

# Fadenpendel

Periodendauer eines gering ausgelenkten Fadenpendels:

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{\ell}{g}}$$

- **Aufgabe 1:** Das Foucault'sche Pendel im Deutschen Museum in München ist 60 m lang und hat eine Masse von 30 kg. Berechnen Sie die Periodendauer!
- **Aufgabe 2:** Berechnen Sie, wie lang ein Pendel sein muss, das
- für einmal hin und her eine Sekunde braucht (Periodendauer  $T = 1$  s);
  - für einmal hin eine Sekunde braucht, sog. *Sekundenpendel* (Periodendauer  $T = 2$  s).
- **Aufgabe 3:** Berechnen Sie die Länge
- eines Sekundenpendels;
  - eines Minutenpendels; ← *Finden Sie einen geschickten Weg!*
  - eines Stundenpendels. ← *Benutzen Sie den selben geschickten Weg!*
- **Aufgabe 4:** Begründen Sie, warum Pendel in Pendeluhren oft 25 cm oder 1 m lang sind!
- **Aufgabe 5:** Zeichnen Sie ein Diagramm, das die Abhängigkeit der Periodendauer eines Fadenpendels von der Länge zeigt!
- **Aufgabe 6:** Das Google Doodle zum 194. Geburtstag von Léon Foucault zeigt ein animiertes Foucault'sches Pendel:
- 
- <https://www.google.com/doodles/leon-foucaults-194th-birthday>
- Begründen Sie im Folgenden, warum die Animation unrealistisch ist:
- Angenommen, die Platte am Boden hat einen Durchmesser von 2 bis 3 Meter. Schätzen Sie aus der Animation die Länge des Pendels ab!
  - Messen Sie die Periodendauer des Pendels!
  - Berechnen Sie die Länge eines Pendels, das eine Periodendauer wie in **b** hat!
  - Vergleichen Sie die Ergebnisse von **a** und **b**!
- **Aufgabe 7:** Erläutern Sie, wie man mit einem Fadenpendel die Erdbeschleunigung bestimmen kann!
- **Aufgabe 8:** Eine Mutter und ihre kleine Tochter schaukeln nebeneinander auf zwei gleichen Schaukeln. Schaukeln sie immer gleich, gibt es Unterschiede (*und wenn, dann welche?*), oder können die beiden die Periodendauer beeinflussen (*und wenn, dann wie?*)? Begründen Sie Ihre Überlegungen!
- **Aufgabe 9:** Ein Astronaut auf dem Mond ist nur  $\frac{1}{6}$  so schwer wie auf der Erde. Er hält in seiner Hand ein Fadenpendel. Schwingt dieses genauso schnell wie auf der Erde, schneller oder langsamer. Und falls schneller bzw. langsamer, um welchen Faktor? Begründen Sie Ihre Überlegungen!

## Tipps und Lösungen

**Tipps für Aufgabe 1:** Man setzt die Länge des Pendels und die Erdbeschleunigung (wo findet man den Wert?) in die Gleichung ein und berechnet  $T$ .

**Tipps für Aufgabe 2:** Man löst die Gleichung nach  $\ell$  auf und setzt die Periodendauer und die Erdbeschleunigung (wo findet man den Wert?) ein.

**Tipps für Aufgabe 3:** Es geht hier nur um  $T$  und  $\ell$ . Also gilt  $T \sim \sqrt{\ell}$  bzw.  $\ell \sim \dots$ . Wie verändert sich  $\ell$ , wenn sich  $T$  versechzigfach?

**Tipps für Aufgabe 4:** Welche Periodendauer ergibt sich für die angegebenen Längen?

**Tipps für Aufgabe 5:** Man berechnet für verschiedene Längen die zugehörige Periodendauer und zeichnet ein  $T(\ell)$ -Diagramm.

**Tipps für Aufgabe 6:** Man befolgt die vorgegebenen Schritte.

**Tipps für Aufgabe 7:** Welche Formel, die  $g$  enthält, gibt es für das Fadenpendel? Welche Größen muss man messen, um  $g$  berechnen zu können?

**Tipps für Aufgabe 8:** Von welchen Größen hängt die Periodendauer eines Pendels ab? Wie übertragen sich diese Größen auf die schaukelnden Personen? Wie unterscheiden sich diesbezüglich Mutter und Tochter? Was bedeutet das jeweils für die Periodendauer?

**Tipps für Aufgabe 9:** Welche physikalische Größe beschreibt die unterschiedliche Schwerkraft? Findet sich diese Größe in der Formel für das Fadenpendel? Wenn ja, wo? Wie ändert sich dadurch die Periodendauer?

**Lösung 1:** 15,5 s    **Lösung 2:** 25 cm; 1 m    **Lösung 3:** 1 m; 3 600 m; 12 960 km    **Lösung 4:** Sekundenpendel  
**Lösung 5:** Wurzel-Funktion    **Lösung 6:** 2–3 m; 17 s; 72 m; passt nicht zusammen    **Lösung 7:** Formel nach  $g$  auflösen, Pendel bauen,  $l$  und  $T$  messen,  $g$  berechnen    **Lösung 8:** Die unterschiedliche Masse spielt keine Rolle. Wenn, dann beeinflusst der unterschiedliche Schwerpunkt die Periodendauer. Bei der Mutter liegt er höher, also schaukelt die Mutter etwas schneller.    **Lösung 9:** Auf dem Mond ist das Pendel etwa 2,4 mal langsamer.

# Schwingungsgleichung

Bewegungsgleichungen einer harmonischen Schwingung:

$$s(t) = \hat{s} \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

$$v(t) = \dot{s}(t) = \hat{s} \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot t)$$

$$a(t) = \dot{v}(t) = \ddot{s}(t) = -\hat{s} \cdot \omega^2 \cdot \sin(\omega \cdot t)$$



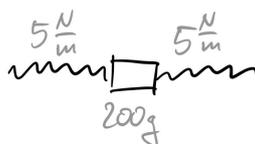
○ **Aufgabe 10:** Die Feder ist durch das Massestück in der Gleichgewichtslage um 40 cm gedehnt. Bestimmen Sie die Federkonstante bzw. Richtgröße  $D$ !

● **Aufgabe 11:** Das Massestück des Federpendels aus der vorigen Aufgabe wird per Hand um 40 cm nach oben angehoben und losgelassen. Bestimmen Sie  $T, f, \hat{s}, \omega, s(t), v(t), a(t), s(0,5 \text{ s}), v(0,5 \text{ s})$  sowie die Geschwindigkeit in der Gleichgewichtslage!

**Hinweis:** Was bedeutet eigentlich  $s(0,5 \text{ s})$ ? Meint man damit 0,5 s nach dem Loslassen oder 0,5 s nach  $t = 0$  in der Gleichung? **Folgerung:** Immer erst festlegen!

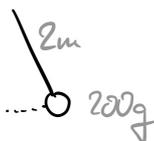
● **Aufgabe 12:** In welche Richtung bewegt sich der Körper in der vorigen Aufgabe nach genau 30 s?

**Hinweis:** Aus der Gleichung  $s(t) = \dots$  geht die Orientierung links/rechts nicht hervor. **Folgerung:** Immer gleich am Anfang durch Skizze festlegen!



● **Aufgabe 13:** Das Massestück wird per Hand um 10 cm nach links ausgelenkt und losgelassen. Bestimmen Sie  $T, f, \hat{s}, \omega, s(t), v(t), a(t), s(0,5 \text{ s}), v(0,5 \text{ s})$  sowie die Geschwindigkeit in der Gleichgewichtslage!

● **Aufgabe 14:** In welche Richtung bewegt sich der Körper in der vorigen Aufgabe nach genau 30 s?



● **Aufgabe 15:** Das Pendel wird per Hand um 10 cm nach links ausgelenkt und losgelassen. Bestimmen Sie  $\hat{s}, \omega, T, f, s(t), v(t), a(t), s(0,5 \text{ s}), v(0,5 \text{ s})$  sowie die Geschwindigkeit in der Gleichgewichtslage!

● **Aufgabe 16:** In welche Richtung bewegt sich der Körper in der vorigen Aufgabe nach genau 30 s?

## Tipps und Lösungen

**Tipps für Aufgabe 10:** Man benutzt die Gleichung

$$F = D \cdot s$$

einer Hook'schen Feder.

**Tipps für Aufgabe 11:** Man braucht die Gleichungen

$$k \cdot T = 2\pi, \quad f = \frac{1}{T}, \quad \omega = \sqrt{\frac{D}{m}}$$

sowie die Bewegungsgleichungen.

**Tipps für Aufgabe 12:** Geschwindigkeit hat eine Richtung. Was bedeutet  $\pm v$ ? Wie lange dauert es, bis das erste Mal die Gleichgewichtslage erreicht wird? Welche Zeit muss man bei  $v(t)$  also einsetzen?

**Tipps für Aufgabe 13:** Man braucht die Gleichungen

$$k \cdot T = 2\pi, \quad f = \frac{1}{T}, \quad \omega = \sqrt{\frac{D_1 + D_2}{m}}$$

sowie die Bewegungsgleichungen.

**Tipps für Aufgabe 14:** Geschwindigkeit hat eine Richtung. Was bedeutet  $\pm v$ ? Wie lange dauert es, bis das erste Mal die Gleichgewichtslage erreicht wird? Welche Zeit muss man bei  $v(t)$  also einsetzen?

**Tipps für Aufgabe 15:** Man braucht die Gleichungen

$$k \cdot T = 2\pi, \quad f = \frac{1}{T}, \quad \omega = \sqrt{\frac{g}{\ell}}$$

sowie die Bewegungsgleichungen.

**Tipps für Aufgabe 16:** Geschwindigkeit hat eine Richtung. Was bedeutet  $\pm v$ ? Wie lange dauert es, bis das erste Mal die Gleichgewichtslage erreicht wird? Welche Zeit muss man bei  $v(t)$  also einsetzen?

**Lösung 10:** 5 N/m      **Lösung 11:** 1,26 s; 0,8 Hz; 0,4 m; 5 1/s;  $0,1 \text{ m} \cdot \sin(5 \text{ 1/s} \cdot t)$ ;  $0,5 \text{ m/s} \cdot \cos(5 \text{ 1/s} \cdot t)$ ;  $-2,5 \text{ m/s}^2 \cdot \sin(5 \text{ 1/s} \cdot t)$ ; 0,06 m; -0,4 m/s; 0,5 m/s      **Lösung 12:** nach links      **Lösung 13:** 0,89 s; 1,13 Hz; 0,1 m;  $7,07 \text{ 1/s}$ ;  $0,1 \text{ m} \cdot \sin(7 \text{ 1/s} \cdot t)$ ;  $0,7 \text{ m/s} \cdot \cos(7 \text{ 1/s} \cdot t)$ ;  $-4,9 \text{ m/s}^2 \cdot \sin(7 \text{ 1/s} \cdot t)$ ; -0,04 m; -0,47 m/s; 0,7 m/s      **Lösung 14:** nach rechts  
**Lösung 15:** 0,1 m; 4,9 1/s; 1,28 s; 0,78 Hz;  $0,1 \text{ m} \cdot \sin(4,9 \text{ 1/s} \cdot t)$ ;  $0,49 \text{ m/s} \cdot \cos(4,9 \text{ 1/s} \cdot t)$ ;  $-2,4 \text{ m/s}^2 \cdot \sin(4,9 \text{ 1/s} \cdot t)$ ; 0,06 m; -0,38 m/s; 0,49 m/s      **Lösung 16:** nach rechts

# Ausbreitung und Reflexion von Wellen

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit einer harmonischen Welle beträgt:

$$c = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot f$$

Bei der Reflexion am festen Ende wird Berg zu Tal und Tal zu Berg.

Bei der Reflexion am losen Ende bleibt Berg Berg und Tal Tal.

○ **Aufgabe 17:** Eine harmonische Welle wird mit einer Schwingung der Frequenz 5 Hz angeregt. Sie breitet sich mit einer Geschwindigkeit von  $20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  aus. Berechnen Sie die Wellenlänge!

○ **Aufgabe 18:** Eine harmonische Welle der Wellenlänge 32 cm breitet sich mit einer Geschwindigkeit von  $1,6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  aus. Berechnen Sie die Frequenz!

● **Aufgabe 19:** Eine Querwelle breitet sich mit der Geschwindigkeit  $4 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$  nach rechts aus. Das linke Ende beginnt zum Zeitpunkt  $t_0 = 0 \text{ s}$  mit einer harmonischen Schwingung nach *unten*. Die Frequenz der Schwingung beträgt 1 Hz, die Amplitude 1 cm.

a) Bestimmen Sie die Wellenlänge!

b) Berechnen Sie, wie weit die Welle zu den Zeitpunkten  $t_1 = 3 \text{ s}$  und  $t_2 = 3,25 \text{ s}$  gekommen ist!

c) Zeichnen Sie die  $s$ - $x$ -Diagramme der Welle zu den Zeitpunkten  $t_1 = 3 \text{ s}$  und  $t_2 = 3,25 \text{ s}$ !

*Hinweis: Beim Zeichnen einer Welle immer von hinten her denken!*

● **Aufgabe 20:** Eine Querwelle breitet sich mit der Geschwindigkeit  $4 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$  nach rechts aus. Das linke Ende beginnt zum Zeitpunkt  $t_0 = 0 \text{ s}$  mit einer harmonischen Schwingung nach *oben*. Die Frequenz der Schwingung beträgt 2 Hz, die Amplitude 1 cm. Zeichnen Sie die  $s$ - $x$ -Diagramme der Welle zu den Zeitpunkten  $t_1 = 3 \text{ s}$  und  $t_2 = 3,25 \text{ s}$ !

● **Aufgabe 21:** Eine Querwelle breitet sich mit der Geschwindigkeit  $4 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$  nach rechts aus. Das linke Ende beginnt zum Zeitpunkt  $t_0 = 0 \text{ s}$  mit einer harmonischen Schwingung nach *unten*. Die Frequenz der Schwingung beträgt 1 Hz, die Amplitude 1 cm.

a) Zeichnen Sie das  $s$ - $x$ -Diagramm der Welle zum Zeitpunkt  $t_1 = 5 \text{ s}$ !

b) Der Wellenträger ist nur 15 cm lang. Begründen Sie, welche Auswirkung das auf die Welle hat!

c) Der 15 cm lange Wellenträger hat rechts ein *loses* Ende. Zeichnen Sie das  $s$ - $x$ -Diagramm der Welle zum Zeitpunkt  $t_1 = 5 \text{ s}$ !

● **Aufgabe 22:** Auf einem 15 cm langen Wellenträger breitet sich eine Querwelle mit der Geschwindigkeit  $4 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$  nach rechts aus. Das linke Ende beginnt zum Zeitpunkt  $t_0 = 0 \text{ s}$  mit einer harmonischen Schwingung nach *unten*. Die Frequenz der Schwingung beträgt 1 Hz, die Amplitude 1 cm. Das rechte Ende ist *fest*. Zeichnen Sie das  $s$ - $x$ -Diagramm der Welle zum Zeitpunkt  $t_1 = 5 \text{ s}$ !

● **Aufgabe 23:** Diese Aufgabe umfasst alle Probleme, die auf diesem Blatt schrittweise aufgetreten sind. Auf einem 8,5 cm langen Träger breitet sich eine Querwelle mit  $20 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$  aus. Das linke Ende schwingt harmonisch mit 5 Hz und einer Amplitude von 1 cm, das rechte Ende ist *fest*. Die erste Auslenkung erfolgt nach oben. Zeichnen Sie die  $s$ - $x$ -Diagramme der Welle zu den Zeitpunkten  $t_1 = 0,25 \text{ s}$  und  $t_1 = 0,7 \text{ s}$ !

# Tipps und Lösungen

**Tipps für Aufgabe 17:** Man benutzt die Gleichung  $c = \lambda \cdot f$ .

**Tipps für Aufgabe 18:** Man benutzt die Gleichung  $c = \lambda \cdot f$ .

**Tipps für Aufgabe 19:** zu c) Das Teilchen, bei dem die Welle nach 3 s angekommen ist, macht genau das, was das Teilchen ganz links 3 s zuvor gemacht hat. Bewegt sich das Teilchen also jetzt nach unten oder nach oben? Was bedeutet das für das Bild der Welle?

**Tipps für Aufgabe 20:** Was unterscheidet diese Aufgabe von der vorigen? Welche Angaben sind anders, welche gleich? Kann man daher die Bilder evtl. sofort zeichnen, ohne lange rechnen zu müssen?

**Tipps für Aufgabe 21:** zu a) Alles wie in den vorigen Aufgaben, nur mit anderen Werten.

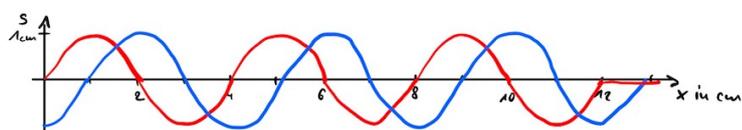
zu b) Zeichnen Sie in das Schaubild von a das Ende ein. Was passiert in der Realität mit dem *virtuellen* Teil, der rechts des Randes ist?

zu c) Was passiert bei der Reflexion an einem losen Ende? Links des Endes sind jetzt eigentlich zwei Wellen. Was passiert, wenn sich zwei Wellen überlagern? Wie zeichnet man das?

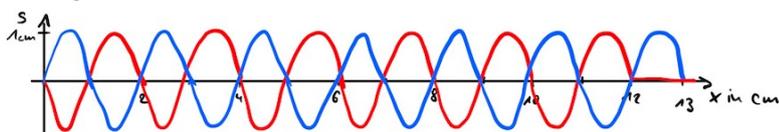
**Tipps für Aufgabe 22:** Was unterscheidet diese Aufgabe von der vorigen? Welche Angaben sind anders, welche gleich? Was bedeutet das für das Diagramm?

**Tipps für Aufgabe 23:** Alle Tipps der vorigen Aufgaben passen hier Schritt für Schritt. *Versuchen Sie, insbesondere bei dieser Aufgabe möglichst sauber zu rechnen und zu zeichnen, als wäre es eine Klausur-Aufgabe.*

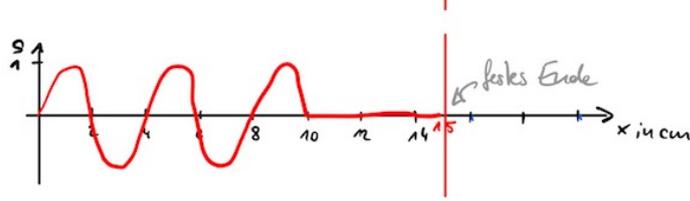
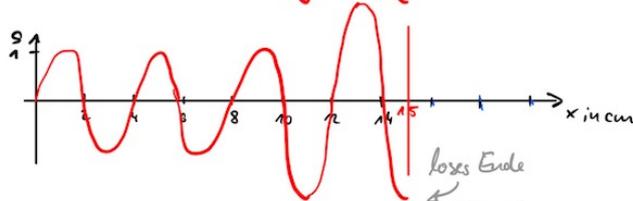
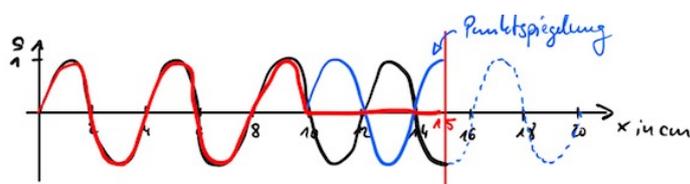
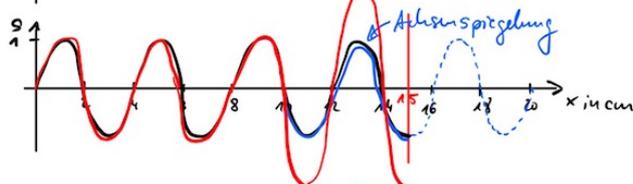
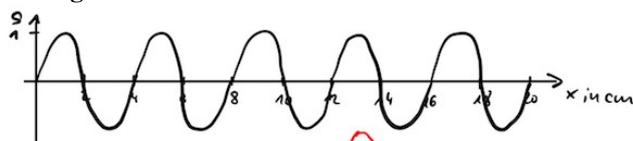
**Lösung 17:** 4 m      **Lösung 18:** 5 Hz      **Lösung 19:** 4 cm; 12 cm; 13 cm;



**Lösung 20:**



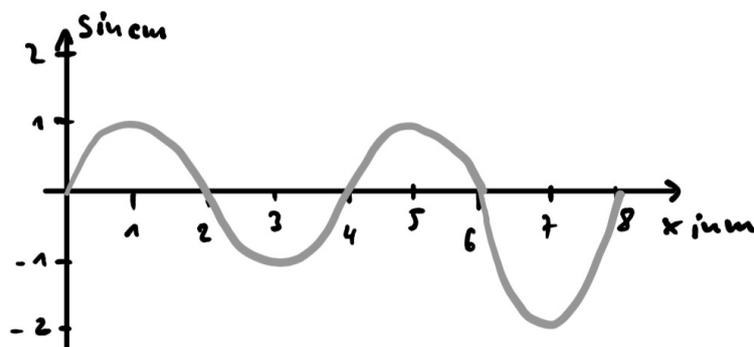
**Lösung 21:**



**Lösung 22:** → siehe Abb. rechts

## Muster-Klausuraufgaben zu Wellen

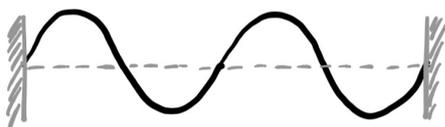
● **Aufgabe 24:** Auf einem 8 m langen Seil breitet sich eine Querwelle aus. Der Wellenerreger befindet sich am linken Ende des Seils und beginnt zum Zeitpunkt  $t_0 = 0$  s mit der Frequenz 1 Hz zu schwingen. Die Abbildung zeigt das Momentanbild der Welle zum Zeitpunkt  $t_1 = 2,5$  s.



- Bestimmen Sie, mit welcher Geschwindigkeit sich die Welle auf dem Seil ausbreitet.
- Zeichnen Sie, wie das Schwingungsbild zum Zeitpunkt  $t_2 = 3$  s aussehen würde, wenn das rechte Ende des Wellenträgers lose wäre?
- Nun sei das rechte Ende des Seils fest. Wir betrachten nur die Schwingung am Ort  $x = 7$  m. Zeichnen Sie das  $s$ - $x$ -Diagramm für diese Stelle im Zeitraum  $0 \text{ s} < t < 4 \text{ s}$  und erläutern Sie die drei unterschiedlichen Abschnitte des Diagramms.

● **Aufgabe 25:** Ein Gummiband wird zwischen zwei Wänden eingespannt, die 1,2 m von einander entfernt sind. Das Seil wird sinusförmig quer zur Richtung des Bandes angeregt. Die Frequenz der Anregung wird langsam von 0 Hz an erhöht.

- Bei einer bestimmten Frequenz erhält man eine stehende Welle mit 4 Bäuchen.



Erhöht man die Frequenz um 30 Hz, kommen zwei Bäuche hinzu. Bestimmen Sie die Ausbreitungsgeschwindigkeit im Gummiband?

- Bestimmen Sie die kleinste Eigenfrequenz, mit der das Gummiband schwingen kann.

● **Aufgabe 26:** Die Auspuffanlage eines PKW kann näherungsweise als linearer Wellenträger aufgefasst werden. Sie ist 3,60 m lang und ist an einem Ende am Motorblock festgeschraubt; das andere Ende kann frei schwingen. Für die Ausbreitungsgeschwindigkeit nehmen wir  $160 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  an.

- Berechnen Sie die ersten 3 Eigenfrequenzen dieser Auspuffanlage.
- Ein Benzinmotor hat Drehzahlen von 500 bis 6000 Umdrehungen pro Minute. Bei welchen Drehzahlen (in Umdrehungen pro Minute) kommt die Auspuffanlage ins Schwingen?
- Die zweite harmonische Schwingung (d.h. die erste Oberschwingung) tritt im normalen Fahrbetrieb sehr häufig auf. Um sie abzdämpfen, wird die Auspuffanlage an einer dämpfenden Gummihalterung aufgehängt. Welche Stelle ist dazu besonders geeignet?

**Aufgaben im Buch:** 119/A1–A2; 136 Musteraufgabe *Lineare Wellen*; 137/4–5,9; 138/11,13

# Verständnisaufgaben zur Klausur 1

Die Fragen sollten Sie bis zur Klausur locker beantworten können. Jeder gefragte Begriff sollte aus dem Stehgreif in einem ca. 1-minütigen Vortrag erklärt werden können. Zur Sicherheit sollte, wo es sich anbietet, eine Reihe von (Rechen-)Aufgaben gelöst werden. Sie sollten zu fast jeder Frage eine Skizze zur Untermalung bzw. Verdeutlichung der Antwort zeichnen können. Der innere Zusammenhang der Fragen und ihrer Antworten können durch eine bildliche Darstellung, z. B. eine Mind-Map, deutlich gemacht werden.

**Verständnisaufgabe 1:** Was versteht man unter *naturwissenschaftlicher Arbeitsweise*? Stellen Sie die naturwissenschaftliche Methode nach Popper in einem Flussdiagramm dar.

**Verständnisaufgabe 2:** Wovon hängt die *Periodendauer* einer Schwingung ab? Wie man diese möglichst genau messen?

**Verständnisaufgabe 3:** Welche grundlegenden Prinzipien, Gesetze, Formeln etc. gelten bei *mechanischen Schwingungen*?

**Verständnisaufgabe 4:** Wann spricht man von einer *harmonischen Schwingung*?

**Verständnisaufgabe 5:** Wie kann man bei einer gegebenen Schwingung (z.B. Federpendel) überprüfen, ob es sich um eine *harmonische Schwingung* handelt?

**Verständnisaufgabe 6:** Wie sieht die *Differentialgleichung* einer harmonischen Schwingung aus? Welche Lösungen hat sie?

**Verständnisaufgabe 7: (nur ph1)** Wie unterscheidet sich das *Fadenpendel* vom (horizontalen bzw. vertikalen) Federpendel in seiner mathematischen Beschreibung?

**Verständnisaufgabe 8:** Was versteht man unter einer *gedämpften Schwingung*? Wie sehen die Diagramme dazu aus?

**Verständnisaufgabe 9:** Was versteht man unter *Resonanz*? Wo findet man das Phänomen in Alltag und Technik?

**Verständnisaufgabe 10:** Welche grundlegenden Prinzipien, Gesetze, Formeln etc. gelten bei *mechanischen Wellen*?

**Verständnisaufgabe 11:** Beschreiben und erklären Sie die *Reflexion* einer Welle am festen und am losen Ende.

**Verständnisaufgabe 12:** Welcher wesentliche Unterschied besteht zwischen einer stehenden und einer fortlaufenden Querwelle? Nennen Sie für beide Wellensorten typische Beispiele!

**Verständnisaufgabe 13:** Erklären Sie an einigen Beispielen die Entstehung von *stehenden Wellen*.

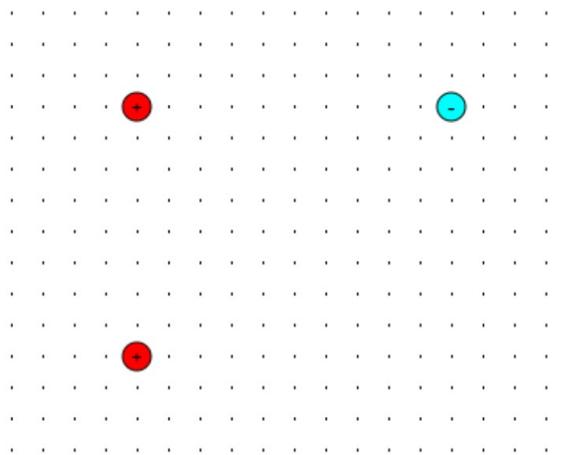
**Verständnisaufgabe 14:** Unter welchen Randbedingungen bekommt man nur für ganz *diskrete Frequenzen* eine stehende Welle? Nennen Sie Beispiele und zeichnen Sie die zugehörigen Schwingungsbilder.

# Das elektrische Feld

- **Aufgabe 27:** Skizzieren Sie die Äquipotentiallinien und Feldlinien folgender elektrischer Felder!
- radiales Feld
  - Dipolfeld
  - homogenes Feld

● **Aufgabe 28:** Beschreiben Sie Gemeinsamkeiten und Unterschiede des elektrischen Feldes und des Gravitationsfeldes!

● **Aufgabe 29:** Skizzieren Sie jeweils die Äquipotentiallinien und Feldlinien folgendes elektrischen Feldes!



○ **Aufgabe 30:** Berechnen Sie die Stärke eines elektrischen Feldes, das auf eine negative Probeladung von  $1,02 \text{ nC}$  eine Kraft von  $2,56 \cdot 10^{-5} \text{ N}$  ausübt! Bestimmen Sie die Richtung der elektrischen Kraft!

● **Aufgabe 31:** Zwischen zwei Kondensatorplatten im Abstand von  $2 \text{ cm}$  liegt eine Spannung von  $1000 \text{ V}$ . Berechnen Sie die Kraft auf eine Probeladung von  $10 \text{ nC}$ !

● **Aufgabe 32:** Zwischen zwei waagrecht Kondensatorplatten mit dem Abstand  $15 \text{ cm}$  schwebt ein Staubteilchen der Masse  $2 \text{ mg}$ , das die Ladung  $+0,1 \text{ nC}$  trägt.

- Fertigen Sie eine Skizze an! Zeichnen Sie in die Skizze ein, welche Platte positiv und welche negativ ist! Zeichnen Sie auch die relevanten Kräfte ein!
- Berechnen Sie, welche Spannung zwischen den Platten anliegt.

● **Aufgabe 33:** Zwischen zwei Kondensatorplatten (Abstand  $4 \text{ cm}$ ) hängt in der Mitte ein Kügelchen der Masse  $0,47 \text{ g}$  an einem Faden ( $\ell = 1,8 \text{ m}$ ). Legt man eine Spannung von  $1000 \text{ V}$  an die Kondensatorplatten an, dann bewegt sich das Kügelchen um  $s = 1 \text{ cm}$  zur Seite. *Hinweis:* Für die Rückstellkraft gelte  $F = F_G \cdot \frac{s}{\ell}$ .

- Skizzieren Sie die Situation!
- Berechnen Sie die Ladung des Kügelchens!
- Der Kondensator wird von der Energiequelle getrennt; der Abstand der Platten wird verdoppelt. Bestimmen Sie, wie sich die Auslenkung des Kügelchens verändert!

## Tipps und Lösungen

**Tipps für Aufgabe 27:** Immer erst die Äquipotentiallinien skizzieren; dann daraus (orthogonal!) die Feldlinien ableiten.

**Tipps für Aufgabe 28:** Was ist die Analogie zu Höhenlinien? Was ist die Analogie zu Feldlinien? Gibt es analoge Formeln? Welche Größen sind dann analog? Wann hat man ein radiales Feld, wann ein homogenes Feld?

**Tipps für Aufgabe 29:** Immer erst die Äquipotentiallinien skizzieren; dann daraus (orthogonal!) die Feldlinien ableiten. Wie sieht das Feld in der Nähe der Ladungen aus? Wie sieht es weiter weg aus? Sie finden die Simulation unter



[http://www.didaktikonline.physik.uni-muenchen.de/programme/e\\_feld/E\\_Feld.html](http://www.didaktikonline.physik.uni-muenchen.de/programme/e_feld/E_Feld.html)

**Tipps für Aufgabe 30:** Man benutzt die Gleichung

$$\mathcal{E} = \frac{F}{Q} \quad \text{bzw.} \quad |\vec{\mathcal{E}}| = \frac{|\vec{F}|}{Q}$$

Die Richtung von  $\vec{\mathcal{E}}$  ist die Richtung von  $\vec{F}$  auf eine positive Probeladung.

**Tipps für Aufgabe 31:** Man benutzt die Gleichung

$$\mathcal{E} = \frac{F}{Q}$$

und die Gleichung

$$\mathcal{E} = \frac{U}{d}$$

**Tipps für Aufgabe 32:** Ansatz „Gewichtskraft = elektrische Kraft“. Man benutzt dann die Gleichung

$$\mathcal{E} = \frac{F}{Q},$$

die Gleichung

$$F = m \cdot g,$$

und die Gleichung

$$\mathcal{E} = \frac{U}{d}.$$

**Tipps für Aufgabe 33:** Ansatz „elektrische Kraft = Rückstellkraft“

Für b) überlegen, wovon die Kraft abhängt und wie sich die Größen darin ändern.

**Lösung 27:** siehe Simulation      **Lösung 28:** siehe Aufschrieb und Präsentation      **Lösung 29:** siehe Simulation  
**Lösung 30:** 25 098 N/C; Kraft zeigt entgegen der Feldlinien      **Lösung 31:** 0,5 mN      **Lösung 32:** 29 kV      **Lösung 33:** 1,02 nC; Auslenkung bleibt gleich

## Kondensatoreigenschaften

○ **Aufgabe 34:** Lesen Sie im Buch die Seiten

- 31 (Wiederholung der Kapazität)
- 32 (Isolatoren erhöhen die Kapazität)
- 34 (Der Kondensator als Energiespeicher).

● **Aufgabe 35:** Sie sollten nun folgende Formeln erläutern können (Was ist die Aussage? Was bedeuten die Buchstaben? Wann gelten die Formeln?). Tun sie es.

- $C = \frac{Q}{U}$

- $U = \mathcal{E} \cdot d$

- $C = \epsilon_0 \cdot \frac{A}{d}$

- $C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{d}$

- $E = \frac{1}{2} \cdot Q \cdot U = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2$

● **Aufgabe 36:** An einen Plattenkondensator wird eine Spannung von 12 000 V gelegt (**Zustand 1**). Nun wird der Kondensator von der Energiequelle getrennt. Die Spannung am Kondensator beträgt also  $U_1 = 12$  kV, er trägt die Ladung  $Q_1$ , zwischen seinen Platten herrscht ein elektrisches Feld der Stärke  $\mathcal{E}_1$ , seine Kapazität beträgt  $C_1$  und er hat die Energie  $E_1$  gespeichert.

- a) Nun wird sein Plattenabstand vergrößert, und zwar auf das 1,5-fache seines Wertes in Zustand 1 ( $d_2 = 1,5 \cdot d_1$ ). Dies ist jetzt der **Zustand 2**. Drücken Sie die neuen Größen  $U_2$ ,  $Q_2$ ,  $\mathcal{E}_2$ ,  $C_2$  und  $E_2$  durch die alten ( $U_1$ ,  $Q_1$ ,  $\mathcal{E}_1$ ,  $C_1$  und  $E_1$ ) aus.
- b) Nun wird zwischen die Platten ein Dielektrikum mit  $\epsilon_r = 2,5$  eingeführt, das den Raum zwischen den Platten vollständig ausfüllt (**Zustand 3**). Wie groß sind nun  $U_3$ ,  $Q_3$ ,  $\mathcal{E}_3$ ,  $C_3$  und  $E_3$  in Bezug auf  $U_1$ ,  $Q_1$ ,  $\mathcal{E}_1$ ,  $C_1$  und  $E_1$ ?
- c) Nun wird der Kondensator in Zustand 3 wieder an die Energiequelle angeschlossen. Fließt dabei Ladung von der Energiequelle auf den Kondensator oder fließt Ladung vom Kondensator in die Energiequelle? Wie viel Ladung (ausgedrückt in Bezug auf  $Q_1$ ) ist es?

*Tipp:* Überlegen Sie sich jeweils, welche Größen von einem Zustand zum anderen gleich geblieben sind und welche sich verändert haben.

## Formelsammlung zum Plattenkondensator

Kapazität:  $C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{d}$  mit  $\epsilon_0$  : el. Feldkonstante  $8,85 \cdot 10^{-12} \frac{C}{\sqrt{m}}$

$\epsilon_r$  : Permittivität

$A$  : Plattenfläche in  $m^2$

$d$  : Plattenabstand in m

Ladung:  $Q = C \cdot U$

Merke „Kuh = Kuh“

Spannung:  $U = \frac{Q}{C}$

○ **Aufgabe 37:** Wie verhält sich ein Plattenkondensator? Ergänzen Sie dazu die Tabelle!

Nach Laden vom Netzteil getrennt $Q = \text{konstant}$	Nach Laden mit Netzteil verbunden $U = \text{konstant}$
$A \nearrow \Rightarrow C \dots \Rightarrow U \dots$	$A \nearrow \Rightarrow C \dots \Rightarrow Q \dots$
$d \nearrow \Rightarrow C \dots \Rightarrow U \dots$	$d \nearrow \Rightarrow C \dots \Rightarrow Q \dots$
$\epsilon_r \nearrow \Rightarrow C \dots \Rightarrow U \dots$	$\epsilon_r \nearrow \Rightarrow C \dots \Rightarrow Q \dots$

● **Aufgabe 38:** Ein Plattenkondensator wird mit einem Netzteil auf 10 V geladen. Er wird vom Netzteil getrennt. Dann werden die Platten auf den doppelten Abstand gebracht. Dabei ändert sich die Spannung bzw. die Ladung wie in **A, B, C, D** oder **E** (Kreise ein).

**A:** Ladung und Spannung ändern sich nicht.

**B:** Die Spannung steigt auf 20 V.

**C:** Die Spannung sinkt auf 5 V.

**D:** Die Ladung verdoppelt sich.

**E:** Die Ladung halbiert sich.

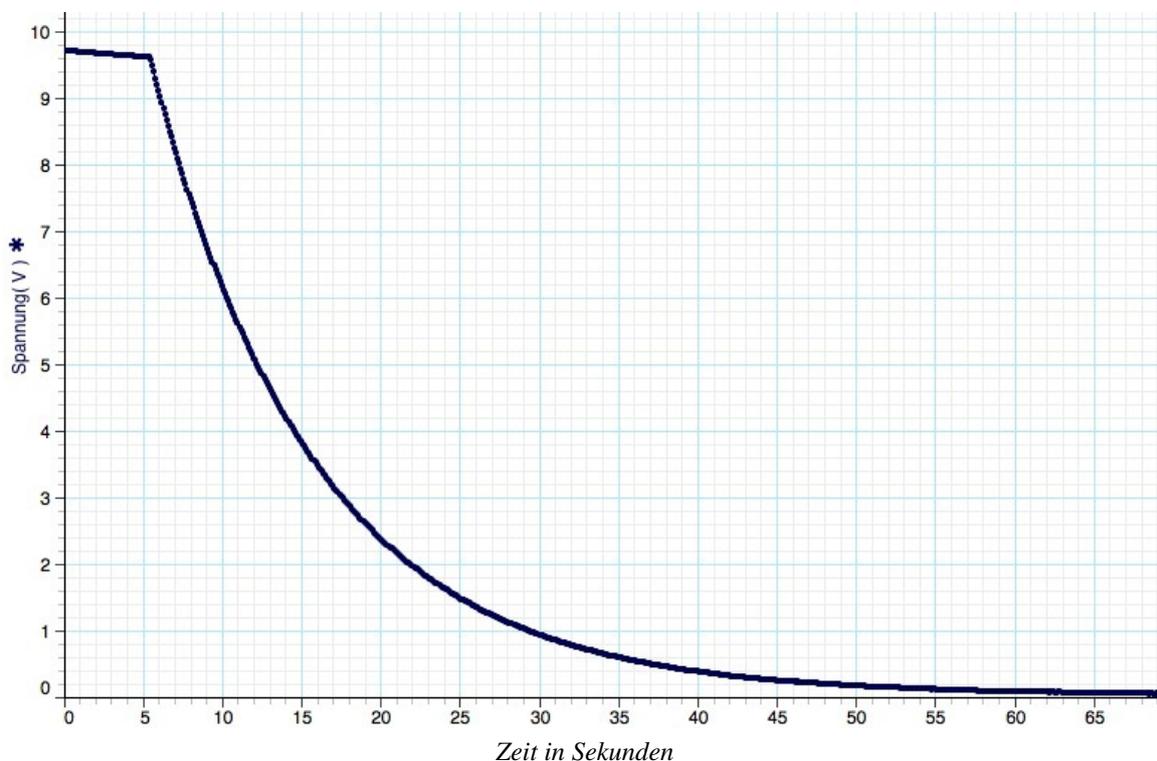
● **Aufgabe 39:** Ein Plattenkondensator wird mit einem Netzteil auf 10 V geladen. Er wird vom Netzteil getrennt. Dann wird der Raum zwischen den Platten mit einer Hartgummiplatte gefüllt ( $\epsilon_r = 2$ ). Dabei ändert sich die Spannung bzw. die Ladung wie in **A, B, C, D** oder **E** (Kreise ein).

● **Aufgabe 40:** Ein Plattenkondensator wird mit einem Netzteil auf 10 V geladen. Er bleibt am Netzteil angeschlossen. Dann werden die Platten auf den doppelten Abstand gebracht. Dabei ändert sich die Spannung bzw. die Ladung wie in **A, B, C, D** oder **E** (Kreise ein).

● **Aufgabe 41:** Ein Plattenkondensator wird mit einem Netzteil auf 10 V geladen. Er bleibt am Netzteil angeschlossen. Dann wird der Raum zwischen den Platten mit einer Hartgummiplatte gefüllt ( $\epsilon_r = 2$ ). Dabei ändert sich die Spannung bzw. die Ladung wie in **A, B, C, D** oder **E** (Kreise ein).

## Auf- und Entladen von Kondensatoren

Ein Kondensator ist über ein Netzteil aufgeladen worden. Mit einem Messwerterfassungssystem wird nun die Entladung des Kondensators über einen Widerstand aufgezeichnet:



- Aufgabe 42:** Bestimmen Sie aus dem Diagramm möglichst genau die Halbwertszeit der Entladung.
- Aufgabe 43:** Bestimmen Sie für die Entladekurve passende Werte für die Kapazität des Kondensators und den Widerstand.
- Aufgabe 44:** Skizzieren Sie in das Koordinatensystem das  $U(t)$ -Diagramm für eine Aufladung des Kondensators über diesen Widerstand.

**Aufgabe 45:** Lesen Sie die angehängten Seiten aus <http://www.leifiphysik.de> über den Aufladevorgang und den Entladevorgang eines Kondensators. Sie sollten dabei insbesondere ...

- ... die beiden Schaltskizzen verstehen;
- ... die Schaubilder  $Q(t)$ ,  $I(t)$ ,  $U_C(t)$ ,  $U_R(t)$  unterscheiden können;
- ... die Schaubilder  $Q(t)$ ,  $I(t)$ ,  $U_C(t)$ ,  $U_R(t)$  begründen können.

*Hinweis: Es ist dabei viel wichtiger, die Schaubilder zu verstehen, als die Formeln auswendig zu lernen oder zu pauken!*

- Aufgabe 46:** Zeichnen Sie in die Diagramme aus <http://www.leifiphysik.de> jeweils
  - mit rot ein, wie das Diagramm aussähe, wenn  $C$  größer wäre,
  - mit blau ein, wie das Diagramm aussähe, wenn  $R$  größer wäre,
  - und erklären Sie jeweils, warum sich das Diagramm in dieser Weise ändert.

## Verständnisaufgaben zur Klausur 2

Die Fragen sollten Sie bis zur Klausur locker beantworten können. Jeder gefragte Begriff sollte aus dem Stehgreif in einem ca. 1-minütigen Vortrag erklärt werden können. Zur Sicherheit sollte, wo es sich anbietet, eine Reihe von Aufgaben bzw. Rechenaufgaben gelöst werden. Sie sollten zu fast jeder Frage eine Skizze zur Untermalung bzw. Verdeutlichung der Antwort zeichnen können. Der innere Zusammenhang der Fragen und ihrer Antworten können durch eine bildliche Darstellung, z. B. eine Mind-Map, deutlich gemacht werden.

**Verständnisaufgabe 15:** Was versteht man unter dem Dopplereffekt? Wo findet er in Technik und Alltag Anwendung?

**Verständnisaufgabe 16:** Was versteht man unter Spannung, Stromstärke, Widerstand und Leistung?

**Verständnisaufgabe 17:** Beschreiben Sie Analogien zwischen Gravitationsfeld und elektrischem Feld (Gestalt, Formeln, physikalische Größen, ...)!

**Verständnisaufgabe 18:** Erläutern Sie den Begriff des Potentials und grenzen Sie ihn von der Spannung ab! Gehen Sie dabei auch auf den Begriff der Äquipotenziallinien ein.

**Verständnisaufgabe 19:** Beschreiben Sie Analogien zu Äquipotenziallinien und Feldlinien im Gravitationsfeld.

**Verständnisaufgabe 20:** Was versteht man unter einem elektrischen Feld? Was ist allgemein ein Feld?

**Verständnisaufgabe 21:** Was bedeutet der Begriff elektrische Feldstärke und wie kann man sie messen?

**Verständnisaufgabe 22:** Definieren Sie den Begriff elektrische Spannung und klären Sie den Zusammenhang zur elektrischen Feldstärke!

**Verständnisaufgabe 23:** Wie reanimiert man einen Menschen? Wie benutzt man einen AED? *Nicht für die Klausur, aber für's Leben!*

**Verständnisaufgabe 24:** Was versteht man unter der Kapazität eines Kondensators? Wie kann man sie bestimmen?

**Verständnisaufgabe 25:** Was versteht man unter der elektrischen Feldkonstante?

**Verständnisaufgabe 26:** Wie verändert ein Isolator zwischen den Platten die Kapazität eines Kondensators?

**Verständnisaufgabe 27:** Wie erreicht man bei Kondensatoren eine große Kapazität?

**Verständnisaufgabe 28:** Wie groß ist die Energie eines geladenen Kondensators? Woher kommt das  $\frac{1}{2}$  in der Formel?

**Verständnisaufgabe 29:** (*nur ph2*) Beschreiben Sie einen Versuch zur Bestimmung der elektrischen Elementarladung (Versuchsaufbau, Messprinzip, Skizze, grobe Beschreibung der Auswertung).

**Verständnisaufgabe 30:** Beschreiben Sie unter Verwendung des Begriffes der Halbwertszeit und geeigneter Formeln Auf- und Entladevorgänge an Kondensatoren!

**Verständnisaufgabe 31:** (*nur ph1*) Wie sehen Auf- und Entladekurven eines Kondensators aus und wovon hängen sie ab?

**Verständnisaufgabe 32:** (*nur ph1*) Beschreiben Sie die wichtigsten magnetischen Phänomene. Gehen Sie dabei auf wesentliche Analogien und Unterschiede zu Erscheinungen beim E-Feld und Gravitationsfeld ein.

**Verständnisaufgabe 33:** (*nur ph1*) Beschreiben Sie Eigenschaften, Gemeinsamkeiten und Unterschiede von  $\mathcal{E}$ ,  $D$ ,  $B$ ,  $H$ ,  $\epsilon_0$ ,  $\epsilon_r$ ,  $\mu_0$  und  $\mu_r$ .

**Verständnisaufgabe 34:** (*nur ph1*) Welchen Einfluss auf die magnetische Flussdichte hat Materie im Inneren einer Spule?

**Verständnisaufgabe 35:** (*nur ph1*) Wie werden geladene Teilchen in elektrischen Feldern abgelenkt? Wie werden geladene Teilchen in magnetischen Feldern abgelenkt?

# Bewegung geladener Teilchen im Magnetfeld

**Hinweis:** Sie sollten nach dem bisherigen Unterricht in der Lage sein, Kräfte auf geladene Teilchen in elektrischen Feldern zu beschreiben und die Form der Flugbahn vorherzusagen. Wenn Sie über den Heftaufschrieb und das Buch hinaus noch Material brauchen, schauen Sie sich den Abschnitt *Grundwissen* auf der folgenden Seite an:



<https://www.leifiphysik.de/elektrizitaetslehre/bewegte-ladungen-feldern>

● **Aufgabe 47:** Gehen Sie auf die Seite



<https://www.leifiphysik.de/elektrizitaetslehre/bewegte-ladungen-feldern/aufgaben>

und bearbeiten Sie das Quiz *10 Fragen zu Bewegung von Teilchen in elektrischen Feldern!*

● **Aufgabe 48:** Gehen Sie auf die Seiten



<https://www.leifiphysik.de/elektrizitaetslehre/bewegte-ladungen-feldern/geladene-teilchen-im-magnetischen-laengsfeld>

und



<https://www.leifiphysik.de/elektrizitaetslehre/bewegte-ladungen-feldern/geladene-teilchen-im-magnetischen-querfeld>

und lernen Sie, wie man Kräfte auf geladene Teilchen in magnetischen Feldern beschreibt und die Form der Flugbahn vorhersagt! Achten Sie dabei vor allem auf die Grundprinzipien, nicht so sehr auf die Formeln!

● **Aufgabe 49:** Gehen Sie auf die Seite



<https://www.leifiphysik.de/elektrizitaetslehre/bewegte-ladungen-feldern/aufgaben>

und bearbeiten Sie das Quiz *10 Fragen zu Kräften auf Teilchen in Feldern* sowie das Quiz *10 Fragen zu bewegten Ladungen im Magnetfeld!*

## Kraft auf Leiter im Magnetfeld

$$F_L = B \cdot I \cdot s$$
$$B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{n}{\ell} \cdot I$$

○ **Aufgabe 50:** Eine Überlandleitung hängt zwischen zwei Masten, die 120 m voneinander entfernt stehen. Die Stärke des elektrischen Stromes beträgt 150 A. Das Durchhängen der Leitung wird vernachlässigt. Das Erdmagnetfeld (genauer gesagt die Horizontalkomponente davon) beträgt  $2,1 \cdot 10^{-5}$  T.

- Begründen Sie, in welche Richtung die Leitung hängt, wenn die Lorentzkraft durch das Erdmagnetfeld am größten ist!
- Begründen Sie, in welche Richtung die Leitung hängt, wenn die Lorentzkraft durch das Erdmagnetfeld am kleinsten ist!
- Berechnen Sie die maximale Lorentzkraft!
- Begründen Sie, ob die Lorentzkraft bei Bau der Leitung berücksichtigt werden muss.

● **Aufgabe 51:** Um die Stärke des Magnetfeldes eine Elektromagneten zu messen, wird ein 3 cm langer Draht an einer Waage hängend so in das horizontal verlaufende Magnetfeld gehängt, dass er orthogonal zu den Feldlinien hängt. Beträgt die Stromstärke im Leiter genau 1 A, so zeigt die Waage 1,04 g mehr an.

Berechnen Sie daraus die magnetische Flussdichte  $T$ !

● **Aufgabe 52:** Um die magnetische Feldkonstante  $\mu_0$  zu bestimmen, baut man folgendes Experiment auf: Man befestigt eine 6 cm breite, rechteckige Spule mit 10 Windungen so an einer Waage, dass sie horizontal in einer großen Spule hängt. Die große Spule hat 70 Windungen und ist 24,5 cm lang. Die Stromstärke der großen Spule beträgt 9 A, die der kleinen 3 A. Man misst eine Lorentzkraft von 5,69 mN.

Bestimmen Sie daraus die magnetische Feldkonstante  $\mu_0$ !

## Tipps und Lösungen

**Tipps für Aufgabe 50:** zu a und b: Die Lorentzkraft ist maximal, wenn die Richtung der Elektronen und das Magnetfeld orthogonal zueinander sind. Die Lorentzkraft ist minimal, wenn die Richtung der Elektronen und das Magnetfeld parallel zueinander sind.

zu c: Man benötigt die Formel

$$F_L = B \cdot I \cdot s$$

zu d: Vergleichen Sie die Wirkung der Lorentzkraft mit der Wirkung der Gewichtskraft auf das Kabel.

**Tipps für Aufgabe 51:** Ansatz: Lorentzkraft bewirkt zusätzliche Gewichtskraft.

$$F_L = \Delta F_G$$

$$B \cdot I \cdot s = \Delta m \cdot g$$

**Tipps für Aufgabe 52:** Man benötigt wieder die Formel

$$F_L = B \cdot I \cdot s$$

Allerdings sind es  $n = 10$  Windungen, also

$$F_L = n \cdot B \cdot I \cdot s$$

Außerdem benötigt man

$$B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{n}{\ell} \cdot I$$

Jetzt muss man aber darauf achten, die beiden  $n$ 's und  $I$ 's zu unterscheiden. Man führt am besten Indizes für die kleine Spule (Index 1) und für die große Spule Index 2) ein. Dies führt zu

$$F_L = n_1 \cdot B_2 \cdot I_1 \cdot s_1$$

und

$$B_2 = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{n_2}{\ell_2} \cdot I_2$$

Das ganze *nur* noch ineinander einsetzen und nach  $\mu_0$  auflösen.

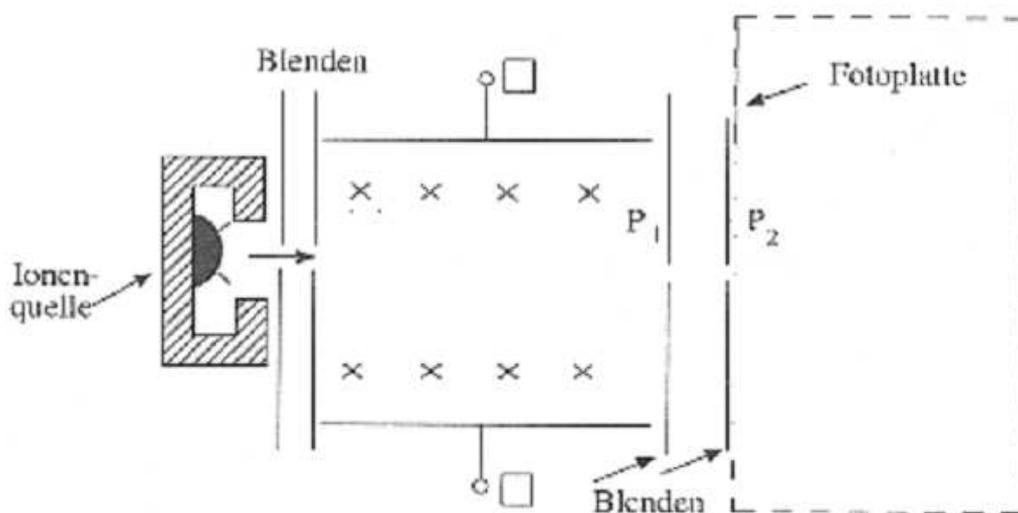
# Massenspektrometer

$$\mathcal{E} = \frac{F}{q}$$

$$F_L = q \cdot v \cdot B$$

$$F_{Zp} = \frac{m \cdot v^2}{r}$$

Einfach positiv geladene Ionen verschiedener Geschwindigkeiten und Massen fliegen von links in das homogene elektrische Feld des Plattenkondensators. Zwischen den Kondensatorplatten besteht außerdem ein homogenes magnetisches Feld. Die Wirkung des Gravitationsfeldes werde vernachlässigt.



Quelle: unbekannt; nicht (CC)

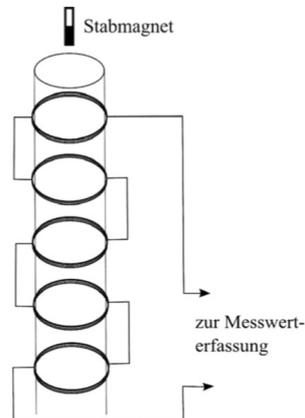
- Aufgabe 53:** Wie wirkt ein Magnetfeld (allein) auf die Ionen?
- Aufgabe 54:** Wie wirkt ein elektrisches Feld (allein) auf die Ionen?
- Aufgabe 55:** Wie wirken beide gekreuzten Felder zusammen auf die Ionen?
- Aufgabe 56:** Zeichnen Sie ein, wie die Spannung am Kondensator gepolt sein muss, damit sich die Wirkungen der beiden Felder aufheben, und die Ionen geradeaus fliegen!
- Aufgabe 57:** Nur die Ionen, die eine bestimmte Geschwindigkeit haben, verlassen die gekreuzten Felder bei  $P_1$  unabgelenkt. Man nennt den ersten Teil des Versuchsaufbaus daher auch ein Geschwindigkeitsfilter. Leiten Sie eine Formel für die Geschwindigkeit der Ionen, die durchkommen, her!
- Aufgabe 58:** Der eng gebündelte Ionenstrahl, der bei  $P_1$  die gekreuzten Felder verlässt, tritt in  $P_2$  in ein homogenes Magnetfeld ein und wird dort um  $180^\circ$  abgelenkt, trifft auf eine Fotoplatte und wird dort als Flecken registriert. Begründen Sie, wie das Magnetfeld gerichtet sein muss und zeichnen Sie es in die Skizze ein!
- Aufgabe 59:** Die Ionen treffen im Abstand 9,0 cm und 9,18 cm von  $P_2$  entfernt auf die Fotoplatte auf. Berechnen Sie das Verhältnis der Massen der Ionen!

# Induktionsgesetz

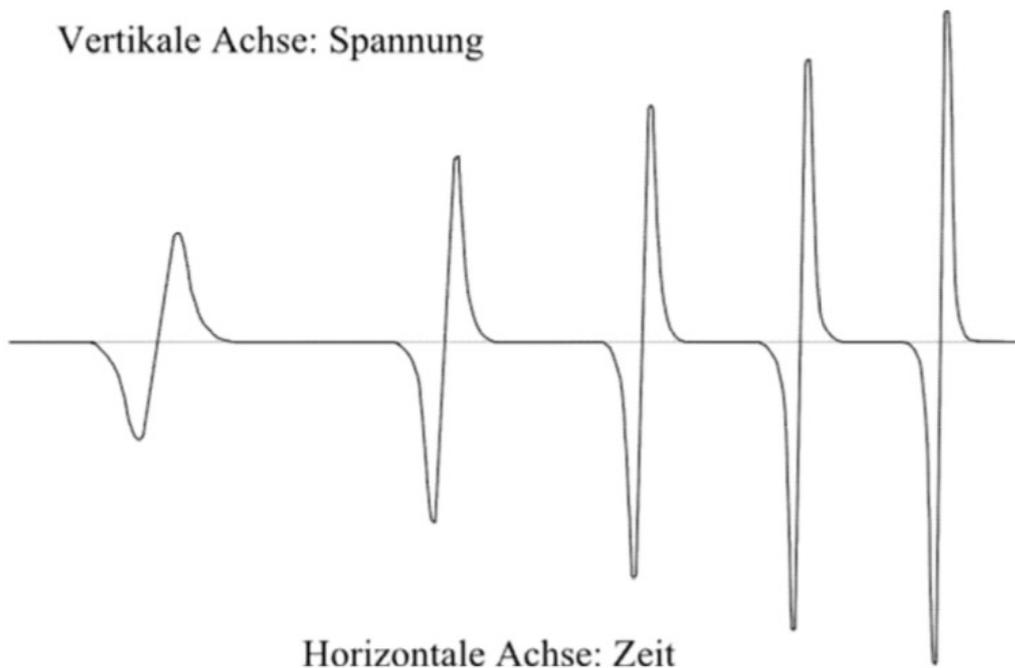
$$\Phi = A \cdot B$$

$$U_{\text{ind}} = -n \cdot \dot{\Phi}$$

$$\text{mit } \dot{\Phi} = (\dot{A} \cdot B) + (A \cdot \dot{B})$$

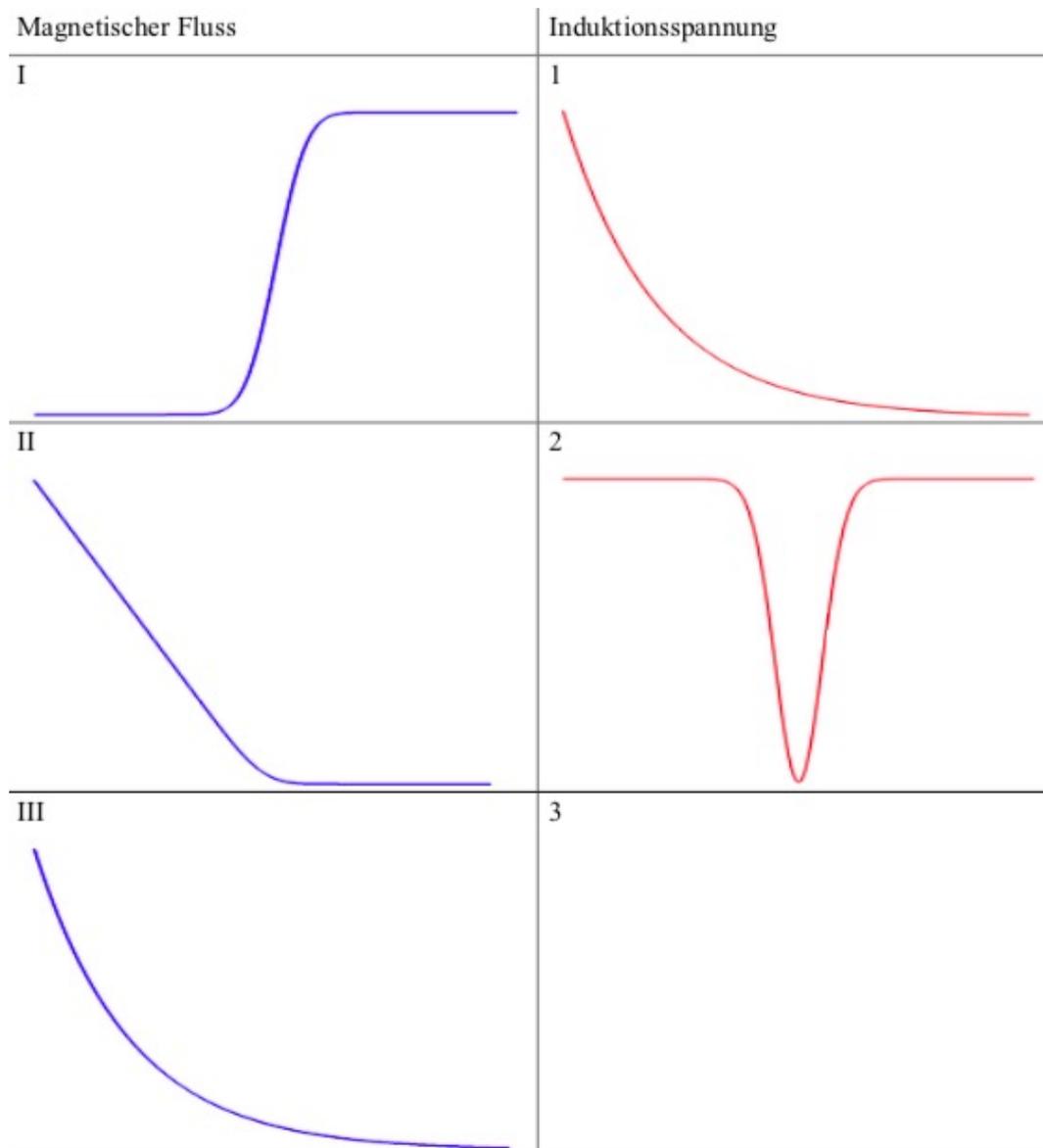


An einem Glasrohr sind fünf schmale, baugleiche Spulen befestigt. Der Abstand zweier Spulen beträgt jeweils 20 cm. Die Spulen sind in Reihe geschaltet. Ein Stabmagnet wird oberhalb der obersten Spule fallen gelassen. Der zeitliche Verlauf der Spannung wird über ein Messwertersfassungssystem aufgezeichnet. Quelle: M. Ziegler, F. Karsten: *Musteraufgaben für den standardbasierten und kompetenzorientierten Unterricht im Fach Physik in der Kursstufe.* (2011)



- **Aufgabe 60:** Beschreiben Sie den Kurvenverlauf!
- **Aufgabe 61:** Begründen Sie den Kurvenverlauf!
- **Aufgabe 62:** Begründen Sie, warum die lokalen Hochpunkte näherungsweise auf einer Geraden liegen! Begründen Sie, wie und warum sich Gerade durch die Tiefpunkte davon unterscheidet!

Die Abbildungen links zeigen verschiedene magnetische Flüsse innerhalb einer Induktionsspule in Abhängigkeit von der Zeit. Rechts sind zwei der zugehörigen Induktionsspannungsverläufe dargestellt. Quelle: M. Ziegler, F. Karsten: *Musteraufgaben für den standardbasierten und kompetenzorientierten Unterricht im Fach Physik in der Kursstufe.* (2011)

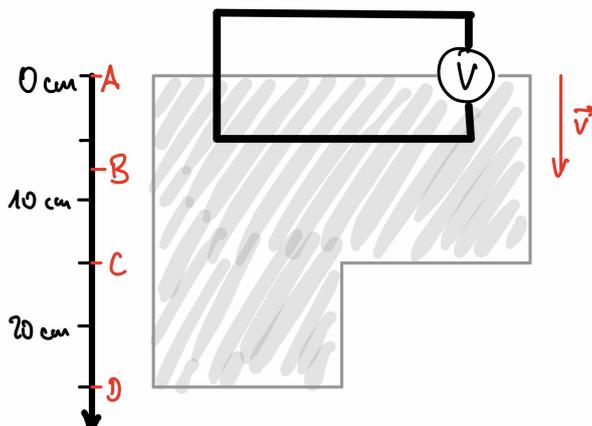


○ **Aufgabe 63:** Ordnen Sie die Induktionsspannungsverläufe 1 und 2 den magnetischen Flüssen I, II oder III zu. Skizzieren Sie den fehlenden Spannungsverlauf 3.

● **Aufgabe 64:** Begründen Sie Ihre Zuordnungen.

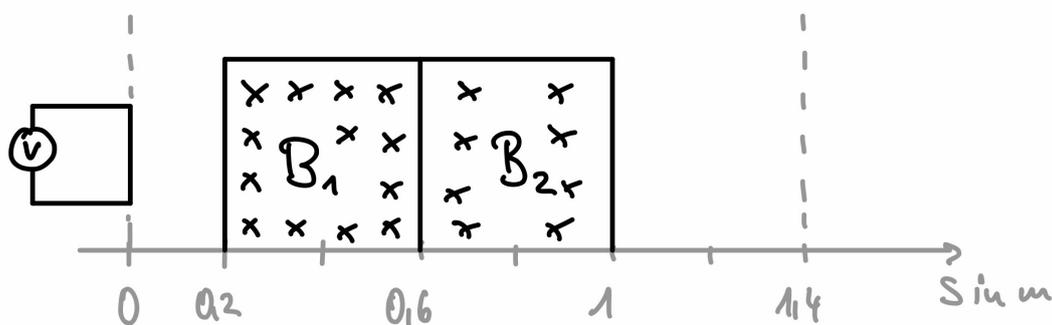
● **Aufgabe 65:** beschreiben Sie zu I und II jeweils ein passendes Experiment, bei dessen Durchführung dieser Verlauf der Induktionsspannung gemessen werden kann.

Im schraffierten Bereich steht ein Magnetfeld der Stärke  $B = 500 \text{ mT}$  senkrecht zur Papierebene. Der Leiterraum ( $20 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ ; 500 Windungen) ist an ein Voltmeter angeschlossen. Er bewegt sich mit  $12 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  nach unten.



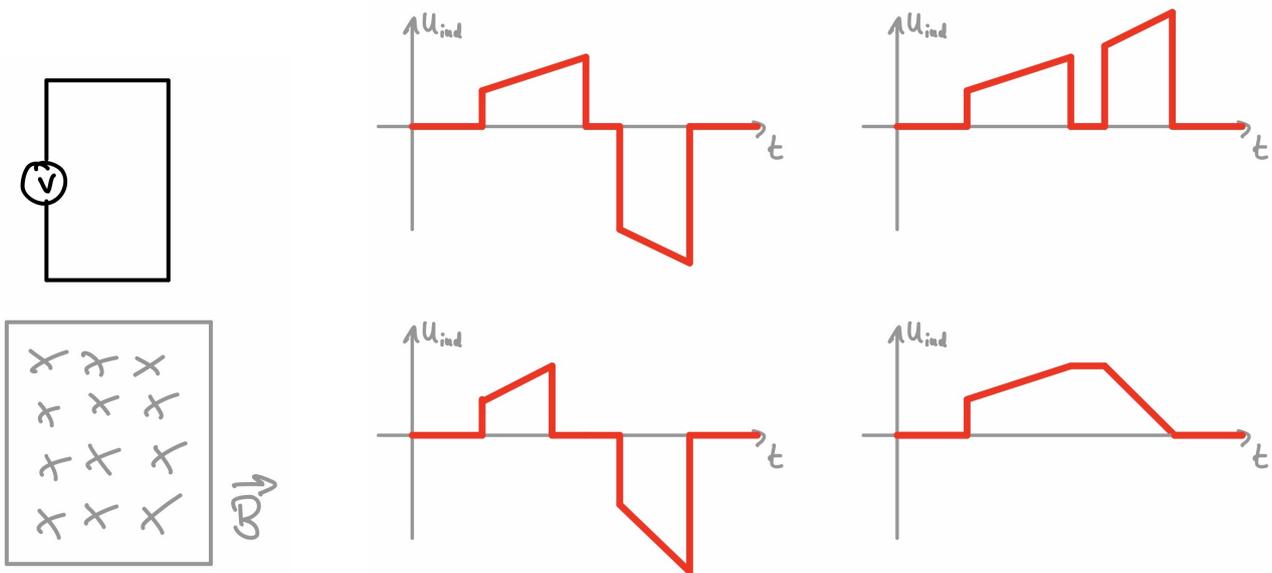
- **Aufgabe 66:** Berechnen Sie die Induktionsspannung am Punkt A!
- **Aufgabe 67:** Bestimmen Sie aus der Induktionsspannung am Punkt A die Induktionsspannungen (inkl. Vorzeichen) an den Punkten B, C und D.
- **Aufgabe 68:** Zeichnen Sie das  $U_{\text{ind}}(t)$ -Diagramm!
- **Aufgabe 69:** In einem zweiten Versuch befindet die Spule zunächst am oberen Ende des Magnetfelds. Nun fällt es frei nach unten (Freier Fall). Zeichnen Sie qualitativ das  $U_{\text{ind}}(t)$ -Diagramm!

In der folgenden Versuchsanordnung sind die beiden Magnetfelder unterschiedlich stark ( $B_1 = 0,8 \text{ T}$ ;  $B_2 = 0,4 \text{ T}$ ). Der Leiterraum ( $20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ ; 100 Windungen) bewegt sich mit einer Geschwindigkeit von  $0,1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  von P nach Q.



- **Aufgabe 70:** Erklären Sie, warum das Voltmeter eine Spannung anzeigt!
- **Aufgabe 71:** Zeichnen Sie das  $U_{\text{ind}}(t)$ -Diagramm!
- **Aufgabe 72:** In einem zweiten Versuch befindet sich der Leiterraum ganz im Feld  $\vec{B}_1$ . Erklären Sie, wie man eine Induktionsspannung von  $1,6 \text{ V}$  erzeugen kann.

Ein Leiterraum fällt frei ein Magnetfeld (senkrecht zur Papierebene). Die induzierte Spannung wird aufgezeichnet.



● **Aufgabe 73:** Begründen Sie, welche drei der vier dargestellten Diagramme den Spannungsverlauf *nicht* korrekt darstellen können.

● **Aufgabe 74:** Nennen Sie mehrere Gründe, warum das vierte Diagramm (welches?) den Spannungsverlauf korrekt darstellt!

**Lösung 60:** 5 Ausschläge: Jeder Ausschlag besteht aus einem negativen und einem positiven Anteil. Mit fortschreitender Zeit wird der Zeitraum zwischen zwei Ausschlägen kürzer, die Zeitdauer eines Ausschlags geringer und der Betrag der lokalen Maxima und Minima größer. Die lokalen Hochpunkte und Tiefpunkte der Kurve liegen auf einer Geraden.

**Lösung 61:** Der magnetische Fluss nimmt beim Fall des Magneten durch eine schmale Spulen zunächst zu, erreicht sein Maximum, wenn der Schwerpunkt des Magnets sich im Mittelpunkt der Spule befindet und nimmt anschließend wieder ab. Durch diese Flussänderung wird nach dem Induktionsgesetz zwischen den Enden der Spule eine zeitlich veränderliche Spannung mit einem positiven und einem negativen Anteil induziert. Die induzierte Spannung hat einen Nulldurchgang, wenn sich der Schwerpunkt des Magneten im Mittelpunkt der Spule befindet. Da 5 Spulen angebracht sind, werden folglich auch 5 Spannungsausschläge registriert. Da der Magnet frei fällt, nimmt seine Geschwindigkeit in Abhängigkeit von der Zeit proportional zu. Durch die wachsende Geschwindigkeit wird der Zeitraum zwischen zwei Ausschlägen immer kürzer und die Zeitdauer eines Ausschlags immer geringer.

**Lösung 62:** Die momentane Flussänderungsrate ist proportional zur Geschwindigkeit des Magneten. Folglich nehmen die Beträge der Spannungsmaxima bzw. -minima mit der Zeit jeweils linear zu. Daraus folgt, dass die lokalen Hochpunkte bzw. Tiefpunkte jeweils auf einer Geraden liegen.

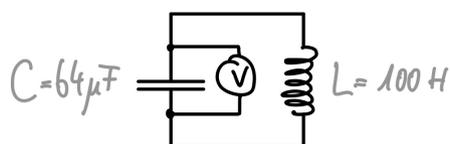
**Lösung 63:** 2 → I; 1 → III **Lösung 64:** Begründung über negative Ableitung **Lösung 65:** Versuch zu I/2: An eine Spule wird ein Voltmeter angeschlossen. Ein Pol eines Stabmagneten wird in die Spule eingeführt und dabei die Spannung gemessen. Versuch zu II/3: Ein Drahtrahmen, der auf einem Wagen befestigt ist, wird mit konstanter Geschwindigkeit durch ein zeitlich konstantes und homogenes Magnetfeld gezogen. An dem Drahtrahmen ist ein Spannungsmessgerät angeschlossen. Die Spannungsmessung wird begonnen, sobald der in Fahrtrichtung zeigende Teil des Rahmens das Magnetfeld verlässt. Die Messung wird beendet, wenn der hintere Teil des Rahmens sich einige Zentimeter hinter dem Ende des Magnetfeldes befindet.

**Lösung 66:** -600 V **Lösung 67:** 0 V; 300 V; 300 V **Lösung 68:** Zeitpunkte im Diagramm 0 ms; 4,2 ms; 8,3 ms; 17 ms; 25 ms **Lösung 69:** waagrechte Linien → linear wachsende/fallende Linien **Lösung 70:** via Flussänderung oder Lorentzkraft **Lösung 71:** Diagramm mit -1,6 V; 0,8 V; 0,8 V **Lösung 72:** Flussdichte muss sich ändern:  $\Delta B/\Delta t = 0,4 \text{ T/s}$

# Elektromagnetische Schwingungen

Thomson'sche Schwingungsgleichung:  $T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}$

○ **Aufgabe 73:** Folgender elektromagnetischer Schwingkreis ist aufgebaut. Berechnen Sie, mit welcher Frequenz der Zeiger des Voltmeters schwingt!

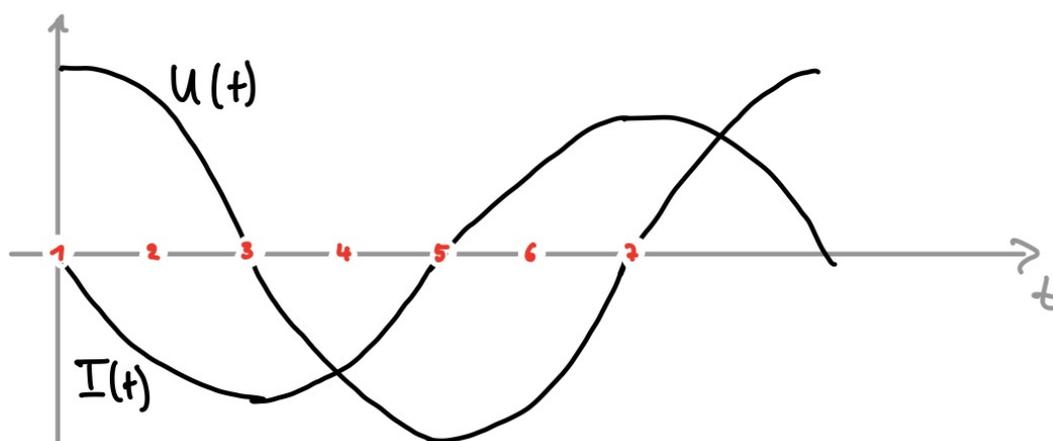


○ **Aufgabe 74:** In einem alten Radio sind eine Spule mit  $0,25 \mu\text{H}$  sowie ein variabler Drehkondensator eingebaut. Berechnen Sie, auf welchen Wert man den Kondensator einstellen muss, um SWR 3 mit der Frequenz  $92,2 \text{ MHz}$  zu hören!

● **Aufgabe 75:** Vergleichen Sie die Schwingung eines elektromagnetischen Schwingkreises mit der Schwingung eines Federpendels!

- a) Welche Energieformen werden jeweils ineinander umgewandelt?
- b) Welche der Größen  $C$ ,  $L$ ,  $m$ , und  $D$  entsprechen einander?
- c) Was passiert, wenn man in den Schwingkreis einen elektrischen Widerstand einbaut? Wie sieht das Analogon beim Federpendel aus?

● **Aufgabe 76:** In einem elektromagnetischen Schwingkreis werden die Spannung am Kondensator und die Stromstärke in der Spule gemessen. Beschreiben Sie, was zu den Zeitpunkten 1 bis 7 im Schwingkreis gerade passiert!



**Lösung 73:** 2 Hz      **Lösung 74:**  $14,7 \text{ pF}$       **Lösung 75:** Schwingkreis: elektrische und magnetische Energie, Federpendel: Lage- und Bewegungsenergie; Trägheit  $\hat{=}$  Induktivität, Federhärte  $\hat{=}$  Kapazität (genauer  $1/C$ ); gedämpfte Schwingung, Reibung beim Federpendel      **Lösung 76:** siehe Aufschrieb im Unterricht

## Verständnisaufgaben zur Klausur 3

Die Fragen sollten Sie bis zur Klausur locker beantworten können. Jeder gefragte Begriff sollte aus dem Stehgreif in einem ca. 1-minütigen Vortrag erklärt werden können. Zur Sicherheit sollte, wo es sich anbietet, eine Reihe von Aufgaben bzw. Rechenaufgaben gelöst werden. Sie sollten zu fast jeder Frage eine Skizze zur Untermalung bzw. Verdeutlichung der Antwort zeichnen können. Der innere Zusammenhang der Fragen und ihrer Antworten können durch eine bildliche Darstellung, z. B. eine Mind-Map, deutlich gemacht werden.

**Verständnisaufgabe 36:** Beschreiben Sie das Phänomen Induktion. Auf welche zwei Arten kann man eine Induktionsspannung erzeugen?

**Verständnisaufgabe 37:** Wie hängen das Lenz'sche Gesetz und der Energieerhaltungssatz zusammen? Wie geht das Lenz'sche Gesetz in die Induktionsformel ein?

**Verständnisaufgabe 38:** Wie funktioniert eine Wirbelstrombremse? Wann funktioniert sie nicht?

**Verständnisaufgabe 39:** Wie funktioniert der Thomson'sche Ringversuch? Wie funktioniert eine Induktionskochplatte?

**Verständnisaufgabe 40:** Was versteht man unter der Induktivität einer Spule?

**Verständnisaufgabe 41:** Wie groß ist die Energie einer stromdurchflossenen Spule?

**Verständnisaufgabe 42:** Wie erzeugt man eine elektromagnetische Schwingung? Wie kann man sie bestimmen?

**Verständnisaufgabe 43:** Beschreiben Sie Gemeinsamkeiten und Unterschiede einer mechanischen Schwingung und einer elektromagnetischen Schwingung! Nennen Sie analoge Größen.

**Verständnisaufgabe 44:** Welche grundlegenden Eigenschaften haben elektromagnetische Schwingungen?

**Verständnisaufgabe 45:** Beschreiben Sie das elektromagnetische Spektrum an Beispielen!

**Verständnisaufgabe 46:** Beschreiben Sie den Hertz'schen Dipol.

**Verständnisaufgabe 47:** Wie lauten die grundlegenden Aussagen der Maxwelltheorie? Erläutern Sie die Aussagen jeweils an einem Physikbeispiel UND an einem Alltagsbeispiel!

**Verständnisaufgabe 48:** Welche grundlegenden Eigenschaften haben elektromagnetische Wellen? Vergleichen Sie sie mit mechanischen Wellen!

**Verständnisaufgabe 49:** Mikrowellengerät: Anhand welcher Experimente können Sie Ihre Antworten auf z.B. folgende Fragen belegen?

- Welche Funktion hat der Drehteller, das Gitter an der Türe?
- Warum darf man nur Mikrowellengeschirr in das Gerät stellen?
- Warum muss man bei Flüssigkeiten einen Löffel in die Flüssigkeit stellen?
- Warum werden manche Lebensmittel in der Mikrowelle nicht heiß – andere gehen in Flammen auf?
- Warum wird Fleisch in der Mikrowelle nicht knusprig braun?
- Ist die Nahrung aus der Mikrowelle ungesund?
- Kommen die Mikrowellen aus dem Gerät heraus – können sie Menschen schaden?
- ...

## Wiederholung der Optik aus der Mittelstufe

● **Aufgabe 77:** Wiederholung der naturwissenschaftlichen Arbeitsweise: Warum kann man eigentlich eine physikalische Modellvorstellung, ein Naturgesetz, nicht beweisen oder verifizieren?

○ **Aufgabe 78:** Was ist aus physikalischer Sicht an den folgenden Sätzen eigenartig?:

- „Das Kind versucht, auf seinen Schatten zu springen...“
- „Der Schatten folgt der Person...“
- „Man kann seinen Schatten nicht verlieren.“

○ **Aufgabe 79:** Wie entstehen Schatten?

● **Aufgabe 80:** Sie haben zwei Kerzen und einen ebenen Spiegel. Wie viele Schatten hat jede Kerze? Kann eine virtuelle Kerze einen realen Schatten werfen?



Quelle: unbekannt; vermutlich nicht (CC)

● **Aufgabe 81:** Kann man – wie im Zeitungsartikel beschrieben – mit einer Lupe ein Feuer entfachen?

● **Aufgabe 82:** Wenn ja, unter welchen Randbedingungen ist das möglich?

„In Irland leben schon seit Jahrtausenden Kobolde. Sie sind kleine Handwerker und verstecken ihren Lohn mit Vorliebe in großen Töpfen am Ende von Regenbögen. Wenn es jemandem gelingt, einen Kobold zu fangen, dann muss der Kobold verraten, wo er sein Gold versteckt hat.“

Diskutieren Sie zu dieser Geschichte aus einem irischen Märchenbuch folgende Fragen!

● **Aufgabe 83:** Wie kann man mit einfachen experimentellen Mitteln einen Regenbogen herstellen?

● **Aufgabe 84:** Wie entsteht ein Regenbogen?

● **Aufgabe 85:** Warum ist der Regenbogen überhaupt gebogen?

● **Aufgabe 86:** Hat ein Regenbogen einen Anfang und ein Ende?

● **Aufgabe 87:** Kann man – unter sehr günstigen Umständen – das Ende eines Regenbogens erreichen?

# Wellenoptik

Reflexionsgesetz:  $\alpha = \alpha'$

Snellius'sches Brechungsgesetz:  $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_1}{c_2}$

- **Aufgabe 88:** Beschreiben Sie anhand einer Skizze das Huygens'sche Prinzip!
- **Aufgabe 89:** Licht trifft in einem Winkel von  $40^\circ$  auf eine Grenzfläche, hinter der sie sich nur noch halb so schnell ausbreiten kann. Berechnen Sie den Reflexionswinkel und den Brechungswinkel! Skizzieren Sie die Situation mit dem Modell *Lichtstrahl*!
- **Aufgabe 90:** Licht trifft in einem Winkel von  $40^\circ$  auf eine Grenzfläche, hinter der sie sich nur noch halb so schnell ausbreiten kann. Berechnen Sie den Reflexionswinkel und den Brechungswinkel! Skizzieren Sie die Situation mit dem Modell *ebene Wellen*!
- **Aufgabe 91:** Licht trifft in einem Winkel von  $40^\circ$  auf eine Grenzfläche, hinter der sie sich nur noch halb so schnell ausbreiten kann. Bestimmen Sie den Reflexionswinkel und den Brechungswinkel zeichnerisch mit Hilfe der *Huygens'schen Elementarwellen*! Vergleichen Sie die zeichnerisch ermittelten Winkel mit den in der vorigen Aufgabe berechneten!
- **Aufgabe 92:** Trifft das Licht vom langsameren Medium her auf die Grenzfläche und dazu in einem flachen Winkel, tritt *Totalreflexion* auf. Die Welle tritt dann nicht mehr überwiegend in das zweite Medium ein, sondern wird nahezu vollständig reflektiert. Untersuchen Sie die Situation zeichnerisch mit Hilfe der Huygens'schen Elementarwellen! (Hinweis: Nehmen Sie ein Geschwindigkeitsverhältnis von 1:2 sowie einen Eintrittswinkel von  $50^\circ$  gemessen zum Lot.) Überprüfen sie Ihre Überlegungen mit der Simulation:



[http://www.walter-fendt.de/html5/phde/refractionhuygens\\_de.htm](http://www.walter-fendt.de/html5/phde/refractionhuygens_de.htm)

- **Aufgabe 93:** Skizzieren Sie mit Hilfe des Prinzips der *Huygens'schen Elementarwellen* die Phänomene
  - a) Ausbreitung einer ebenen Welle
  - b) Beugung am Einzelspalt
  - c) Beugung am Doppelspalt

- **Aufgabe 94:** Erklären Sie mit Hilfe Ihres Wissens über die Ausbreitung von Wellen die in



<https://arxiv.org/pdf/1201.0001.pdf>

dargestellten Wasserwellen-Phänomene!

- **Aufgabe 95:** Ein Laser der Wellenlänge 630 nm beleuchtet einen Doppelspalt (Spaltmittelabstand 0,2 mm). Der Schirm ist 4 m hinter dem Doppelspalt aufgestellt.
  - a) Skizzieren Sie den Aufbau!
  - b) Beschreiben Sie, was auf dem Schirm zu sehen ist!
  - c) Begründen Sie physikalisch, warum das Muster so aussieht!

## Spalte, Gitter, Minima und Maxima

Einzelspalt Minima:  $\sin \alpha_k = \frac{k \cdot \lambda}{b}$  mit  $k = 1, 2, \dots$

Doppelspalt Maxima:  $\sin \alpha_k = \frac{k \cdot \lambda}{g}$  mit  $k = 1, 2, \dots$

Spaltbreite  $b$ , Spaltmittenabstand  $g$ , Abstand zum Schirm  $a$ , Abstand von der Schirmmitte  $x$

*kopierte Aufgaben aus DornBader Kursstufe (Westermann)*

*kopierte Aufgaben aus „Physik anwenden und verstehen“ (Orell Füssli)*

## Verständnisaufgaben zur Klausur 4

Die Fragen sollten Sie bis zur Klausur locker beantworten können. Jeder gefragte Begriff sollte aus dem Stehgreif in einem ca. 1-minütigen Vortrag erklärt werden können. Zur Sicherheit sollte, wo es sich anbietet, eine Reihe von Aufgaben bzw. Rechenaufgaben gelöst werden. Sie sollten zu fast jeder Frage eine Skizze zur Untermalung bzw. Verdeutlichung der Antwort zeichnen können. Der innere Zusammenhang der Fragen und ihrer Antworten können durch eine bildliche Darstellung, z. B. eine Mind-Map, deutlich gemacht werden.

**Verständnisaufgabe 50:** Wiederholung: Welche grundlegenden Eigenschaften haben Wellen? Vergleichen Sie dazu Phänomene mechanische und elektromagnetische Wellen!

**Verständnisaufgabe 51:** Wiederholung: Was versteht man unter *naturwissenschaftlicher Arbeitsweise*? Stellen Sie die naturwissenschaftliche Methode nach Popper in einem Flussdiagramm dar!

**Verständnisaufgabe 52:** Wiederholung: Was ist Physik? ☺

**Verständnisaufgabe 53:** Was versteht man unter Beugung, Brechung, Reflexion und Interferenz? Welche Phänomene (z.B. aus dem Alltag) zeigen Beugung, Brechung, Reflexion und Interferenz?

**Verständnisaufgabe 54:** Erläutern Sie an Beispielen das Huygens'sche Prinzip!

**Verständnisaufgabe 55:** Erklären Sie die Beugung, Brechung, Reflexion und Interferenz mithilfe des Huygens'schen Prinzips!

**Verständnisaufgabe 56:** Beschreiben Sie vier verschiedene Möglichkeiten, wie man den Brechungswinkel bestimmen kann (messen, rechnen, Huygens, Diagramm)! Wie hängen die Möglichkeiten zusammen?

**Verständnisaufgabe 57:** Welche grundlegenden Phänomene der Optik gibt es? Wie kann man sie mit dem Lichtstrahlmodell bzw. dem Teilchenmodell bzw. dem Wellenmodell beschreiben und/oder erklären?

**Verständnisaufgabe 58:** Wo haben Lichtstrahlmodell, Teilchenmodell und Wellenmodell jeweils ihre Grenzen?

**Verständnisaufgabe 59:** Schildern Sie das qualitativ unterschiedliche Verhalten von klassischen Teilchen, elektromagnetischen Wellen und Elektronen am Doppelspalt! Zeichnen Sie dazu Verteilungsdiagramme von Intensitäten/Treffern auf dem Schirm hinter dem Doppelspalt!

**Verständnisaufgabe 60:** Nennen Sie die Wesenszüge der Quantenphysik und geben Sie Beispiele!

**Verständnisaufgabe 61:** Erläutern Sie die Wesenszüge der Quantenphysik anhand unserer Strahlteilerexperimente!

**Verständnisaufgabe 62:** Erläutern Sie die Funktionsweise des Quantenradierers!

**Verständnisaufgabe 63:** Erläutern Sie die Funktionsweise der Quantenbombe!

**Verständnisaufgabe 64:** Interferenzexperimente werfen die Frage nach der Natur des Lichtes auf! Erläutern Sie die Probleme, die sich durch die einseitige Vorstellung, Licht sei eine elektromagnetische Welle oder Licht bestünde aus Teilchen, ergeben!

**Verständnisaufgabe 65:** Was ist ein Quantenobjekt? Ab welcher Größe verhalten sich Objekte wieder „normal“?



<http://www.didaktik.physik.uni-erlangen.de/quantumlab/>