

5. Superposition - Überlagerungen von Schwingungen oder Wellen

Vorbetrachtungen

86 i Wissen Sie, worauf Musikerinnen hören, wenn Sie ihre Instrumente aufeinander abstimmen? Kennen Sie die Wahrnehmung von zwei Tönen fast gleicher Frequenz? Wohl schon, oder sie wird Ihnen im Unterricht vorgeführt. Der Effekt ist die Folge der **Überlagerung von Schwingungen** in Ihrem Ohr. Die genaue Betrachtung davon ist ein Ziel dieses Kapitels.

87 i Auch die **Überlagerung von Wellen** zu studieren ist ein Ziel des Kapitels. Diese kommen unter anderem dann vor, wenn Wellen an der Grenze eines Mediums reflektiert werden und somit zurücklaufen, über die herlaufenden Wellen hinweg.

Dass Schallwellen reflektiert werden können, haben Sie beim Hören eines **Echos** schon erfahren. An der Wellenmaschine beobachten wir zwei mögliche **Arten der Reflexion** einer eindimensionalen Welle.

Ziele dieses Kapitels

1. Sie kennen mindestens drei Interferenz-Phänomene, solche also, die durch die Überlagerung von Schwingungen oder Wellen zu erklären sind.
2. Sie können Überlagerungsschwingungen oder Wellen konstruieren und mit Schwebungsfrequenzen rechnen.
3. Stehende Wellen können Sie von laufenden unterscheiden.

Am festen Ende wird ein Wellenberg

als reflektiert.

Am freien Ende wird ein Wellenberg

als reflektiert.

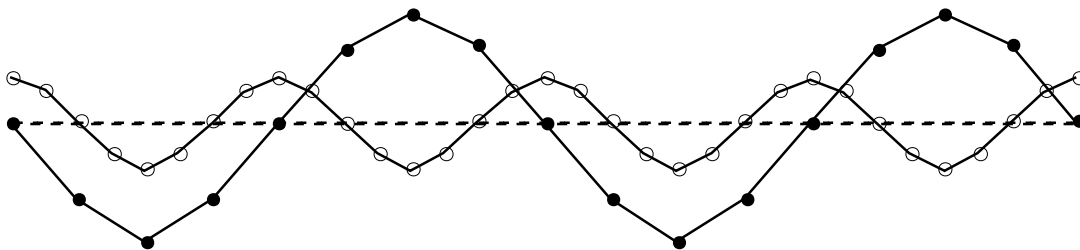
Das Superpositionsprinzip

88 i Die Elongation der **Überlagerungswelle** zweier Einzelwellen an einer bestimmten Stelle x zur Zeit t erhält man durch Addition der Elongationen der beiden Einzelwellen bei x und t . Das **Superpositionsprinzip für Wellen** ist somit zurückgeführt auf das **Superpositionsprinzip für Schwingungen**. Dieses besagt also, dass die Überlagerungsschwingung sich ergibt, indem die Elongation der einen Schwingung zur Zeit t zur Elongation der andern Schwingung zur Zeit t addiert wird.

Superpositionsprinzip für Wellen oder Schwingungen:

An jedem Ort und zu jeder Zeit ergibt sich die Überlagerung zweier Wellen (oder einer Schwingungen) aus der Summe der Elongationen der einzelnen Schwingungen.

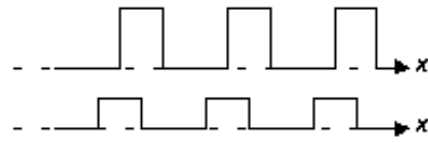
89 ? Konstruieren Sie gemäss obiger Anweisung die **Überlagerungswelle** der beiden einzelnen Wellen (es könnten auch Schwingungen sein).



90 i Aufgrund der vorangegangenen Konstruktion stellen Sie fest, dass die Überlagerungswelle zweier harmonischer Wellen ("sinusförmige" Wellen) im Allgemeinen keine harmonische Welle ist. Dasselbe gilt für die Überlagerung von harmonischen Schwingungen.

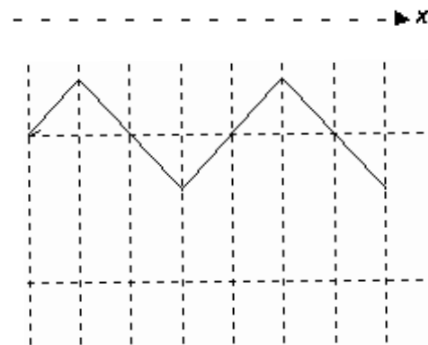
- 91 ? Das oben beschriebene Superpositionsprinzip gilt auch für alle anderen Wellen- und Schwingungsformen, zum Beispiel für "eckige Schwingungen und Wellen" (wie sie etwa in der Elektronik erzeugt werden).

Wie sieht die Überlagerung der beiden rechts gezeichneten **Rechteckwellen** aus?



- 92 ? Zeichnen Sie im ersten Diagramm der nebenstehenden Abbildung zusätzlich eine **Dreieckswelle** ein, welche die gleiche Amplitude aber die doppelte Wellenlänge hat wie die dargestellte Welle. (Ganz links sei die Elongation dieser Welle ebenfalls null.)

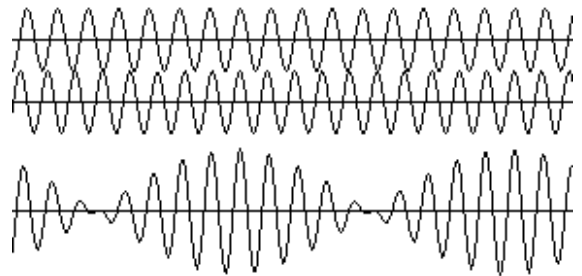
Stellen Sie darunter die Überlagerungswelle der beiden Wellen dar.




Akustische Interferenzphänomene

- 93 i Durch Überlagerung können sich Wellen und Schwingungen verstärken oder abschwächen, je nach der relativen Lage der Einzelwellen- oder Schwingungen. Man spricht dann entweder von **konstruktiver** oder von **destruktiver Interferenz**.

Ein akustisches Interferenzphänomen ist die **Schwebung**. Die Skizze zeigt die Überlagerung von zwei Schallschwingungen, die nur fast die gleiche Frequenz haben (z.B. 9 Hz und 10 Hz).



- 94  Charakterisieren Sie die Art und Weise, wie Sie eine Schwebung wahrnehmen. Was hören Sie genau?

Zeigen Sie anhand der Skizze rechts oben, was man wohl mit dem Begriff **Schwebungsfrequenz** meint.

Protokollieren Sie die Herleitung der **Formel** zur Berechnung der Schwebungsfrequenz.

Schwebungsfrequenz

- 95 R Es werden zwei Stimmgabeln angeschlagen, eine mit 254 Hz und eine andere mit 256 Hz. Die sich ergebende **Schwebungsfrequenz** ist 2 Hz, 4 Hz oder 255 Hz?

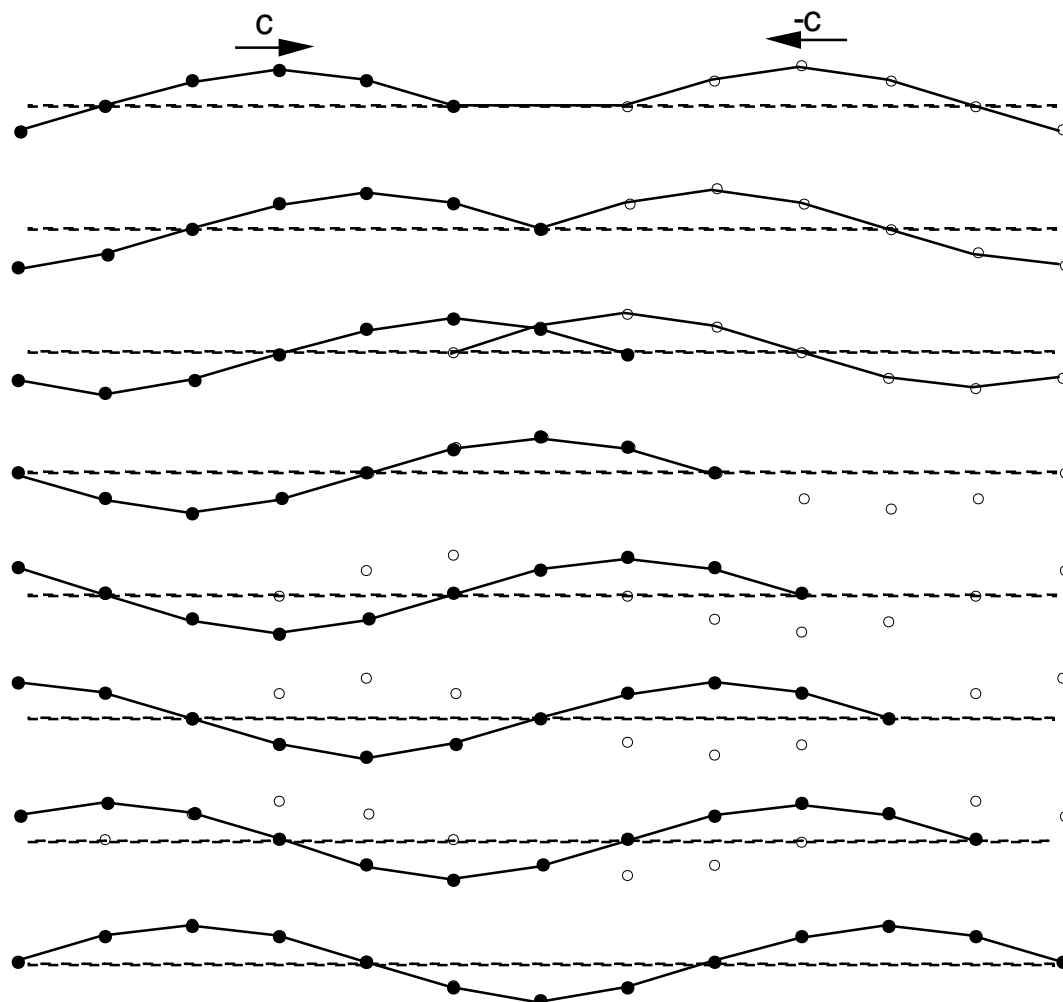
- 96 i Durch die Ausnützung der Interferenz können in verschiedenen Bereichen sehr **präzise Messungen** gemacht werden. Z.B. wurden mit solchen Methoden die **Konstanz der Lichtgeschwindigkeit** gefunden und die winzigen **Wellenlängen von Licht** gemessen. Die folgende Aufgabe ist ein weiteres Beispiel für die Empfindlichkeit derartiger Messmethoden.

- 97 ? Die Schwebung ermöglicht einen empfindlichen **Nachweis des Dopplereffektes**: Es seien zwei Schallquellen gegeben, welche je einen Ton von 2000 Hz erzeugen. Wenn beide Quellen in Ruhe sind, wird keine Schwebung wahrgenommen. Wie schnell bewegt sich nun eine dieser Schallquellen auf den Beobachter zu, wenn dieser eine Schwebungsfrequenz von 2 Hz wahrnimmt?

Wie stehende Wellen sich bilden

- 98 ? Konstruieren Sie die **Überlagerung** zweier gleichartiger Wellen (gleiche Amplitude, gleiche Wellenlänge und natürlich gleiche Ausbreitungsgeschwindigkeit), die einander entgegenlaufen.

(Bemerkung zur untersten Zeile des Bildes: Die „helle“ und die „dunkle“ Welle liegen genau übereinander.)




- 99 ? Mit Modellen und Animationen werden im Unterricht laufende und stehende Wellen verglichen. Versuchen Sie den Unterschied in Worte zu fassen.

An Hand der Konstruktion kommen wir zu den folgenden Aussagen (Kasten):

Zwei gegeneinander laufende, gleichartige harmonische Wellen (d.h. Wellen mit gleicher Frequenz und gleicher Amplitude) erzeugen eine stehende harmonische Welle.

Zwischen zwei benachbarten Knoten oder Bäuchen liegt stets eine halbe Wellenlänge.

- 100  Halten Sie unter dieser Nummer die Ergänzungen fest, die wir im Unterricht zu diesem Kapitel (vielleicht) gemacht haben.

- Keine Ergänzungen
 Es gibt Ergänzungen, nämlich: