

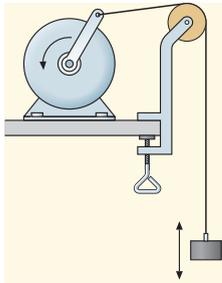
5.4 Erzwungene Schwingungen

„Innerhalb weniger Minuten konnte ich die Stange zittern fühlen. Allmählich nahm das Zittern an Intensität zu und breitete sich im ganzen großen Stahlgerüst aus.“ Nikola Tesla über einen Versuch

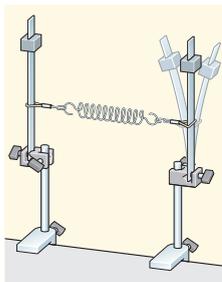
Schwingungsenergie

Ein Oszillator, z. B. ein Fadenpendel schwingt sich selbst überlassen mit einer bestimmten Frequenz, seiner **Eigenfrequenz** f_0 . Die Amplitude zeigt die Schwingungsenergie an. Durch Dämpfung nimmt sie bei realen Schwingungen mit der Zeit ab.

Bei einer Uhr wird die Energieumsetzung infolge der Dämpfung z. B. aus einer Batterie kompensiert. Ein an einer rotierenden Kurbel aufgehängter Körper bewegt sich auf und ab, solange sich die Kurbel dreht (\rightarrow B1). Die Frequenz wird von der Kurbel bestimmt, man nennt sie **Erregerfrequenz** f_E . Wenn ein Federpendel an der Kurbel hängt, ist sein Verhalten von der Erregerfrequenz abhängig. Man spricht von **erzwungenen Schwingungen**.



B1 Erzwungene Bewegung



B2 Gekoppelte Blattfedern

Phasenbeziehung und Amplitude

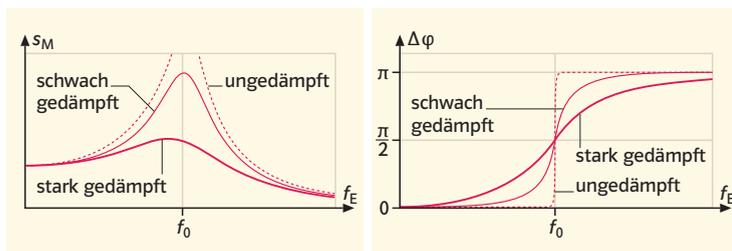
Wird ein Oszillator mit der Eigenfrequenz f_0 von einem Erreger zum Mitschwingen gezwungen, so stellen sich in Abhängigkeit von der Erregerfrequenz f_E verschiedene Phasenbeziehungen zwischen beiden ein und die Amplitude der Oszillatorschwingung ändert sich mit der Frequenz (\rightarrow B3).

$f_E \ll f_0$: Die Amplitude des Oszillators ist gleich der Amplitude des Erregers, beide schwingen ohne Phasenunterschied im Takt. Nimmt die Frequenz des Erregers zu, so vergrößert sich die Amplitude des Oszillators.

$f_E \gg f_0$: Erreger und Oszillator bewegen sich beide im Gegentakt, also mit einem Phasenunterschied von π . Die Amplitude ist klein.

$f_E = f_0$: Der Phasenunterschied ist $\pi/2$. Die Amplitude wird besonders groß. Man spricht von **Resonanz**.

Im Resonanzfall ist die Energieübertragung vom Erreger auf den Oszillator optimal. Ist die

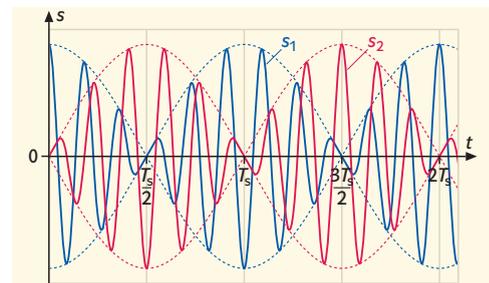


B3 Amplitude und Phase einer erzwungenen Schwingung

Schwingung des Oszillators nur wenig gedämpft, wachsen seine Amplituden über die Maßen bis zur mechanischen Überlastung an. Es kommt zur **Resonanzkatastrophe**.

Gekoppelte Schwingungen

Jeder schwingende Oszillator lässt sich als Energiespeicher auffassen. Die Gesamtenergie wird durch Frequenz und Amplitude bestimmt. Dämpfung, d. h. Energieabgabe, zeigt sich im Wesentlichen am Abklingen der Amplitude.



B4 t-s-Diagramme gekoppelter Federn

Wenn man zwei Oszillatoren, z. B. zwei Blattfedern (\rightarrow B2) so aneinander koppelt, dass Energieübertragung möglich ist, kann einer die Rolle des Erregers, der andere die des Oszillators übernehmen.

Abbildung B4 zeigt die t-s-Diagramme einer solchen Anordnung für zwei Oszillatoren mit gleicher Eigenfrequenz, d. h. für den Resonanzfall. Weil der Energieinhalt des Erregers begrenzt ist, kommt es nicht zur Resonanzkatastrophe. Zugleich wird deutlich, dass beide Oszillatoren ihre Rolle wechseln.

Erzwungene mechanische Schwingungen entstehen unter dem Einfluss einer äußeren zeitlich periodischen Kraft. Dabei wird einem schwingungsfähigen System periodisch Energie zugeführt.

Im Resonanzfall erfolgt maximale Energieübertragung vom Erreger auf den Oszillator. Bei einer erzwungenen Schwingung kann es bei zu geringer Dämpfung im Resonanzfall zu einer Resonanzkatastrophe kommen.

A1 ○ Erklären Sie, warum auch eine relativ schwache Person durch Ziehen am Seil eine schwere Kirchenglocke zum Schwingen bringen kann.