43. Internationale PhysikOlympiade

Tallinn & Tartu, Estland 2012

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

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

Anschrift: IPN an der Universität Kiel
Olshausenstraße 62
24098 Kiel
Fax: 0431 / 880-3148
Webseite: www.ipho.info

Lösungen und Bewertungsvorschläge zu den Aufgaben der 1. Runde des Auswahlwettbewerbs für die 43. IPhO 2012

Nur für die betreuenden Lehrerinnen und Lehrer.
Nicht vor Mitte September 2011 an Schülerinnen und Schüler weitergeben!

Sehr geehrte Fachlehrerin, sehr geehrter Fachlehrer,

Ihnen gebührt unser besonderer Dank. Ohne Ihr Engagement bei der Vorbereitung der Teilnehmerinnen und Teilnehmer sowie bei der Korrektur der Ausarbeitungen 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 Schüler und vor allem Ihre Schülerinnen zur Teilnahme an dem Wettbewerb anzuregen und die von Ihren Kandidaten eingereichten Bearbeitungen anhand des angehängten Bewertungsschemas zu bewerten. Der Stichtag für die Einsendung der Ergebnisse der 1. Runde liegt im Sommer 2011 und variiert von Bundesland zu Bundesland. Weitere Informationen zur 1. Runde sind unter www.ipho.info zu finden.

Wir freuen uns sehr über Ihre Mitarbeit und wünschen Ihnen sowie Ihren Schülerinnen und Schülern viel Erfolg.

Ihr IPhO-Team am IPN in Kiel

Da in diesem Jahr einige Neuerungen in der 1. Runde eingeführt werden, beachten Sie bitte unbedingt auch die Hinweise auf der Folgeseite!

Hinweise zum Ablauf der 1. Wettbewerbsrunde für betreuende Lehrkräfte

Im Auswahlwettbewerb zur Internationalen PhysikOlympiade wird in diesem Jahr ein **Online-Anmeldungs- und -Bewertungsverfahren** eingeführt.

Registrierung als betreuende Lehrkraft

- Registrieren Sie sich bitte frühzeitig unter *www.ipho.info* als betreuende Lehrkraft, wenn Sie Schülerinnen und Schüler in der 1. Runde zur IPhO 2012 betreuen wollen. Geben Sie den bei der Registrierung erzeugten Lehrercode an die von Ihnen betreuten Kandidaten weiter, damit eine Zuordnung zwischen Teilnehmenden und Lehrkräften erfolgen kann. 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.

Bearbeitung der Aufgaben durch Schülerinnen und Schüler

- Teilnehmende Schülerinnen und Schüler bearbeiten die Aufgaben der 1. Runde in Hausarbeit. Dabei sind nur Einzelarbeiten zugelassen. Die Ausarbeitungen sollten bis zu einem von Ihnen festzulegenden Termin bei Ihnen abgegeben werden. Beachten Sie dabei bitte den Stichtag in Ihrem Bundesland (siehe auch die Hinweise zur Übermittlung der Ergebnisse).
- Vor der Abgabe der Arbeit müssen sich teilnehmende Schülerinnen und Schüler ebenfalls Online für den Wettbewerb registrieren und das am Ende erzeugte Adressformular ggf. korrigiert ihrer Bearbeitung beilegen.

Bewertung der Arbeiten und Übermittlung der Ergebnisse

- Bewerten Sie die Ausarbeitungen Ihrer Kandidaten bitte anhand der Musterlösung und füllen Sie den beiliegenden Bewertungsbogen für jeden Kandidaten aus. Weitere Hinweise zur Korrektur finden Sie bei dem anhängenden Bewertungsschema. Der für Ihr Bundesland zuständige Landesbeauftragte steht Ihnen für Rückfragen bei der Korrektur gerne zur Verfügung.
- Teilen Sie uns bitte die Bewertungsergebnisse Ihrer Schülerinnen und Schüler online unter *www.ipho.info* mit. 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 zu dem in Ihrem Bundesland gültigen Stichtag an Ihren Landesbeauftragten.
- Kontaktinformationen zu den Landesbeauftragten und den für Ihr Bundesland gültigen Stichtag für die Eingabe der Ergebnisse sowie das Einsenden der Arbeiten der 1. Runde finden Sie unter *www.ipho.info*.

Sollten Sie Probleme mit dem Online-Verfahren oder Fragen haben, hilft Ihnen das IPhO-Team am IPN gerne weiter. Sie erreichen uns per E-Mail unter *sekretariat@ipho.info*.

Lösung Aufgabe 1: Die verwaschene Abbildung

Verlängert man die Strahlenfragmente in beide Richtungen, so ergeben sich aus den Schnittpunkten der Verlängerungen die Position und Orientierung der Linse und die Position einer Stelle auf dem Objekt, die in Abb. 1 als Spitze eines Pfeiles eingezeichnet ist.

Da die Strahlen hinter der Linse zerstreut werden, muss es sich um eine Zerstreuungslinse handeln. Aus den Verlängerungen der von einem Betrachter hinter der Linse gesehenen Strahlen entsteht ein virtuelles Bild des Objektes vor der Linse, das als gestrichelter Pfeil eingezeichnet ist.

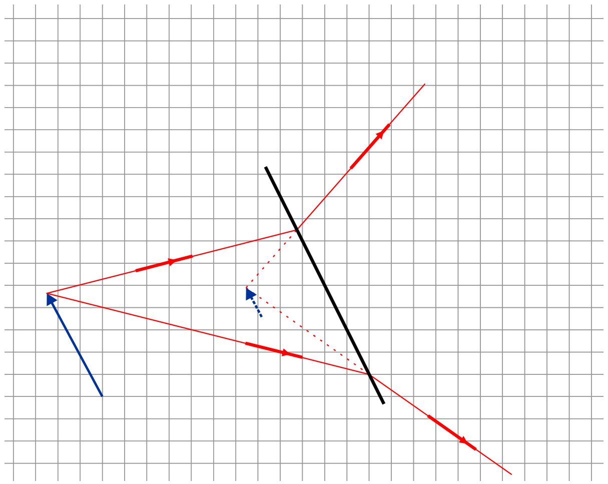


Abb.1: Erste Schritte zur Rekonstruktion der Zeichnung.

Der Strahl von der Spitze des Pfeils über die Spitze des virtuellen Bildes muss die Linse auf Höhe der optischen Achse treffen, da dieser Strahl nicht gebrochen wird. Mit dieser Information lässt sich die Lage der optischen Achse, die senkrecht zur Linse verläuft, festlegen.

Zeichnet man schließlich noch einen Strahl von der Spitze des Objektes ein, der vor der Linse achsenparallel verläuft, so muss dieser nach der Linse in einen Strahl gebrochen werden, dessen virtuelle Verlängerung durch den Brennpunkt der Linse verläuft. Auf diese Weise lässt sich auch die Lage der Brennpunkte der Linse auf der optischen Achse bestimmen.

Abbildung 2 zeigt die vollständig rekonstruierte Zeichnung. Die Brennpunkte der Linse sind als dicke Punkte eingezeichnet.

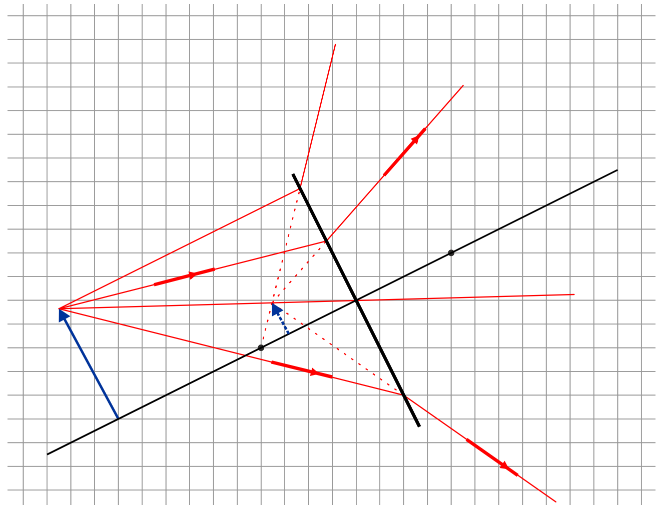


Abb.2: Vollständig rekonstruierte Zeichnung.

Die Brennweite *f* der Linse lässt sich anhand der Zeichnung bestimmen zu

$$f = -(2{,}25 \pm 0{,}05)\,\mathrm{cm}\,, \qquad (1)$$

wobei die Brennweite negativ angegeben wurde, da es sich um eine Zerstreuungslinse handelt (die Angabe eines positiven Wertes sollte nicht bestraft werden).

Der Vergrößerungsfaktor *V* der Abbildung lässt sich durch Messung der Bild- bzw. Gegenstandsgrößen oder -weiten bestimmen. Es ist

$$|V| = \left|\frac{B}{G}\right| = \left|\frac{b}{g}\right| = \left|\frac{f}{g-f}\right| = 0{,}29 \pm 0{,}01. \qquad (2)$$

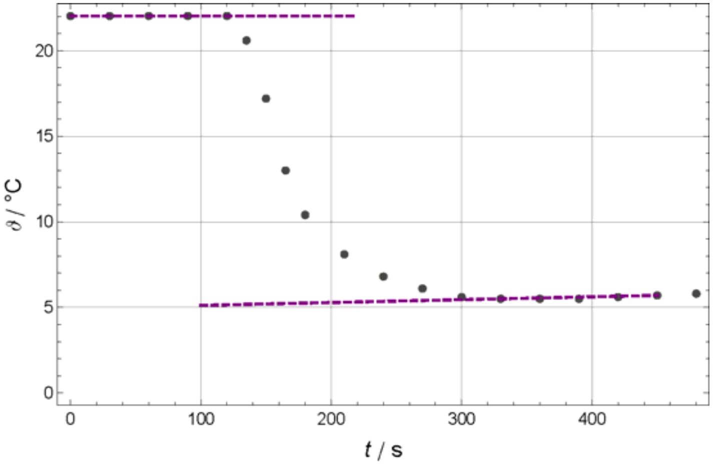
Hierbei bezeichnen *B* und *G* Bild- bzw. Gegenstandsgröße sowie *b* und *g* die entsprechenden Weiten mit

$$g \approx 5{,}6\,\mathrm{cm}\,. \qquad (3)$$

Lösung Aufgabe 2: Gekühlter Drink

Der Graph der Messwerte lässt annähernd zwei Plateaus erkennen, die die Situationen vor und nach Zugabe der Eiswürfel kennzeichnen. Da die Temperatur des Wassers nach Zugabe der Eiswürfel unterhalb der Umgebungstemperatur liegt, erwärmt sich das Wasser jedoch anschließend erneut langsam.

Extrapoliert man die Plateaus bis zu dem Zeitpunkt, bei dem die Temperatur des Wassers beginnt merklich abzufallen (bei etwa 120 s), so kann man aus dem Abstand der extrapolierten Kurven auf den durch die Eiswürfelzugabe verursachten Temperatursprung schließen. Dieser beträgt etwa $\Delta T = 16{,}7$ K. Eine Bestimmung der Temperaturdifferenz aus einzelnen, sinnvoll gewählten Messpunkten ist ebenfalls möglich.



Die Energie, die dem Wasser bei diesem Temperatursprung entzogen wird, wird zum Schmelzen der Eiswürfel und zum Erwärmen der geschmolzenen Eiswürfel auf die Mischtemperatur von etwa $\vartheta_{\text{Misch}} = 5{,}3$ °C aufgewendet. Es gilt also:

$$m_{\text{Wasser}}\, c_{\text{Wasser}}\, \Delta T = m_{\text{Eis}} \left(\lambda_{\text{Eis}} + c_{\text{Wasser}} (\vartheta_{\text{Misch}} - \vartheta_0)\right), \qquad (4)$$

wobei c_{Wasser} die spezifische Wärmekapazität und λ_{Eis} die Schmelzwärme von Wasser bezeichnen. Damit ergibt sich für die Masse der Eiswürfel

$$m_{\text{Eis}} = \frac{m_{\text{Wasser}}\, c_{\text{Wasser}}\, \Delta T}{\lambda_{\text{Eis}} + c_{\text{Wasser}} (\vartheta_{\text{Misch}} - \vartheta_0)} \approx 20\ g\ . \qquad (5)$$

Lösung Aufgabe 3: Von Mäusen und Menschen

Um die Abmessungen einer Maus im Vergleich zu denen eines Menschen zu charakterisieren, ist es hilfreich, eine charakteristische Länge L einführen. Dies kann z.B. die Länge des Oberschenkelknochens oder der Schädeldurchmesser sein. Die Abhängigkeiten vieler physikalischer Gesetze von den Abmessungen der Maus lassen sich dann durch Proportionalitäten ausdrücken. So ist die Masse der Maus proportional zur dritten Potenz der charakteristischen Länge und die Oberfläche der Maus proportional zu ihrem Quadrat.

Bei einem Fall aus großer Höhe erreichen Maus und Mensch aufgrund der Luftreibung eine Endgeschwindigkeit, die sich aus dem Gleichgewicht der Luftreibungskraft mit der Gewichtskraft ergibt. Die Luftreibungskraft ist proportional zum Quadrat der Geschwindigkeit und zur Querschnittfläche des Körpers. Daher gilt für die erreichte Endgeschwindigkeit v_{End} die Proportionalität

$$v_{\text{End}} \sim \sqrt{\frac{m}{A}} \sim \sqrt{L}\ . \qquad (6)$$

Für die kinetische Energie der Maus bzw. des Menschen beim Aufprall gilt daher

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m v_{\text{End}}{}^2 \sim L^4\ . \qquad (7)$$

Diese Energie muss über eine kurze Distanz, die ebenfalls als proportional zu L angenommen werden kann, abgebaut werden. Unter der Annahme einer konstanten Kraft F_{Brems} zum Abbremsen gilt daher

$$F_{\text{Brems}} = \frac{E_{\text{kin}}}{L} \sim L^3\ . \qquad (8)$$

Die Kraft, mit der der Mensch den Fall abbremsen muss, ist also um einen Faktor k^3 größer als die Kraft, die die Maus zum Abbremsen aufbringen muss.

Da die Bremskräfte, die von den Muskeln und Knochen maximal aufgebracht werden können, nur mit dem Quadrat der Länge L skalieren, ist das Verhältnis von notwendiger zu maximal aufbringbarer Bremskraft für die Maus günstiger und diese hat daher die besseren Überlebenschancen. Ein realistischer Wert von $k = 10$ bis 20 zeigt, dass eine Maus einen Sturz unbeschadet überstehen kann, bei dem ein Mensch schon längst schwere Verletzungen davon tragen würde.

Bemerkung:

Ein plausibles Ergebnis kann auch auf anderem Wege erreicht werden. Wenn nur ein Teil der relevanten Längen berücksichtigt wird, sollten entsprechend Teilpunkte vergeben werden.

Lösung Aufgabe 4: Der perfekte Wurf

Nach dem Abwurf bewegt sich der Basketball auf einer Wurfparabel. Wenn der Ball genau durch die Mitte des Korbes fallen soll, darf der Ball weder rechts noch links daran vorbei gehen. Es genügt daher, den Wurf in der Ebene zu betrachten, die durch die Flugbahn durch den Abwurfpunkt und die Mitte des Korbes festgelegt ist (s. Abb. 3).

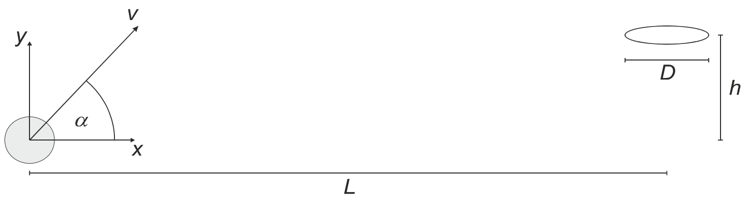


Abb.3: Skizze für den Korbwurf.

Hierbei bezeichnen *h* die Höhendifferenz zwischen Abwurfpunkt und Korbrand sowie *L* den horizontalen Abstand zwischen Abwurfpunkt und Korbmitte. Der Spieler hat dann bei fester Position und Abwurfhöhe noch Einfluss auf zwei Parameter, nämlich die Abwurfgeschwindigkeit *v* und den Abwurfwinkel α zur Horizontalen.

Für die horizontale und vertikale Koordinate des Mittelpunktes des Balls gilt in Abhängigkeit von der Zeit *t* ab dem Abwurf mit den Bezeichnungen wie in der Abbildung:

$$x = v\cos(\alpha)t \qquad \text{bzw.} \qquad y = v\sin(\alpha)t - \frac{1}{2}gt^2\,. \tag{9}$$

Damit der Ball genau durch die Mitte des Korbes fällt, muss für *x* = *L* gelten, dass *y* = *h* ist. Damit lassen sich die Beziehungen in (9) umformulieren zu

$$v = L\sqrt{\frac{g}{2\cos(\alpha)\left(L\sin(\alpha) - h\cos(\alpha)\right)}}\,. \tag{10}$$

Der Winkel α muss darüber hinaus aber noch einer weiteren Bedingung genügen.

Ist der Winkel β, unter dem der Ball gegenüber der Horizontalen in den Korb fällt, zu gering, so überstreicht der Ball in der Ebene des Korbrandes eine Fläche, die über die Fläche des Korbes hinausreicht (vgl. Abb. 4). Folglich stößt der Ball dann an den Rand des Korbes.

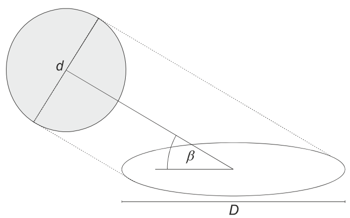


Abb.4: Einfall des Balles am Korb.

Für die Abbildung wurde dabei die Wurfbahn während des Einfalls in den Korb durch eine Gerade angenähert. Für den Grenzfall, bei dem der Ball gerade noch, ohne den Korb zu berühren, in diesen hineinfällt, gilt nach der obigen Abbildung:

$$\sin(\beta) = \frac{d}{D}, \qquad \text{und damit} \qquad \beta \approx 32{,}5^\circ\,. \tag{11}$$

Diese Bedingung lässt sich überführen in eine Bedingung an den Abwurfwinkel α, indem man die Geschwindigkeitskomponenten des Balles betrachtet. Es ist

$$\tan(\beta) = -\frac{v\sin(\alpha) - g\,t_{\text{Wurf}}}{v\cos(\alpha)} = -\tan(\alpha) + \frac{g\,t_{\text{Wurf}}}{v\cos(\alpha)} = \tan(\alpha) - 2\frac{h}{L}\,. \tag{12}$$

Für die letzte Umformung wurden erneut die Gleichungen in (9) verwendet. Damit ergibt sich der minimale Abwurfwinkel α_{min} zu

$$\alpha_{\text{min}} = \arctan\left(\tan(\beta) + 2\frac{h}{L}\right) = \arctan\left(\frac{d}{\sqrt{D^2 - d^2}} + 2\frac{h}{L}\right) \approx 45{,}5^\circ\,. \tag{13}$$

Der Basketballspieler muss den Ball also so werfen, dass der Abwurfwinkel über dem minimalen Abwurfwinkel α_{min} liegt und zugleich die Beziehung (10) erfüllt ist.

Bemerkung:

Eine genauere Betrachtung berücksichtigt, dass der Ball nicht genau in der Mitte des Korbes landen muss, um, ohne den Rand zu berühren, in den Korb zu fallen. Abb. 5 gibt einen Überblick über mögliche Parameterbereiche für einen in diesem Sinne erfolgreichen Korbwurf (s. auch Mathelitsch, L. & Thaller, S.: *Sport und Physik*. Praxis Schriftenreihe Physik Band 64, Aulis Verlag Deubner (2008))

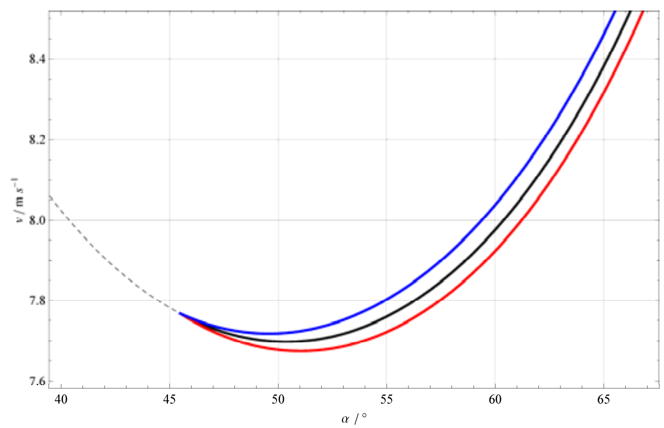


Abb. 5: Zusammenhang zwischen Abwurfwinkel und -geschwindigkeit für erfolgreiche Korbwürfe. Würfe zwischen der oberen und unteren Linie treffen in den Korb, ohne diesen zu berühren. Die mittlere Linie beschreibt den Zusammenhang für einen Wurf in die Korbmitte.

Eine Lösung ohne die Näherung einer konstanten Geschwindigkeit beim Einfall in den Korb ist ebenfalls möglich und liefert numerisch einen etwas größeren minimalen Abwurfwinkel von etwa 46,3°.

Lösung Junioraufgabe: Minenunglück

Für den Widerstand R_{Reihe} bei der Reihenschaltung gilt

$$R_{\text{Reihe}} = \frac{\rho \ell}{A}, \tag{14}$$

wobei ρ den spezifischen Widerstand des Minenmaterials, ℓ die Gesamtlänge der Mine und $A = \pi\, d^2 / 4$ ihre Querschnittfläche bezeichnen. Daraus ergibt sich für die Länge der Mine

$$\ell = \frac{R_{\text{Reihe}} \pi d^2}{4\rho} \approx 10\,\text{cm}. \tag{15}$$

Für die Parallelschaltung eines Minenstückes der Länge x und eines der Länge $\ell - x$ ergibt sich der Widerstand R_{Parallel} zu

$$R_{\text{Parallel}} = \frac{\rho}{A}\frac{x(\ell - x)}{\ell}, \tag{16}$$

und damit

$$x = \frac{\ell}{2} \pm \sqrt{\frac{\ell^2}{4} - \frac{R_{\text{Parallel}} \pi d^2 \ell}{4\rho}} \approx \begin{cases} 3{,}5\text{ cm} \\ 6{,}5\text{ cm} \end{cases}. \tag{17}$$

Die Längen der Minenstücke betragen also etwa 3,5 cm und 6,5 cm.

Bewertungsvorschläge

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 angegebenen Punktzahlen beziehen sich auf den von uns ausgearbeiteten Lösungsweg. Bei anderen Lösungswegen muss die Bewertung sinngemäß abgeändert werden, wobei die Gesamtpunktzahl pro Aufgabe beizubehalten ist. **Schülerinnen und Schüler, die im Schuljahr 2011/2012 noch nicht die vorletzte Jahrgangsstufe erreicht haben, können in diesem Jahr durch Bearbeitung der Junioraufgabe einen Bonus von maximal 10 Punkten erreichen. Diese Regelung ersetzt die bisherige automatische Vergabe von Bonuspunkten für jüngere Teilnehmende.**

Auch Teilnehmerinnen und Teilnehmer, die nicht in die nächste Runde kommen, erhalten eine Teilnahmebestätigung für die 1. Runde. Bitte melden Sie daher auch diese unbedingt weiter. Die Punktegrenze für das Erreichen der zweiten Runde liegt in diesem Jahr bei **35 Punkten**.

Herzlichen Dank für Ihre Mitarbeit!

Aufgabe 1: Die verwaschene Abbildung	**Punkte**
Erkennen, dass es sich um eine Zerstreuungslinse handelt	1
Erläuterung der Methode zum Ermitteln der Position und Orientierung der Linse	2
Erläuterung der Methode zum Ermitteln der Lage der optischen Achse	2
Erläuterung der Methode zur Bestimmung der Lage der Brennpunkte	2
Zeichnung mit Linse, optischer Achse und Brennpunkten	3
Bestimmung der Brennweite zu Wert in (1)	1
Bestimmung des Wertes in (2) für den Vergrößerungsfaktor	2
	13

Aufgabe 2: Gekühlter Drink	**Punkte**
Erkennen, dass die Temperaturdifferenz maßgeblich ist	2
Energiebilanz (4)	3
Ablesen von Temperaturdifferenz und Mischtemperatur aus Graphen	2
Ergebnis (5) für Masse der Eiswürfel	2
	9

Aufgabe 3: Von Mäusen und Menschen	Punkte
Verwendung der richtigen Proportionalität bei Skalierung für Massen	2
Verwendung der richtigen Proportionalität bei Skalierung für Flächen	2
Berücksichtigung der Luftreibung und Ausdrücken der Endgeschwindigkeit als Proportionalität wie in (6)	2
Feststellen einer Proportionalität wie in (7) durch Energiebetrachtung oder ähnliche Überlegung	2
Berücksichtigung des Bremsweges beim Bremsvorgang	1
Ergebnis (8) für Bremskraft und Verhältnis der aufzubringenden Kräfte	2
Begründung, warum eine Maus die besseren Überlebenschancen besitzt	2
	13

Aufgabe 4: Der perfekte Wurf	Punkte
Beschreibung der Bewegung des Balls wie in (9)	2
Erkennen, dass ein Zusammenhang zwischen Abwurfwinkel und Abwurfgeschwindigkeit erfüllt sein muss	2
Formulierung einer Bedingung zwischen Abwurfwinkel und Abwurfgeschwindigkeit analog zu (10)	3
Erkennen, dass zusätzlich ein minimaler Einfallswinkel notwendig ist	2
Bestimmung des minimalen Einfallswinkels wie in (11)	2
Überführen in einen minimalen Abwurfwinkel und Wert in (13)	4
	15

Summe	**50**

Bonuspunkte, die jüngere Teilnehmende durch
Bearbeitung der Junioraufgabe erhalten können:

Junioraufgabe: Minenunglück	Punkte
Aufstellen der Gleichung für Widerstand der Reihenschaltung (14)	2
Bestimmen der Länge der Mine	2
Aufstellen der Gleichung für Widerstand der Parallelschaltung (16)	3
Bestimmen der Längen der Minenstücke	3
	10