematik  
Olshausenstraße 62  
24118 Kiel

web: [www.ipho.info](http://www.ipho.info)  
twitter: @iphogermany

## **Lösungen und Bewertungsvorschläge zu den Aufgaben der 1. Runde im Auswahlwettbewerb zur 52. IPhO 2022**

**Nur für die betreuenden Lehrerinnen und Lehrer.  
Nicht vor Oktober 2021 an Schülerinnen und Schüler weitergeben!**

Sehr geehrte Fachlehrerinnen und Fachlehrer,

Ihnen gebührt unser besonderer Dank. Ohne Ihr Engagement bei der Betreuung der Teilnehmenden sowie bei der Korrektur der Arbeiten wäre es uns nicht möglich, den Auswahlwettbewerb für die Internationale PhysikOlympiade in dieser Form durchzuführen. Wir bitten Sie daher auch in diesem Jahr herzlich, Ihre Schülerinnen und Schüler zur Teilnahme an dem Wettbewerb anzuregen und die von Ihren Kandidatinnen bzw. Kandidaten bis zum 15. September 2021 abzugebenden Bearbeitungen anhand dieser Musterlösung zu bewerten. Stichtag für die Online-Übermittlung der Ergebnisse und die Einsendung der bewerteten Bearbeitungen der 1. Runde an Ihre(n) zuständige(n) Landesbeauftragte(n) ist der **29. September 2021**. Ermuntern Sie Ihre Schülerinnen und Schüler gerne auch zur frühzeitigen Abgabe einzelner Aufgabenbearbeitungen, damit sie zum Ende hin nicht alle Aufgaben auf einmal lösen müssen.

Es liegt in der Natur eines Wettbewerbes, dass nicht alle Teilnehmenden bis in die Endrunde gelangen können. Wir denken, dass sich eine Teilnahme aber in jedem Fall lohnt. Neben spannenden Aufgaben und der Möglichkeit, interessante Kontakte zu knüpfen, erhalten auch Teilnehmende, die nicht in die nächste Runde gelangen, eine Teilnahmebestätigung.

Weitere Informationen zum Ablauf der 1. und der weiteren Runden sind unter [www.ipho.info](http://www.ipho.info) zu finden.

Wir freuen uns sehr über Ihre Unterstützung und wünschen Ihnen sowie Ihren Schülerinnen und Schülern viel Erfolg! Ihr Team der PhysikOlympiade.

**Bitte beachten Sie unbedingt auch die Hinweise auf der Folgeseite!**

## Hinweise zur 1. Wettbewerbsrunde für betreuende Lehrkräfte

Für den Auswahlwettbewerb zur Internationalen PhysikOlympiade gibt es ein **Online-Anmeldungs- und -Bewertungsverfahren**, das nachfolgend beschrieben ist.

### Registrierung bzw. Anmeldung als betreuende Lehrkraft

- Wenn Sie bereits für die IPhO oder eine andere der vom IPN organisierten ScienceOlympiaden elektronisch registriert sind, melden Sie sich mit Ihren Nutzerdaten bitte für den aktuellen Wettbewerb als Betreuerin bzw. Betreuer an. Ein erneutes Zufaxen des bei der Anmeldung noch einmal erzeugten Formulars ist in diesem Fall nicht erforderlich, auch wenn das System Sie dazu auffordert.
- Falls Sie noch nicht bei uns registriert sind, registrieren Sie sich bitte so bald wie möglich als betreuende Lehrkraft. Den Link dazu finden Sie unter [www.ipho.info](http://www.ipho.info). Drucken Sie zum Abschluss der Registrierung das erzeugte Formular aus und faxen Sie es zur Freischaltung Ihrer Daten mit einem Schulstempel versehen an das Wettbewerbssekretariat.
- Nach erfolgreicher Freischaltung für den Wettbewerb erhalten Sie diese Musterlösung von uns noch einmal in elektronischer Form per E-Mail.
- Geben Sie bitte in beiden Fällen den bei der Registrierung erzeugten Lehrercode an die von Ihnen betreuten Teilnehmenden weiter, damit diese Ihnen zugeordnet werden können.

### Bearbeitung der Aufgaben durch Schülerinnen und Schüler

- Schülerinnen und Schüler bearbeiten die Aufgaben der 1. Runde in Hausarbeit. Dabei sind nur Einzelarbeiten zugelassen. Die Ausarbeitungen sollten bis zum **15. September 2021** bei Ihnen abgegeben werden, damit Sie die Korrektur durchführen und die Ergebnisse rechtzeitig weitergeben können (s. auch unten). Sie können mit Ihren Schülerinnen und Schülern individuell auch andere Termine verabreden, sofern der Rückmeldetermin an die Landesbeauftragten eingehalten wird.
- Vor der Abgabe der Arbeit müssen sich teilnehmende Schülerinnen und Schüler ebenfalls online registrieren bzw. anmelden und das erzeugte Adressformular ggf. korrigiert der Bearbeitung beilegen.

### Bewertung der Arbeiten und Übermittlung der Ergebnisse

- Bewerten Sie die Ausarbeitungen Ihrer Kandidaten bitte anhand dieser Musterlösung und füllen Sie jeweils einen Bewertungsbogen (s. letzte Seite) aus.
- Gemäß den Gepflogenheiten bei der Internationalen PhysikOlympiade sollte bei der Bewertung der Arbeit die Richtigkeit der Lösung im Mittelpunkt stehen, nicht die Sauberkeit der Ausarbeitung und der sprachliche Ausdruck. Die jeweils angegebenen Punktzahlen beziehen sich auf einen möglichen Lösungsweg. In der Regel gibt es neben dem von uns angegebenen auch andere richtige Lösungswege. Bei anderen Lösungswegen muss die Bewertung sinngemäß abgeändert werden, wobei die Gesamtpunktzahl pro Aufgabe beizubehalten ist.
- Schülerinnen und Schüler, die im Schuljahr 2021/2022 noch nicht die vorletzte Jahrgangsstufe erreicht haben, können durch die Bearbeitung der **Junioraufgabe** einen Bonus von maximal 10 Punkten erreichen. Bei allen anderen wird die Junioraufgabe nicht gewertet.
- Die Punktgrenze für das Erreichen der 2. Runde liegt in diesem Jahr bei **30 Punkten**.
- Teilen Sie uns bitte die Bewertungsergebnisse Ihrer Schülerinnen und Schüler **online** über das Onlineportal mit. Einen Link zu der Seite finden Sie unter [www.ipho.info](http://www.ipho.info). Nach Eingabe der Bewertungsergebnisse wird zur Kontrolle eine Zusammenfassung der eingegebenen Ergebnisse erzeugt.
- Schicken Sie die bewerteten Arbeiten zusammen mit den Adressformularen, den Bewertungsbögen und der Zusammenfassung der Bewertung bis spätestens **29. September 2021** an Ihre(n) Landesbeauftragte(n). Kontaktinformationen zu den Landesbeauftragten finden Sie unter [www.ipho.info](http://www.ipho.info).

Bei Fragen oder Problemen helfen die Landesbeauftragten und das IPhO-Team am IPN gerne weiter.

**Aufgabe 1 Runde Sache**
**(10 Pkt.)**

Bestimme die folgenden Größen und gib sie auf ganze Zahlen gerundet an.

- Das Verhältnis der Fluggeschwindigkeit eines Flugzeuges bei Windstille zur Windgeschwindigkeit im folgenden Fall: Für eine Strecke benötigt das Flugzeug gegen den Wind 7,0 Stunden, während es die gleiche Strecke auf dem Rückweg mit dem Wind in 6,0 Stunden zurücklegt.
- Die Beschleunigung (in Vielfachen von  $g = 9,81 \text{ m s}^{-2}$ ) einer nassen Socke in einer Waschmaschinentrommel mit einem Durchmesser von 40 cm im Schonschleudergang bei 600 Umdrehungen pro Minute.
- Der kleinste Widerstandswert (in  $\Omega$ ), der sich durch Zusammenschalten der folgenden Widerstände ohne Kurzschließen erreichen lässt: je ein Widerstand mit  $100 \Omega$ ,  $220 \Omega$ ,  $330 \Omega$  und  $360 \Omega$ .
- Die Masse an Eis (in kg), die sich durch Zufuhr einer Wärmemenge von 2,4 MJ von anfänglich  $-10^\circ\text{C}$  auf  $10^\circ\text{C}$  erwärmt.

Richtig aneinandergereiht und um die richtige Zehnerpotenz und Einheit ergänzt, stellen die Zahlen die Stellen einer Naturkonstanten dar. Gib diese Naturkonstante mit ihrem Namen an.

**Lösung**

- Beim Flug gegen den Wind beträgt die Geschwindigkeit des Flugzeugs gegenüber dem Boden  $v-w$ , wobei  $v$  die Flugzeuggeschwindigkeit bei Windstille und  $w$  die Windgeschwindigkeit bezeichnen. Mit dem Wind addieren sich die beiden Geschwindigkeiten. Da die in den Zeiten  $t_{\text{gegen}} = 7,0 \text{ h}$  und  $t_{\text{mit}} = 6,0 \text{ h}$  zurückgelegten Strecken identisch sind, muss gelten

$$(v - w) t_{\text{gegen}} = (v + w) t_{\text{mit}} . \quad (1.1)$$

Durch Umformen ergibt sich daraus für das Verhältnis

$$\frac{v}{w} = \frac{t_{\text{gegen}} + t_{\text{mit}}}{t_{\text{gegen}} - t_{\text{mit}}} = \frac{13,0 \text{ h}}{1,0 \text{ h}} = 13 . \quad (1.2)$$

- Die auf die Socke in der Wäschetrommel wirkende Zentripetalbeschleunigung ist mit den gegebenen Zahlenwerten gleich

$$a = \omega^2 r = \left( 2\pi \frac{600}{60 \text{ s}} \right)^2 \frac{0,40 \text{ m}}{2} \approx 7,9 \cdot 10^2 \text{ m s}^{-2} \approx 80 \cdot g . \quad (1.3)$$

- Beim Zusammenschalten zweier Widerstände wird der Gesamtwiderstand durch eine Parallelschaltung geringer während er bei einer Reihenschaltung größer wird. Der kleinste Widerstand wird daher durch eine Parallelschaltung der Widerstände mit den Werten  $R_1 = 100 \Omega$ ,  $R_2 = 220 \Omega$ ,  $R_3 = 330 \Omega$  und  $R_4 = 360 \Omega$  erreicht. Der Gesamtwiderstand der Schaltung beträgt dann

$$R_{\text{Ges}} = \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \right)^{-1} \approx 49 \Omega . \quad (1.4)$$

- Um eine Masse  $m$  an Eis von der anfänglichen Temperatur  $-10^\circ\text{C}$  auf eine Temperatur von  $10^\circ\text{C}$  zu erwärmen, muss die Masse zunächst bis zum Schmelzpunkt, also bis etwa  $0^\circ\text{C}$  erwärmt, dann

zum Schmelzen gebracht und schließlich von 0 °C bis auf 10 °C erwärmt werden. Die dazu benötigte Wärmemenge  $Q$  beträgt

$$Q = c_{\text{Eis}} \cdot m \cdot 10 \text{ K} + h_{\text{Schmelz}} \cdot m + c_{\text{Wasser}} \cdot m \cdot 10 \text{ K}. \quad (1.5)$$

Dabei können die folgenden Werte verwendet werden<sup>1</sup>: spezifische Wärmekapazität von Eis  $c_{\text{Eis}} = 2,1 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ , spezifische Wärmekapazität von Wasser  $c_{\text{Wasser}} = 4,2 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ , spezifische Schmelzenthalpie oder Schmelzwärme von Eis  $h_{\text{Schmelz}} = 3,3 \cdot 10^2 \text{ kJ kg}^{-1}$ .

Mit  $Q = 2,4 \cdot 10^6 \text{ J}$  ergibt sich so für die gesuchte Masse  $m$

$$m = \frac{Q}{c_{\text{Eis}} \cdot 10 \text{ K} + h_{\text{Schmelz}} + c_{\text{Wasser}} \cdot 10 \text{ K}} \approx 6 \text{ kg}. \quad (1.6)$$

Die Zahlenwerte der Aufgabenteile sind 13, 80, 49 und 6. Sie lassen sich zu den Ziffern der Boltzmann-Konstante

$$k_{\text{B}} = 1,380\,649 \cdot 10^{-23} \text{ J K}^{-1} \quad (1.7)$$

zusammensetzen, die mit der Neudefinition des Internationalen Einheitensystems (SI) im Jahr 2019 auf exakt diesen Wert festgelegt worden ist (s. z.B. das Lesezeichen zum neuen SI der PTB).

Bewertung - Runde Sache		Punkte
1.a)	Erkennen der Addition von Flugzeug- und Windgeschwindigkeit	1.0
	Bestimmen des Verhältnisses (1.2)	1.0
1.b)	Verwenden eines Ausdruckes für die Zentripetalbeschleunigung	1.0
	Bestimmen des Wertes der Beschleunigung (1.3)	1.0
1.c)	Erkennen, dass geringster Widerstand durch Parallelschaltung erreicht wird	1.0
	Bestimmen des Widerstandwertes (1.4)	1.0
1.d)	Berücksichtigen der Erwärmung sowie des Schmelzen des Eises	1.0
	Bestimmen der Masse (1.6)	1.0
Kombinieren der Zahlenwerte und Angeben der Naturkonstante		2.0
		<b>10.0</b>

*Hinweis zur Korrektur:* Wenn Teilnehmende die Boltzmannkonstante erkennen und daraus einen korrekten Wert für einen der Aufgabenteile a) - d) ableiten, werden in dem entsprechenden Aufgabenteil keine Punkte für das Bestimmen des Wertes vergeben.

<sup>1</sup>Siehe zum Beispiel [de.wikipedia.org/wiki/Spezifische\\_Wärmekapazität](https://de.wikipedia.org/wiki/Spezifische_Wärmekapazität) für die spezifischen Wärmekapazitäten und [https://en.wikipedia.org/wiki/Enthalpy\\_of\\_fusion](https://en.wikipedia.org/wiki/Enthalpy_of_fusion) für die Schmelzenthalpie von Eis.

**Aufgabe 2 Kippender Eisberg**
**(10 Pkt.)**

Tafeleisberge besitzen eine relativ flache Oberseite und steile Kanten. Sie entstehen durch Abbrechen von Eisschelfen und können sehr groß sein. Genau wie bei anderen Eisbergen befindet sich der größte Teil des Eises bei einem schwimmenden Tafelberg nicht über sondern unter dem Wasser.



Abb. 1. Foto eines Tafelberges (von Andrew Shiva, CC BY-SA 4.0).

Betrachte im Folgenden einen annähernd quaderförmigen Tafelberg der Höhe  $H$ , Länge  $L$  und Breite  $B$ . Verwende für die Dichte von Eis und Meerwasser die Näherungswerte  $\rho_{\text{Eis}} = 0,9 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$  und  $\rho_{\text{Wasser}} = 1,0 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$ .

- a) Bestimme, welcher Teil der Höhe  $H$  des Eisberges sich unter der Wasseroberfläche befindet.

Beim Abbrechen von einem Eisschelf können relativ schmale Tafelberge entstehen, bei denen die Breite  $B$  kleiner als die Höhe  $H$  ist. Ein solcher Eisberg kann auf die Seite kippen.

- b) Zeige, dass es für einen schmalen Tafelberg energetisch günstiger ist, auf die Seite zu kippen. Bestimme, für welches Verhältnis von Breite zu Höhe die meiste Energie durch das Umkippen freigesetzt wird. Nimm dabei an, dass  $L > H$  ist.

Die freigesetzte Energie kann zu hohen Wellen führen, die auch für in der Nähe befindliche Schiffe gefährlich werden können.

Nebenstehend ist ein Foto des Passagierschiffes Fram vor einem Eisberg zu sehen. Das Schiff besitzt eine Länge von etwa 114 m.



Abb. 2. Foto eines Schiffes vor einem Eisberg (von Kim Hansen, CC BY-SA 4.0).

- c) Schätze die Energie ab, die beim Umkippen des Eisberges freigesetzt werden würde. Nimm dazu vereinfachend an, dass das Foto in Abbildung 2 aus großer Entfernung aufgenommen wurde und dass der Eisberg ungefähr die Form eines Tafelberges hat, dessen Länge und Breite gleich groß sind. Berechne die Masse an TNT, die zur Explosion gebracht werden müsste, um die gleiche Energie freizusetzen.

**Lösung**

- a) Der Eisberg schwimmt, wenn die Gewichtskraft des Eisberges gleich der Auftriebskraft ist. Letztere ist nach dem archimedischen Prinzip gleich der Gewichtskraft des von dem Eisberg verdrängten Wassers. Bezeichne mit  $D$  die Eintauchtiefe des quaderförmigen Eisbergs. Dann lautet die Kräftegleichgewichtsbedingung

$$\rho_{\text{Eis}} H L B g = \rho_{\text{Wasser}} D L B g \quad \text{und damit folgt} \quad D = \frac{\rho_{\text{Eis}}}{\rho_{\text{Wasser}}} H \approx 0,9 H. \quad (2.1)$$

Es befinden sich also etwa 90 % der Höhe des Eisberges unter Wasser.

- b) Die folgenden Skizzen zeigen die Positionen des schwimmenden Tafelberges vor und nach dem Umkippen.

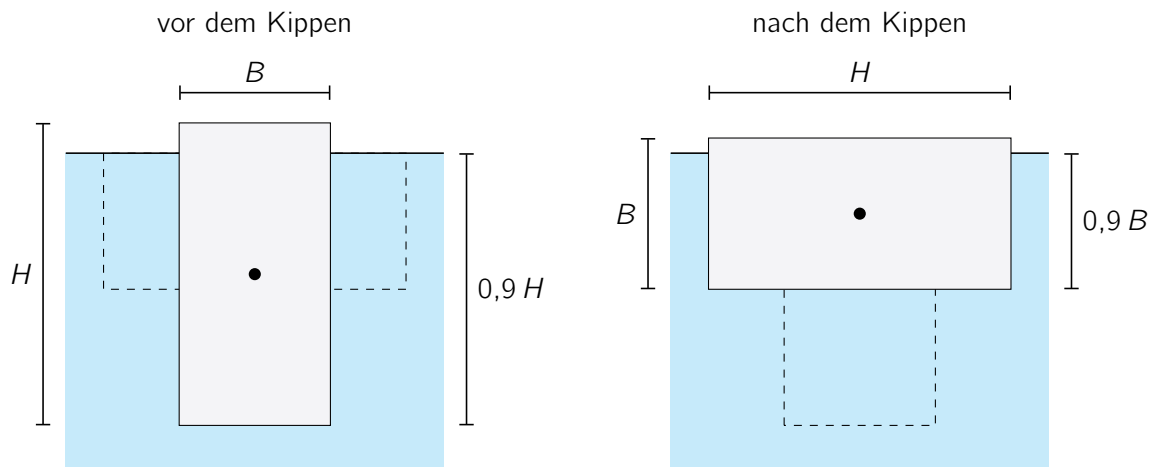


Abb. 3. Skizzen des Tafelberges vor und nach dem Kippen. Die gestrichelten Linien deuten die beim Umkippen verschobenen Wasservolumina an.

Um den Eisberg umzukippen, muss dessen Schwerpunkt um eine Höhe  $\frac{4}{10}H - \frac{4}{10}B$  angehoben werden. Dafür muss dem Eisberg eine potentielle Energie

$$\Delta E_{\text{Eis}} = \rho_{\text{Eis}} H L B g \frac{4}{10} (H - B) \quad (2.2)$$

zugeführt werden. Gleichzeitig verringert sich aber die potentielle Energie des Wassers, da näher an der Oberfläche gelegenes Wasser nun das Volumen füllen muss, an dem sich vorher der Eisberg befunden hat. Das Volumen des verschobenen Wassers ergibt sich aus Abbildung 3 zu  $0,9(H - B)LB$ . Der Schwerpunkt dieses Wasservolumens befindet sich anfänglich in einer Tiefe  $\frac{0,9}{2}B$  unter der Wasseroberfläche und nach dem Kippen in einer Tiefe von  $0,9B + \frac{0,9}{2}(H - B)$ .

Die Differenz der potentiellen Energie des Wassers ist daher

$$\Delta E_{\text{Wasser}} = \rho_{\text{Wasser}} H L B g \frac{0,9^2}{2} (H - B) . \quad (2.3)$$

Insgesamt beträgt die freigesetzte Energie somit

$$\Delta E = \Delta E_{\text{Wasser}} - \Delta E_{\text{Eis}} = H L B g (H - B) \left( \frac{0,9^2}{2} \rho_{\text{Wasser}} - \frac{4}{10} \rho_{\text{Eis}} \right) > 0 . \quad (2.4)$$

Gleichung (2.4) lässt sich mit  $k := g \left( \frac{0,9^2}{2} \rho_{\text{Wasser}} - \frac{4}{10} \rho_{\text{Eis}} \right) \approx 450 \text{ J m}^{-4}$  umschreiben zu

$$\Delta E = k L H^3 \frac{B}{H} \left( 1 - \frac{B}{H} \right) = k L H^3 \left\{ \frac{1}{4} - \left( \frac{B}{H} - \frac{1}{2} \right)^2 \right\} . \quad (2.5)$$

Der Ausdruck in der geschweiften Klammer wird maximal, wenn der quadratische Ausdruck gleich Null ist, also für  $B = \frac{1}{2}H$ . Die freigesetzte Energie ist also maximal, wenn die Breite des Tafelberges der Hälfte von dessen Höhe entspricht. Diese Lösung kann z.B. graphisch oder durch eine Extremwertbetrachtung auch auf anderem Wege bestimmt werden.

- c) Für eine grobe Näherung kann man die Abmessungen des Eisberges auf dem Foto mit der Länge des Schiffes auf dem Foto vergleichen. Bezeichne mit  $\ell = 114 \text{ m}$  die Länge des Schiffes. Die Breite

des Eisberges ergibt sich durch Ausmessen im Bild zu  $B = L \approx 0,45 \ell \approx 51 \text{ m}$  und die Höhe zu  $H \approx 10 \cdot 0,30 \ell \approx 344 \text{ m}$ . Damit ergibt sich aus Gleichung (2.5) die freigesetzte Energie zu

$$\Delta E \approx 1,2 \cdot 10^{11} \text{ J}. \quad (2.6)$$

Ein Kilogramm TNT setzt bei der Explosion eine Energie von etwa  $4,2 \cdot 10^6 \text{ J}$  frei (s. z.B. den Eintrag zum TNT-Äquivalent auf Wikipedia). Damit ist die Masse  $m_{\text{TNT}}$  an TNT, die für die gleiche Energiefreisetzung benötigt wird:

$$m_{\text{TNT}} \approx \frac{\Delta E}{4,2 \cdot 10^6 \text{ J kg}^{-1}} \approx 2,9 \cdot 10^4 \text{ kg}, \quad (2.7)$$

also etwa 29 Tonnen.

Wenn Teilnehmende andere plausible Werte für ihre Abschätzung (z.B. der sichtbaren Abmessungen des Eisberges) verwenden, sollte auch das als richtig bewertet werden.

*Hinweis:* Die Idee zu der Aufgabe ist dem Artikel Marshall, R. (2015). Capsizing icebergs: an exercise in the application of the principle of the conservation of energy with a very surprising result. *Physics Education*, **50**(3) entnommen.

Bewertung - Kippender Eisberg		Punkte
2.a)	Benutzen des Kräftegleichgewichts und des archimedischen Prinzips	1.0
	Bestimmen des unter der Wasseroberfläche liegenden Anteils (2.1)	1.0
2.b)	Bestimmen der Änderung der potentiellen Energie des Eisbergs (2.2)	1.0
	Bestimmen der Änderung der potentiellen Energie des Wassers (2.3)	1.0
	Angeben der insgesamt freigesetzten Energie (2.4) bzw. (2.5)	1.0
	Bestimmen der Maximalbedingung $B = \frac{1}{2} H$ .	2.0
2.c)	Abschätzen der relevanten Größen aus dem Foto	1.0
	Berechnen der beim Kippen freigesetzten Energie (2.6)	1.0
	Bestimmen eines dazu passenden TNT-Äquivalents (2.7)	1.0
		<b>10.0</b>

**Aufgabe 3 Schiefe Ebene**
**(10 Pkt.)**

Ein kleiner Schlitten mit einer Masse von 280 g rutscht, wie nebenstehend skizziert, eine schiefe Ebene hinab. Am Ende der schiefen Ebene ist eine näherungsweise masselose Feder befestigt. Das folgende Diagramm zeigt die Geschwindigkeit des Schlittens entlang der schiefen Ebene in Abhängigkeit von der Zeit nach dem Loslassen am oberen Ende der schiefen Ebene. Die Fallbeschleunigung beträgt  $g = 9,81 \text{ m s}^{-2}$ .

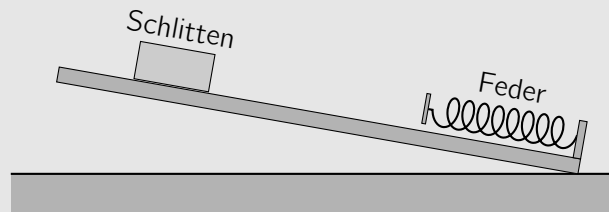


Abb. 4. Nicht maßstabgetreue Skizze des Systems aus Schlitten, schiefer Ebene und Feder.

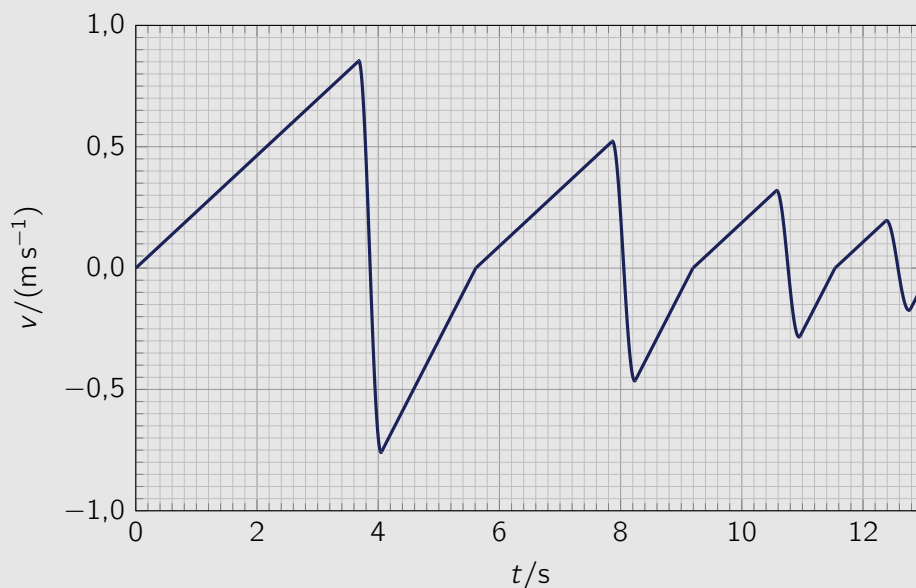


Abb. 5. Geschwindigkeit des Schlittens.

- a) Beschreibe die Bewegung des Schlittens mit Hilfe des Graphen. Bestimme die Beschleunigungen des Schlittens während des Rutschens auf der Ebene.

Damit und weiteren aus dem Graphen ablesbaren Informationen lassen sich wichtige Informationen über das System ermitteln.

- b) Bestimme zumindest näherungsweise mindestens vier Größen, die den Aufbau des Systems beschreiben.



**Lösung**

 a) *Beschreibung der Bewegung und Beschleunigungen*

Nach dem Loslassen rutscht der Schlitten mit einer linear anwachsenden Geschwindigkeit, also einer konstanten Beschleunigung, die schiefe Ebene hinunter (Phase A), bis er am Ende der schiefen Ebene auf die Feder trifft. Durch die Feder wird der Schlitten in kurzer Zeit und größtenteils elastisch reflektiert (Phase B). Nach dem Stoß mit der Feder besitzt er eine Geschwindigkeit, die entlang der Ebene aufwärts orientiert ist. Der Schlitten bewegt sich dann mit einer erneut konstanten Beschleunigung die Ebene hinauf (Phase C).

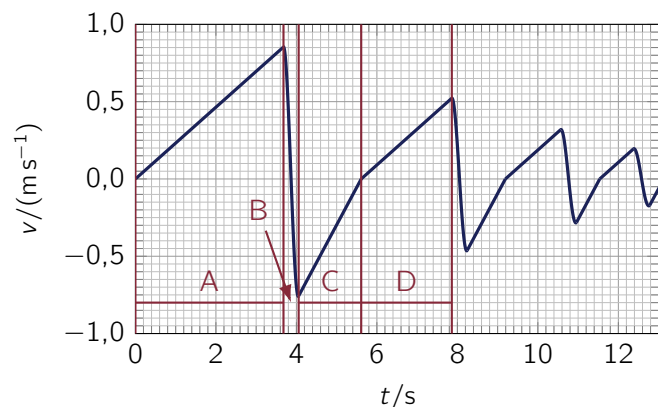


Abb. 6. Phasen der Bewegung des Schlittens.

Am höchsten Punkt ist die Geschwindigkeit des Schlittens Null und er beginnt wieder die schiefe Ebene hinabzurutschen (Phase D). Die konstante Beschleunigung beim Hinunterrutschen ist (betragsmäßig) kleiner als die beim Hinaufrutschen. Die Geschwindigkeit bei dem erneuten Auftreffen auf die Feder ist betragsmäßig ebenfalls geringer als zu Beginn des Hinaufrutschens. Der Bewegungsablauf wiederholt sich nun beginnend mit dem Stoß mit der Feder mehrfach. Nach jedem Durchlauf ist die Geschwindigkeit des Schlittens am unteren Ende der schiefen Ebene geringer als zu Beginn des Durchlaufs.

Aus dem Graphen lassen sich die Beschleunigungen beim Hinunter- ( $a_{ab}$ ) und Hinaufrutschen ( $a_{auf}$ ) auf der schiefen Ebene als Steigungen der Geradenabschnitte im Geschwindigkeitsgraphen bestimmen. Dabei ist es sinnvoll, die beiden längsten Geradenabschnitte zu Beginn der Bewegung zu untersuchen, um die relativen Ablesefehler so gering wie möglich zu halten. Es ergeben sich

$$a_{ab} \approx \frac{0,850 \text{ m s}^{-1}}{3,68 \text{ s}} \approx 0,231 \text{ m s}^{-2} \quad \text{sowie} \quad a_{auf} \approx \frac{0,750 \text{ m s}^{-1}}{1,53 \text{ s}} \approx 0,490 \text{ m s}^{-2}. \quad (3.1)$$

Diese Werte stimmen mit den aus den späteren Geradenabschnitten ermittelten Werten im Rahmen der Ablesegenauigkeiten überein.

 b) *Theoretische Überlegung*

Beim Rutschen wirken auf den Schlitten entlang der Ebene zwei Kräfte: Zum einen die entlang der Ebene nach unten gerichtete Komponente  $F_{G,\parallel}$  der Gewichtskraft (Hangabtriebskraft) und zum anderen die entgegen der Bewegungsrichtung gerichtete Gleitreibungskraft  $F_R$ , die gleich dem Gleitreibungskoeffizienten multipliziert mit dem senkrecht zur Ebene wirkenden Anteil  $F_{G,\perp}$  der Gewichtskraft (Normalkraft) ist. Die Beschleunigungen beim Hinunter- ( $a_{ab}$ ) und Hinaufrutschen ( $a_{auf}$ ) auf der schiefen Ebene ergeben sich mit dem Neigungswinkel  $\alpha$  der Ebene gegenüber der Horizontalen und dem Gleitreibungskoeffizienten  $\mu$  daher gemäß

$$\begin{aligned} m a_{ab} &= F_{G,\parallel} - F_R = F_{G,\parallel} - \mu F_{G,\perp} = m g (\sin \alpha - \mu \cos \alpha) \\ m a_{auf} &= F_{G,\parallel} + F_R = F_{G,\parallel} + \mu F_{G,\perp} = m g (\sin \alpha + \mu \cos \alpha). \end{aligned} \quad (3.2)$$

Dabei bezeichnet  $m = 280 \text{ g}$  die Masse des Schlittens, und die Koordinatenachse ist, wie in dem Geschwindigkeitsgraphen, so gewählt, dass sie entlang der schiefen Ebene nach unten verläuft.

*Parameter - Länge der Rutschstrecke auf der schiefen Ebene*

Aus der Dauer  $t \approx 3,68$  s des ersten Rutschvorganges lässt sich mit Hilfe der Beschleunigung  $a_{ab}$  die Länge  $L$  der Rutschstrecke auf der schiefen Ebene bestimmen. Da es sich um eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung handelt, gilt:

$$L = \frac{1}{2} a_{ab} t^2 \approx 1,56 \text{ m} . \quad (3.3)$$

*Parameter - Neigung der Ebene*

Durch Addition der beiden Beschleunigungen in (3.2) und Umformen ergibt sich für den Neigungswinkel

$$\alpha = \arcsin \frac{a_{ab} + a_{auf}}{2g} \approx 2,11^\circ . \quad (3.4)$$

*Parameter - Gleitreibungskoeffizient*

In analoger Weise folgt ebenfalls aus (3.2) der Gleitreibungskoeffizient zu

$$\mu = \frac{a_{auf} - a_{ab}}{2g \cos \alpha} \approx 0,0132 . \quad (3.5)$$

*Parameter - Energieverlust beim Stoß / Dämpfungskonstante*

Bei jedem Stoß mit der Feder verliert der Schlitten einen Teil seiner kinetischen Energie. Der erhaltene Anteil  $\eta$  der kinetischen Energie lässt sich aus den Geschwindigkeiten direkt vor und nach einem Stoß bestimmen zu

$$\eta = \frac{E_{kin,nach}}{E_{kin,vor}} = \frac{\frac{1}{2} m v_{nach}^2}{\frac{1}{2} m v_{vor}^2} = \frac{v_{nach}^2}{v_{vor}^2} \approx \left( \frac{0,750 \text{ m s}^{-1}}{0,850 \text{ m s}^{-1}} \right)^2 \approx 78 \% . \quad (3.6)$$

Dabei wurden die Werte des ersten Stoßvorganges zur Berechnung herangezogen. Für die weiteren Stoßvorgänge ergeben sich Werte zwischen etwa 76 % und 80 %, was im Rahmen der Ablesegenauigkeit als identisch angesehen werden kann.

Aufgrund des relativ geringen Verlustes an kinetischer Energie bei einem Stoß ist es eine plausible Annahme, dass sich der Stoßvorgang mit der Feder als eine schwach gedämpfte (harmonische) Schwingung modellieren lässt. Während des Stoßes durchläuft die Schwingung etwa eine halbe Periode. Die Amplitude  $A$  der Schwingung ist dabei exponentiell mit einer Dämpfungskonstanten  $\delta$  gedämpft und die Auslenkung  $x$  des Schlittens aus dessen Gleichgewichtsposition an der Feder folgt während des Stoßes einem Verlauf gemäß

$$x(t) = A e^{-\delta(t-t_0)} \sin(\omega(t-t_0) + \varphi) . \quad (3.7)$$

Dabei bezeichnen  $t_0$  die Zeit des Auftreffens des Schlittens auf die Feder,  $\varphi$  die Phase der Schwingung zu Beginn des Stoßvorganges und  $\omega \approx \sqrt{k/m}$  mit der Federkonstanten  $k$  die Winkelfrequenz der (ungedämpften) Schwingung. Zu beachten ist dabei, dass die Gleichgewichtsposition des Schlittens nicht die Position des Schlittens beim Auftreffen auf die Feder ist, sondern diese bei einer Stauchung der Feder zu finden ist. Die Geschwindigkeit ist mit der gleichen Dämpfungskonstanten gedämpft. Mit Hilfe der Geschwindigkeitswerte in (3.6) und der Dauer von  $t_{sto\beta} \approx 0,35$  s für den Stoßvorgang ergibt sich die Dämpfungskonstante der Schwingung  $\delta$  zu

$$\delta = \frac{1}{t_{sto\beta}} \ln \frac{v_{vor}}{v_{nach}} \approx 0,36 \text{ s}^{-1} . \quad (3.8)$$

Bei der Modellierung des Stoßvorganges als gedämpfte harmonische Schwingung wurde die auch während der Schwingung wirkende Gleitreibungskraft nicht mit berücksichtigt.

*Hinweis:* Die Teilnehmenden können entweder den Energieverlust beim Stoßvorgang oder die Dämpfungskonstante als Parameter des Systems bestimmen.

*Parameter - Federkonstante*

Über den Zusammenhang  $\omega = \sqrt{k/m}$  lässt sich aus den gegebenen Daten auch die Federkonstante  $k$  der Feder abschätzen. Mit der halben Periodendauer  $T/2 = t_{\text{Stoß}} \approx 0,35 \text{ s}$  ergibt sich

$$k \approx m\omega^2 = \frac{\pi^2 m}{t_{\text{Stoß}}^2} \approx 23 \text{ N m}^{-1}. \quad (3.9)$$

Die Federkonstante lässt sich auch aus einer Energiebetrachtung abschätzen. Direkt vor dem ersten Stoß mit der Feder besitzt der Schlitten eine kinetische Energie  $E_{\text{kin,vor}} = \frac{1}{2} m v_{\text{vor}}^2$ . Beim Stoß wird diese in Spannenergie der Feder umgewandelt. Vernachlässigt man den Energieverlust beim Stoß, muss bei maximaler Stauchung die gesamte kinetische Energie in Spannenergie der Feder umgewandelt werden. Diese beträgt  $E_{\text{Spann}} = \frac{1}{2} k x_{\text{Stauch}}^2$ , wobei  $x_{\text{Stauch}}$  die Strecke angibt, um die die Feder gestaucht wurde. Die Stauchstrecke lässt sich aus der grob zu  $v_{\text{vor}}/2$  gemittelten Geschwindigkeit während des Stoßes und der Zeit  $t_{\text{Stoß}}/2$ , die vom Beginn des Stoßvorganges bis zum Erreichen der maximalen Stauchung verstreicht, abschätzen. Aus

$$E_{\text{kin,vor}} = \frac{1}{2} m v_{\text{vor}}^2 = \frac{1}{2} k x_{\text{Stauch}}^2 = E_{\text{Spann}} \quad (3.10)$$

ergibt sich so als relativ grobe Abschätzung der Federkonstante

$$k \approx \frac{m v_{\text{vor}}^2}{x_{\text{Stauch}}^2} \approx \frac{16 m}{t_{\text{Stoß}}^2} \approx 37 \text{ N m}^{-1}. \quad (3.11)$$

Das Ergebnis liegt deutlich über dem vorher bestimmten. Ein maßgeblicher Fehler in dieser Abschätzung ist die grobe Ermittlung der mittleren Geschwindigkeit. Da die Geschwindigkeit tatsächlich etwa in Form einer Kosinus-Funktion verläuft, lässt sich die mittlere Geschwindigkeit besser angeben durch  $\frac{2}{\pi} v_{\text{vor}}$ , womit sich die Federkonstante auch in diesem Fall zu etwa  $23 \text{ N m}^{-1}$  ergibt.

Trotz der größeren Unterschiede im Ergebnis sollten beide Abschätzungswege als korrekt gewertet werden.

*Allgemeine Kommentare*

Ziel dieser Aufgabe ist es nicht, alle Parameter des Systems sehr exakt zu bestimmen. Vielmehr soll es darum gehen, die in dem Graphen gegebenen Informationen über das System zu erkennen und physikalisch sinnvoll auszuwerten. Während manche Parameter wie die Länge der schiefen Ebene und deren Neigungswinkel gut zugänglich sind und relativ genau bestimmt werden können, sind z.B. die Bestimmung der Dämpfungs- und der Federkonstante mit größeren Fehlern behaftet und sehr von dem zugrundegelegten Modell abhängig.

Die dargestellten Daten stellen einen idealisierten Verlauf von realen Messwerten eines rollenden Wagens auf einer schiefen Ebene dar, dessen Bewegung auf Video aufgezeichnet und dann ausgewertet worden ist. Ähnliche Kurven wurden auch mit einem Gleiter auf einer Luftkissenbahn gewonnen, dessen Position mit Hilfe eines Laserentfernungsmessers automatisiert erfasst wurde.

Bewertung - Schiefe Ebene		Punkte
3.a)	Qualitatives Beschreiben der einzelnen Phasen der Bewegung	2.0
	Erkennen unterschiedlicher Beschleunigungen beim Hinunter- / Heraufrutschen	1.0
	Bestimmen der Werte der Beschleunigungen aus Graphen (3.1) innerhalb von $\pm 10\%$ zu angegebenen Werten	1.0
3.b)	Angaben von Ausdrücken für die Beschleunigungen (3.2)	1.0
	Erkennen der Dämpfung des Stoßvorganges	1.0
	Bestimmen von Parametern des Systems (je 1 P., max. 4 P.)	4.0
		<b>10.0</b>

#### Aufgabe 4 Leckere Linse

(10 Pkt.)

Ziel dieser Aufgabe ist die experimentelle Bestimmung des Brechungsindex von Wackelpudding, auch Götterspeise genannt.

Besorge dir dazu eine Wackelpuddingmischung zum Anrühren und fülle die noch flüssige Wackelpuddingmasse zum Festwerden in ein zylindrisches, durchsichtiges Gefäß. Alternativ kannst du auch einen fertigen Wackelpudding in einem transparenten und möglichst zylindrischen Behälter kaufen.

Der Wackelpudding in dem Gefäß stellt eine zylindrische Linse dar. Wenn du von der Seite das Licht einer Lichtquelle auf die Linse einfallen lässt, kannst du auf der anderen Seite auf einem Schirm ein Bild der Lichtquelle darstellen.

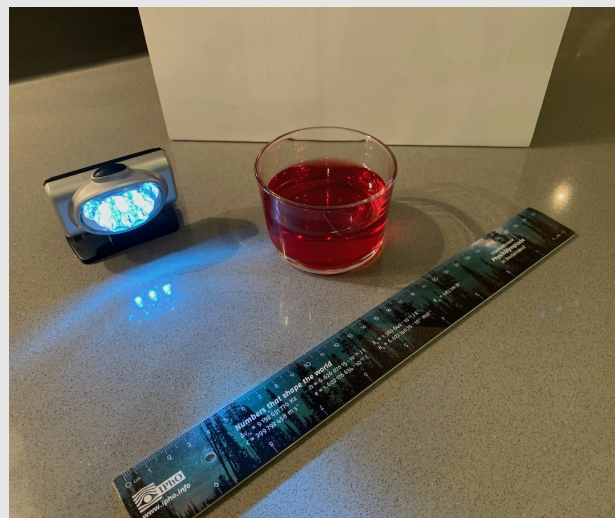


Abb. 7. Beispiel für das Experimentiermaterial.

Bestimme mit Hilfe der Wackelpuddinglinse experimentell den Brechungsindex des Wackelpuddings. Führe deine Messungen mehrfach durch und schätze die Unsicherheit deines Ergebnisses ab.

*Hinweise:* Es ist hilfreich, eine möglichst symmetrische Anordnung für den Strahlenverlauf zu wählen, die die Verwendung der Linsenschleiferformel für dünne Linsen ermöglicht. Du kannst für den Fall, dass die Dicke der Gefäßwand klein gegenüber dem Durchmesser der Linse ist, annehmen, dass das Gefäß Teil der Linse ist.

#### Lösung

Die Wackelpuddinglinse wirkt als bikonvexe, zylindrische Linse, deren Querschnitt die Form einer Kreisscheibe mit Radius  $R$  hat. Die Linse lässt sich bei der Untersuchung der optischen Abbildung daher im Allgemeinen nicht als dünn annehmen.

Eine Ausnahme bildet die in Abbildung 8 dargestellte Situation, bei der der Abstand der abgebildeten Lichtquelle zur Linse gleich dem Abstand der Linse zum Schirm ist. In diesem Fall verlaufen die Lichtstrahlen in der Linse parallel zur optischen Achse, so dass der Strahlenverlauf innerhalb der Linse unabhängig von der Dicke der Linse ist.

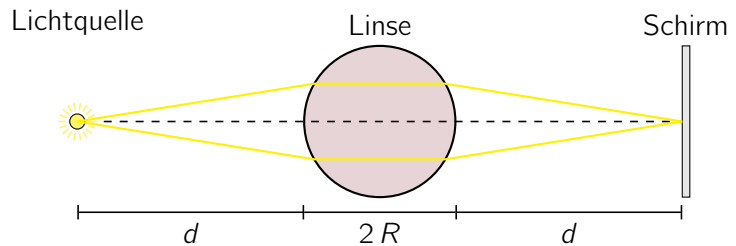


Abb. 8. Skizze zur Bildentstehung bei symmetrischem Strahlengang. Die Gefäßwand wird als dünn angenommen.

In diesem Fall kann daher die Linse durch das gedachte Rausschneiden des Teils in der Mitte durch eine dünne Linse mit Krümmungsradius  $R$  ersetzt werden. Der Abstand  $d$  der Lichtquelle zur Linse bzw. der Linse zum Schirm entspricht dann genau der doppelten Brennweite  $f$  der Linse, wie man aus der Abbildungsgleichung für dünne Linsen erkennen kann<sup>2</sup>.

Für eine dünne Bikonvexlinse mit beidseitig identischen Krümmungsradien  $R$  lässt sich der Krümmungsradius mit Hilfe der Linsenschleiferformel (s. z.B. Wikipedia) ausdrücken als

$$f = \frac{R}{2(n-1)} \quad \text{bzw.} \quad \boxed{n = 1 + \frac{R}{2f} = 1 + \frac{R}{d}}. \quad (4.1)$$

Dabei bezeichnet  $n$  den Brechungsindex der Linse. Durch eine Untersuchung der Abbildung in dieser besonderen Konfiguration lässt sich also aus mit dem Lineal messbaren Größen der Brechungsindex  $n$  des Wackelpuddings bestimmen.

Für das Experiment wird rote Götterspeise der Firma Dr. Oetker entsprechend der Zubereitungsanleitung vorbereitet und dann in zwei annähernd zylindrische Gläser gefüllt. Das erste Glas besitzt am oberen Rand einen Außendurchmesser von  $(8,5 \pm 0,1)$  cm und unten einen Außendurchmesser von  $(7,6 \pm 0,1)$  cm. Da sich die Lichtquelle bei der Versuchsdurchführung etwa auf  $1/3$  der Höhe des Glases befindet, wird für den Radius  $R_1$  des Glases der Wert  $R_1 = (7,9 \pm 0,3)$  cm/2 verwendet. Das zweite Glas ist etwas größer und besitzt einen über die Höhe konstanten Radius von  $R_2 = (11,0 \pm 0,1)$  cm/2. Die Dicke der Gefäßwand beträgt bei beiden Gläsern etwa 2,0 mm und wird im Folgenden nicht getrennt berücksichtigt.

Als Lichtquelle wird eine LED-Kopflampe verwendet, in der gleichzeitig drei LEDs leuchten. Da die Linse nur in eine Richtung fokussiert, besteht das durch die Linse erzeugte Bild der Lichtquelle aus Streifen. Um die oben beschriebene symmetrische Abbildungssituation zu erreichen, wird zunächst für eine Entfernung von etwa 30 cm des Schirmes von der Linse durch Verschieben der Lampe ein möglichst scharfes Abbild der Lichtquelle auf dem Schirm erzeugt. Das genaue Einstellen erfordert dabei etwas Übung, da nicht immer gut erkennbar ist, wann das Bild am schärfsten ist. Wenn die Lichtquelle bei der scharfen Abbildung näher an der Linse ist als der Schirm, wird der Schirm ein wenig in Richtung der Linse verschoben und der Vorgang so lange wiederholt, bis der Abstand zwischen Lichtquelle und Linse bei der scharfen Abbildung gleich dem Abstand zwischen Linse und Schirm ist.

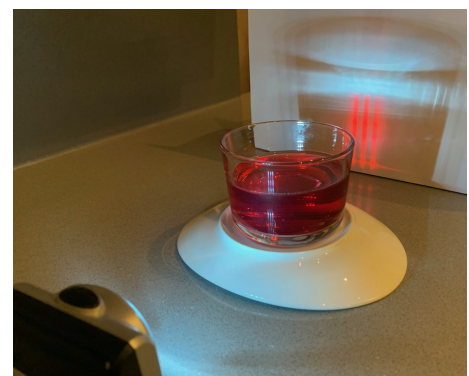


Abb. 9. Abbildung mit Wackelpuddinglinse.

<sup>2</sup>Die Abbildungsgleichung besagt für die Gegenstandsweite  $g$  und Bildweite  $b$  der Abbildung, dass  $\frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b}$ . Wenn  $g = b =: d$  ist, muss  $d = 2f$  sein.

Für beide Gläser wurde der Abstand  $d$  drei Mal bestimmt, wobei die Abweichung jeweils nur 0,1 cm betrug. Zusammen mit einer Unsicherheit bei dem Ablesen der Längen von 0,1 cm ergeben sich daher

$$\text{Glas 1: } d_1 = (10,6 \pm 0,2) \text{ cm,} \quad \text{Glas 2: } d_1 = (14,6 \pm 0,2) \text{ cm.} \quad (4.2)$$

Mit (4.1) folgt für den Brechungsindex des Wackelpuddings schließlich

$$\text{Glas 1: } \boxed{n = 1,37 \pm 0,02}, \quad \text{Glas 2: } \boxed{n = 1,38 \pm 0,01}. \quad (4.3)$$

Die Unsicherheiten ergeben sich durch Einsetzen der im Rahmen von deren Unsicherheiten maximalen und minimalen Eingangsgrößen. Der Brechungsindex des Wackelpuddings ist damit größer als der von Wasser mit  $n_{\text{Wasser}} = 1,33$ .

*Hinweise:* Es wird von den Teilnehmenden nicht erwartet, das Experiment mit mehreren Gläsern durchzuführen. Außerdem kann der von den Schülerinnen und Schülern ermittelte Wert von dem obigen abweichen, da die Zusammensetzung des Wackelpuddings variieren kann.

<b>Bewertung - Leckere Linse</b>		<b>Punkte</b>
4	Beschreiben des symmetrischen Strahlenganges (Skizze oder in Worten)	1.0
	Theoretische Überlegung und Angeben einer Formel für $n$ (4.1)	1.0
	Beschreiben der Durchführung des Experimentes	1.0
	Angeben der notwendigen Parameter des Glases	1.0
	Messen relevanter Abstände (pro Durchführung 1 P., max. 3 P.)	3.0
	Bestimmen des Brechungsindex mit $n > 1,33$	2.0
	Sinnvolles Abschätzen der Unsicherheit des Ergebnisses	1.0
		<b>10.0</b>

**Aufgabe 5 Junioraufgabe: Seltsame Spiegelung**
**(10 Pkt.)**

In dem nebenstehenden Foto ist eine Hausfassade und deren Spiegelung an einer ebenen Wasserfläche zu sehen.

Irgendetwas an der Spiegelung erscheint aber seltsam.

Beschreibe, was an der Spiegelung der Sonne unerwartet ist. Erkläre mit Hilfe einer Skizze, die die Strahlenverläufe des Lichts wiedergibt, wie das beschriebene Phänomen zustande gekommen sein kann.

*Hinweis:* Das Foto kann in besserer Auflösung auf der Webseite der PhysikOlympiade unter [www.ipho.info](http://www.ipho.info) heruntergeladen werden.



Abb. 10. Foto der Hausfassade und deren Spiegelbild.

**Lösung**

Bei Betrachtung des Bildes fällt ein heller Fleck in einem der Fassadenfenster auf, der durch die Reflexion des Sonnenlichtes an einer glatten Oberfläche entsteht. Im oberen Teil des Bildes ist der Reflex klar einem Fenster im zweiten Stockwerk zuzuordnen, während der Reflex bei der Spiegelung an der glatten Wasseroberfläche in einem Fenster im dritten Stockwerk zu sehen ist.

Um diese Beobachtung zu erklären, können die Strahlenverläufe mit Hilfe einer Skizze wie in Abbildung 11 konstruiert werden. Die parallel einfallenden Sonnenstrahlen treffen auf die als senkrecht orientiert angenommenen Fenster und werden an diesen reflektiert. Dabei ist der Einfallswinkel zum Lot gleich dem Ausfallswinkel. Wenn Lichtstrahlen auf die glatte Wasseroberfläche treffen, werden sie auch dort so reflektiert, dass Einfalls- und Ausfallswinkel identisch sind. Durch die Reflexion an der Wasseroberfläche entsteht für die betrachtende Person ein virtueller Reflex im Spiegelbild der Fassade.

An der Skizze ist zu erkennen, dass diese Konstruktion der beobachteten Reflexe nicht zu der Position der Reflexe im gegebenen Foto passt.

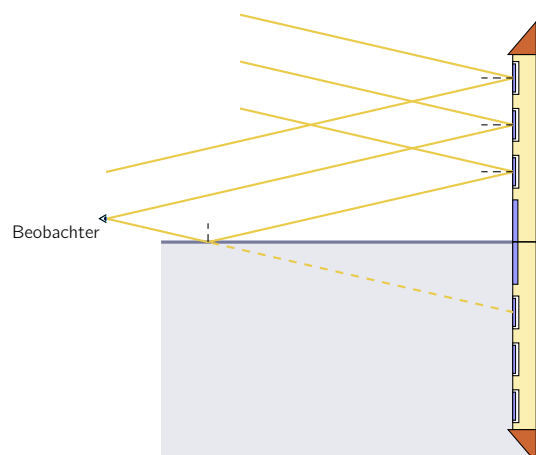


Abb. 11. Skizze mit Strahlenverläufen zur Entstehung der Reflexe an einer ebenen Fassade.



Abb. 12. Ausschnitt des Fotos der Fassade (mit freundlicher Genehmigung von H. J. Schlichting).

In Abbildung 13 ist der Strahlenverlauf mit einem gekippten Fenster im 2. Obergeschoss dargestellt. Durch das Kippen ändert sich sowohl der Einfallswinkel der Sonnenstrahlen zum Fensterlot als auch die Orientierung des Lots bezüglich der Horizontalen. Der reflektierte Strahl wird daher um den doppelten Kippwinkel abgelenkt. Damit kann eine Situation wie auf dem Foto entstehen, in der der im 2. Obergeschoss reflektierte Strahl direkt ins Auge der beobachtenden Person fällt, während der an dem geschlossenen Fenster im 3. Obergeschoss reflektierte Lichtstrahl nach erneuter Reflexion an der Wasseroberfläche als Reflex im Spiegelbild wahrgenommen wird.

*Hinweis:* Die Aufgabe ist dem folgenden Artikel entnommen: Schlichting, H. J. (2008). Der alltägliche Kontext am Beispiel eines optischen Phänomen. *Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule*, **1/57**.

Gemäß der Skizze kann der gespiegelte Reflex immer nur von einem tiefer gelegenen Fenster stammen, nicht jedoch, wie in dem Foto, von einem darüber liegenden. Damit erklärt diese Konstruktion die im Foto dargestellte Spiegelung nicht. Es muss also ein neuer Ansatz gesucht werden.

Wenn man sich die Fenster in der Fassade genauer anschaut, kann man in der Tat eine Besonderheit entdecken. Einige der Fenster besitzen am oberen Rand einen deutlich erkennbaren dunklen Schatten - sie sind angekippt. In Abbildung 12 ist zu erkennen, dass auch das Fenster mit dem hellen Fleck im 2. Obergeschoss angekippt ist, während dies für das darüberliegende Fenster im 3. Obergeschoss nicht der Fall ist. Damit ist die Annahme einer ebenen Fensterfront inkorrekt und die Skizze mit den Lichtstrahlen muss das Kippen des Fensters im 2. Obergeschoss berücksichtigen.

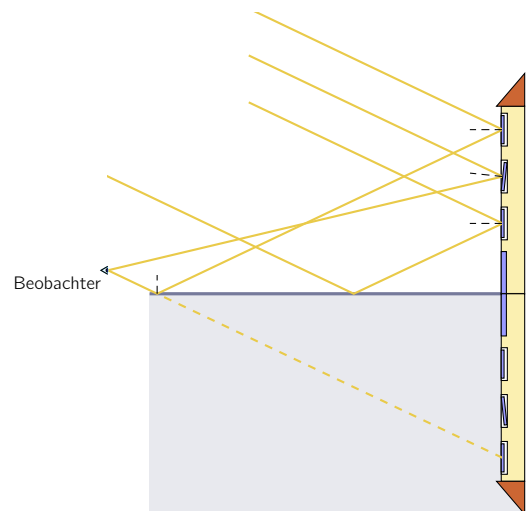


Abb. 13. Skizze mit Strahlenverläufen zur Entstehung der Reflexe an einer Fassade mit gekipptem Fenster im 2. Obergeschoss.

Bewertung - Juniaraufgabe: Seltsame Spiegelung		Punkte
5	Identifizieren des Reflexes als unerwartete Beobachtung	2.0
	Skizze zum Strahlenverlauf (parallel einfallende Strahlen 1 P., korrektes Verhalten bei Reflexion 1 P., korrekte Darstellung der Bildentstehung 1 P.)	3.0
	Begründen, dass ebene Fensterfront keine Erklärung erlaubt (auch implizit)	2.0
	Angaben (1 P.) und Begründen (2 P.), dass gekipptes Fenster Erklärung erlaubt	3.0
		<b>10.0</b>



**Bewertungsbogen für die 1. Runde zur 52. IPhO 2022**

(Dieser Bogen ist auch unter [www.ipho.info](http://www.ipho.info) bei den Hinweisen zur 1. Runde erhältlich)

**Von der korrigierenden Lehrkraft auszufüllen und bis spätestens zum 29. September 2021 an die/den zuständige(n) Landesbeauftragte(n) zu schicken.**

**Bitte tragen Sie die Punktzahlen auch online im Bewertungsportal der IPhO ein.  
Nur so können wir sicherstellen, dass die Bearbeitung korrekt erfasst wird.**

Schülername (-code): \_\_\_\_\_ ( \_\_\_\_\_ )

Schule, Ort: \_\_\_\_\_

Lehrkraft (-code): \_\_\_\_\_ ( \_\_\_\_\_ )

Aufgabe	Maximalpunktzahl	Erreichte Punktzahl
1 Runde Sache	10	
2 Kippender Eisberg	10	
3 Schiefe Ebene	10	
4 Leckere Linse	10	

Bonuspunkte für jüngere Teilnehmende

5 Junioraufgabe: Seltsame Spiegelung	10	
	<b>40 (+10)</b>	

Kommentare und Anregungen:

Unterschrift: \_\_\_\_\_