**Angeregte Schwingung und Resonanz**

-Jedes Objekt hat eine (oder mehrere) natürliche Schwingungsfrequenz(en).Diese nennt man Eigenfrequenz oder Resonanzfrequenz.(Die Eigenfrequenz eines Fadenpendels ist z.B. f=1/2𝜋√𝑔/𝑙.)

-Wenn man dem Objekt regelmäßig mit einer bestimmten Frequenz (Anregungsfrequenz) Energie zuführt,dann beginnt es mit der Anregungsfrequenz zu schwingen.

-Regt man das Objekt genau mit seiner Eigenfrequenz an, dann schwingt es besonders stark. Die Amplitude der

angeregten Schwingung ist dann sehr groß. Das nennt man Resonanz. (Also: Anregungsfrequenz = Eigenfrequenz)(Falls Anregungsfrequenz ≠ Eigenfrequenz, ist die Amplitude der angeregten Schwingung deutlich geringer.)

-Ist die Dämpfung sehr gering, dann kann bei Resonanz die Amplitude der angeregten Schwingung so groß werden,dass das Objekt zerstört wird. Man spricht von „Resonanzkatastrophe“.

-Die Abbildung zeigt die Amplitude der angeregten Schwingung für verschiedene Anregungsfrequenzen und Dämpfungen.

XX

Anwendungen der Resonanz:

- Resonanzkörper bei Musikinstrumenten, die den Klang verstärken.(= Hohlräume mit eingeschlossener Luft)

- Abstimmung von Empfänger und Sender beim Mobilfunk, Radio etc.

-Versuche:

- Resonanz bei zwei Stimmgabeln

- Resonanz: Frequenzgenerator und Blattfedern unterschiedlicher Länge

**Mechanische Wellen**

A. Grundbegriffe

-Eine Welle ist die Ausbreitung einer Störung.

-Eine mechanische Welle benötigt einen Träger (= Medium) aus gekoppelten Oszillatoren, in dem sie sich ausbreitet. Das können gekoppelte Pendel oder Atome und Moleküle in festen, flüssigen oder gasförmigen Körpern sein.

-Eine Welle transportiert Energie (die Bewegung breitet sich aus), aber keine Materie.

-Bei einer Transversalwelle schwingen die Pendelkörper senkrecht zur Ausbreitungsrichtung.

-Bei einer Longitudinalwelle schwingen die Pendelkörper parallel zur Ausbreitungsrichtung.

-Im selben Medium ist die Wellengeschwindigkeit von Transversalwellen kleiner als die von Longitudinalwellen.

Größen zur Beschreibung einer Welle

Folgende Größen sind schon von Schwingungen bekannt:

-Amplitude A: Maximale Auslenkung eines Pendelkörpers aus der Ruhelage.

-Schwingungsdauer T: Zeit, die jeder einzelne Pendelkörpers der Welle für eine volle Schwingung benötigt

-Frequenz f: Anzahl der Schwingungen jedes einzelnen Pendelkörpers pro Zeiteinheit.𝐟 **=1/T**

Dazu kommen noch zwei Größen:

-Wellengeschwindigkeit c: Geschwindigkeit, mit der sich die Welle ausbreitet.

-Wellenlänge λ: Abstand zwischen zwei benachbarten Punkten im gleichen Schwingungszustand.

B. Zusammenhang zwischen Wellenlänge, Frequenz und Wellengeschwindigkeit

Eine Welle breitet sich während einer Schwingungsdauer T um eine Wellenlänge aus.

Aus WEG = GESCHWINDIGKEIT ∙ ZEIT folgt also λ = c ∙ T mit f = 1/𝑇 bzw. T = 1/𝑓 wird daraus

XX

Diese Gleichung gilt für jede Welle!

-Die Wellenlänge λ ist direkt proportional zur Wellengeschwindigkeit c.

-Die Wellenlänge λ ist indirekt proportional zur Frequenz f.

-Die Wellengeschwindigkeit c hängt vom Medium und von der Schwingungsart (transversal, longitudinal) ab.(Z.B. stärker gespanntes Seil → Wellengeschwindigkeit c ist größer.)

-Beispiel: Der Ton „a“ hat eine Frequenz von 440 Hz.

Berechne die Wellenlänge λ der Schallwelle bei einer Schallgeschwindigkeit von c ≈ 340 m/s.

C. Reflexion von Wellen am festen und am losen Ende

Reflexion am festen Ende

(das Ende des Seils ist fixiert und kann sich nicht bewegen)

Ein Wellenberg wird als Wellental reflektiert. (Es kommt zum „Phasensprung“.)

XX

Reflexion am losen Ende

(das Ende des Seils kann schwingen)

Ein Wellenberg wird als Wellenberg reflektiert.

XX

D. Überlagerung von Wellen – SUPERPOSITIONSPRINZIP

-Wellen durchlaufen einander ungestört. (Sie beeinflussen einander nicht.)

-Die Schwingungsamplituden addieren einander.

→ Wellenberg + Wellenberg → Verstärkung (konstruktive Interferenz)

xx

→ Wellenberg + Wellental → Abschwächung (destruktive Interferenz)

xx

E. Stehende Wellen

- Die Überlagerung von zwei gleichen entgegengesetzt laufenden Wellen erzeugt eine stehende Welle.

-Bei der stehenden Welle sind Knoten und Bäuche immer an denselben Stellen. (→ “stehende“ Welle)

*-*An den Knoten ist die Auslenkung wegen destruktiver Interferenz immer Null.

- An den Bäuchen ist die Amplitude der Schwingung wegen konstruktiver Interferenz maximal.

Stehende Wellen spielen z.B. in der Akustik bei Musikinstrumenten und der Entstehung der menschlichen Stimme eine große Rolle. Stehende Wellen entstehen z.B. bei Seilen, schwingenden Saiten, Pfeifen nur, wenn die Anregungsfrequenz gleich einer Eigenfrequenz des Systems ist. (Resonanz)

**Schwingende Saite**

-Sie dient bei Saiteninstrumenten wie z.B. Geige, Gitarre oder Klavier zur Klangerzeugung.

-An den beiden Enden ist die Saite eingespannt.

→ Eine stehende Welle auf einer Saite muss an den beiden Endpunkten einen Knoten haben.

→ Daraus ergeben sich die möglichen Wellenlängen der stehenden Welle und mit c = λ∙f auch die Eigenfrequenzen.

-In der Abbildung erkennt man:

Grundschwingung: Die Wellenlänge λ0 ist doppelt so lang wie die Seillänge L. Also λ0 = 2∙L und damit 𝐟𝟎 =𝐜/𝛌𝟎=𝐜/𝟐𝐋

1. Oberschwingung: Die Wellenlänge λ1 ist halb so lang wie λ0.

Also λ1= ½ ∙ λ0 ( = L) und damit f1= 2 ∙ f0

2. Oberschwingung: Die Wellenlänge λ2 ist ein Drittel von λ0.

Also λ2= ⅓ ∙ λ0 und damit f2= 3 ∙ f0

*-*Bei einer schwingenden Saite sind die Frequenzen der Oberschwingungen

ganzzahlige Vielfache der Frequenz der Grundschwingung **f0** =c/2l

*-* Grundschwingung → Klanghöhe; Oberschwingungen → Klangfarbe

… die Saite verlängert, dann wird die Frequenz f0 und damit die Tonhöhe tiefer

… die Saite spannt, dann wird c größer und damit die Frequenz f0 und damit die Tonhöhe höher

Schwingende Luftsäuen in Pfeifen

Schwingende Luftsäulen dienen bei Orgelpfeifen, Flöte, Klarinette, Trompete … zur Klangerzeugung.

Man unterscheidet offene Pfeifen (beide Seiten sind offen) und gedeckte Pfeifen (eine Seite ist geschlossen)

Offene Pfeife

*-*Eine stehende Welle einer offenen Pfeife hat an den beiden Endpunkten Bäuche.

*-*Es ergeben sich die gleichen Formeln, wie bei der schwingenden Saite.

Also sind auch bei der offenen Pfeife die Frequenzen der Oberschwingungen

ganzzahlige Vielfache der Frequenz der Grundschwingung **𝐟𝟎** =**𝐜**/**𝟐**L

Gedeckte Pfeife

*-*Eine stehende Welle einer gedeckten Pfeife hat am offenen Endpunkt einen Bauch

und am gedeckten Ende einen Knoten.

*-*In der Abbildung erkennt man:

Grundschwingung: Die Wellenlänge λ0 ist viermal so lang wie die Seillänge L.

Also λ0 = 4∙L und damit **𝐟𝟎** =**𝐜/𝛌𝟎**=**𝐜**/**𝟒**L

*-*Bei der gedeckten Pfeife sind die Frequenzen der Oberschwingungen ungerade Vielfache von f0.

… die Pfeife verlängert, dann wird die Frequenz f0 und damit die Tonhöhe tiefer

… die Temperatur erhöht, dann wird c größer und damit die Frequenz f0 und damit die Tonhöhe tiefer

… statt einer offenen eine gleich lange gedeckte Pfeife benützt, dann wird die Tonhöhe hoeher