

Die Gravitationsharfe – mit Gravitation Musik machen?



Abbildung 1: Vorstellung einer elektrischen Gravitationsharfe nach Vorbild von Andy Cavatorta, Bild generiert von Dall-E 3 und bearbeitet von Jonas Kratschmar, [CC BY SA 4.0](#) Lernaufgabe Gravitationsharfe



<https://www.youtube.com/watch?v=Di99Y6OdnPY>

Aufnahme von Andy Cavatortas
Gravitationsharfe (YouTube)

Im Jahr 2015 wurde in New York im Museum of Modern Arts eine Gravitationsharfe ausgestellt. Dieses Musikinstrument ist eine Installation des Künstlers Andy Cavatorta. Die Harfe heißt Gravitationsharfe, weil sie im Gravitationsfeld der Erde pendelt und die Saiten durch an ihnen hängende Gewichte gespannt werden.

Eine Künstlerin aus Berlin möchte nun eine ähnliche Installation, eine elektrische Gravitationsharfe, in Berlin ausstellen und hat diesbezüglich ein paar Entwürfe für die Konstruktion bereitgestellt. Ihre Aufgabe ist es, die Entwürfe zu analysieren und einen konkreten Bauvorschlag für eine eigene Gravitationsharfe zu entwickeln.

Hinweise zur Arbeit an dieser Aufgabe:

- 1) Untersuchen Sie zunächst die Anforderungen und Skizzen der Künstlerin und machen Sie sich mit der Funktionsweise der elektrischen Gravitationsharfe vertraut.

Beschreiben Sie, welche Unterschiede zwischen den Entwürfen bestehen (Material 1).

- 2) Beschreiben Sie unter Berücksichtigung der physikalischen Prozesse, wie aus einer mechanischen Schwingung ein elektrisches Signal werden kann. Überlegen Sie zum Beispiel, weshalb keine Nylonsaiten für die „Gravitationsharfe“ genutzt werden können (Material 2).

Um die Bauvorgaben der Gravitationsharfe zu bestimmen, ist es notwendig zu untersuchen, von welchen Faktoren die Frequenz des Tons einer schwingenden Saite abhängt. Gehen Sie dazu wie folgt vor:

- 3) Wählen Sie zunächst einen der Entwürfe der Künstlerin aus.
Untersuchen Sie anschließend mit einem Spannungssensor zur digitalen Messwerterfassung die Frequenzabhängigkeit entweder zur Saitenlänge oder zur auf die Saite wirkenden Spannkraft.

Stellen Sie die Abhängigkeiten in einem Diagramm graphisch dar (Material 3).

- 4) Die Künstlerin möchte gerne ein Lied auf der Gravitationsharfe spielen. Dazu müssen die Saiten mit bestimmten Tonfrequenzen schwingen können (Material 4).

Ermitteln Sie aus Ihrer graphischen Darstellung die benötigten Richtwerte für die vorgegebenen Töne

Skizzieren Sie anschließend einen geeigneten Pendelkopf mit Bauvorgaben.



[CC BY SA 4.0](#)
Ausgenommen sind einzelne gekennzeichnete
Inhalte/Elemente. Sämtliche Quellen- und
Lizenzhinweise befinden sich
am Ende des Dokuments.

[iMINT-Akademie](#) Fachset Physik für

Sebastian Lenk, Sebastian Beumler, Jonas Kratschmar, Enno Mallwitz
Stand: 01.07.2024



Material 1: Entwürfe für die Gravitationsharfe

Die Künstlerin hat für die Konstruktion ihrer Harfe einen Grundaufbau sowie zwei verschiedene Designvorschläge für die Pendelköpfe als Skizzen beschrieben.

Grundaufbau:

Die elektrische Version der Gravitationsharfe schwingt über eine Pendelvorrichtung hin und her. Der Pendelkopf besteht aus gespannten Saiten, die durch ein Plektrum in der Ruhelage angeschlagen werden. Die gewünschte Saite kann über einen Rotator ausgewählt werden, der den Pendelkopf dreht. Die Schwingung wird über einen Tonabnehmer in ein elektrisches Signal umgewandelt, und über einen Lautsprecher wiedergegeben.

Pendelkopf Entwurf Nr. 1

Im ersten Entwurf für den Pendelkopf sollen unterschiedliche Saitenlängen verwendet werden um verschiedene Töne zu erzeugen. Jede Saite wird dabei mit der gleichen Kraft von ca. 30N gespannt.

Pendelkopf Entwurf Nr. 2

Im zweiten Entwurf sollen gleiche Saitenlängen verwendet werden. Die Tonhöhe soll über unterschiedliche Kräfte verändert werden. Hierzu werden unterschiedliche Massen an die einzelnen Saiten gehangen.

Abbildung 2: Aufbau der elektrischen Gravitationsharfe, Jonas Kratschmar, [CC BY SA 4.0](#) Lernaufgabe Gravitationsharfe

Material 2: Funktionsweise des Tonabnehmers

Ein Tonabnehmer wandelt mechanische Schwingungen in elektrische Signale über das Induktionsprinzip um. Man kann sich einen Tonabnehmer als einen Magneten vorstellen, der von einer Spule umwickelt ist. Über dem Magneten wird eine Saite aus einem ferromagnetischen Material gespannt. Durch den Permanentmagneten wird die Saite teilweise magnetisiert (1).

Wird eine Saite angeschlagen oder gezupft, so schwingt sie mit ihrer Eigenfrequenz f . Dies führt zu einer magnetischen Flussänderung innerhalb der Spule, die eine geringe Spannung induziert. (2).

Die elektrische Wechselspannung wird mit der Frequenz f in der Spule induziert. Die Wechselspannung wird als elektrisches Signal über einen Verstärker und Lautsprecher als Ton ausgegeben (3).

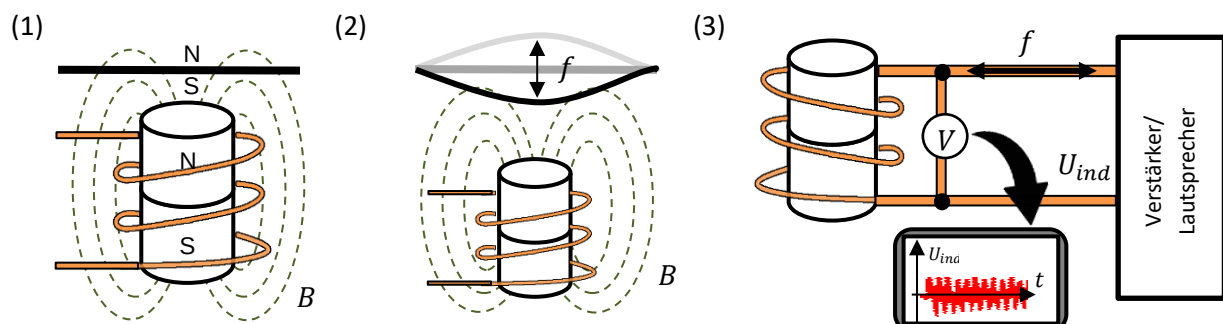


Abbildung 3: Funktionsweise eines Tonabnehmers, Jonas Kratschmar, [CC BY SA 4.0](#) Lernaufgabe Gravitationsharfe

Material 3: Versuchsaufbau zur Untersuchung der Abhängigkeiten von Frequenzen

Mechanische Schwingungen lassen sich über induzierte Spannungen messen. Der Tonabnehmer besteht dabei aus einem von einer Spule umwickelten Permanentmagneten, welcher nah an der Saite anliegt. Eine hohe Windungszahl $N \geq 10000$ ist maßgeblich für eine exakte Messung der Schwingungsfrequenz. Ebenfalls wird ein Eisendraht mit einem Durchmesser von mindestens $\varnothing 0,5 \text{ mm}$ benötigt. Die induzierte Spannung U_{ind} wird über einen Spannungssensor mit hoher Abtastfrequenz $f \geq 1000 \text{ Hz}$ bei Anschlag der Saite aufgenommen.

- Für die **Messung der Frequenzabhängigkeit zur Saitenlänge** kann der eingespannte Draht zum Beispiel über weiteres Stativmaterial in seiner Länge L reguliert werden, sodass die Saite abgeklemmt wird. Am Ende der Saite wird dann eine konstante Masse von ca. 2-3 kg angehängen.
- Für die **Messung der Frequenzabhängigkeit zur spannenden Kraft** wird kein verschiebbares Stativmaterial benötigt. Es können entweder verschiedene Massen angehängen werden oder es kann mit einem Federkraftmesser händisch die Zugkraft variiert werden.

Versuchsaufbau:

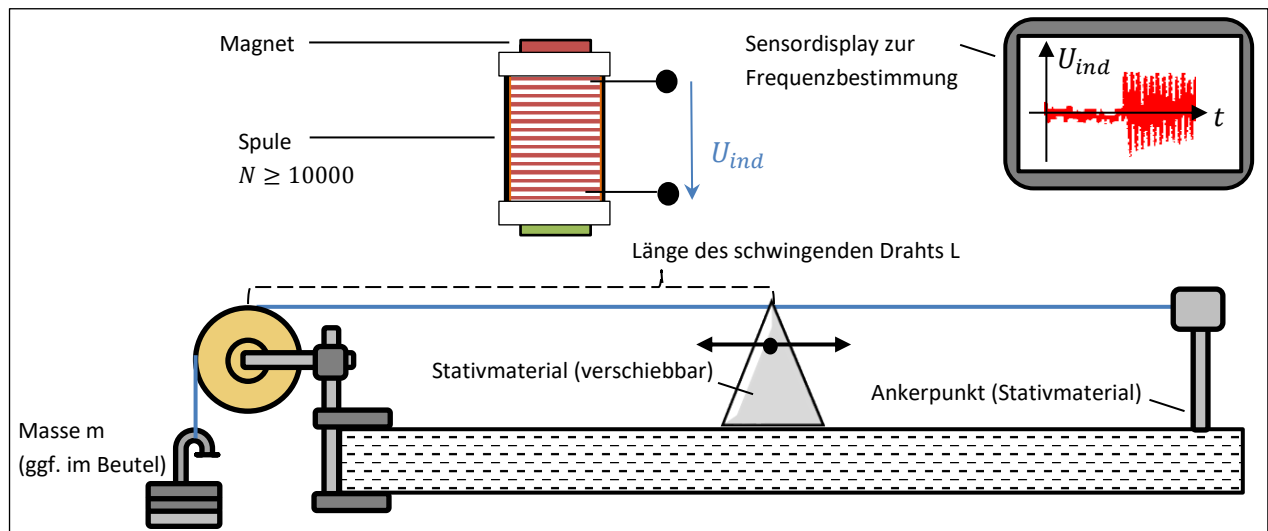


Abbildung 4: Versuchsaufbau, Jonas Kratschmar, [CC BY SA 4.0](#) Lernaufgabe Gravitationsharfe

Material:

- 1,2 m Eisendraht ($\varnothing 0,5 \text{ mm}$)
- verschiedene Massen im Beutel (1-3 kg)
- gegebenenfalls auch ein Federkraftmesser bis 30 N
- Maßband zur Bestimmung der Saitenlänge
- Experimentierspule mit Magnetkern ($N \approx 10000$) (z.B: erhältlich bei Phywe oder Leyboldt)
- Umlenkrolle
- Stativmaterial
- Verbindungskabel
- Spannungssensor mit graphischer Darstellung

Vorbereitung und Sicherheitshinweise:

Achten Sie darauf, dass unter den frei hängenden Massen sich weder Füße noch andere Körperteile befinden. Befestigen Sie zudem keine Massen größer als 3 kg an der Saite und vermeiden Sie ein Knicken des Drahts über eine Tischkante um eine ungewollte Belastung der Saite zu verhindern. Mit dem Kopf sollte ein Sicherheitsabstand von 1 m zur Saite eingehalten werden.

Durchführung:

Entscheiden Sie sich für eine zu untersuchende Größe (Saitenlänge oder Spannkraft durch die Gewichtskraft der angehängten Masse).

Variieren Sie die entsprechende Größe und lesen Sie mit dem Spannungssensor die Schwingungsdauer T einer Periode aus. Über den Zusammenhang $f = \frac{1}{T}$ können Sie die Frequenz des Tons bestimmen.

Stellen Sie anschließend graphisch dar, welcher Zusammenhang zwischen der untersuchten Größe und der Frequenz vorliegt.

Auswertung:Experiment 1: Variation der Saitenlänge bei gleichbleibender Masse bzw. Spannkraft

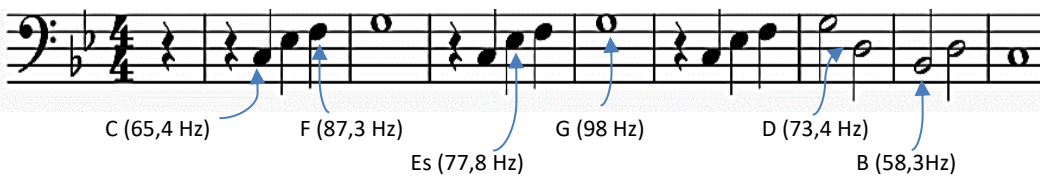
Saitenlänge L in cm	Masse m in kg	Spannkraft F in N	Schwingungsdauer T in ms	Frequenz f des Tons in Hz

Experiment 2: Variation der Masse bzw. Spannkraft bei gleichbleibender Saitenlänge

Saitenlänge L in cm	Masse m in kg	Spannkraft F in N	Schwingungsdauer T in ms	Frequenz f des Tons in Hz

Material 4: Entwurf eines Pendelkopfs mit Maßangaben

Die Gravitationsharfe soll das Lied „Oh when the Saints“ in einer Bass-Tonleiter spielen.



Klangbeispiel:



<https://www.youtube.com/watch?v=YCfx5AydZl8&feature=youtu.be>

Ton	Frequenz in Hz	Saitenlänge in cm	Masse in kg
C	65,4		
Es	77,8		
F	87,3		
G	98		
D	73,4		
B	58,3		

Skizzieren Sie einen Pendelkopf mit den ausgelesenen Richtgrößen, welcher an die Künstlerin weitergegeben werden soll, sodass sie mit dem Bau der Gravitationsharfe beginnen kann.

Basierend auf Pendelkopf Entwurf Nr. _____

Einordnung in den Rahmenlehrplan

Hinweise: Verwenden Sie auf jeden Fall Eisendraht mit einem Durchmesser von mindestens 0,5 mm und eine Spule von ca. 20000 Windungen. Draht aus anderen Materialien ist meist nicht magnetisierbar und zu dünner Draht reißt schnell oder das Signal ist zu schwach. Verwenden Sie einen starken Magneten (z.B. Neodym-Magnet). Falls Sie keine Spule mit hoher Windungszahl haben, muss das Signal mit einem Messverstärker verstärkt werden.

(Rahmenlehrplan für die gymnasiale Oberstufe Berlin Brandenburg 2021, gültig ab Schuljahr 2023/24 in die Qualifikationsphase)

Q2 3.2.3 Elektromagnetische Induktion	
-	Möglichkeiten der Erzeugung von Induktionsspannungen
-	Nachweis der elektromagnetischen Induktion im bewegten und ruhenden Leiter
-	Experiment zur Spannungsübersetzung

	Die Lernenden...
S3	wählen aus bekannten Modellen bzw. Theorien geeignete aus, um sie zur Lösung physikalischer Probleme zu nutzen.
K5	wählen sach- und adressatengerecht einzelne Anwendungen der elektromagnetischen Induktion für die Inhalte von Präsentationen, Diskussionen oder anderen Kommunikationsformen aus.

Q2 3.2.4 Schwingungen	
-	Vergleich von mechanischen und elektromagnetischen Schwingungen unter dem Aspekt der Energieumwandlung
-	Abhängigkeit der Eigenfrequenz eines mechanischen harmonischen Oszillators von verschiedenen Parametern

	Die Lernenden...
S4	bauen Versuchsanordnungen auch unter Verwendung von digitalen Messwerterfassungssystemen nach Anleitungen auf, führen Experimente durch und protokollieren ihre Beobachtungen.
E5	planen geeignete Experimente zur Untersuchung des Zusammenhangs zwischen der Eigenfrequenz und den Parametern eines harmonischen Oszillators.
K8	nutzen ihr Wissen über aus physikalischer Sicht gültige Argumentationsketten zur Beurteilung vorgegebener und zur Entwicklung eigener innerfachlicher Argumentationen.
B5	reflektieren Bewertungen von Technologien und Sicherheitsmaßnahmen oder Risikoeinschätzungen hinsichtlich der Güte des durchgeführten Bewertungsprozesses.

Bildnachweis

Bildtitel	Bildquelle	Seite
Vorstellung einer elektrischen Gravitationsharfe nach Vorbild von Andy Cavatorta	Bild generiert von Dall-E 3 und bearbeitet von Jonas Kratschmar , CC BY SA 4.0 , Lernaufgabe Gravitationsharfe	1
Aufbau der elektrischen Gravitationsharfe	Jonas Kratschmar, CC BY SA 4.0 , Lernaufgabe Gravitationsharfe	2
Funktionsweise eines Tonabnehmers	Jonas Kratschmar, CC BY SA 4.0 , Lernaufgabe Gravitationsharfe	2
Versuchsaufbau	Jonas Kratschmar, CC BY SA 4.0 , Lernaufgabe Gravitationsharfe	3