

NAME: _____

PUNKTE:

NOTE:

PHYSIKMATUR PROMOTION 144

Gymnasium Unterstrass Zürich

- Termin:** Mo 24. August 2015
- Zeit:** 8.00 – 11.00 (3 Stunden)
- Material:** eigenes: Taschenrechner (ohne CAS), Schreibzeug,
bis zu 2 Übersichtsblätter (A4, vorne und hinten)
vorhanden: "Gymnasium Formelsammlung Mathematik" (Klett),
zusätzliches Schreibpapier
- Bewertung:** Bei jeder Aufgabe ist die Anzahl möglicher Punkte angegeben.
Total sind 68 Punkte möglich.
Ihre Darstellung und Formulierung werden bei der Bewertung mit berücksichtigt. Gleiches gilt für die Angabe der Resultate mit passenden SI-Vorsätzen.
- Examinator:** Alexander Gertsch
- Experte:** Dr. Rainer Mertens

**Lösen Sie alle Aufgaben auf den mitverteilten karierten Blättern.
Verwenden Sie für jede Aufgabennummer ein neues Blatt.
Bei vorbereiteten Diagrammen und Kräfteskizzen dürfen
Sie direkt auf den Aufgabenblättern arbeiten.**

Viel Erfolg bei Ihrer Physikmatur!

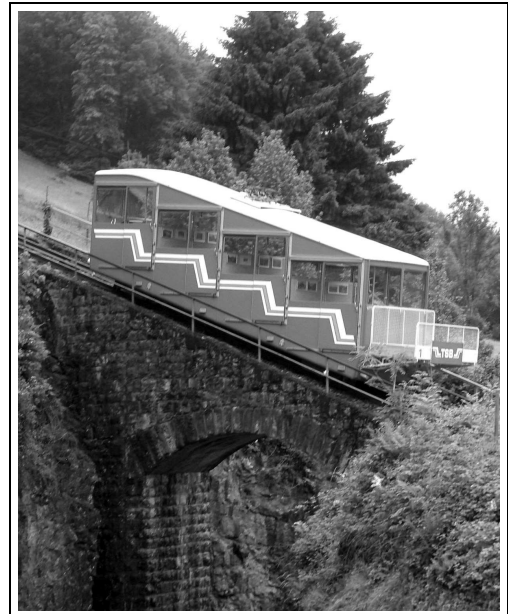
Mechanik

1 Die Treib-Seelisberg-Bahn (TSB) (10 Punkte)

Die Bergbahn zwischen Treib und Seelisberg (TSB) ist eine ganz klassische **Standseilbahn**: Die beiden Wagen sind über ein Stahlseil miteinander verbunden, das in der Bergstation über mehrere Rollen umgelenkt wird. Dort befindet sich auch der Antrieb der Bahn.

Ein paar technische Daten der TSB

Höhe Talstation:	450 m.ü.M
Höhe Bergstation:	780 m.ü.M
Streckenlänge:	1130 m
Streckenneigung:	minimal: 20.0 % maximal: 38.0 % im Mittel: 30.0 %
Fahrgeschwindigkeit:	$12.5 \frac{\text{km}}{\text{h}}$
Plätze pro Wagen:	80
Leergewicht eines Wagens:	9.0 t
Max. Nutzlast eines Wagens:	6.5 t
Max. Leistung Antrieb:	140 PS



Situation: Die Bahn fährt. Wir betrachten den **gleichförmig aufwärts fahrenden Wagen** an der **steilsten Stelle** der Strecke. Es befinden sich 57 Menschen mit einer Gesamtmasse von 4.3 t im Wagen. Am Wagen zieht das Seil mit der Zugkraft F_{Zug} parallel zum Gleis nach oben.

- (a) Zeichnen Sie eine **Kräfte-skizze** des Wagens und stellen Sie die Kraftgleichungen für den Wagen auf. (2.5 Punkte)

Hinweis: Den Luftwiderstand dürfen Sie vernachlässigen. (Weshalb?)

- (b) Berechnen Sie die **Stärke der Zugkraft** F_{Zug} des Seils. (4 Punkte)

Annahme: Die Rollreibungszahl zwischen Rädern und Schiene betrage 0.010.

- (c) Wie gross ist die aktuelle **Zugleistung** des Seils am Wagen?
Geben Sie die Antwort in **Pferdestärken** (1 PS = 735.5 W). (1.5 Punkte)

Tipp: Die Zugleistung berechnet sich aus dem Produkt aus Zugkraft und Geschwindigkeit:

$$P_{\text{Zug}} = F_{\text{Zug}} \cdot v$$

Hinweis: Sollten Sie unter (b) kein Resultat erhalten haben, so verwenden Sie für die Zugkraft einen Wert von $F_{\text{Zug}} = 55.0 \text{ kN}$.

- (d) Die Zugleistung des Seils am Wagen, also die Antwort auf die Frage (c), fällt deutlich grösser aus als die maximale Leistung des Antriebs in der Bergstation.

Erklären Sie diesen scheinbaren Widerspruch. (2 Punkte)

2 Beschleunigung beim Lamborghini Aventador (8 Punkte)



Der **Aventador LP 750-4 Superveloce (SV)** ist ein Supersportwagen der Marke Lamborghini, der 2015 auf dem Genfer Auto-Salon vorgestellt wurde.

Berausend ist mitunter seine **Spitzenbeschleunigung**: In nur gerade 2.8s erreicht der Superveloce aus dem Stand eine Geschwindigkeit von $100.0 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.

- (a) Welche Strecke legt der Superveloce während diesem Spitzenbeschleunigungsvorgang zurück, wenn wir von einer **gleichmässigen Beschleunigung** ausgehen? (1.5 Punkte)
- (b) In Tat und Wahrheit ist die Annahme der gleichmässigen Beschleunigung ziemlich falsch. Ein realistischerer Ansatz für die Geschwindigkeitsentwicklung lautet:

$$v(t) = 16.6 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \sqrt{t} \quad (*)$$

Dabei muss die Zeit t in Sekunden eingesetzt werden.

Überprüfen Sie, dass auch mit Gleichung (*) nach 2.8s eine Geschwindigkeit von $100 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ erreicht wird. (1 Punkt)

- (c) Nach welcher Zeitspanne erreicht der Superveloce gemäss der neuen Gleichung (*) eine Geschwindigkeit von $150 \frac{\text{km}}{\text{h}}$? (1.5 Punkte)
- (d) Skizzieren Sie das t - v - und das t - a -Diagramm bis zur Zeit $t = 7.5\text{s}$ gemäss Gleichung (*). (3 Punkte)

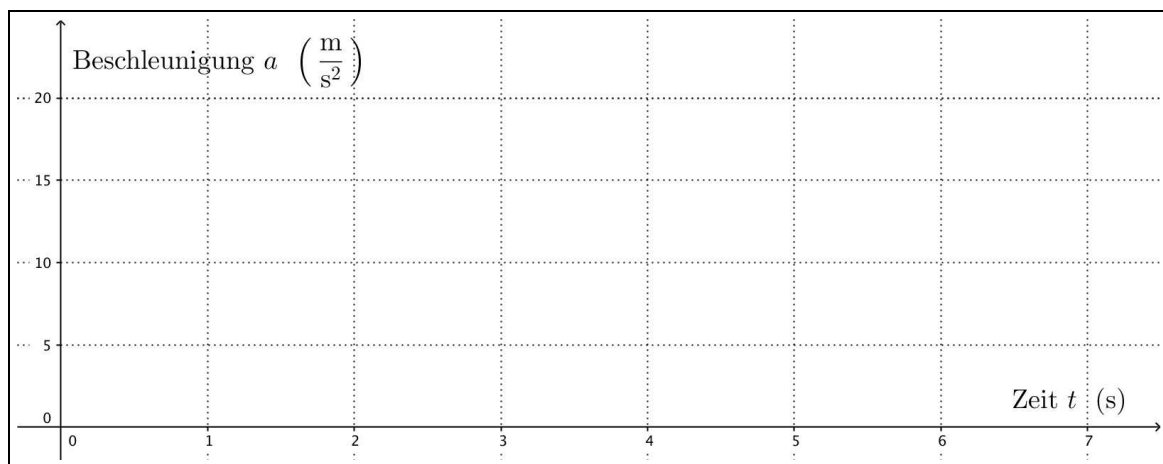
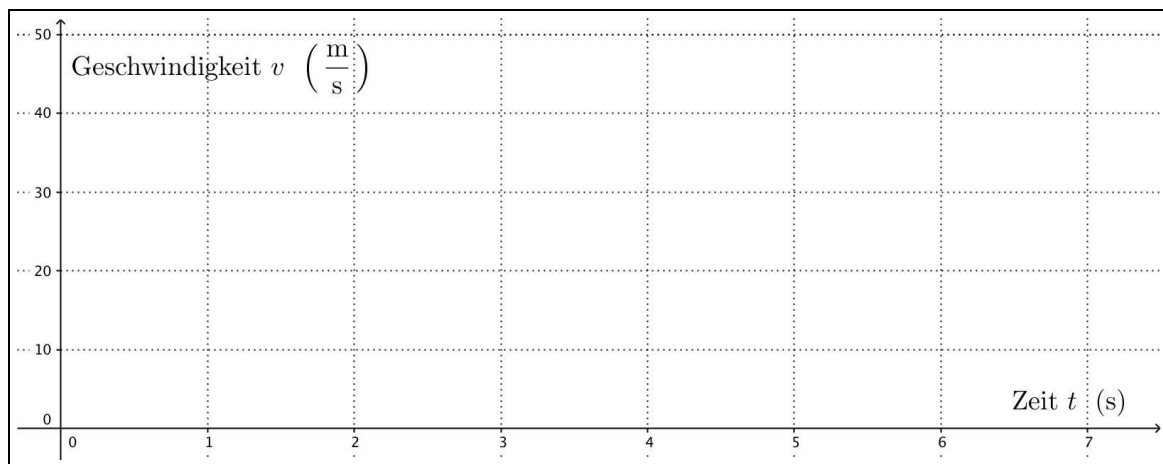
Hinweise: Die vorbereiteten Diagramme finden Sie oben auf der nächsten Seite.

Im t - v -Diagramm sollten die Geschwindigkeitswerte in etwa stimmen.

Beim t - a -Diagramm genügt eine qualitative Richtigkeit (absolute Werte nicht wichtig).

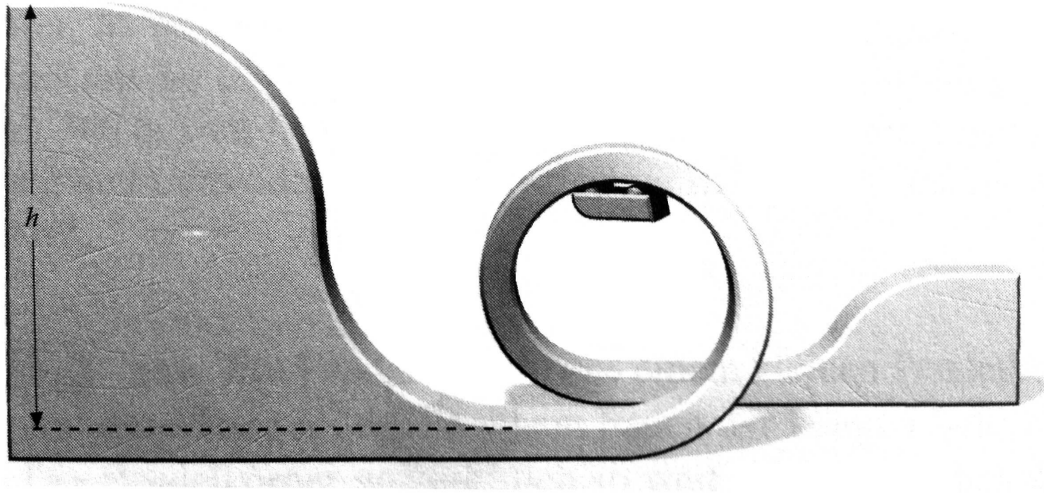
Mathematischer Tipp: $a(t)$ ist die Ableitung von $v(t)$ nach t .

- (e) Tatsächlich beschreibt (*) die Geschwindigkeitsentwicklung bis $v = 150 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ nicht so schlecht. Weshalb kann Gleichung (*) darüber hinaus aber sicher nicht mehr richtig sein? Finden Sie eine "physikalisch logische Schwachstelle" und erläutern Sie sie kurz. (1 Punkt)



3 Der Achterbahn-Looping (7 Punkte)

Ein **Achterbahnwagen** mit der Masse 1500 kg (inkl. Insassen) beginnt seine Fahrt in einer Höhe von $h = 23.0\text{ m}$ über dem Boden vor einem **Looping** mit Durchmesser $d = 15.0\text{ m}$ (siehe Abbildung).



Die Reibung (Rollen & Luftwiderstand) sei vernachlässigbar.

- (a) Mit welcher **Geschwindigkeit** durchquert der Wagen den höchsten Punkt des Loopings? (3.5 Punkte)

Tipp: Nutzen Sie die Energieerhaltung aus!

- (b) Ausgehend von der Antwort aus (a): Mit welcher **Normalkraft** müssen die Schienen im höchsten Punkt des Loopings gegen den Wagen drücken? (3.5 Punkte)

Tipp: Zeichnen Sie eine Kräfteskizze des Wagens im obersten Punkt des Loopings. Der Wagen wird dort gerade weder schneller noch langsamer!

Hinweis: Wenn Sie aus (a) über kein Resultat verfügen, so verwenden Sie dafür einen Wert von $v = 11.9 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

4 Briefpost auf Utopia VII (8 Punkte)

In den Tiefen des Weltraums besucht das **Raumschiff Enterprise** den neu entdeckten Planeten **Utopia VII**. Dieser relativ kleine Planet weist einen Radius von $R = 1640 \text{ km}$ und eine Masse von $8.91 \cdot 10^{22} \text{ kg}$ auf. Seine Oberfläche ist glatt (keine Hügel oder Gebirge) und er besitzt keine Atmosphäre.

- (a) Zwei Aussenteams landen auf Utopia VII, Team „Kirk“ am Nordpol und Team „Spock“ am Südpol.

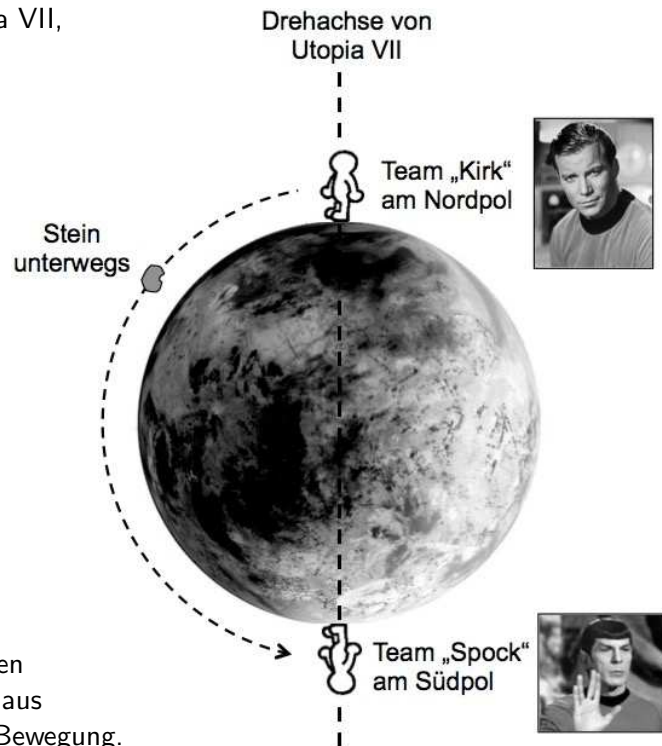
Da die Kommunikation ausgefallen ist, kommt Team „Kirk“ auf die Idee eine Mitteilung in Form eines Steins ans Team „Spock“ zu senden (siehe Skizze rechts).

Der Stein würde praktisch unmittelbar über der Planetenoberfläche dahinsausen.

Nach welcher Reisedauer würde der Stein den Südpol erreichen?

Geben Sie die Antwort in einer passenden Zeiteinheit. (5 Punkte)

Hinweis: Die volle Punktzahl erhalten Sie nur mit der formalen Herleitung aus der Kraftgleichung für den Stein in Bewegung.



- (b) Tatsächlich hängt die unter (a) berechnete Reisedauer t des Steins gar nicht von der effektiven Grösse des Planeten ab. D.h., die Planetenmasse M und der Planetenradius R sind bei dieser Berechnung nur scheinbar relevant. Bei genauerer Analyse stellt sich aber heraus, dass einzig die **Dichte** ρ des Planeten diese Reisezeit bestimmt (sofern man davon ausgehen darf, dass der Planet überall etwa gleich dicht ist).

Zeigen Sie, dass für die Reisedauer t des Steins vom Nord- bis zum Südpol der folgende formale Zusammenhang mit der Planetendichte ρ gilt: (3 Punkte)

$$t = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{3\pi}{G\rho}}$$

Hinweis: Zusätzlich notwendige Gleichungen schlagen Sie in der Formelsammlung nach.

Hydro- und Aerostatik

5 Der Cargolifter CL160 (6 Punkte)

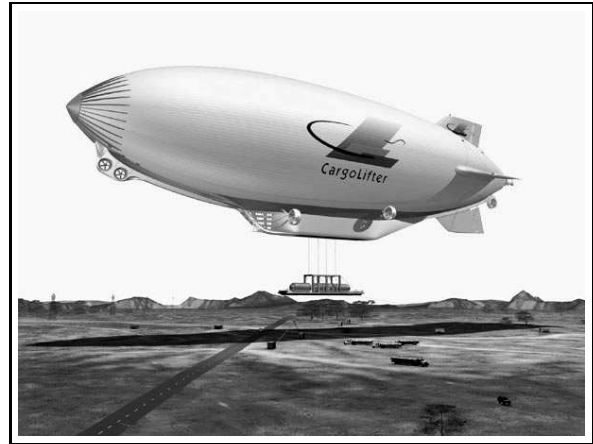
In einem Wikipedia-Artikel lese ich:

“Der CL160 war das geplante Transportluftschiff der deutschen Cargolifter AG, die im Jahr 2002 in Konkurs ging. (...)

Es sollte grössere Lasten kostengünstig über weite Entfernungen transportieren können.”

Wegen den finanziellen Problemen des Konzerns kam das CL160 nie über die Konzeptionsphase hinaus.

Hier ein paar technische Daten, die für den Cargolifter CL160 vorgesehen waren:



- Traggas: Helium (Gasdichte im CL160: $\rho_{\text{He}} \approx 0.17 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$)
- Ballonvolumen (für das Traggas): $550\,000 \text{ m}^3$
- Eigengewicht (ohne Nutzlast und ohne Traggas): 460 t
- Maximale Reichweite: 10 000 km
- Höchstgeschwindigkeit: $120 \frac{\text{km}}{\text{h}}$

(a) Welche **Heliummasse** hätte der CL160 im gefüllten Zustand enthalten?

Geben Sie die Antwort in **Tonnen**. (1.5 Punkte)

(b) Der CargoLifter war nicht für grosse Flughöhen vorgesehen, sondern sollte stets einigermaßen in Bodennähe unterwegs sein. Weshalb denn?

Was wäre in grösseren Höhen ungünstig für die Tragkraft des CargoLifters?

Geben Sie in eine knappe Begründung in einem oder zwei Sätzen. (1 Punkt)

(c) Bestimmen Sie mit den Angaben oben die **maximale Nutzlast des CL160**. Wie viel Masse sollte damit maximal transportiert werden können? (3.5 Punkte)

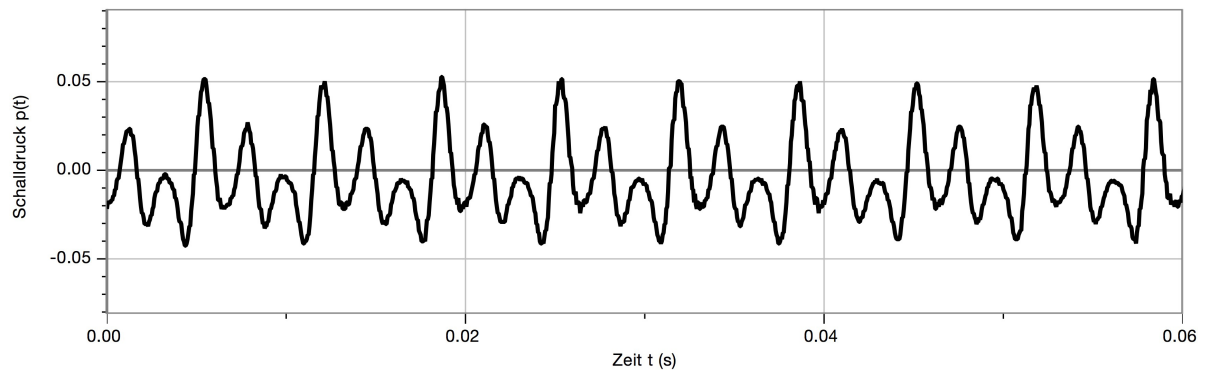
Tipp 1: Egal, ob beladen oder nicht, das CargoLifter-Volumen ist insgesamt ohne grossen Fehler gleich dem Volumen des Traggases.

Tipp 2: $\rho_{\text{Luft}} \approx 1.3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Schwingungen und Wellen

6 Ein Versuch mit dem Vokal "O" (5 Punkte)

Ich habe den Vokal "O" auf einer bestimmten Tonhöhe in ein Mikrophon gesungen. Dabei hat sich das folgende Schalldruckdiagramm ergeben:



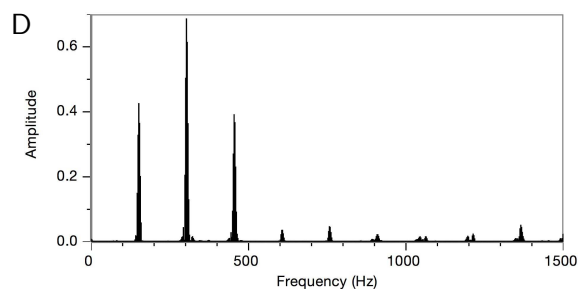
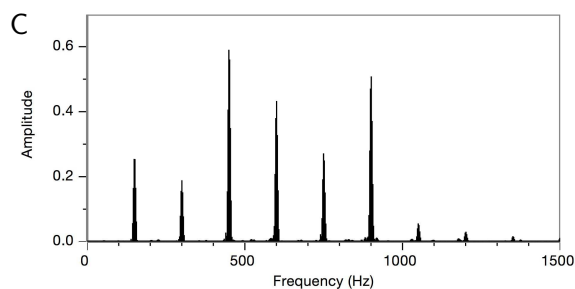
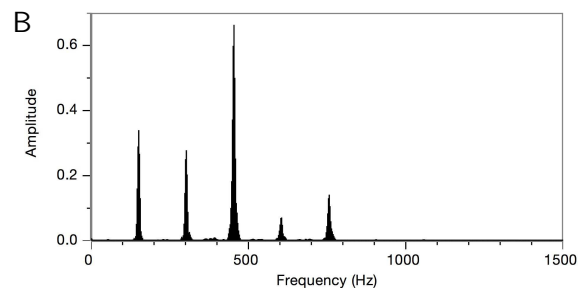
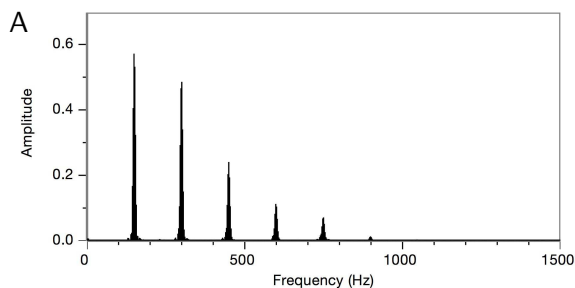
In meinem Versuch betrug die Grundtonfrequenz 150 Hz.

- (a) Wie lässt sich die **Grundtonfrequenz aus dem Schalldruckdiagramm "ablesen"**?

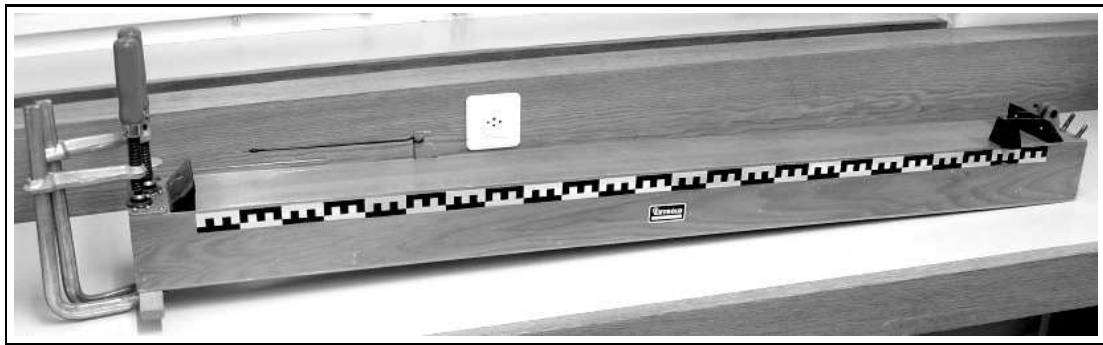
Erklären Sie den Zusammenhang (in Worten!) und zeigen Sie, wie man die 150 Hz möglichst präzise ermittelt. (2.5 Punkte)

- (b) Unten finden Sie 4 **Frequenzspektren** A bis D. Eines davon gehört zum oben gezeigten Schalldruckdiagramm. Welches? (2.5 Punkte)

Begründen Sie Ihre Antwort hinreichend unter Verwendung passender Fachausdrücke. Am besten starten Sie Ihre Argumentation, indem Sie erläutern, was ein Frequenzspektrum effektiv zeigt.



7 Gezielte Monochordstimmung (3 Punkte)



- (a) Skizzieren Sie in folgender Vorlage die **3. Oberschwingung** einer 120 cm langen Monochord-Saite: (1 Punkt)

Eingespannte
Saite mit
Länge 120cm

- (b) Beim Stimmen einer Saite verändert man ihre Spannung und somit die **Wellengeschwindigkeit in der Saite**.

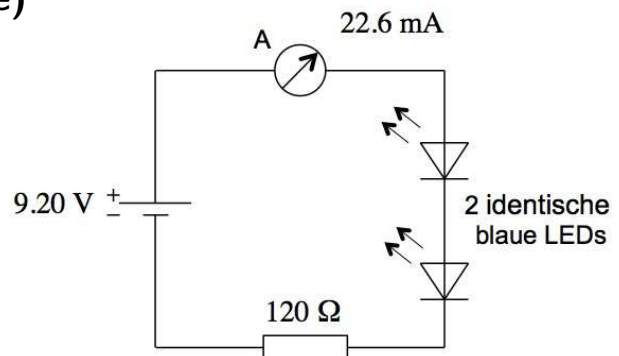
Ich habe meine Monochord-Saite aus Aufgabe (a) nun so gestimmt, dass die 3. Oberschwingung eine Frequenz von 640 Hz aufweist.

Wie schnell ist demzufolge die Wellengeschwindigkeit in der Saite? (2 Punkte)

8 Ein LED-Stromkreis (8 Punkte)

In einer kleinen Serieschaltung betreibe ich zwei blaue Leuchtdioden (LED). Mit eingebaut sind ein Vorwiderstand von $120\ \Omega$ und ein Amperemeter mit vernachlässigbar geringem Widerstand.

Die Spannung der sehr neuen Batterie beträgt im Moment $9.20\ \text{V}$. Das Amperemeter misst eine Stromstärke von $22.6\ \text{mA}$.



- (a) Blaue LEDs sind für Betriebsspannungen zwischen $2.48\ \text{V}$ und $3.70\ \text{V}$ konzipiert. Werden die beiden LEDs in meinem Stromkreis gemäss dieser Vorgabe betrieben? Geben Sie eine **rechnerisch begründete Antwort**. (2.5 Punkte)
- (b) Geben Sie den **“Wirkungsgrad”** dieses Stromkreises an. D.h. konkret: Bestimmen Sie, wie viele Prozente der von der Batterie eingespeisten elektrischen Leistung in den beiden LEDs umgesetzt werden. (2.5 Punkte)
- (c) Eine anfänglich frische Batterie, für die ich 4 Franken bezahlt habe, vermag diesen Stromkreis gerade etwa 1 Tag lang zu betreiben.

Wie teuer ist demzufolge der **Preis pro Kilowattstunde (kWh)** elektrische Energie aus der Batterie? **Vergleichen Sie Ihr Resultat** mit dem kWh-Preis aus der Steckdose (ca. 20 Rappen im Normaltarif). (3 Punkte)

Hinweise: Rechnen Sie nach wie vor mit den vorgegebenen Werten, auch wenn die Spannung der Batterie während dieses einen Tages leicht zurückgehen wird.

Das Resultat mag Ihnen absurd gross vorkommen, aber portable Energie hat eben ihren Preis!

9 Generator und Elektromotor in Einem (8 Punkte)

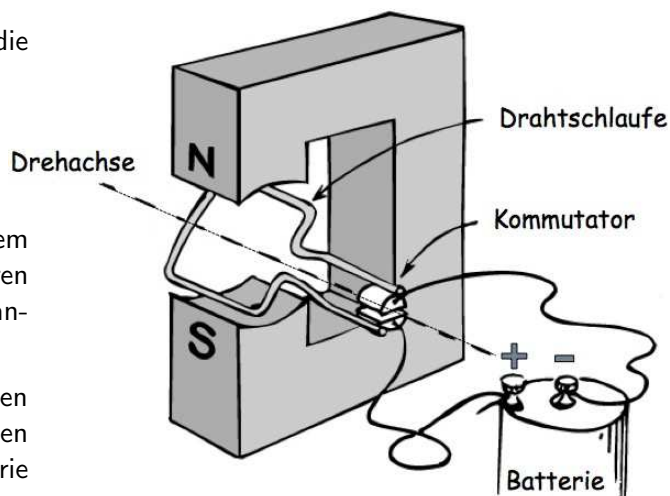
Zwischen den Polen eines Hufeisenmagneten befindet sich eine praktisch reibungsfrei **drehbare Leiterschleife**.

- (a) Mit einer **Batterie** funktioniert die Leiterschleife als **Elektromotor**.

In welche Richtung dreht sich die Drahtschleife?

Begründen Sie Ihre Antwort, indem Sie passende Gesetzmässigkeiten zitieren und auf die rechts gezeigte Situation anwenden! (3 Punkte)

Tipp: Die beiden möglichen Antworten lauten: "von der Batterie aus gesehen im Uhrzeigersinn" oder "von der Batterie aus gesehen im Gegenuhrzeigersinn".

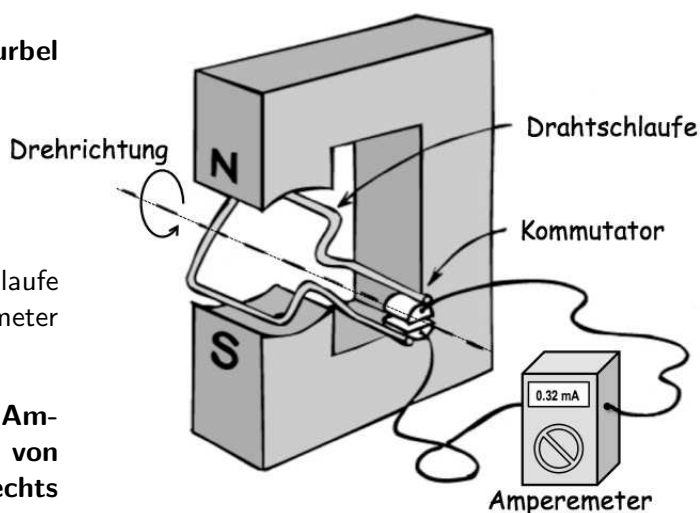


- (b) Die Batterie ist entfernt und durch ein **Amperemeter** ersetzt worden.

Die Schleife wird nun durch eine **Kurbel von Hand** gedreht (Hand und Kurbel sind nicht eingezeichnet) – vom Amperemeter aus gesehen im Gegenuhrzeigersinn.

Der durch die Drehung in der Schleife induzierte Strom wird im Amperemeter gemessen.

Fliesst der induzierte Strom im Amperemeter von uns aus gesehen von links nach rechts oder von rechts nach links?



Begründen Sie auch hier Ihre Antwort durch passende Gesetzmässigkeiten! (3 Punkte)

- (c) Weshalb spürt man beim Drehen der Schleife unter (b) einen **Drehwiderstand**, der nicht von der mechanischen Reibung herrührt?

Geben Sie eine kurze Begründung aufgrund Ihrer Antworten bei (a) und (b) und sagen Sie, welches Prinzip wir hier direkt beobachten. (2 Punkte)

10 Das Magnetfeld im LHC (5 Punkte)

Der **LHC** (= **Large Hadron Collider**) ist der aktuelle Teilchenbeschleuniger am **CERN** bei Genf. Er ist seit 2008 in Betrieb.

Im LHC werden **Protonen** auf (beinahe) Lichtgeschwindigkeit beschleunigt ($v \approx 3.00 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$). Wie die **Spezielle Relativitätstheorie (SRT)** erklärt, sind solche hochenergetischen Protonen um ein Vielfaches schwerer als ein ruhendes Proton. Konkret beträgt die Protonenmasse bei der bis heute (Mai 2015) erreichten Teilchengeschwindigkeit etwa $1.16 \cdot 10^{-23} \text{ kg}$ ($\approx 6930 u$)!

Um diese Protonen im Speicherring mittels Lorentzkraft auf ihrer Umlaufbahn mit einem Umfang von 26.659 km zu halten, musste entlang des gesamten Rings ein recht starkes Magnetfeld etabliert werden.

Berechnen Sie aus diesen Angaben die Flussdichte des im LHC benötigten Magnetfeldes!

Hinweis: Die volle Punktzahl erhalten Sie nur, wenn Sie die Berechnung aus einer Kraftgleichung für ein kreisendes Proton ableiten.

