

1. Wiederholung – Bewegungsformen:

Translation: fortschreitende Bewegung von A nach B – Bahn wird einmal durchlaufen; gleichförmig oder beschleunigt

Rotation : Kreisbahn – wird mehrmals in gleicher Richtung durchlaufen; meist gleichförmig kann aber auch beschleunigt sein

Schwingung: Bewegung zwischen A und B; Bahn wird mehrmals (periodisch) durchlaufen;
immer beschleunigte Bewegung!

2. Definition: Eine Schwingung ist ein Vorgang, bei welchem sich physikalische Größen zeitlich-periodisch ändern.

Bei mechanischen Schwingungen sind dies mechanische Größen (y ; v , α), bei elektromagnetischen Schwingungen elektrische/magnetische Größen (u ; i ; E , B usw.)

2. Begriffe: **Nullage/Nullpunkt:** Dies ist die Lage bzw. der Punkt, in welchem sich der Schwinger zuerst befindet, wenn er in Ruhe (ohne Schwingungsenergie) ist. Während des Schwingens ist hier die Geschwindigkeit am größten.

Umkehrpunkte.: Punkte zwischen welchen sich der Körper hin und her bewegt. Hier ist die Geschwindigkeit Null.

3. Vier Kenngrößen beschreiben eine Schwingung:

Elongation / Auslenkung y : Momentanwert der sich verändernden physikalischen Größe (augenblicklicher Abstand von der Nullage.)

Amplitude Y_{\max} : Maximalwert der Elongation (Maximalwert der sich verändernden Größe) - von zugeführter Energie abhängig

Periodendauer (Periode) T : Dauer einer vollen Schwingung (Auch Schwingungsdauer genannt)

Frequenz f : Anzahl der Schwingungen pro Sekunde) Periode und Frequenz sind reziproke Werte. $f = 1 / T$; $T = 1 / f$

Wenn ein Körper schwingen soll, muß er durch eine Kraft aus seinem Ruhezustand (seiner Ruhelage) ausgelenkt werden. Es muß aber auch eine **rücktreibende Kraft** existieren, die den Schwinger wieder rückwärts bewegt.

Gleichungen: **Federschwinger:** $T = 2 * \pi * \sqrt{m / k}$, **Pendelschwinger:** $T = 2 * \pi * \sqrt{l / g}$

U-Rohr $T = 2 * \pi * \sqrt{m / 2 * A * \rho * g}$

4. Energie

Der schwingende Körper wird mit Hilfe einer Kraft längs eines Weges bewegt \rightarrow also wird Arbeit $W = F * s$ verrichtet.

Dem Schwinger muß zunächst Energie zugeführt werden. Dies ist die Energie des Schwingers. Diese Energie bewegt dann den Schwinger solange, bis durch Energieverluste (Reibung, Luftwiderstand etc.) der Schwinger diese Energie an die Umgebung abgegeben hat und damit zum Stillstand kommt.

Bei mechanischen Schwingungen finden fortwährende Umwandlungen zwischen kinetischer und potentieller Energie statt.

Nullage : $h = 0 \rightarrow E_{\text{pot}} = 0$

$E_{\text{pot}} \leftrightarrow E_{\text{kin}}$

Umkehrpunkte : $v = 0 \rightarrow E_{\text{kin}} = 0$

Außerdem treten Energieverluste auf \rightarrow gedämpfte Schwingungen; bei ungedämpften Schwingungen muss der Energieverlust Ersetzt werden durch Energiezuführung.

Bemerkungen / Experimente usw.

Fadenpendel, Federschwinger, Stimmgabel, U-Röhrchen

Magneten in Reagenzglas, Torsionsstab, Lineal

Demonstration am Fadenpendel

Messung der Periode Pendelschwinger \Rightarrow relativer Fehler
...was ist eine volle Schwingung ?

Berechnung der Frequenz

Amplitude abhängig von Energie \Rightarrow Maß für Energie

\rightarrow Einheiten !!

Rücktreibende Kräfte bei Pendelschwinger und Federschwinger

Rechenübungen mit verschiedenen .ges. Größen
(m ; l ; g ; k)

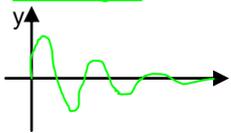
Skizze Energieumwandlung mit Erarbeitung in Nullage und Umkehrpunkten

Vorinformation : Grafische Darstellung als Sinuskurve
Kurzdemoexperiment mit Sandpendel / Tafellauf

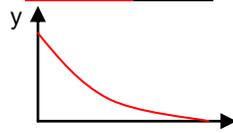
Graphen als Skizze

Gedämpfte Schwingung : Die Energieverluste werden nicht ausgeglichen \rightarrow die Amplitude wird kleiner bis auf Null!
Je nachdem, wie stark die Energieverluste sind ist die Dämpfung stärker \rightarrow Schwingung hört schnell auf; oder schwächer
 \rightarrow Schwingung bleibt längere Zeit bestehen

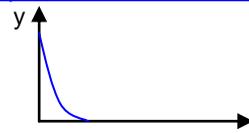
Schwingfall



Kriechfall



aperiodischer Grenzfall (Kriechfall bei minimaler Zeit –wichtig für Stoßdämpfer z.B.)



Ungedämpfte Schwingung: Die Energieverluste werden genau ausgeglichen \rightarrow die Amplitude bleibt konstant!
Ist die zugeführte Energie größer als der Verlust, nimmt die Gesamtenergie (und damit die Amplitude) zu ; der Schwinger kann zerstört werden !

5. Die harmonische Schwingung und ihre grafische Darstellung / Gleichungen für s ; v ; a

Definition:

Harmonische Schwingung : Schwingung, deren periodische Zustandsänderung durch eine Sinus –Kosinusfunktion beschrieben werden kann. Bei ihnen ist die rücktreibende Kraft der Auslenkung proportional.

Harmonischer Oszillator : Ein System, welches harmonische Schwingungen durchführen kann.

Beispiele : Federpendel, U-Rohr.,
Schwingungen, welche durch eine gleichförmige Kreisbewegung hervorgerufen werden (Kolben in Motoren ..)

Pendelschwinger nur für kleine Winkel ,da hier $\sin \alpha \approx \text{arc } \alpha$ (bis ca. 10°)

Gleichungen :

Weg – Zeit – Gesetz : $y = y_{\max} \cdot \sin (\omega \cdot t)$;

Geschwindigkeit – Zeit –Gesetz : $v = \omega \cdot y_{\max} \cdot \cos (\omega \cdot t)$ bzw.

$$V = v_{\max} \cdot \cos (\omega \cdot t)$$

Beschleunigung – Zeit – Gesetz : $a = -\omega^2 \cdot y_{\max} \cdot \sin (\omega \cdot t)$ bzw.

$$a = -a_{\max} \cdot \sin (\omega \cdot t)$$

Bei diesen Gleichungen wird vorausgesetzt (zur Vereinfachung) ,daß zum Zeitpunkt $t = 0$ auch die Elongation $y = 0$ ist ! Sonst muß als Argument nicht $(\omega \cdot t)$ sondern $(\omega \cdot t + \varphi_0)$ verwendet werden !!

Verschiedene Übungen zur Berechnung (ges.: $y ; y_{\max} ; T ; f ; \dots$)

Grafische Darstellung der Schwingung $y = f(t)$

a) vorgegeben : y_{\max} und T bzw., $f \rightarrow$ Graph

b) vorgegeben Graph \rightarrow Herauslesen von y_{\max} und T bzw., f

verschiedene Abklingformen ,je nachdem, wie Verluste sich zur Amplitude verhalten (linear oder nicht etc.)
 \rightarrow abbremsende Kraft unabhängig von Amplitude (Geschwindigkeit) $\rightarrow y_{\max}$ nimmt als **arithmetische Folge** ab (z.B. Körperreibung)

\rightarrow abbremsende Kraft abhängig von Amplitude (Geschwindigkeit) $\rightarrow y_{\max}$ nimmt als **geometrische Folge** ab (z.B. Luftwiderstand)

Hüllkurvenfunktion:

$$y = y_0 \cdot e^{-\delta t} ; \delta : \text{Abklingkonstante in s}$$

Nach dem Hookschen Gesetz ist bei allen elastischen Verformungen $F \approx s \rightarrow$ jeder elastische Körper kann harmonische Schwingungen durchführen

Sandpendelexperiment / Motormodell zur

Erläuterung $y = f(\alpha) = a \cdot \sin \alpha \rightarrow$
aus Verhältnis :

$$\alpha / 2\pi = t / T \quad \text{folgt : } \alpha = 2\pi \cdot t / T \rightarrow$$

$$2\pi / T = \omega \rightarrow$$

$$\alpha = \omega \cdot t$$

$$v_{\max} = y_{\max} \cdot \omega$$

$$a_{\max} = y_{\max} \cdot \omega^2$$

φ_0 : Nullphasenwinkel
(Winkel zur Zeit $t = 0$)

6. Erzwungene Schwingungen

Freie Schwingung : Schwingung, welche nach einmaliger Energiezufuhr frei schwingt
 T / f richtet sich nach den behandelten Gleichungen
Erzwungene Schwingung : Schwingung, der ständig periodisch Energie zugeführt wird T, f kann von der
 Frequenz der Erregerschwingung beeinflusst werden ! (Kolben richtet sich nach
 Drehzahl, Nähmaschinennadel ...ect.)

Eigenfrequenz f_0 : Frequenz der freien Schwingung des beeinflussten Schwingers
Erregerfrequenz f_e : Frequenz des Schwingers, welcher periodisch die Energie liefert

Kopplung : Energetische Verbindung zwischen den Schwingern; → kann mechanischer Art sein
 aber auch magnetisch oder elektrisch oder kombiniert sein !
 → feste Kopplung --viel kann Energie in kurzer Zeit übertragen werden
 → lose Kopplung .. es wird weniger Energie in mehr Zeit übertragen

Resonanz : Übereinstimmung von Erregerfrequenz und Eigenfrequenz $f_e = f_0$
 Bei Resonanz kommt es zu einer erheblichen **Verstärkung der Amplitude** → dabei kann es
 zur **Zerstörung des Schwingers** kommen.

Erwünschte Resonanz	Unerwünschte Resonanz
Gehör ,Senderauswahl bei TV usw. ,Resonanzkörper bei Musikinstrumenten (Größe in Relation zu Tonhöhen /Frequenzen)	Klappern von Fahrzeugteilen Wolga/Trabant u.a. Gebäude und Brücken usw.

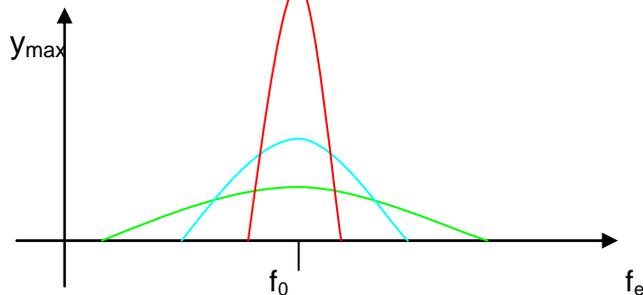
Um erwünschte Resonanzen zu erzielen muß man :

- a) die Frequenzen der Schwinger anpassen
- b) Kopplung fester machen und
- c) gegebenenfalls die Dämpfung verringern!

Um unerwünschte Resonanzen zu vermeiden kann man:

- a) Verändern von Erreger- bzw. Eigenfrequenz : Masse oder Abmessungen ändern, Drehzahlen im Resonanzbereich vermeiden usw.(kein Resonanzfall mehr) kein Gleichschritt auf Brücken oder bei Krankentrage
- b) Verringern der Kopplung (z.B. schalldämpfende Stoffe zwischen die Schwinger → Ohropax ,Vakuumfenster ...)
- c) Vergrößern der Dämpfung

Resonanzkurve



Demonstration : Pendelschwinger

Demonstration : Kolben der Dampfmaschine und mit der Hand Pendelschwinger bewegen

Demonstration : Federschwinger mit Elektromagneten(zuerst Schüler)

Stimmgabeln : a → a ; a → C
 Klopfen auf verschieden große Materialien :

Wieso können wir hören?

Wieso klingt z.B. Klopfen auf verschiedenen Körpern unterschiedlich ?

Drumset stimmen

Stimmgabel mit Zusatzmasse

Schwebungen entstehen bei der Überlagerung von Schwingungen fast gleicher Frequenz :
 Summe und Differenz der Einzelfrequenzen
 Demonstration Gitarrestimmen (mit Verstärker !)

Bedeutung von Resonanzkurven z.B. bei Klangregelungen (Equalizer oder nur Höhen / Tiefen

Feedbackkiller