50. Internationale PhysikOlympiade
Tel Aviv, Israel 2019

Wettbewerbsleitung

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

Sabrina Borchert
Tel.: 0431 / 880 - 5387
email: sekretariat@ipho.info

Anschrift: IPN an der Universität Kiel
Olshausenstraße 62
24118 Kiel

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

Lösungen und Bewertungsvorschläge zu den Aufgaben der 1. Runde im Auswahlwettbewerb zur 50. IPhO 2019

Nur für die betreuenden Lehrerinnen und Lehrer.
Nicht vor Oktober 2018 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 Kandidatinnen bzw. Kandidaten eingereichten 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) Landesbeauftrage(n) ist der **22. September 2018**. Ermuntern Sie Ihre Schülerinnen und Schüler gerne auch zur frühzeitigen Abgabe der Bearbeitung einzelner Aufgaben, damit diese 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 zu finden.

Wir freuen uns sehr über Ihre Unterstützung und wünschen Ihnen sowie Ihren Schülerinnen und Schülern viel Erfolg! Ihr IPhO-Team am IPN in Kiel.

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. 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 **12. September 2018** 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 2018/2019 noch nicht die vorletzte Jahrgangsstufe erreicht haben, können durch die Bearbeitung der **Junioraufgabe** einen Bonus von maximal 10 Punkten erreichen.
- Die Punktegrenze für das Erreichen der 2. Runde liegt in diesem Jahr bei **30 Punkten**.
- Teilen Sie uns bitte die Bewertungsergebnisse Ihrer Schülerinnen und Schüler **online** mit. Einen Link zu der Seite finden Sie unter 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 **22. September 2018** an Ihre(n) Landesbeauftragte(n). Kontaktinformationen zu den Landesbeauftragten finden Sie unter www.ipho.info.

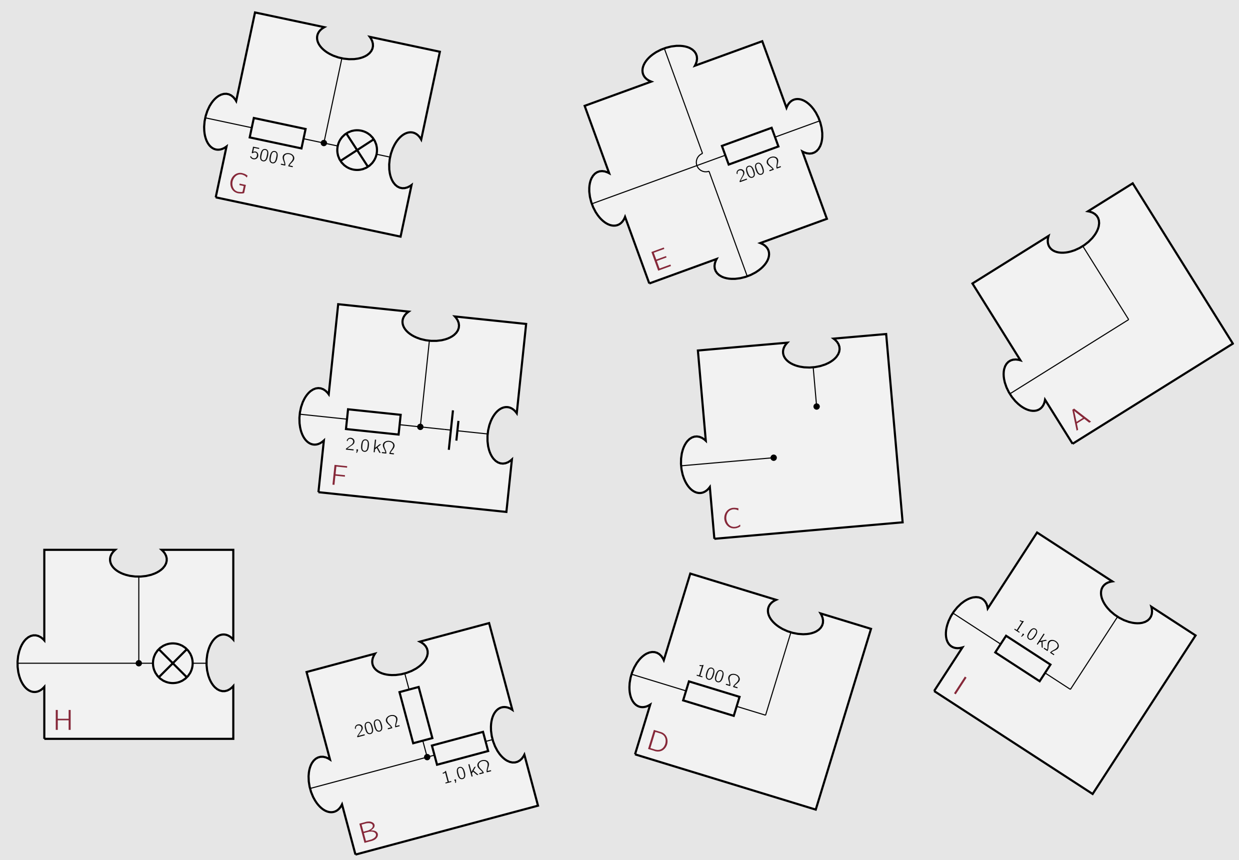
Bei Fragen oder Problemen helfen Ihnen die Landesbeauftragten und das IPhO-Team am IPN gerne weiter.

Aufgabe 1 Stromkreispuzzle (10 Pkt.)

(Idee: Martin Krebs)

Sophie hat mit zwei identischen Lämpchen, einer Batterie und einigen Widerständen einen Stromkreis aufgebaut, in dem beide Lämpchen gleich hell leuchten. Sie beschließt, ihrem Physiklehrer ein Rätsel zu stellen, malt den Schaltplan ihrer Schaltung auf ein Puzzle und gibt ihrem Lehrer die Einzelteile.

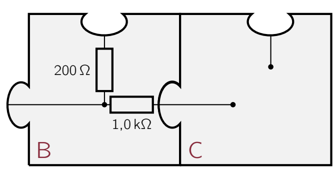
Hilf dem Lehrer und gib an, wie die Puzzleteile zusammengesetzt werden müssen. Begründe, warum in dieser Anordnung beide Lämpchen gleich hell leuchten und warum es nur diese eine Lösung geben kann.



Lösung

An den Ausbuchtungen ist zu erkennen, dass es in dem Puzzle vier Eckteile, vier Seitenteile und ein Mittelteil gibt. Es handelt sich also um ein 3×3 Puzzle.

Betrachte zunächst das Eckteil C mit den beiden offenen Enden. Damit die Lämpchen leuchten, dürfen weder sie noch die Batterie direkt an ein offenes Ende angeschlossen werden. Da die Batterie auf Teil F und beide Lämpchen auf den Teilen G und H alle an der gleichen Position auf einem Seitenteil liegen, kann nur Teil B folgendermaßen an C angehängt werden.



Dadurch ist der grobe Aufbau des Stromkreises festgelegt, wie nachfolgend in Abbildung 1 dargestellt:

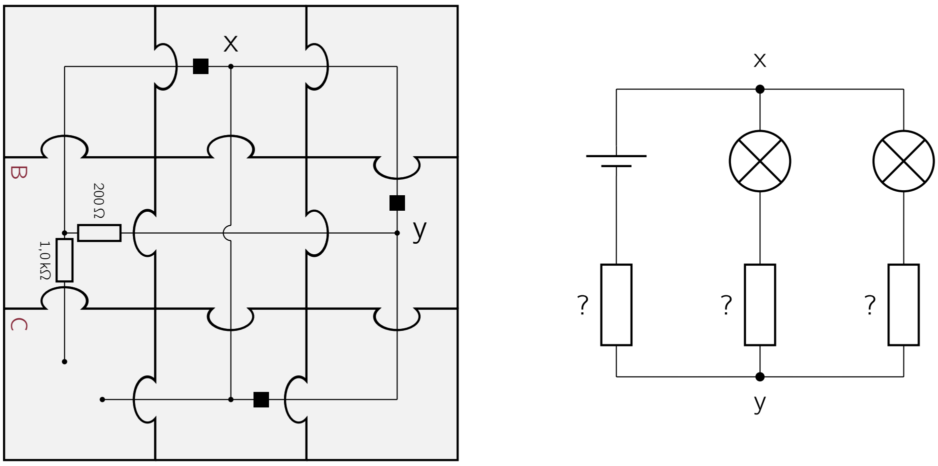
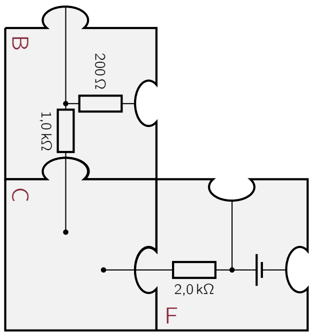


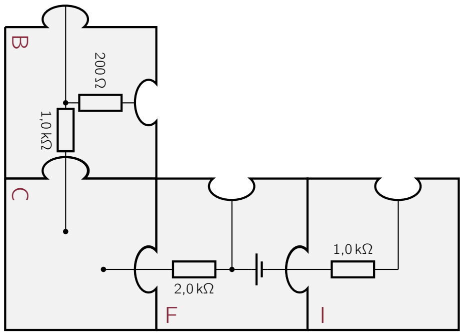
Abbildung 1: *Layout des Stromkreises (links) und Ersatzschaltbild für die Verbindung zwischen den Knotenpunkten x und y (rechts).*

Die schwarzen Kästchen in der linken Skizze stehen dabei entweder für eines der Lämpchen oder die Batterie. Außerdem sind die in den Verbindungen verbauten Widerstände nicht eingezeichnet. Zwischen den Knotenpunkten x und y lässt sich die Schaltung wie in der linken Skizze gezeigt darstellen. Die konkreten Werte der Vorwiderstände hängen davon ab, wie die Puzzleteile verbaut sind.

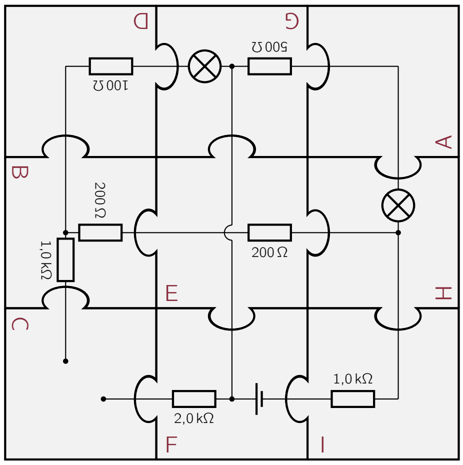
Die Lämpchen leuchten nur dann gleich hell, wenn die Vorwiderstände vor den Lämpchen gleich groß sind. Die Widerstände in Reihe zur Batterie spielen dabei keine Rolle, da sie für beide Lämpchen wirken. Prinzipiell gäbe es mehrere Möglichkeiten, die gleiche Summe aus den verbleibenden Widerständen (2,0 kΩ, 1,0 kΩ, 500 Ω, 200 Ω, 200 Ω, 100 Ω) durch Reihenschaltungen zu bilden. Jedoch können die Ecken D und I nicht in Reihe geschaltet werden, so dass es keine Möglichkeit mehr gibt, 2,0 kΩ als Summe zu konstruieren. Da der 2,0 kΩ Widerstand auf dem gleichen Puzzleteil wie die Batterie ist, kann dieser auch nicht in Reihe mit der Batterie sein. Teil F muss daher mit dem anderen offenen Ende verbunden sein.



Außerdem können der 500 Ω Widerstand auf dem Seitenteil G und der 200 Ω Widerstand auf dem Seitenteil B nicht in Reihe geschaltet werden, so dass auch keine Reihenschaltung aus mehreren Widerständen gebaut werden kann, die einen Widerstandswert von 1,0 kΩ ergibt. Folglich muss der 1,0 kΩ Widerstand mit der Batterie in Reihe geschaltet werden.



Wenn G jetzt direkt oberhalb von I eingebaut wird, bleiben noch der 100 Ω Widerstand auf der Ecke D und der 200 Ω Widerstand auf der Seite B, die auf jeden Fall in Reihe mit einem Lämpchen geschaltet werden müssen, sowie der 200 Ω Widerstand auf dem Mittelteil. Mit diesen drei Widerständen ist es nicht möglich, zwei Reihenschaltungen mit demselben Wert zu bauen, so dass G nicht oberhalb von I sein darf, sondern oben in der Mitte sein muss. Damit sind die Positionen der Puzzleteile mit den Lämpchen festgelegt und es gibt nur eine Möglichkeit, einen Vorwiderstand von 500 Ω vor beiden Lämpchen zu erreichen. Dies ist die gesuchte Lösung.



Da sich alle Kontruktionsschritte eindeutig ergeben, ist die gefundene Lösung die einzig mögliche.

Bewertung - Stromkreispuzzle		**Punkte**
1	Angeben der korrekten Schaltung	4
	Begründen, warum beide Lämpchen in der Schaltung gleich hell leuchten	2
	Nachweis der Eindeutigkeit z. B. durch Angeben der einzelnen Konstruktionsschritte	4
		10

Hinweis: Die Punkte für das Angeben der korrekten Schaltung sollten unabhängig davon gegeben werden, wie die Lösung gefunden wurde. Es ist zu erwarten, dass die Teilnehmenden verschiedene Argumentationswege für die Konstruktion der Schaltung verwenden. Das sollte natürlich akzeptiert werden, solange die Argumentation physikalisch korrekt ist und die Eindeutigkeit der Lösung bewiesen wird.

Aufgabe 2 Solarenergie (10 Pkt.)

In einigen Gegenden Israels scheint an mehr als 300 Tagen im Jahr die Sonne. Seit langer Zeit wird daher versucht, die Sonnenstrahlung für die Bewohner des Landes energetisch nutzbar zu machen.

a) Berechne, wie groß die Leistung der von der Sonne auf einen Quadratmeter der Erdatmosphäre bei senkrechtem Einfall treffenden Sonnenstrahlung ist. Verwende dabei für den Abstand der Sonne zur Erde $150 \cdot 10^6$ km und für den Radius der Sonne selbst den Wert $700 \cdot 10^3$ km. Die Oberflächentemperatur der Sonne beträgt etwa 5800 K.

Dieser Wert ist aufgrund der Dämpfung durch die Erdatmosphäre auf der Erdoberfläche geringer. Gehe im Folgenden von einer maximalen Strahlungsleistung pro Fläche von $1000\,\mathrm{W\,m^{-2}}$ aus.

Vor einigen Jahren wurden in Israel Versuche mit großen Parabolspiegeln durchgeführt, die das einfallende Sonnenlicht auf ein kleines Modul bündeln. Das Modul kann 75 % der einfallenden Strahlungsleistung nutzbar machen. Davon wird ein Drittel durch Photovoltaik in elektrische Energie umgewandelt. Mit der restlichen Energie erhitzt es Wasser, das zur Warmwasserversorgung benötigt wird.

b) Der Parabolspiegel besitzt eine effektive Fläche von $11\,\mathrm{m^2}$. Berechne, welche elektrische Leistung die Anordnung maximal bereitstellt.

c) Das zu erhitzende Wasser wird mit einer Temperatur von etwa 30 °C in das Modul gepumpt und verlässt es mit einer Temperatur von 70 °C. Schätze ab, wie viel Wasser pro Minute durch das Modul gepumpt werden muss, damit es bei einer konstanten Temperatur gehalten wird.

Lösung

a) Da sich die Sonne in guter Näherung wie ein schwarzer Strahler verhält, lässt sich die insgesamt von der Sonne emittierte Strahlungsleistung P mit Hilfe des Stefan-Boltzmann-Gesetzes bestimmen zu

$$P_{\mathrm{Sonne}} = 4\,\pi\,\sigma\,r^2\,T^4 \approx 3{,}95 \cdot 10^{26}\,\mathrm{W}\,. \tag{2.1}$$

Dabei bezeichnen r den Radius der Sonne, T deren Oberflächentemperatur und die Größe $\sigma = 5{,}670 \cdot 10^{-8}\,\mathrm{W\,m^{-2}\,K^{-4}}$ die Stefan-Boltzmann-Konstante.

Die von der Sonne auf die Erdatmosphäre bei senkrechtem Einfall pro Quadratmeter auftreffende Strahlungsleistung, die Bestrahlungsintensität I, ergibt sich durch Division der Strahlungsleistung P_{Sonne} durch die Oberfläche einer Kugel mit einem Radius, der dem Abstand R von Sonne zu Erde entspricht. Es ergibt sich also

$$\boxed{I = \frac{P_{\mathrm{Sonne}}}{4\,\pi\,R^2} = \frac{\sigma\,r^2\,T^4}{R^2} \approx 1{,}4 \cdot 10^3\,\mathrm{W\,m^{-2}}}\,. \tag{2.2}$$

Dieser Wert ist die so genannte Solarkonstante.

b) Die von dem Parabolspiegel mit dem Solarmodul maximal erzeugte elektrische Leistung P_{el} ergibt sich aus der gegebenen maximalen Strahlungsintensität $I_{\mathrm{max}} = 1000\,\mathrm{W\,m^{-2}}$, der Fläche A des Spiegels und dem Wirkungsgrad $\eta = 0{,}75 \cdot \frac{1}{3}$ der Anlage zu

$$\boxed{P_{\mathrm{el}} = \eta\,I_{\mathrm{max}}\,A \approx 2{,}8 \cdot 10^3\,\mathrm{W}}\,. \tag{2.3}$$

c) Unter der Annahme, dass die Kühlung des Moduls alleine über die Erhitzung des durchfließenden Wasser erfolgt, muss das Wasser eine thermische Leistung abführen, die dem Doppelten der elektrischen Leistung P_{el} entspricht. Diese Leistung wird für die Erwärmung einer Wassermasse pro Zeit $\Delta m/\Delta t$ eingesetzt, die sich mit der Temperaturdifferenz $\Delta T = 40\,\mathrm{K}$ zwischen ein- und ausfließendem Wasser und der spezifischen Wärmekapazität $c \approx 4{,}18 \cdot 10^3\,\mathrm{J\,kg^{-1}\,K^{-1}}$ von Wasser ergibt aus

$$2\,P_{el} = \frac{\Delta m}{\Delta t}\,c\,\Delta T\,. \tag{2.4}$$

Damit ist die pro Minute durch das Modul zu pumpende Wassermasse Δm mit $\Delta t = 60\,\mathrm{s}$ gegeben durch

$$\boxed{\Delta m = \frac{2\,P_{el}\,\Delta t}{c\,\Delta T} \approx 2{,}0\,\mathrm{kg}}\,. \tag{2.5}$$

Bewertung - Solarenergie		**Punkte**
2.a)	Verwenden des Stefan-Boltzmann-Gesetzes	1
	Bestimmen der Solarkonstanten (2.2)	2
2.b)	Berücksichtigen der relevanten Faktoren (Intensität, Wirkungsgrad, Fläche)	1
	Bestimmen der maximalen elektrischen Leistung (2.3)	2
2.c)	Verwenden einer Gleichgewichtsbedingung	1
	Aufstellen einer Bilanzgleichung (2.4)	2
	Bestimmen der pro Minute zu pumpenden Wassermasse (2.5)	1
		10

Aufgabe 3 Rauchfahnen (10 Pkt.)

Zwei Schiffe fahren mit einer konstanten Geschwindigkeit von 16 Knoten entlang gerader Kurse. Die nebenstehende maßstäbliche Abbildung zeigt die sich kreuzenden Fahrwege der Schiffe sowie die von den Schornsteinen der Schiffe ausgehenden Rauchfahnen von oben. Ein mit konstanter Geschwindigkeit aus gleichbleibender Richtung wehender Wind trägt den Rauch mit sich fort.

Bestimme die Windrichtung und die Windgeschwindigkeit.

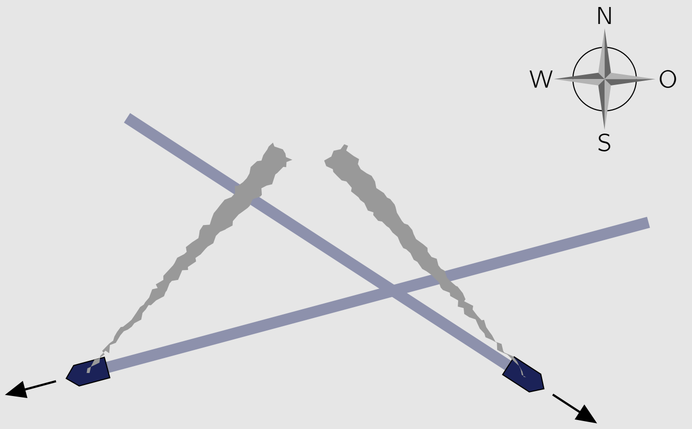


Abbildung 2: *Bild der Schiffe von oben.*

Lösung

Der von den Schiffsschornsteinen ausgestoßene Rauch bewegt sich mit dem Wind. Wenn sich die beiden Schiffe am Kreuzungspunkt O der Fahrwege getroffen hätten, wäre auch der von den beiden Schiffen an dieser Stelle ausgestoßene Rauch gemeinsam weggeweht worden. Zum Glück waren die beiden Schiffe aber nicht zur gleichen Zeit am Punkt O. Diese Situation lässt sich dennoch nachstellen, indem man, wie in Abbildung 3 gezeigt, die Rauchfahne des Schiffes S_2 so parallel verschiebt, dass der Schnittpunkt der Rauchfahne mit dem Fahrweg des Schiffes S_2 genau so weit vom Punkt O entfernt ist, wie das Schiff S_1 zum Zeitpunkt der Aufnahme.

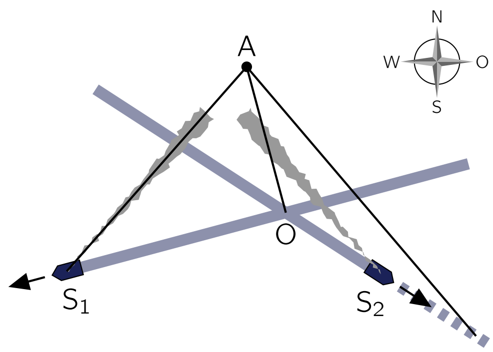


Abbildung 3: *Skizze zur Bestimmung der Windparameter.*

Durch Verlängerung der Rauchfahnen lässt sich der Punkt A ermitteln, an dem sich der Rauch, der von Schiff S_1 am Punkt O ausgestoßen wurde, aktuell befindet. Die Windgeschwindigkeit ergibt sich dann aus dem Verhältnis der Länge der Strecke $\overline{OA}$ zu der Länge der Strecke $\overline{OS_1}$ und beträgt

$$\boxed{v_{\text{Wind}} = v_{\text{Schiff}} \frac{|\overline{OA}|}{|\overline{OS_1}|} = 11\,\text{Knoten}}\,. \tag{3.1}$$

Die Windrichtung lässt sich aus der Abbildung ablesen. Der Wind weht aus nahezu südlicher Richtung (genauer aus 165° gegenüber der nördlichen Richtung).

Bewertung - Rauchfahnen		Punkte
3	Formulieren einer sinnvollen Lösungsidee	3
	Einzeichnen und Ablesen der relevanten Größen in der Abbildung	3
	Bestimmen der Windgeschwindigkeit (3.1) mit einem Ergebnis zwischen 10 Kn und 12 Kn (nur 1 Pkt. bei $9\,\text{Kn} \leq v_{\text{Wind}} < 10\,\text{Kn}$ oder $12\,\text{Kn} < v_{\text{Wind}} \leq 13\,\text{Kn}$)	2
	Bestimmen der Windrichtung mit einem Ergebnis zwischen 150° und 180° (nur 1 Pkt. bei Werten zwischen 140° und 150° bzw. zwischen 180° und 190°)	2
		10

Hinweis: Vermutlich werden viele Teilnehmende die gesuchten Größen über andere geometrische Betrachtungen ermitteln. Das sollte auch als richtig bewertet werden, sofern der Lösungsweg korrekt ist und die Ergebnisse in den angegebenen Bereichen liegen.

Aufgabe 4 Lutschvergnügen (10 Pkt.)

Ein Bonbon löst sich beim Lutschen im Mund erfahrungsgemäß langsam auf. Aber wie genau verändert sich eigentlich die Größe eines Bonbons mit der Zeit? Betrachte ein kugelförmiges Bonbon mit einem homogenen Aufbau, das in einer großen Menge Flüssigkeit liegt.

a) Begründe mit Hilfe geeigneter Annahmen, dass sich der Bonbondurchmesser beim Auflösen linear mit der „Lutschzeit" ändert.

Das Auflöseverhalten sollst du auch experimentell untersuchen. Besorge dir dazu einige möglichst kugelförmige Bonbons mit einem homogenen Aufbau.

b) Lege eines der Bonbons in ein größeres Gefäß mit Wasser und untersuche, wie sich dessen Größe mit der Zeit bis zur vollständigen Auflösung ändert. Beschreibe deinen Versuchsaufbau und erstelle eine Tabelle mit Messwerten für den Durchmesser des Bonbons als Funktion der Zeit[a].

c) Fertige einen Graphen für den Durchmesser des Bonbons als Funktion der Zeit an und überprüfe, inwieweit sich der erwartete lineare Verlauf experimentell bestätigen lässt. Gib dazu mögliche Fehlerquellen bei deinen Messungen an.

[a] Die Form des Bonbons wird sich während des Auflösens ändern, so dass du den Durchmesser geeignet mitteln musst.

Lösung

a) Für die theoretische Betrachtung wird angenommen, dass der Bonbon in der Flüssigkeit ruht und nicht mechanisch bearbeitet wird. Außerdem wird angenommen, dass der Bonbon von allen Seiten mit Flüssigkeit bedeckt ist.

Die Oberfläche wird durch Reaktion mit der angrenzenden Flüssigkeit aufgelöst. Dabei wird in gleichen Zeiten immer eine gleiche Dicke der Oberfläche aufgelöst, so dass sich der Radius des Bonbons linear mit der „Lutschzeit" ändert.

Alternativ lässt sich die lineare Abhängigkeit auch mit der folgenden Argumentation begründen: Das Auflösen des Bonbons erfolgt über die Oberfläche, die proportional zum Quadrat des Durchmessers d ist. In einer kurzen Zeit Δt ändert sich damit die Bonbonmasse m um

$$\Delta m = -d^2\,\Delta t \cdot \text{const.}\,. \tag{4.1}$$

Die Masse $|\Delta m|$ stammt aus dem Abbau einer dünnen Kugelschale an der Oberfläche, deren Dicke Δr gegeben ist durch

$$\Delta r = \frac{\Delta m}{\pi\, d^2\, \rho} = -\frac{d^2\,\Delta t \cdot \text{const.}}{\pi\, d^2\, \rho} = -\frac{\text{const.}}{\pi\, \rho}\,\Delta t\,. \tag{4.2}$$

Hierbei bezeichnet ρ die Dichte des Bonbons. Damit ist auch die Änderung $\Delta d = 2\,\Delta r$ des Bonbondurchmessers linear in der Zeit:

$$\boxed{\Delta d = -\frac{2\,\text{const.}}{\pi\,\rho}\,\Delta t}\,. \tag{4.3}$$

b) Für den Versuch wurden nahezu kugelförmige Fruchtbonbons mit einem anfänglichen Durchmesser von etwa 2,3 cm verwendet. Diese wurden in ein großes, mit Wasser gefülltes Becherglas gelegt, um zu vermeiden, dass sich die Zuckerkonzentration im Wasser und damit möglicherweise das Auflösungsverhalten mit der Zeit stark ändern. Die Temperatur des Wassers lag bei Zimmertemperatur. Das Bonbon wurde in dem Becherglas auf ein Radiergummi gelegt, damit es möglichst von allen Seiten von Wasser umgeben ist. Direkt neben das Bonbon wurde ein Lineal im Wasser platziert.

Zu verschiedenen Zeiten wurde ein Foto des Bonbons mit dem Lineal gemacht. Aus dem Foto wurde mit Hilfe des Linealmaßstabes der horizontale und vertikale Durchmesser des Bonbons bestimmt und daraus ein Mittelwert errechnet. Die folgenden Fotos zeigen exemplarisch Aufnahmen des Bonbons zu unterschiedlichen „Lutschzeiten“.

1) 2) 3)

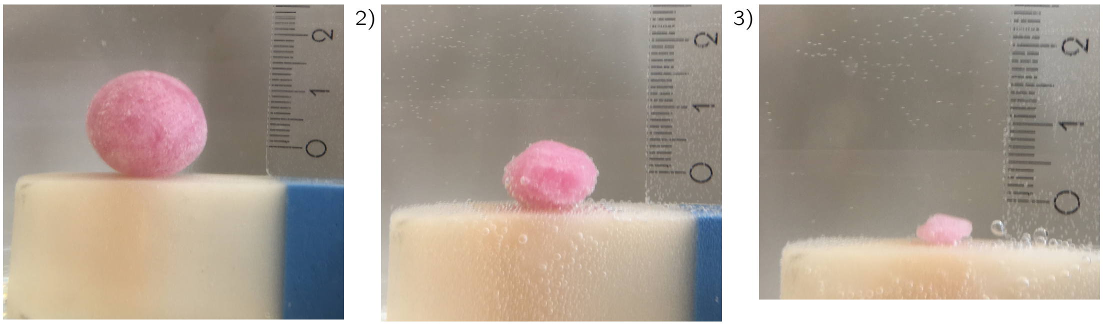


Abbildung 4: *Fotos zur Bestimmung des Bonbondurchmessers zu den Zeiten 1)* 39 s *2)* 1947 s *und 3)* 3345 s.

Die insgesamt aufgenommenen Messwerte sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: *Messwerte für den vertikalen d_1 und horizontalen d_2 Durchmesser des Bonbons sowie dem Mittelwert d des Durchmessers in Abhängigkeit von der „Lutschzeit“, also der Zeit, die sich das Bonbon im Wasser befindet.*

t / s	0	22	39	248	339	353	603	933	1339	1616
d_1 / cm	2,59	2,27	1,90	2,15	2,15	1,88	1,75	1,57	1,46	1,20
d_2 / cm	1,88	1,91	2,14	1,90	1,80	2,12	1,96	1,73	1,69	1,53
d / cm	2,24	2,09	2,02	2,02	1,98	2,00	1,85	1,65	1,58	1,37

t / s	1947	2302	2633	2685	2935	3268	3345	3639	3822	
d_1 / cm	0,98	0,83	0,65	0,75	0,61	0,42	0,34	0,41	0,13	
d_2 / cm	1,41	1,21	1,17	1,05	1,02	0,70	0,72	0,25	0,29	
d / cm	1,20	1,02	0,91	0,90	0,81	0,56	0,53	0,33	0,21	

Die beiden Durchmesser weichen mitunter erheblich voneinander ab. Die Unsicherheit bei der Bestimmung des Durchmessers lässt sich als die maximale Differenz des Mittelwerts zu den Messwerten abschätzen. Die Unsicherheit bei der Bestimmung der Zeit liegt zwar bei einigen Sekunden, ist im Vergleich zur gemessenen Zeit aber sehr gering.

c) Der Graph in Abbildung 5 zeigt den Durchmesser des teilweise aufgelösten Bonbons als Funktion der „Lutschzeit“. Die relativ großen Unsicherheiten bei der Bestimmung des Durchmessers sind als Fehlerbalken eingetragen.

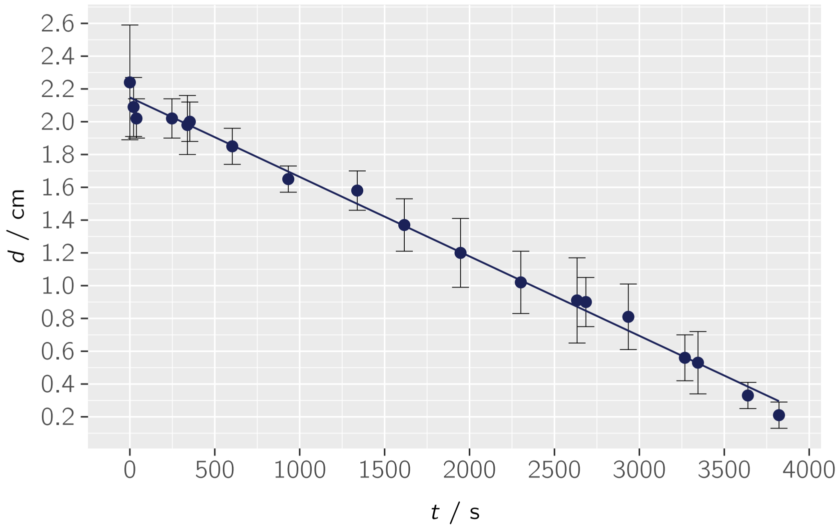


Abbildung 5: *Graph des Durchmessers d des Bonbons als Funktion der „Lutschzeit“ t.*

Trotz der relativ großen Unsicherheiten bei der Bestimmung des Durchmesssers ist der Verlauf sehr gut durch einen linearen Verlauf anzunähern.

Weitere Ursachen für eine eventuelle Abweichung von dem linearen Verlauf können eine unregelmäßige Oberfläche des Bonbons oder Inhomogenitäten in dem Bonbon sowie die Ausbildung von Unterschieden in der Zuckerkonzentration des Wassers durch die Auflösung oder ein ungleichmäßiges Rühren in dem Behälter sein.

Bewertung - Lutschvergnügen		**Punkte**
4.a)	Begründen, dass der Durchmesser linear mit der Zeit abnimmt	2
4.b)	Beschreiben des verwendeten Versuchsaufbaus	1
	Angeben von Messwerten für den Durchmesser zu mindestens 7 Zeiten (noch 1 Pkt. bei Aufnahme von 5-6 Messwerten)	3
4.c)	Erstellen eines Graphen für den zeitlichen Verlauf des Durchmessers	1
	Erkennbar linearer Verlauf zumindest im mittleren Teil	1
	Kommentieren, inwieweit der Verlauf zu einem linearen Verlauf passt	1
	Angabe möglicher Fehlerquellen	1
		10

Literatur: Die Idee zu dieser Aufgabe stammt aus dem Artikel: Windisch, A.; Windisch, H. & Popescu, A. (2013). Sticky physics of joy: On the dissolution of spherical candies. *Phys. Educ.* **48**, 221-226.

Aufgabe 5 Junioraufgabe - Tokyo Tower (10 Pkt.)

Der Tokyo Tower, ein bekanntes Wahrzeichen der japanischen Hauptstadt Tokio, ist ein etwa 333 m hoher Turm aus Stahl mit einer Gesamtmasse von etwa 4000 t.

a) Schätze ab, um wie viel die Höhe des Tokyo Towers im Laufe eines Jahres schwankt und begründe deine Abschätzung.

Ein ambitionierter Bastler baut ein realistisches Modell des Tokyo Towers im Maßstab 1:100. Dabei verwendet er die gleichen Materialien, wie sie auch beim Original zum Einsatz kommen.

b) Bestimme die Masse des Modells. Gib außerdem das Verhältnis der Drücke an, die das Modell und das Original auf den Boden ausüben.

Abbildung 6: *Foto des Tokyo Towers.*

Lösung

a) Die Größe des Tokyo Towers ändert sich im Laufe des Jahres durch die Änderung der Temperatur und die daraus resultierende thermische Längenänderung. Gemäß den Angaben des World Weather Information Service[1] schwankt die mittlere Temperatur in Tokio zwischen 2,5 °C im Januar und 31,1 °C im August. Im Laufe des Jahres ändert sich daher die Durchschnittstemperatur um etwa $\Delta T \approx 29\,\mathrm{K}$.

Der thermische Längenausdehnungskoeffizient von Stahl liegt bei[2] $\alpha \approx 12 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{K}^{-1}$. Damit schwankt die Höhe H des Tokyo Towers im Laufe des Jahres um etwa

$$\boxed{\Delta H = H \cdot \alpha \cdot \Delta T \approx 11\,\mathrm{cm}}\,. \tag{5.1}$$

Hinweis: Je nach verwendeten Temperaturwerten und benutztem Längenausdehnungskoeffizienten können die Teilnehmenden andere Werte für die Höhenschwankungen erhalten. Wenn man z. B. von Extremwerten der Temperatur ausgeht, ergibt sich eine Schwankung von etwa 30 cm.

b) Alle Längen sind in dem Modell um einen Faktor 100 kleiner, die Dichte der verwendeten Materialien ist aber dieselbe. Die Masse eines Körpers ist proportional zu seinem Volumen und skaliert damit wie die dritte Potenz der Längen in dem Körper. Daher ist die Masse des Modells um einen Faktor $100^3 = 10^6$ kleiner. Das Modell besitzt also eine Masse von

$$\boxed{m = \frac{4000\,\mathrm{t}}{10^6} = 4{,}0\,\mathrm{kg}}\,. \tag{5.2}$$

Der Druck, mit dem die Türme auf den Boden drücken, ist proportional zum Quotienten der Masse und der Auflagefläche. Da Flächen quadratisch mit dem Verkleinerungsfaktor skalieren, ist

[1] s. worldweather.wmo.int.

[2] s. z. B. en.wikipedia.org/wiki/Thermal_expansion.

der Druck, mit dem das Modell auf den Boden drückt, um einen Faktor 100 kleiner als der Druck des Originals.

Bewertung - Junioraufgabe - Tokyo Tower		**Punkte**
5.a)	Erkennen, dass die Höhenänderung durch thermische Ausdehnung bedingt ist	1
	Verwenden passender Werte für die Temperaturschwankung und den Längenausdehnungskoeffizienten von Stahl	1
	Berechnen der jährlichen Höhenschwankung (5.1)	2
5.b)	Argumentieren, dass die Masse mit der dritten Potenz der Länge skaliert	2
	Berechnen der Masse des Modellturmes (5.2)	1
	Argumentieren, dass der Druck linear mit der Länge skaliert	2
	Bestimmen des Verhältnisses der Drücke	1
		10

Bewertungsbogen für die 1. Runde zur 50. IPhO 2019

(Dieser Bogen ist auch unter www.ipho.info bei den Hinweisen zur 1. Runde erhältlich)

Von der korrigierenden Lehrkraft auszufüllen und bis spätestens zum 22. September 2018 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 Stromkreispuzzle	10	
2 Solarenergie	10	
3 Rauchfahnen	10	
4 Lutschvergnügen	10	

Bonuspunkte für jüngere Teilnehmende

5 Junioraufgabe - Tokyo Tower	10	
	40 (+10)	

Kommentare und Anregungen:

Unterschrift: ____________________