

# **55. Internationale PhysikOlympiade**

## **Paris, Frankreich 2025**



### **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)

## **Klausur der 2. Runde im Auswahlwettbewerb zur 55. IPhO 2025**

### **Beachte unbedingt die Regeln und Hinweise für die Klausur!**

In der Klausur sind **maximal 90 Punkte** zu erreichen;  
in den Multiple-Choice Aufgaben 35 Punkte und bei den längeren Aufgaben 55 Punkte.

Ich versichere, die Klausur entsprechend den Regeln und Hinweisen, ohne fremde Hilfe und innerhalb von 180 Minuten geschrieben zu haben.

**Name:**                      **Schülercode:**

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

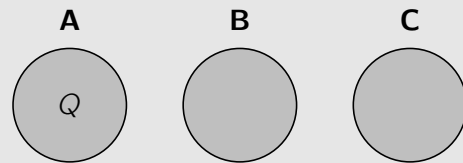
## Multiple-Choice Aufgaben

Finde zu jeder der folgenden sieben Fragen den richtigen Lösungsbuchstaben und begründe physikalisch, warum dies die korrekte Lösung ist. Es ist jeweils nur eine Antwortmöglichkeit richtig. Nutze den Platz in der Box für Rechnungen sowie Begründungen und notiere deinen Antwortbuchstaben an der vorgesehenen Stelle am Ende jeder Box.

### Aufgabe 1 Geladene Kugeln (MC-Aufgabe)

**(5.0 Pkt.)**

Von den drei abgebildeten, gleich großen Metallkugeln ist die Kugel **A** mit einer Ladung  $Q$  aufgeladen. Die Kugeln **B** und **C** sind anfänglich ungeladen. Nun werden zunächst die beiden Kugeln **A** und **B** leitend in Kontakt gebracht und anschließend wieder getrennt.



Das Gleiche wird nacheinander mit den Kugeln **A** und **C** sowie schließlich mit den Kugeln **B** und **C** gemacht. Du kannst davon ausgehen, dass sich immer nur die beiden jeweils in Kontakt gebrachten Kugeln gegenseitig beeinflussen und sich die dritte in großer Entfernung befindet.

Welche Ladung trägt am Ende die Kugel **C**?

A  $\frac{1}{4}Q$

B  $\frac{1}{3}Q$

C  $\frac{3}{8}Q$

D  $\frac{1}{2}Q$

### Antwortteil

Rechnungen und Erläuterungen

Korrekte Antwort:

**Aufgabe 2 Steinfall (MC-Aufgabe)****(5.0 Pkt.)**

Ein Stein fällt senkrecht nach unten. In den ersten drei Sekunden des Falls legt er die gleiche Strecke zurück wie in der letzten Sekunde vor dem Aufprall. Reibung soll bei dem Fall vernachlässigt werden.

Mit welcher Geschwindigkeit trifft der Stein auf der Erde auf?

- A etwa  $50 \text{ km h}^{-1}$     B etwa  $120 \text{ km h}^{-1}$     C etwa  $140 \text{ km h}^{-1}$     D etwa  $180 \text{ km h}^{-1}$

**Antwortteil**

Rechnungen und Erläuterungen

Korrekte Antwort:

**Aufgabe 3 Magnetkraft (MC-Aufgabe)**
**(5.0 Pkt.)**

In einem Experiment wird die Kraftwirkung zwischen einem Ringmagneten und einem Stabmagneten untersucht. Die Pole der beiden Magnete sind dabei, wie in der Abbildung zu sehen, in die gleiche Richtung orientiert. Der Stabmagnet ist entlang der eingezeichneten Achse verschiebbar. Der Graph zeigt die Kraft auf den Stabmagneten in Abhängigkeit von dessen Position  $x$  auf der Achse.

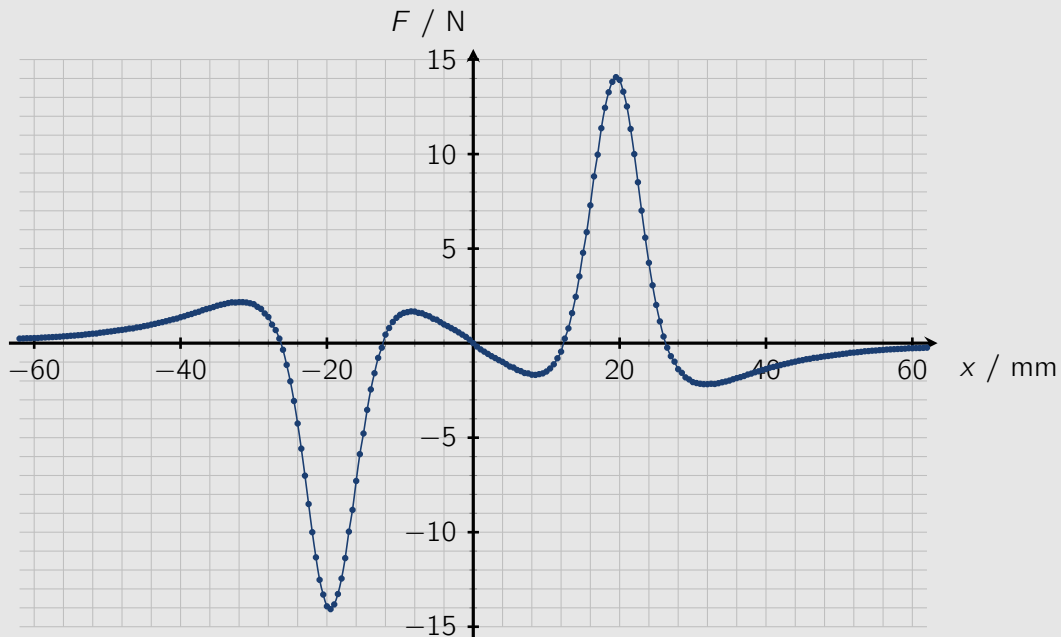
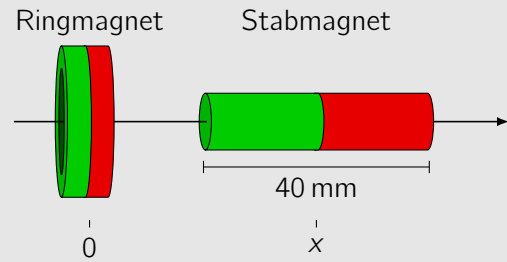


Abb. 1. Graph der Kraft auf den Stabmagneten in Abhängigkeit von der Position  $x$ .

Aus dem Graphen lassen sich die Gleichgewichtspositionen des Stabmagneten entlang der Achse ablesen. Eine Gleichgewichtsposition wird dabei als stabil bezeichnet, wenn der Magnet bei kleiner Auslenkung zu dieser Position zurückkehrt. Nun wird der Stabmagnet umgedreht, so dass die Pole der Magnete entgegengesetzt orientiert sind.

Wie viele stabile Gleichgewichtspositionen entlang der Achse gibt es für den Stabmagneten bei dieser Orientierung?

- A 1                      B 2                      C 3                      D 5

**Antwortteil**

Rechnungen und Erläuterungen

Rechnungen und Erläuterungen (Fortsetzung)

Korrekte Antwort:

**Aufgabe 4 Gasexpansion (MC-Aufgabe)****(5.0 Pkt.)**

Eine Menge eines idealen Gases expandiert von einem Anfangszustand zu einem Zustand mit doppeltem Volumen.

Verrichtet das Gas mehr Arbeit, wenn die Expansion isobar, also bei konstantem Druck oder isotherm, also bei konstanter Temperatur, erfolgt?

- A Das Gas verrichtet mehr Arbeit bei der isobaren Expansion.
- B Das Gas verrichtet mehr Arbeit bei der isothermen Expansion.
- C Das Gas verrichtet in beiden Fällen die gleiche Arbeit.
- D Es lässt sich mit den gegebenen Informationen nicht entscheiden, in welchem Fall mehr Arbeit verrichtet wird.

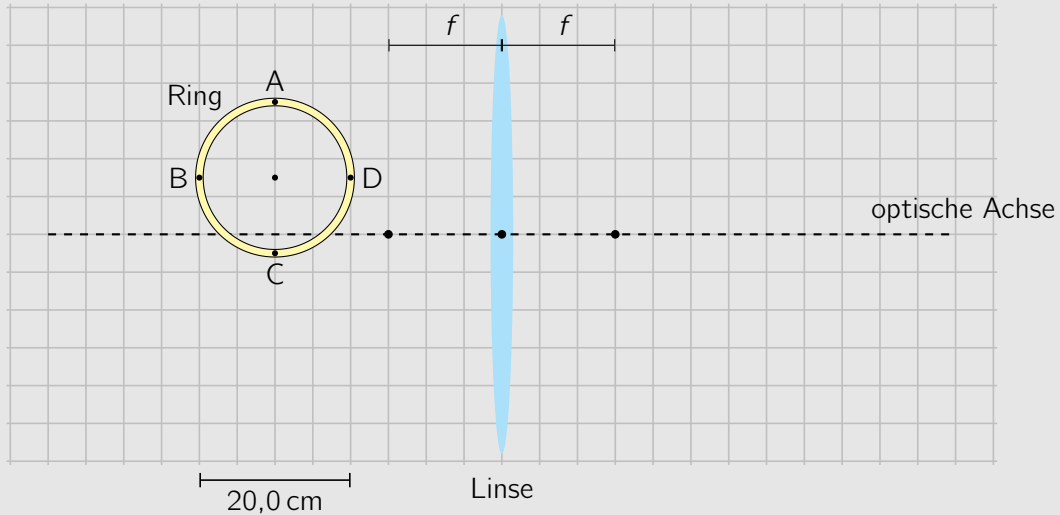
**Antwortteil**

Rechnungen und Erläuterungen

Korrekte Antwort:

**Aufgabe 5 Bild eines leuchtenden Rings (MC-Aufgabe)**
**(5.0 Pkt.)**

Mit Hilfe einer dünnen Linse wird ein leuchtender Ring abgebildet. Die Position und Größe des Rings sind in der maßstabsgetreuen Abbildung gezeigt. Die Brennweite  $f$  der Linse beträgt 15 cm und die Dicke des Rings kann vernachlässigt werden.



Das Verhältnis der Länge der Strecke von B nach D zu der Länge der Strecke von A nach C ist 1.

Wie groß ist das Verhältnis der Streckenlängen zwischen den entsprechenden Punkten im Bild des Rings?

A 0,6

B 1,0

C 1,8

D 2,0

**Antwortteil**

Rechnungen und Erläuterungen

Rechnungen und Erläuterungen (Fortsetzung)

Korrekte Antwort:



**Aufgabe 6 Zwillinge auf Reisen (MC-Aufgabe)****(5.0 Pkt.)**

Max und Sepp sind Zwillinge. An ihrem gemeinsamen 20. Geburtstag startet Max von der Erde aus eine Reise ins All mit der konstanten Geschwindigkeit  $\beta c$ , wobei  $c$  die Lichtgeschwindigkeit ist und  $0 < \beta < 1$ . Genau fünf Jahre später startet auch sein Zwilling Bruder Sepp und fliegt Max mit  $v = 0,8 c$  hinterher.

An dem Tag, an dem Sepp seinen Bruder Max einholt, stellen sie fest, dass beide wieder gemeinsam Geburtstag feiern können, aber sie wundern sich. Max feiert seinen 36. Geburtstag.

Den wievielten Geburtstag feiert Sepp?

- A Sepp feiert seinen 30. Geburtstag.
- B Sepp feiert seinen 32. Geburtstag.
- C Sepp feiert seinen 34. Geburtstag.
- D Sepp feiert seinen 40. Geburtstag.

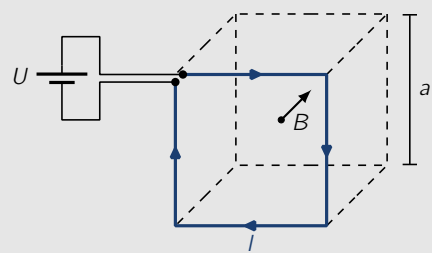
**Antwortteil**

Rechnungen und Erläuterungen

Korrekte Antwort:

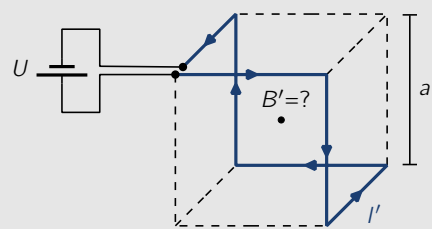
**Aufgabe 7 Magnetfeld eines gebogenen Drahtes (MC-Aufgabe)**
**(5.0 Pkt.)**

Aus einem Stück eines Drahtes wird ein quadratischer Leiter gebogen, der, wie nebenstehend gezeigt, als die Kanten einer Seite eines Würfels der Kantenlänge  $a$  aufgefasst werden kann. An die Enden des Leiters wird eine Spannungsquelle mit einer Spannung  $U$  angeschlossen. Daraufhin fließt ein Strom der Stromstärke  $I$  durch den Leiter.



Der Strom erzeugt ein Magnetfeld in der Umgebung des Leiters. In der Mitte des Würfels besitzt dieses eine magnetische Flussdichte mit einem Betrag  $B$ . Die magnetische Flussdichte ist dabei ein Maß für die Stärke des Magnetfeldes.

Ein anderes Stück des Drahtes wird nun so gebogen, dass er entlang der nebenstehend gezeigten Kanten des Würfels verläuft. An die Enden des Drahtes wird ebenfalls eine Spannungsquelle mit einer Spannung  $U$  angeschlossen. Daraufhin fließt ein Strom  $I'$  durch den Leiter.



Der Widerstand der Zuleitungen kann in beiden Konfigurationen vernachlässigt werden.

Wie groß ist jetzt der Betrag  $B'$  der magnetischen Flussdichte des durch den Strom erzeugten Magnetfeldes in der Mitte des Würfels?

A 0

 B  $\frac{2}{\sqrt{3}} B$ 

 C  $\frac{3}{2} B$ 

 D  $\sqrt{3} B$ 
**Antwortteil**

Rechnungen und Erläuterungen

Rechnungen und Erläuterungen (Fortsetzung)

Korrekte Antwort:

## Langaufgaben

Bearbeite die folgenden drei Aufgaben ebenfalls in den dafür vorgesehenen Boxen. Anders als bei den Multiple-Choice Aufgaben sind keine Lösungsmöglichkeiten gegeben. Beschreibe deinen Lösungsweg so, dass er gut nachvollziehbar aber nicht unnötig lang ist. Wenn du also zum Beispiel den Energieerhaltungssatz verwendest, schreibe dies kurz hin.

### Aufgabe 8 Fahrstuhlswingungen

(20.0 Pkt.)

Sophia und Alexander nutzen den Aufzug eines hohen Gebäudes für physikalische Experimente. Wenn der Fahrstuhl in einem Stockwerk zum Stehen kommt, springen sie gemeinsam in der Kabine in die Luft. Sie stellen fest, dass die Fahrstuhlkabine direkt nach dem Landen vertikal schwingt. Das wollen sie genauer untersuchen und nutzen einen Beschleunigungssensor, um die Periode dieser Schwingung zu bestimmen. Dabei stellen sie fest, dass die Schwingungsperiode  $T$  von dem Stockwerk abhängt, in dem der Fahrstuhl sich gerade befindet.

Dieses Verhalten sollst du mit einem einfachen Modell untersuchen. Nimm dazu an, dass die Fahrstuhlkabine nur an einem Stahlseil hängt, das sich wie eine elastische Feder verhält. Die Federkonstante  $k$  des Seils kann ausgedrückt werden durch

$$k = \frac{EA}{\ell}. \quad (8.1)$$

Dabei bezeichnet  $E$  den Elastizitätsmodul des Stahlseils,  $A$  dessen Querschnittfläche und  $\ell$  die Länge des Seils. Die Masse des Seils soll gegenüber der Masse der Kabine vernachlässigt werden.

Nimm außerdem an, dass das Antriebsrad und das Seil durch die Bremse vollständig blockiert werden und dass Reibung ansonsten vernachlässigt werden kann.

- 8.a) Bestimme einen Ausdruck für die rückstellende Kraft auf die Fahrstuhlkabine, wenn diese um eine kleine Distanz  $x$  mit  $|x| \ll \ell$  aus ihrer jeweiligen Ruhelage in vertikale Richtung ausgelenkt wird. (2.0 Pkt.)

Die rückstellende Kraft führt zu einer vertikalen Schwingung der Fahrstuhlkabine

- 8.b) Gib die Periodendauer  $T$  dieser Schwingung an und drücke sie durch die Größen  $E$ ,  $A$ ,  $\ell$  sowie die Gesamtmasse  $m$  der Fahrstuhlkabine mit den Personen drin aus. (3.0 Pkt.)



Abb. 2. Skizze des Fahrstuhls mit Aufhängung.

Die folgende Tabelle zeigt die von Sophia und Alexander bestimmten Schwingungsperioden  $T$  für einen Halt in verschiedenen Stockwerken. Das Erdgeschoss (EG) befindet sich ungefähr auf Bodenhöhe und jedes Stockwerk ist etwa 3,0 m hoch.

Etage	18	16	14	12	10	8	6	4	2	EG
$T / s$	0,21	0,23	0,28	0,29	0,30	0,33	0,36	0,38	0,40	0,42
$T' / s$	0,24	0,30	0,32	0,34	0,38	0,42	0,43	0,48	0,50	0,53

Die untere Zeile der Tabelle mit Werten für  $T'$  wird erst in dem letzten Aufgabenteil benötigt.

8.c) Erstelle einen Graphen für  $T^2$  in Abhängigkeit von dem Stockwerk. Bestimme daraus die ungefähre Höhe des Gebäudes. (6.0 Pkt.)

Die Berichte von Alexander und Sophie motivieren auch ihren Freundeskreis. Sie wiederholen das Experiment an einem anderen Tag mit einer zusätzlichen Masse von 500 kg in der Fahrstuhlkabine - die beiden haben offenbar viele Freundinnen und Freunde. Die dabei ermittelten Schwingungsperioden sind als  $T'$  in der obigen Tabelle aufgeführt.

8.d) Bestimme mit Hilfe der Daten näherungsweise die Masse  $m$  der Fahrstuhlkabine mit Sophia und Alexander darin. (7.0 Pkt.)

Das betrachtete Modell ist nur eine mehr oder weniger gute Annäherung an die Realität.

8.e) Nenne mindestens zwei physikalische Aspekte, die in der Realität vermutlich zu Abweichungen von dem Modell führen. (2.0 Pkt.)

### Antwortteil

8.a)

Rechnungen und Erläuterungen

Ausdruck für die rückstellende Kraft:

8.b)

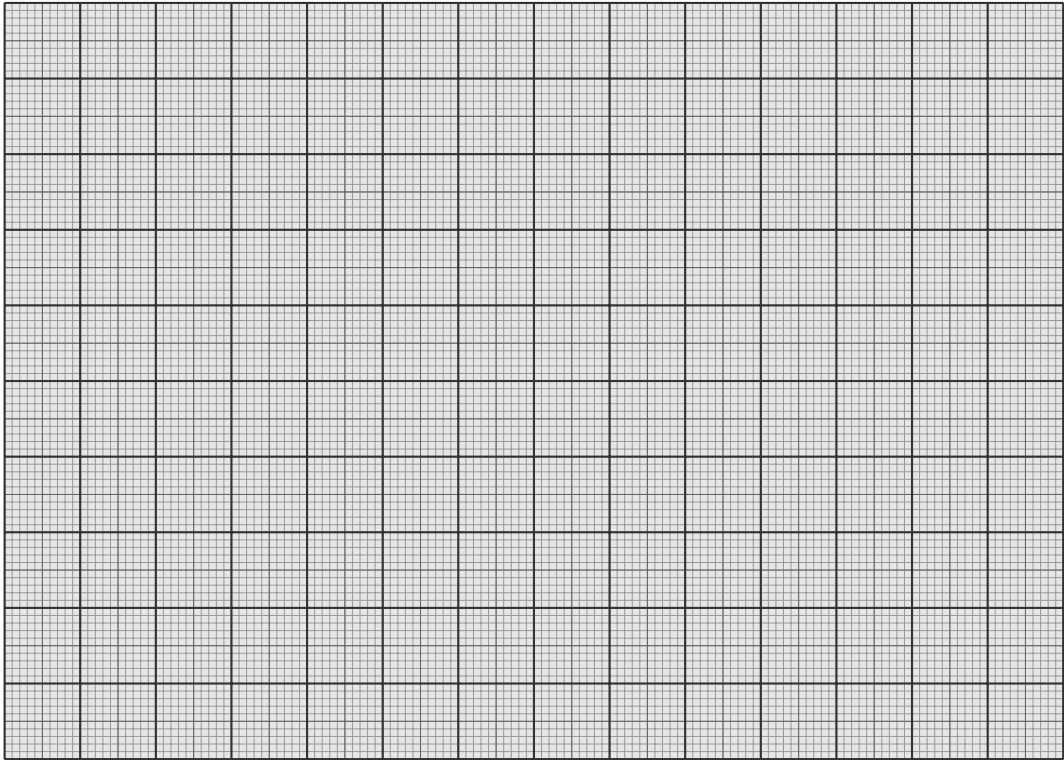
Rechnungen und Erläuterungen

Ausdruck für die Periodendauer:

8.c)

Rechnungen und Erläuterungen

Graph



Ergebnis für die Höhe des Gebäudes:

8.d)

Rechnungen und Erläuterungen

Ergebnis für die Masse:

8.e)

Rechnungen und Erläuterungen



**Aufgabe 9 Optical Stretcher**
**(15.0 Pkt.)**

Mit Laserstrahlen lassen sich gezielt mikroskopische Objekte, wie zum Beispiel Zellen, manipulieren. Ein Werkzeug dazu ist der so genannte *Optical Stretcher*, der zur Untersuchung der elastischen Eigenschaften von Zellen verwendet wird. In dieser Aufgabe sollst du dessen Wirkungsweise untersuchen.

Betrachte dazu eine vereinfachend als würfelförmig angenommene Zelle mit einer Länge von  $\ell = 10 \mu\text{m}$  und einem Brechungsindex von  $n_2 = 1,45$ . Die Zelle befindet sich in Wasser, das einen Brechungsindex von  $n_1 = 1,33$  besitzt.

Ein Laserstrahl mit einer Leistung  $P = 500 \text{ mW}$  trifft, wie nebenstehend skizziert, senkrecht auf die Zelle. An den Grenzflächen findet durch Reflexion ein Impulsübertrag statt. Der Anteil  $R$  der von den einfallenden Photonen an der Grenzfläche zwischen zwei Medien mit Brechungsindizes  $n$  und  $n'$  reflektiert wird, beträgt

$$R = \left( \frac{n - n'}{n + n'} \right)^2.$$

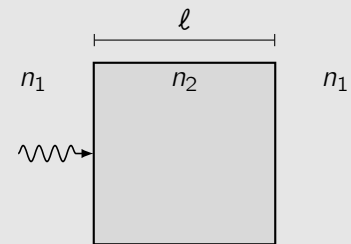


Abb. 3. Ein Laserstrahl trifft auf die Zelle.

Nimm an, dass keine Absorption stattfindet und dass Mehrfachreflexionen in der Zelle vernachlässigt werden können.

Bezeichne mit  $E$  die Energie eines Photons in dem Laserstrahl und mit  $p$  dessen Impuls. Mit dem Planckschen Wirkungsquantum  $h$  gelten unabhängig vom Medium, in dem sich das Photon befindet

$$E = hf \quad \text{sowie} \quad p = \frac{h}{\lambda}.$$

Dabei bezeichnen  $f$  und  $\lambda$  die Frequenz bzw. Wellenlänge des Photons.

- 9.a) Zeige mit Hilfe der obigen Beziehungen, dass sich der Impuls des Photons in einem Medium mit Brechungsindex  $n$  schreiben lässt als

$$p = \frac{nE}{c},$$

wobei  $c$  die Vakuumlichtgeschwindigkeit bezeichnet. (2.0 Pkt.)

- 9.b) Betrachte das Auftreffen der Photonen des Laserstrahls auf die vordere Zellwand und bestimme einen Ausdruck für den Impulsübertrag  $\Delta p_1$  auf die Zellwand. (4.0 Pkt.)

- 9.c) Leite jeweils einen Ausdruck für die Kräfte  $F_1$  und  $F_2$  her, die auf die vordere bzw. hintere Zellwand wirken. (4.0 Pkt.)

Die beiden Kräfte führen sowohl zu einer Beschleunigung der Zelle insgesamt als auch zu einer Deformation der Zelle entlang des Laserstrahls.

- 9.d) Beschreibe, in welcher Weise die Zelle durch die Kräfte deformiert wird. Berechne sowohl die Gesamtkraft  $F_1 + F_2$  auf die Zelle als auch die Deformationskraft  $F_D$ . Gib außerdem das Verhältnis der Gesamtkraft zur Deformationskraft an. (5.0 Pkt.)

In der Praxis kommen zwei gegenläufige Laserstrahlen gleicher Frequenz und Leistung zum Einsatz. Dadurch hebt sich die Gesamtkraft auf die Zelle auf und es verbleibt nur eine deformierende Kraft.

**Antwortteil**

9.a)

Rechnungen und Erläuterungen

9.b)

Rechnungen und Erläuterungen

Ausdruck für den Impulsübertrag:

9.c)

Rechnungen und Erläuterungen

Ausdrücke für die Kräfte:

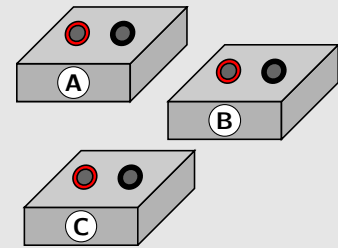
9.d)

Rechnungen und Erläuterungen

Werte für die Kräfte und deren Verhältnis:

**Aufgabe 10 Schaltungswirrwarr**
**(20.0 Pkt.)**

In einer gut sortierten Physiksammlung befinden sich drei kleine Boxen mit jeweils zwei elektrischen Anschlüssen. Die Boxen enthalten Schaltungen aus identischen Bauelementen: 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** ein weiterer Widerstand mit Widerstandswert  $R$ , also insgesamt vier Elemente miteinander verbunden sind.



Um herauszufinden, wie die Bauelemente in den Boxen verschaltet sind, werden die Boxen an einen Wechselspannungsquelle mit variabler Frequenz angeschlossen und der Scheinwiderstand, also der Betrag der komplexen Impedanz, bestimmt. Die folgenden Graphen zeigen die Verläufe der Scheinwiderstände  $|Z|$  der Boxen in Abhängigkeit von der Kreisfrequenz  $\omega$  der Wechselspannung.

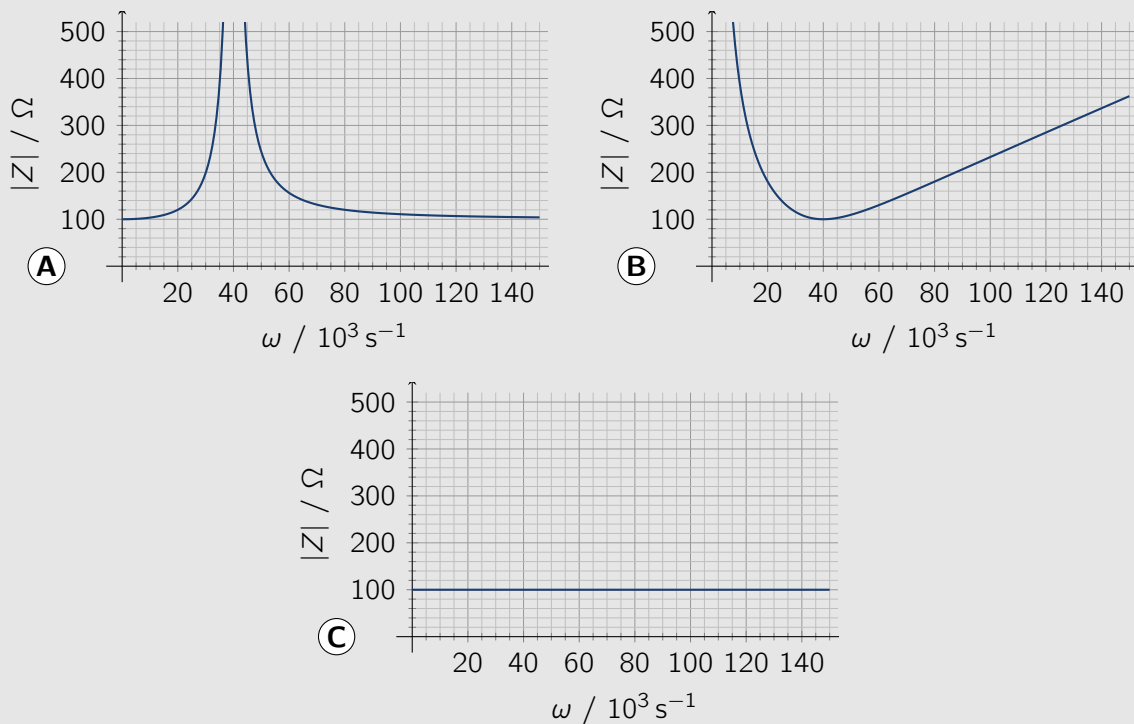


Abb. 4. Graphen der Scheinwiderstände  $|Z|$  der drei Boxen in Abhängigkeit von der Kreisfrequenz  $\omega$  der angelegten Wechselspannung.

Du kannst alle Bauelemente als ideal annehmen und davon ausgehen, dass die Elemente in den Boxen weder kurzgeschlossen sind noch offene Anschlüsse haben. 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 als äquivalent angesehen und müssen nicht getrennt betrachtet werden.

- 10.a) Gib alle möglichen, unterschiedlichen Schaltskizzen für den Aufbau der drei Boxen **A**, **B** und **C** an, die mit den jeweiligen Verläufen der Scheinwiderstände kompatibel sind. Begründe deine Schaltungen und warum keine anderen möglich sind. (11.0 Pkt.)

10.b) Bestimme mit Hilfe der Graphen die Werte  $R$ ,  $L$  und  $C$ . (5.0 Pkt.)

Wenn die Boxen **A** und **B** in Serie geschaltet werden, so beträgt der Scheinwiderstand der Schaltung bei bestimmten Kreisfrequenzen der angelegten Spannung genau  $2R$ .

10.c) Bestimme die Werte dieser Kreisfrequenzen. (4.0 Pkt.)

### Antwortteil

10.a) Rechnungen und Erläuterungen

10.b)

Rechnungen und Erläuterungen

Werte für  $R$ ,  $L$  und  $C$ :

10.c)

Rechnungen und Erläuterungen

Werte für die Kreisfrequenzen:

### Zusätzliches Arbeitspapier

### Zusätzliches Arbeitspapier



### Zusätzliches Arbeitspapier

**Zusätzliches Arbeitspapier**

Millimeterpapier

