ZSL
Zentrum für Schulqualität und Lehrerbildung Baden-Württemberg

Gedämpfte und erzwungene Schwingung (LF)

Konzeptionsgruppe Physik 2023

C.-J. Pardall

Überblick

- Gedämpfte Schwingung
  - Grundlagen
  - Umsetzung im Unterricht

- Erzwungene Schwingung
  - Grundlagen
  - Umsetzung im Unterricht

- Überblick über die Materialien

Gedämpfte Schwingung

Gedämpfte Schwingung: Bildungsplan usw.

- BW BP 2016.V2

  „3.6.3 (3) die zeitlich abnehmende *Amplitude* einer *gedämpften Schwingung* mathematisch beschreiben (geschwindigkeitsproportionale Reibung)“

- Jahresplanung: Gedämpfte Schwingungen 3 h

- KMK/IQB: Inhaltliche Vereinbarungen zur Gestaltung der Aufgaben

  „nicht vorausgesetzt: Kenntnisse zum Kriechfall, zum aperiodischen Grenzfall und zur dämpfungsabhängigen Frequenz“

- Abituraufgaben zur mathematischen Beschreibung sind möglich!

  IQB-Beispielaufgabe: Dämpfung von Schwingungen bei Wolkenkratzern

Gedämpfte Schwingung: Fachlicher Hintergrund

für Lehrkräfte, kein Einsatz im Unterricht!

- ungedämpfte harmonische Schwingung (1-dim.):
  Lineare Rückstellkraft $F(t) = -D \cdot s(t)$
  (Voraussetzung für eine einfache analytische Lösung der Dgl.)

- gedämpfte harmonische Schwingung:
  $F(t) = -D \cdot s(t) + F_\mathrm{R}$
  F_R: Reibungskraft, immer entgegen der Bewegungsrichtung

- geschwindigkeitsproportionale Reibung: $F_\mathrm{R} = -k \cdot v(t) = -k \cdot \dot{s}(t)$
  - automatisch immer entgegen der Bewegungsrichtung
  - bei konstanter Reibungskraft oder Luftwiderstand ($F_\mathrm{R} \sim v^2$): abschnittsweise Definition je nach Vorzeichen von v notwendig!

Gedämpfte Schwingung: Fachlicher Hintergrund

für Lehrkräfte, kein Einsatz im Unterricht!

- Differentialgleichung bei geschwindigkeitsproportionaler Reibung:
  $\ddot{s}(t) + \frac{k}{m} \cdot \dot{s}(t) + \frac{D}{m} \cdot s(t) = 0$

- allg. Lösungsfunktion: $s(t) = e^{-\delta \cdot t} \cdot \left(s_1 \cdot e^{i\omega t} + s_2 \cdot e^{-i\omega t}\right)$
  - s_1 und s_2 entspr. der Anfangsbedingungen; $\delta = \frac{k}{2m}$
  - $\omega = \sqrt{{\omega_0}^2 - \delta^2}$ mit $\omega_0 = \sqrt{\frac{D}{m}}$

- ${\omega_0}^2 > \delta^2$: schwache Dämpfung; harmonische (!) Schwingung
  - $s(t) = e^{-\delta \cdot t} \cdot \left(s_1 \cdot e^{i\omega t} + s_2 \cdot e^{-i\omega t}\right) \Rightarrow s(t) = \hat{s}_0 \cdot e^{-\delta \cdot t} \cdot \cos(\omega t + \varphi_0)$
  - $\omega < \omega_0$, d.h. durch die Dämpfung wird T größer!
    aber: für kleine $\delta = \frac{k}{2m}$ ist $\omega \approx \omega_0$ („schwache“ schwache Dämpfung)

Gedämpfte Schwingung: Fachlicher Hintergrund

für Lehrkräfte, kein Einsatz im Unterricht!

Beispiele für $F_\mathrm{R} = -k \cdot v(t)$

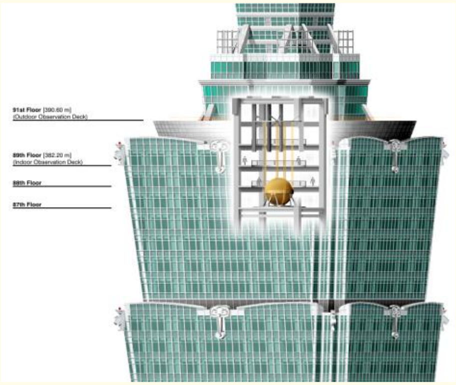
- häufig als Modell, auch wenn $F_\mathrm{R} \neq -k \cdot v$
- Bremsen mit Wirbelströmen: Modell $F_\mathrm{R} = \frac{(Bd)^2}{R} \cdot v$
- Stokes-Reibung für sphärische Körper in Fluiden: $F_\mathrm{R} = 6\pi \cdot r \cdot \eta \cdot v$
  - Voraussetzung: Reynolds-Zahl $Re = \frac{\rho v r}{\eta} \lesssim 1$
  - Tritt selten auf! (z.B. in Luft und Wasser meist Newton-Reibung ($F_\mathrm{R} \sim v^2$)
- laminare Rohrströmungen ($Re = \frac{\rho v d}{\eta} \lesssim 2300$)

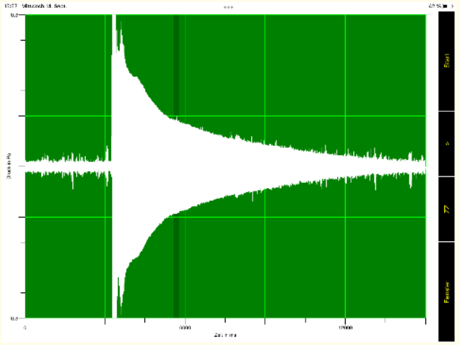
  z.B. Flüssigkeitssäule im U-Rohr

Gedämpfte Schwingung: Kontexte

- Alltagsbeispiele, z.B. als Einstieg:
  Schaukel, Klavier, Stimmgabel

- technische Anwendungen: Stoßdämpfer, Schwingungstilger
  Schwierigkeit: aperiodischer Grenzfall gewünscht!

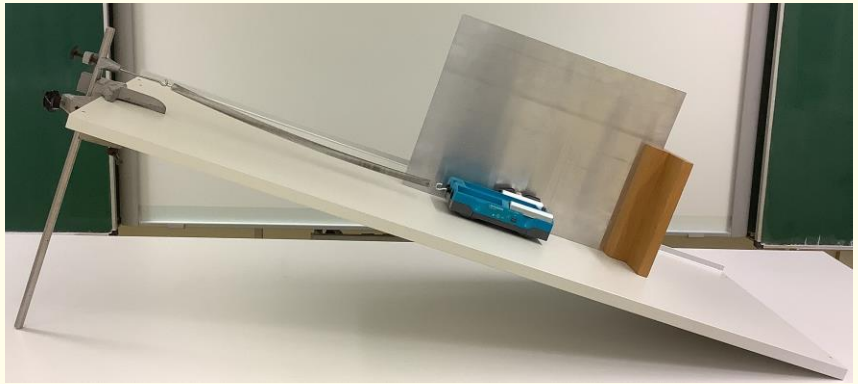


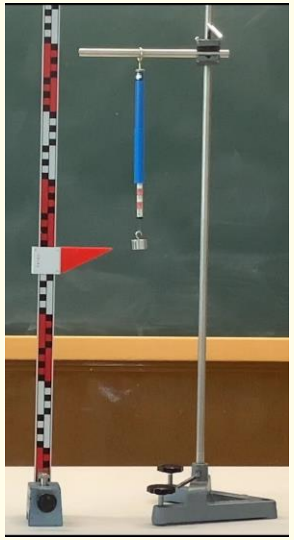


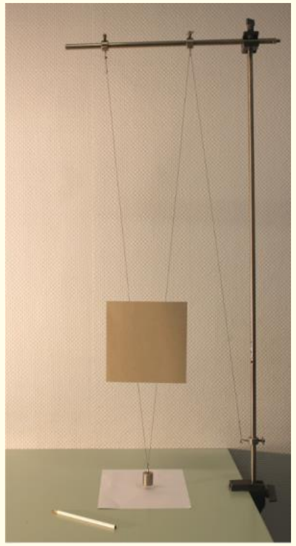
Bildquellen: Schaukel: Bild von Frederik Hake auf Pixabay (27.12.22); Klaviersaiten: von Vlad Vasnetsov auf Pixabay (27.12.22); Screenshot Schallanalysator (https://spaichinger-schallpegelmesser.de/schallanalysator.html): C.-J. Pardall; Stoßdämpfer: Bild von Barbara Bonanno auf Pixabay; (27.12.22); Aufbau Taipeh 101: von Someformofhuman - Eigenes Werk, CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3799263 (27.12.22)

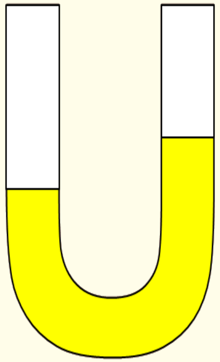
Gedämpfte Schwingung: Experimente

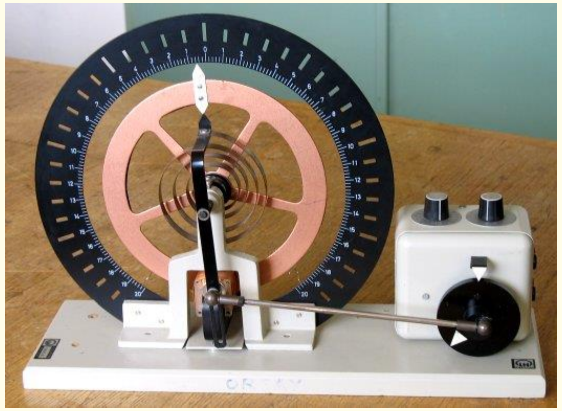
- Federpendel mit Festkörperreibung, Wirbelstrom, Luft, Wasser, Glycerin
  - analog
  - digital: Videoanalyse, Ortsmessung mit Sensor-Rädern, Ultraschall- oder Laser-bewegungssensor, Kraftsensor, Beschleunigungssensor
  - Einsatz der App MechanikZ: https://spaichinger-schallpegelmesser.de/Experimente_MechanikZ.pdf Folien 56-109
- bifilares Fadenpendel mit „Segel“
- Wassersäule im U-Rohr
- Drehpendel nach Pohl











Gedämpfte Schwingung: Mathematisierung

- Kräftebetrachtung bei konstanter Reibungskraft: $F(t) = -D \cdot s(t) + F_\mathrm{R}$
  - Anknüpfen: Reibung (Kl. 10), ungedämpfte Schwingung
  - Diskussion der Richtung von F_R: Amplitudenabnahme, Vorzeichenwechsel

- Kräftebetrachtung bei geschwindigkeitsproportionale Reibung:
  $F(t) = -D \cdot s(t) - k \cdot v(t)$
  - Unterschiede zur konstanten F_R: „automatisch" korrekte Richtung, evtl. Stetigkeit in den Umkehrpunkten

- Man kann die abnehmende Amplitude dann folgendermaßen beschreiben:
  $s(t) = \hat{s} \cdot \cos(\omega \cdot t) \Rightarrow s(t) = \hat{s}_0 \cdot e^{-\delta \cdot t} \cdot \cos(\omega \cdot t)$
  - Diskussion der Anfangsbedingungen und $\delta \sim k$ (qualitativ)
  - keine Diskussion der Frequenzänderung
  - qualitativ: starke Dämpfung ohne periodische Bewegung

Gedämpfte Schwingung: Geogebra-Anwendungen

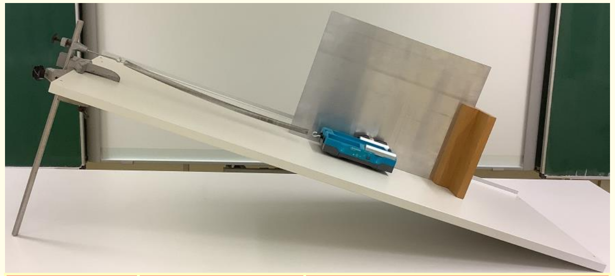
- Gedämpfte Schwingung mit konstanter Reibungskraft
  - Gedämpfte Schwingung mit konstanter Reibungskraft: *s*-*t*-Schaubild
    https://www.geogebra.org/m/p2g8ffet
  - Gedämpfte Schwingung mit konstanter Reibungskraft: *E*-*s*-Schaubild
    https://www.geogebra.org/m/f5zqgtrd
  - Gedämpfte Schwingung mit konstanter Reibungskraft: *E*-*t*-Schaubild
    https://www.geogebra.org/m/hymv4hfu

- Gedämpfte Schwingung mit Reibungskraft proportional zur Geschwindigkeit
  - Gedämpfte Schwingung mit Reibungskraft proportional zu *v*: *s*-*t*-Schaubild
    https://www.geogebra.org/m/ekmsjvwp
  - Gedämpfte Schwingung mit Reibungskraft proportional zu *v*: *E*-*t*-Schaubild:
    https://www.geogebra.org/m/jg88nkwt

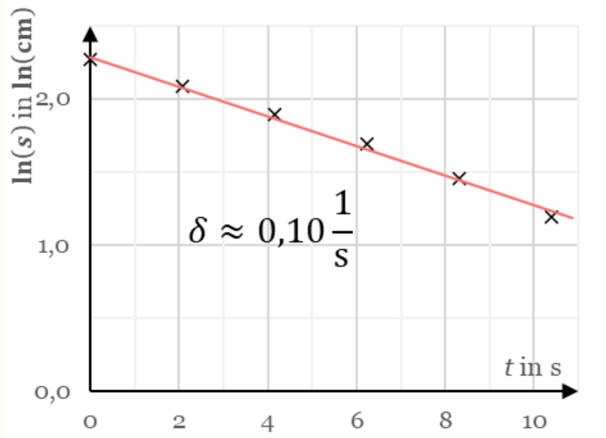
Gedämpfte Schwingung: Mathematisierung

- Nachweis des exponentiellen Zusammenhangs bei einer Messung mit dem WTR
  möglicher Abiturinhalt!

- 1. Möglichkeit: Halblogarithmische Darstellung
  - Linearisieren: $\hat{s}(t) = \hat{s}_0 \cdot e^{-\delta \cdot t} \Longrightarrow \ln\big(\hat{s}(t)\big) = -\delta \cdot t + \ln(\hat{s}_0)$
  - Liste 1: $n \cdot T$; Liste 2: $\hat{s}(n \cdot T)$
  - Liste 3: $\ln(\text{Liste 2})$
  - Darstellung in $\ln\big(\hat{s}(n \cdot T)\big)$-$t$-Diagramm:
    - näherungsweise linear $\Longrightarrow$ sinnvolle Modellierung
    - $-\delta \mathrel{\widehat{=}}$ Steigung im Diagramm
  - Alternativ: Lineare Regression „$ax + b$“



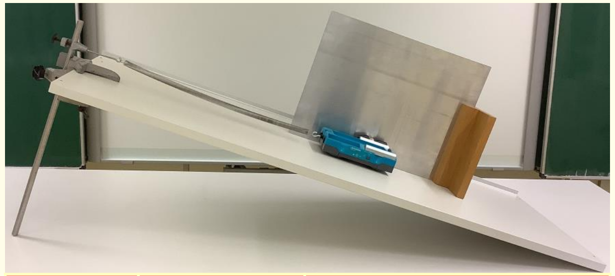
t in s	$\hat{s}$ in cm	$\ln(\hat{s})$ in $\ln(\text{cm})$
0	9,7	2,27
2,08	8,1	2,09
4,16	6,6	1,89
6,24	5,4	1,69
8,32	4,3	1,46
10,40	3,3	1,19



Gedämpfte Schwingung: Mathematisierung

- Nachweis des exponentiellen Zusammenhangs bei einer Messung mit dem WTR
möglicher Abiturinhalt!

- 2. Möglichkeit: Regression mit Exponentialfunktion
  - Liste 1: $n \cdot T$; Liste 2: $\hat{s}(n \cdot T)$
  - Regression „$ab\hat{}x$“
  - Vergleich von gemessenen und berechneten Werten: kleine Abweichungen $\Longrightarrow$ sinnvolle Modellierung
  - Bestimmen der Dämpfungskonstante δ: Vergleich WTR-Darstellung und math. Ansatz: $a \cdot b^x = \hat{s}_0 \cdot e^{-\delta \cdot t} \Longrightarrow \delta = -\ln(b)$



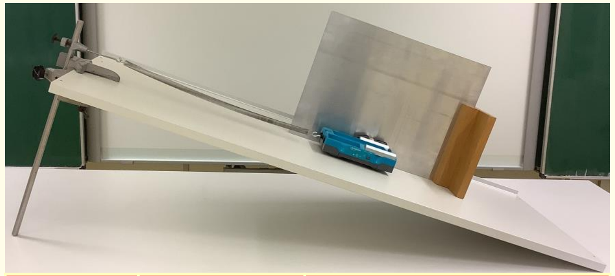
t in s	$\hat{s}$ in cm	$\hat{s}_{reg}$ in cm
0	9,7	9,95
2,08	8,1	8,06
4,16	6,6	6,53
6,24	5,4	5,28
8,32	4,3	4,28
10,40	3,3	3,46

WTR
Regression mit $a \cdot b^x$ ergibt:
$a \approx 9{,}953$; $b \approx 0{,}9035$
Messwerte und berechnete Werte stimmen gut überein.
$\delta = -ln(b) \approx 0{,}10 \frac{1}{s}$

Gedämpfte Schwingung: Mathematisierung

- Nachweis des exponentiellen Zusammenhangs bei einer Messung mit dem WTR
  möglicher Abiturinhalt!

- 3. Möglichkeit: Quotientenbildung $\frac{\hat{s}_n}{\hat{s}_{n+1}}$
  - Theorie: $\frac{\hat{s}_n}{\hat{s}_{n+1}} = \frac{\hat{s}_0 \cdot e^{-\delta \cdot n \cdot T}}{\hat{s}_0 \cdot e^{-\delta \cdot (n+1) \cdot T}} = \frac{1}{e^{-\delta \cdot T}} = e^{\delta \cdot T}$ konstant!
  - $\frac{\hat{s}_n}{\hat{s}_{n+1}}$ für alle n näherungsweise konstant $\Longrightarrow$ sinnvolle Modellierung
  - Bestimmen der Dämpfungskonstante δ:
    $\delta = \frac{\ln\left(\overline{\frac{\hat{s}_n}{\hat{s}_{n+1}}}\right)}{T}$ mit $\overline{\frac{\hat{s}_n}{\hat{s}_{n+1}}}$: Mittelwert über alle Quotienten

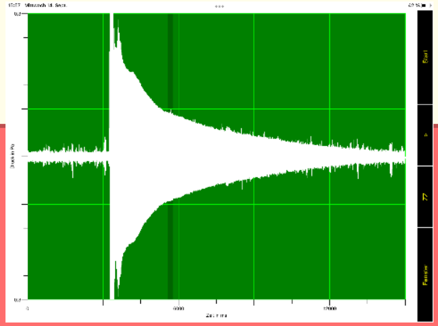


t in s	$\hat{s}$ in cm	$\frac{\hat{s}_n}{\hat{s}_{n+1}}$
0	9,7	1,20
2,08	8,1	1,23
4,16	6,6	1,22
6,24	5,4	1,26
8,32	4,3	1,30
10,40	3,3	-

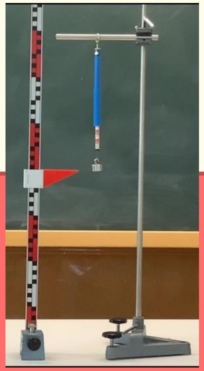
Die Quotienten sind fast konstant.
Mittelwert: 1,24
$\delta = \frac{ln(1{,}24)}{2{,}08\ \mathrm{s}} \approx 0{,}10\,\frac{1}{\mathrm{s}}$

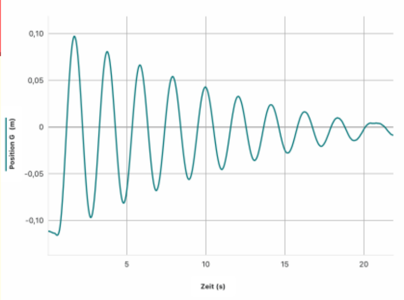
Gedämpfte Schwingung: Struktur des Lernprozesses

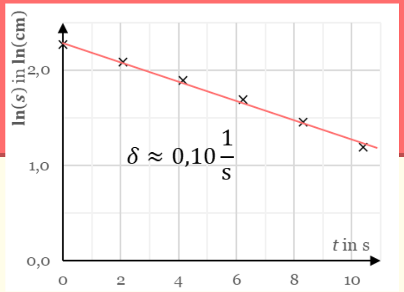
Kontextbezug schaffen



Modellierung und Mathematisierung







Anschluss zur erzwungenen Schwingung

Bildquellen:
Schaukel: Bild von Frederik Hake auf Pixabay (27.12.22); Klaviersaiten: von Vlad Vasnetsov auf Pixabay (27.12.22); Screenshots (https://spaichinger-schallpegelmesser.de/schallanalysator.html), Kraftmesser-Pendel, Pendel auf schiefer Ebene: C.-J. Pardall CC BY 4.0

Erzwungene Schwingung

Erzwungene Schwingung: Bildungsplan usw.

- BW BP 2016.V2

  „3.6.3 (10) Resonanz bei erzwungenen Schwingungen beschreiben (*Eigenfrequenz, Erregerfrequenz*)“

- Jahresplanung: Erzwungene Schwingungen 3 h

- KMK/IQB: Inhaltliche Vereinbarungen zur Gestaltung der Aufgaben

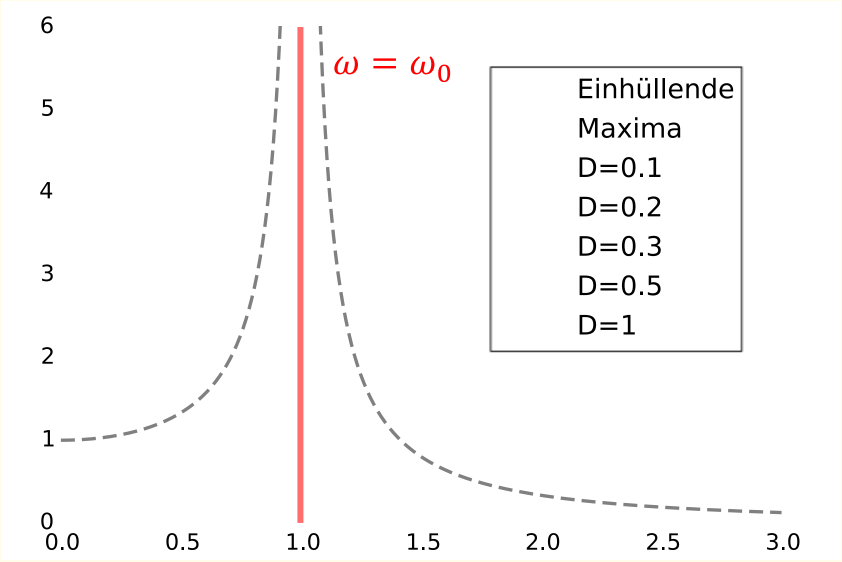
  „Zusätzliche Inhalte für das erhöhte Anforderungsniveau:
  Resonanz bei erzwungenen Schwingungen (nur phänomenologische Betrachtung)“

Erzwungene Schwingung: Fachlicher Hintergrund

für Lehrkräfte, kein Einsatz im Unterricht!

- sinusförmige Anregung einer gedämpften Schwingung
  - Kräftebetrachtung und Differentialgleichung:
    $F(t) = -D \cdot s(t) - k \cdot \dot{s}(t) + \hat{F}_{\text{ext}} \cdot \cos(\omega t)$
  - Beobachtung: Nach einer Einschwingphase schwingt das System phasenverschoben mit der Erregerfrequenz: $s(t) = \hat{s} \cdot \cos(\omega t + \varphi)$
  - $\Longrightarrow \hat{F}_{\text{ext}} \cdot \cos(\omega t) = (D - m\omega^2) \cdot \hat{s}\cos(\omega t + \varphi) - k\omega \cdot \hat{s}\sin(\omega t + \varphi)$

- Resonanz $\Leftrightarrow$ Energieaufnahme maximal
  - $P = F_{\text{ext}} \cdot \dot{s}$ maximal $\Longrightarrow \varphi = -\frac{\pi}{2}$ und $\omega^2 = \frac{D}{m} = {\omega_0}^2$
  - Alternativ: Resonanz $\Leftrightarrow$ maximale Amplitude
    $\omega_{\mathrm{R}} = \sqrt{{\omega_0}^2 - \frac{1}{2}\left(\frac{k}{m}\right)^2}$, d.h. $\omega_{\mathrm{R}} < \omega_0$



Resonanzkurve für verschiedene Dämpfungen mit $D = \frac{k}{2m}$

Bildquelle: Geek3 (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mplwp resonance D envelope.svg), „Mplwp resonance D envelope“, Ergänzung $\omega = \omega_0$: C.-J. Pardall, https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/legalcode (27.12.22)

Erzwungene Schwingung: Fachlicher Hintergrund

für Lehrkräfte, kein Einsatz im Unterricht!

- Resonanzkatastrophe
  - ständig $\Delta E_{\mathrm{auf}} > \Delta E_{\mathrm{ab}} \implies \hat{s}$ und E_{ges} nehmen immer weiter zu $\implies$ Zerstörung des Systems
  - Ursache: Dämpfung zu klein, sodass es keinen Gleichgewichtszustand gibt
  - häufig verursacht durch Rückkopplungseffekte
    - Bsp.: Millennium Bridge London
      Fußgänger synchronisieren ihre Schritte
    - Bsp.: Tacoma Bridge – komplex!
      Auslöser ist die Resonanz bei einer Luftströmung,
      nicht die Resonanz der Brücke selbst

Millenium Bridge London

Bildquelle: Jan Kameníček (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:London Millennium Bridge from Saint Paul's.jpg), „London Millennium Bridge from Saint Paul's", https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode (22.11.22)

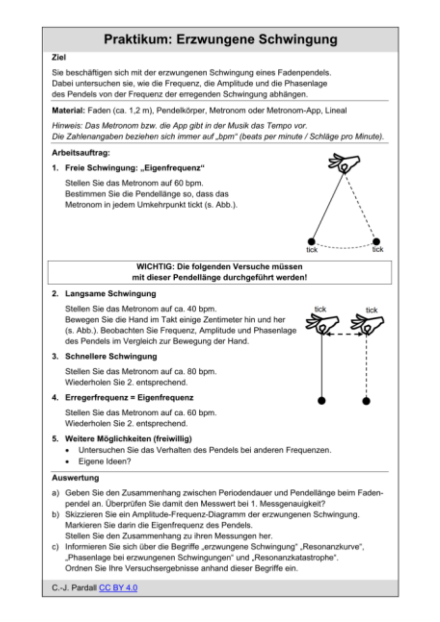
Erzwungene Schwingung: Kontexte

- Schaukeln
- Kann man ein Glas „zersingen“?
- Resonanzkatastrophen und Schwingungstilger
- Prinzip der Magnetresonanztomographie
- elektrodynamischer Lautsprecher
- Analogie angeregter Schwingkreis: RFID, induktives Laden

Erzwungene Schwingung: Experimente

- Heimexperiment: Resonanz beim Fadenpendel
- gedämpftes Federpendel mit Aufhängungskopplung

- Drehpendel nach Pohl
- Modellexperimente zur Magnetresonanztomografie
- Kennlinie eines Basslautsprechers
- Analogie elektromagnetische Schwingung: Siebkette mit veränderbarer Kapazität
- mögliche Vertiefung: gekoppelte Pendel



Praktikum: Erzwungene Schwingung

Ziel

Sie beschäftigen sich mit der erzwungenen Schwingung eines Fadenpendels.
Dabei untersuchen sie, wie die Frequenz, die Amplitude und die Phasenlage des Pendels von der Frequenz der erregenden Schwingung abhängen.

Material: Faden (ca. 1,2 m), Pendelkörper, Metronom oder Metronom-App, Lineal

Hinweis: Das Metronom bzw. die App gibt in der Musik das Tempo vor.
Die Zahlenangaben beziehen sich immer auf „bpm" (beats per minute / Schläge pro Minute).

Arbeitsauftrag:

1. **Freie Schwingung: „Eigenfrequenz"**
   Stellen Sie das Metronom auf 60 bpm.
   Bestimmen Sie die Pendellänge so, dass das Metronom in jedem Umkehrpunkt tickt (s. Abb.).

tick tick

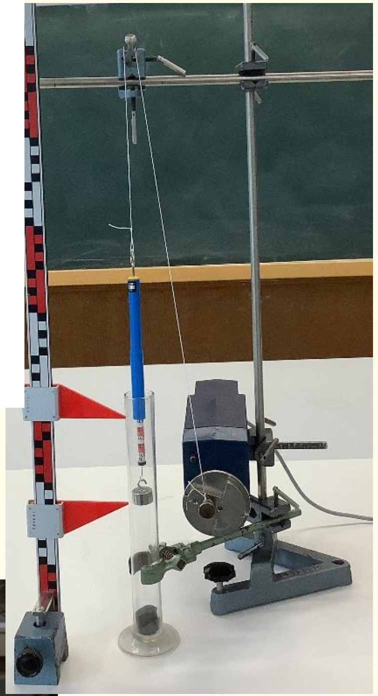
WICHTIG: Die folgenden Versuche müssen mit dieser Pendellänge durchgeführt werden!

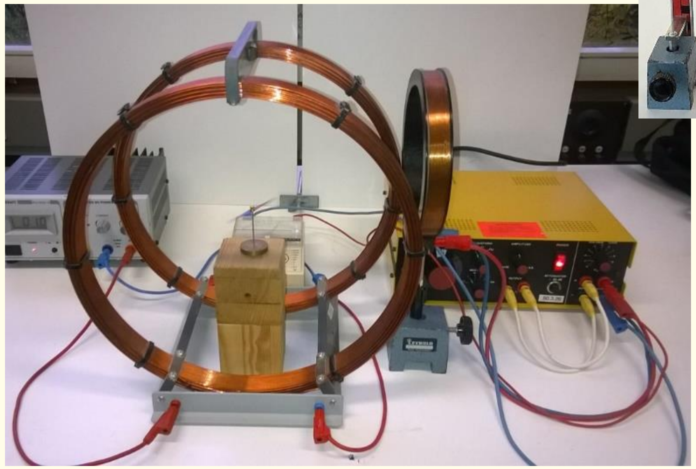
2. **Langsame Schwingung**
   Stellen Sie das Metronom auf ca. 40 bpm.
   Bewegen Sie die Hand im Takt einige Zentimeter hin und her (s. Abb.). Beobachten Sie Frequenz, Amplitude und Phasenlage des Pendels im Vergleich zur Bewegung der Hand.
3. **Schnellere Schwingung**
   Stellen Sie das Metronom auf ca. 80 bpm.
   Wiederholen Sie 2. entsprechend.
4. **Erregerfrequenz = Eigenfrequenz**
   Stellen Sie das Metronom auf ca. 60 bpm.
   Wiederholen Sie 2. entsprechend.
5. **Weitere Möglichkeiten (freiwillig)**
   - Untersuchen Sie das Verhalten des Pendels bei anderen Frequenzen.
   - Eigene Ideen?

tick tick

Auswertung

a) Geben Sie den Zusammenhang zwischen Periodendauer und Pendellänge beim Fadenpendel an. Überprüfen Sie damit den Messwert bei 1. Messgenauigkeit?
b) Skizzieren Sie ein Amplitude-Frequenz-Diagramm der erzwungenen Schwingung. Markieren Sie darin die Eigenfrequenz des Pendels. Stellen Sie den Zusammenhang zu ihren Messungen her.
c) Informieren Sie sich über die Begriffe „erzwungene Schwingung" „Resonanzkurve", „Phasenlage bei erzwungenen Schwingungen" und „Resonanzkatastrophe". Ordnen Sie Ihre Versuchsergebnisse anhand dieser Begriffe ein.





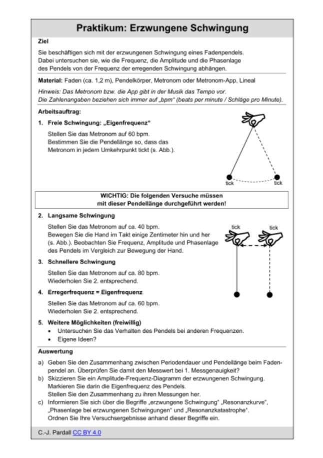
Erzwungene Schwingung: Geogebra-Anwendungen

- Erzwungene mechanische Schwingungen
  mit Reibungskraft proportional zur Geschwindigkeit
  - Erzwungene Schwingung: *s*-*t*-Schaubild
    https://www.geogebra.org/m/x4uavxdw
  - Erzwungene Schwingung: Amplitude-Frequenz-Schaubild
    https://www.geogebra.org/m/fvxkyvtb
  - Erzwungene Schwingung: Phasenverschiebung-Frequenz-Schaubild
    https://www.geogebra.org/m/kszvdtjt

Erzwungene Schwingung: Struktur des Lernprozesses

Resonanz beschreiben
und erklärbar machen

Anschluss an
gedämpfte
Schwingung



Praktikum: Erzwungene Schwingung

Ziel

Sie beschäftigen sich mit der erzwungenen Schwingung eines Fadenpendels.
Dabei untersuchen sie, wie die Frequenz, die Amplitude und die Phasenlage des Pendels von der Frequenz der erregenden Schwingung abhängen.

Material: Faden (ca. 1,2 m), Pendelkörper, Metronom oder Metronom-App, Lineal

Hinweis: Das Metronom bzw. die App gibt in der Musik das Tempo vor.
Die Zahlenangaben beziehen sich immer auf „bpm" (beats per minute / Schläge pro Minute).

Arbeitsauftrag:

1. **Freie Schwingung: „Eigenfrequenz"**
   Stellen Sie das Metronom auf 60 bpm.
   Bestimmen Sie die Pendellänge so, dass das Metronom in jedem Umkehrpunkt tickt (s. Abb.).

tick tick

WICHTIG: Die folgenden Versuche müssen mit dieser Pendellänge durchgeführt werden!

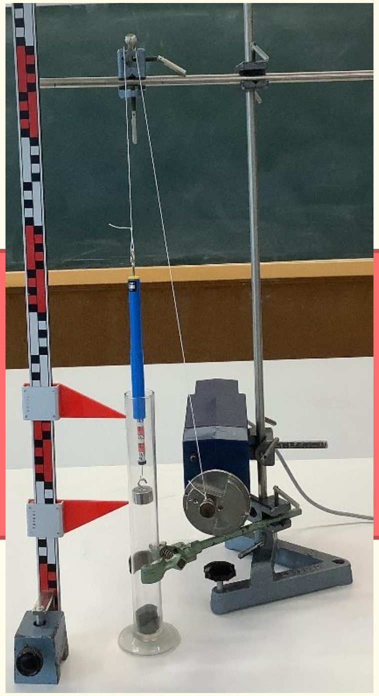
2. **Langsame Schwingung**
   Stellen Sie das Metronom auf ca. 40 bpm.
   Bewegen Sie die Hand im Takt einige Zentimeter hin und her (s. Abb.). Beobachten Sie Frequenz, Amplitude und Phasenlage des Pendels im Vergleich zur Bewegung der Hand.
3. **Schnellere Schwingung**
   Stellen Sie das Metronom auf ca. 80 bpm.
   Wiederholen Sie 2. entsprechend.
4. **Erregerfrequenz = Eigenfrequenz**
   Stellen Sie das Metronom auf ca. 60 bpm.
   Wiederholen Sie 2. entsprechend.
5. **Weitere Möglichkeiten (freiwillig)**
   - Untersuchen Sie das Verhalten des Pendels bei anderen Frequenzen.
   - Eigene Ideen?

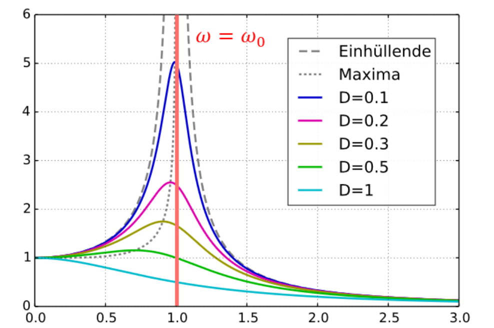
tick tick

Auswertung

a) Geben Sie den Zusammenhang zwischen Periodendauer und Pendellänge beim Fadenpendel an. Überprüfen Sie damit den Messwert bei 1. Messgenauigkeit?
b) Skizzieren Sie ein Amplitude-Frequenz-Diagramm der erzwungenen Schwingung. Markieren Sie darin die Eigenfrequenz des Pendels. Stellen Sie den Zusammenhang zu ihren Messungen her.
c) Informieren Sie sich über die Begriffe „erzwungene Schwingung" „Resonanzkurve", „Phasenlage bei erzwungenen Schwingungen" und „Resonanzkatastrophe". Ordnen Sie Ihre Versuchsergebnisse anhand dieser Begriffe ein.

C.-J. Pardall CC BY 4.0





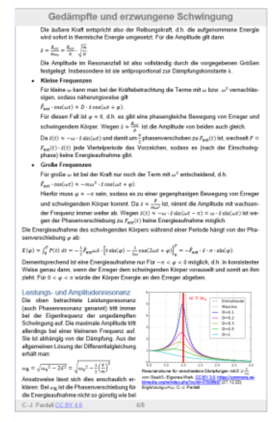
komplexe
Kontexte
zugänglich
machen

Bildquellen:
Schaukel: Bild von Frederik Hake auf Pixabay (27.12.22); Anleitung Fadenpendel, Kraftmesser-Pendel: C.-J. Pardall CC BY 4.0; Resonanzkurve für verschiedene Dämpfungen mit $D = \frac{k}{2m}$: Geek3 (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mplwp resonance D envelope.svg), „Mplwp resonance D envelope", Ergänzung $\omega = \omega_0$: C.-J. Pardall, https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/legalcode (27.12.22); Millenium Bridge London: Jan Kameníček (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:London Millennium Bridge from Saint Paul's.jpg), „London Millennium Bridge from Saint Paul's", https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode (22.11.22); Zerstörung eines Weinglases mit einem Lautsprecher: Acs272 (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Breaking glass with sound using resonance.png), Ausschnitt von C.-J. Pardall, https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode (22.11.22)

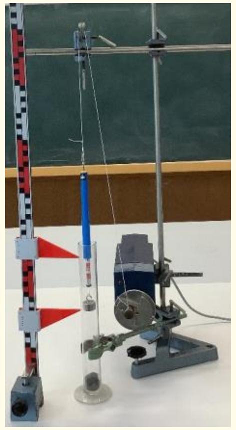
Überblick über die Materialien: Schwingungen

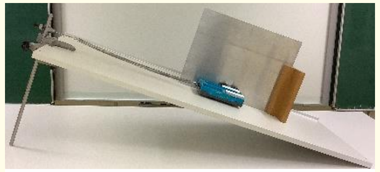
Hintergrund und Überblick

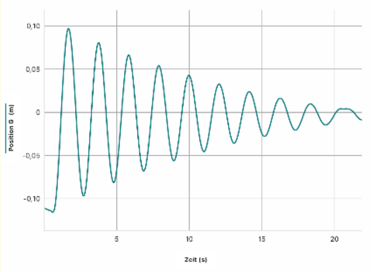
- Gedämpfte und erzwungene Schwingung: Fachlicher Hintergrund (3102_hintergrund_schwingungen)



- Gedämpfte und erzwungene Schwingung: Unterrichtshilfen (3103_unterricht_schwingungen)
  - Bezug zu Bildungsplan, Jahresplanung und IQB-Materialien
  - Kontexte
  - mögliche Experimente
  - Struktur des Lernprozesses
  - Hinweise zum Unterricht: Methodisches, …

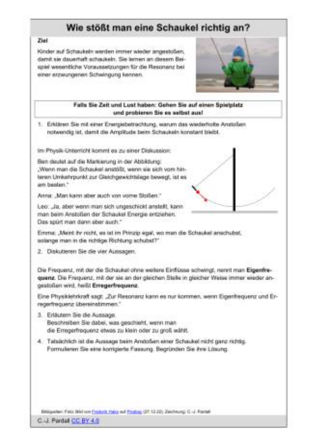






Überblick über die Materialien: Schwingungen

- Materialien zur Schüleraktivierung: AB, Praktikum, …



Wie stößt man eine Schaukel richtig an?

Ziel

Kinder auf Schaukeln werden immer wieder angestoßen, damit sie dauerhaft schaukeln. Sie lernen an diesem Beispiel wesentliche Voraussetzungen für die Resonanz bei einer erzwungenen Schwingung kennen.

Falls Sie Zeit und Lust haben: Gehen Sie auf einen Spielplatz und probieren Sie es selbst aus!

1. Erklären Sie mit einer Energiebetrachtung, warum das wiederholte Anstoßen notwendig ist, damit die Amplitude beim Schaukeln konstant bleibt.

Im Physik-Unterricht kommt es zu einer Diskussion:

Ben deutet auf die Markierung in der Abbildung: „Wenn man die Schaukel anstößt, wenn sie sich vom hinteren Umkehrpunkt zur Gleichgewichtslage bewegt, ist es am besten."

Anna: „Man kann aber auch von vorne Stoßen."

Leo: „Ja, aber wenn man sich ungeschickt anstellt, kann man beim Anstoßen der Schaukel Energie entziehen. Das spürt man dann aber auch."

Emma: „Meint ihr nicht, es ist im Prinzip egal, wo man die Schaukel anschubst, solange man in die richtige Richtung schubst?"

2. Diskutieren Sie die vier Aussagen.

Die Frequenz, mit der die Schaukel ohne weitere Einflüsse schwingt, nennt man **Eigenfrequenz**. Die Frequenz, mit der sie an der gleichen Stelle in gleicher Weise immer wieder angestoßen wird, heißt **Erregerfrequenz**.

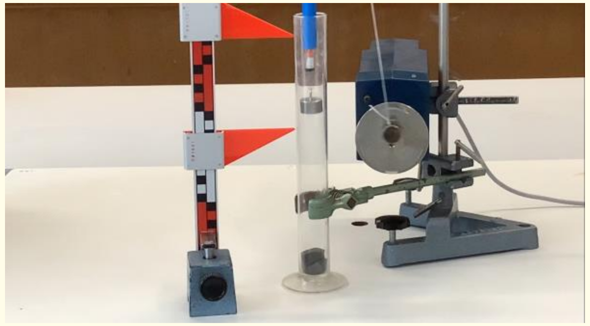
Eine Physiklehrkraft sagt: „Zur Resonanz kann es nur kommen, wenn Eigenfrequenz und Erregerfrequenz übereinstimmen."

3. Erläutern Sie die Aussage. Beschreiben Sie dabei, was geschieht, wenn man die Erregerfrequenz etwas zu klein oder zu groß wählt.
4. Tatsächlich ist die Aussage beim Anstoßen einer Schaukel nicht ganz richtig. Formulieren Sie eine korrigierte Fassung. Begründen Sie Ihre Lösung.

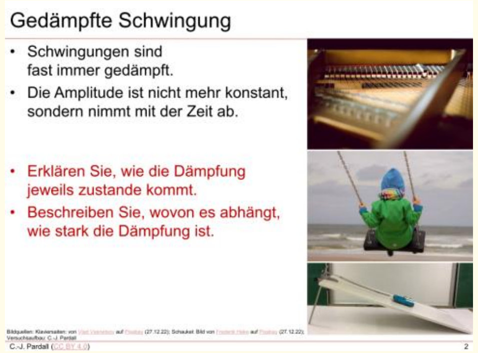
Bildquellen: Foto: Bild von Frederik Haks auf Pixabay (27.12.22); Zeichnung: C.-J. Pardall

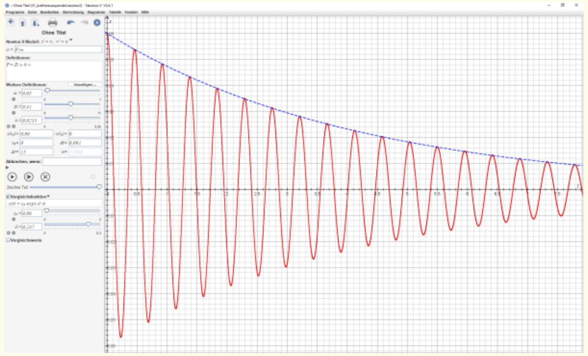
C.-J. Pardall CC BY 4.0

- Stumme Videos



- Präsentation, Modellierung





Überblick über die Materialien: Schwingungen

- 3110_loesungshinweise_schwingungen
- 3111_up_gedaempfte_schwingung: Unterrichtspräsentation zum Einstieg
- 3112_kraftmesserpendel.mp4: Stummes Video – Kraftmesserpendel
- 3113_kraftmesserpendel.newton2: Newton-II-Simulation
- 3114_praktikum_gedaempfte_schwingung: Praktikum zur gedämpften Schwingung

- 3115_ab_erwungene_schaukel: Arbeitsblatt zum Einstieg
- 3116_praktikum_resonanz_pendel: Praktikum zur Resonanz beim Fadenpendel
- 3117_erzwungene_schwingung.mp4:
  Stummes Video – erzwungene Schwingung beim Kraftmesserpendel

