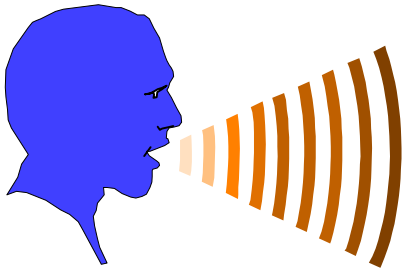
Physik & Musik



19

Dopplereffekt

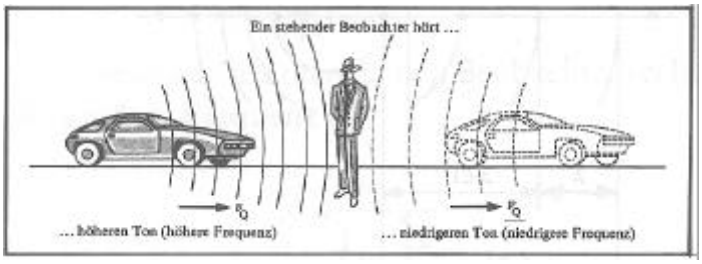
1 Auftrag

Dopplereffekt

Bearbeitungszeit: 45 Minuten
Sozialform: Einzelarbeit
Voraussetzung: Posten 1: "Wie funktioniert ein KO ?"

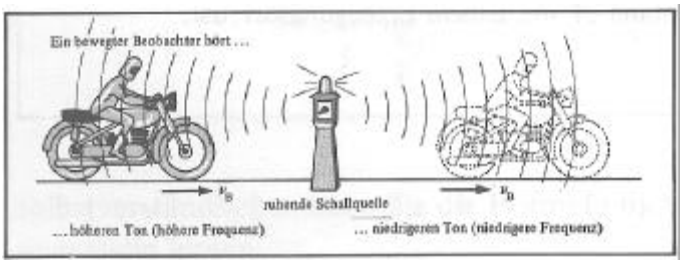
Einleitung

An diesem Posten lernen wir eine sehr interessante Anwendung vom Schall kennen. Sie kennen die benutzte Erscheinung aus dem Alltag: fährt ein hupendes Auto an Ihnen vorbei, so hören Sie beim Herannahen das Hupsignal mit höherer Tonhöhe (grösserer Frequenz) als beim Davonfahren.



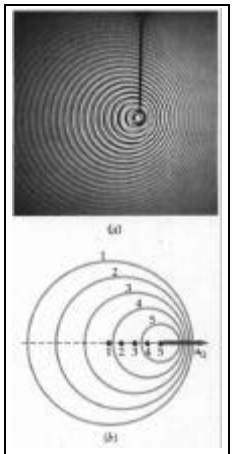
Doppler-Effekt (Akad PH 210, 49)

Der Tonsprung ist dabei um so höher, je grösser die Geschwindigkeit des Autos ist.
Genau die gleiche Empfindung haben wir, wenn wir schnell an einer ruhenden Schallquelle vorbeifahren.



Doppler-Effekt (Akad PH 210, 49)

Diese geschilderten Erscheinungen wurden von dem österreichischen Mathematiker und Physiker Christian Doppler (1803 - 1853) entdeckt und werden seither als Doppler-Effekt bezeichnet.



Wellen in Demonstrationswelle (Tipler 487)

Der Verständlichkeit halber betrachten wir nur den Fall *einer bewegten Schallquelle*. Die nebenstehende Abbildung zeigt Wellen in einer Demonstrationswanne (unten: schematisch). Diese Wellen gehen von einer Quelle aus, die sich nach rechts bewegt. Und zwar bewegt sie sich mit einer Geschwindigkeit, die kleiner als die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Wellen im Medium ist. Offenbar werden die Wellen, die der Quelle vorauseilen,

zusammengeschoben: Die Wellenberge liegen dichter beisammen, als dies bei einer ruhenden Quelle der Fall wäre. Im Gegensatz dazu sind die nach hinten laufenden Wellen weiter auseinandergezogen.
Das Ganze lässt sich natürlich auch mathematisch beschreiben. Die Herleitung lassen wir aber weg, und wollen nur das Schlussresultat betrachten:

Wenn sich die Schallquelle **auf den ruhenden Beobachter zu bewegt**, so stellt dieser eine *höhere* Frequenz fest:

$$f' = \frac{f}{1 - \frac{v_Q}{c}}$$

f ' und f "= gehörte Frequenz
f = gesendete Frequenz
v_Q = Geschwindigkeit der Quelle
c = Schallgeschwindigkeit

Wenn sich eine Schallquelle mit konstanter Geschwindigkeit **von einem ruhenden Beobachter weg bewegt**, so stellt er gegenüber dem Ruhezustand eine *tiefere* Frequenz fest.
Es gilt:

$$f'' = \frac{f}{1 + \frac{v_Q}{c}}$$

Soweit die Theorie. Wir wollen mal sehen wie das bei einem Beispiel aussieht:

Beispiel:

Eine Lokomotive rast mit eingeschalteter Sirene an uns vorbei. Welche Frequenzen haben die Töne, die wir vor und nach dem Passieren hören? Die Sirene habe die Frequenz f = 1000 Hz und die Geschwindigkeit betrage v_Q = 30 m/s. Weiter gebrauchen wir c = 334 m/s.

Lösung:

Zuerst hören wir einen Ton, dessen Frequenz höher ist als 1000 Hz, nämlich: f ' = 1099 Hz
Sobald die Lokomotive uns passiert hat, fällt die Frequenz auf: f " = 918 Hz

Diesen schönen Effekt können wir jetzt gebrauchen, um herauszufinden, wie schnell ein Auto fährt. Sie werden später das Geräusch eines vorbeifahrenden Fahrzeugs aufnehmen und analysieren. Mit einer kleinen Formel werden Sie dann sagen können, wie schnell das Gefährt fuhr. Diese Formel lässt dich direkt aus den oberen Formeln herleiten. Das Resultat sieht wie folgt aus:

$$v = c \cdot \frac{\frac{f'}{f''} - 1}{\frac{f'}{f''} + 1}$$

Sie sehen, wir brauchen nur das Verhältnis der Frequenzen zu kennen. Und dieses Verhältnis erhalten wir durch Analysieren des aufgenommenen Geräusches.

Für das Weitere werden wir eine mathematische Methode gebrauchen, die sich FFT (Fast Fourier Transformation) nennt. Der Computer wird diese Methode für uns anwenden, und er wird uns damit von einem Geräusch die enthaltenen Frequenzen berechnen.

Arbeitsauftrag

1. Nehmen Sie den Kassettenrecorder und das Mikrophon zur Hand. Gehen Sie damit zu einer Strasse in Ihrer Nähe. Die Strasse sollte nicht zu stark befahren sein, sie sollte gerade sein, und die Fahrzeuge sollten mindestens 50 km/h schnell fahren (besser mehr). Speziell sollten Sie darauf achten, dass die vorbeifahrenden Fahrzeuge weder bremsen noch beschleunigen.

   Nun warten Sie, bis ein einzelnes, lautes Fahrzeug herannaht. Am besten geeignet ist ein Motorrad, denn das ist meist recht laut. Sobald Sie ein passendes Fahrzeug erkennen, schalten Sie den Recorder auf Aufnahme und halten das Mikrophon in dessen Richtung. Verfolgen Sie mit dem Mikrophon das Fahrzeug bis sie es nicht mehr hören.

   Wenn Sie wollen, können Sie zur Sicherheit noch eine zweite Aufnahme machen. Aber verwenden Sie nicht ihre ganze Zeit für die Aufnahme, denn das Interessante kommt erst noch. Schliesslich gehen Sie zum Computer zurück.

2. Die Software für die Analyse sollte schon gestartet sein. Sie sehen auf dem Bildschirm zwei Ausgabebereiche: oben ein Graph des gemessenen Signals aufgetragen gegen die Zeit, unten die Intensität des Signals aufgetragen gegen die Frequenz. Das untere Bild ist also die vorher besprochene Frequenzanalyse. Dort erkennen Sie, wie gross der Anteil einer Schwingung mit ... Hz am gemessenen Geräusch ist. Das obere Bild ist eine Darstellung ähnlich wie ein KO sie vom Signal erzeugen würde.

   Kontrollieren Sie zuerst, ob die folgenden Einstellungen richtig gesetzt sind:

   - Channal: 0
   - Sampling Rate [Hz]: 5000
   - Frame Size: 1024
   - Averages: 1
   - Window: Hamm
   - Display Settings: Vpk / Linear
   - Device: 0
   - Coupling [no change 0]: AC 2

   Drücken Sie nun auch noch **STOP**. Halten Sie die Maus auf das obere Bild und drücken Sie die rechte Maustaste. Sie sollten bei **X Scale** und bei **Y Scale** die Funktion **AutoScale** einschalten (Haken sollte erscheinen). Wiederholen Sie dies auch beim unteren Bild. Mit dieser Einstellung wird das Programm den Bildausschnitt jedesmal optimal wählen.

Zunächst machen Sie sich mit der Bedienung dieser Software vertraut. Das ist nicht ganz einfach. Sie werden hauptsächlich die mit roten Pfeilen markierten Knöpfe gebrauchen. Nr. 1 dient dazu, das Programm auf Aufnahme zu schalten. Wenn Nr. 3 eingedrückt ist, dann wird laufend eine Aufnahme gemacht. Darum sollten Sie diesen Knopf so einrichten, dass er nicht eingedrückt ist. Nr. 4 werden Sie häufig benutzen, denn damit lassen sich einzelne Aufnahmen machen. Wenn Sie Nr. 5 drücken, machen Sie Nr. 1 rückgängig. Schliesslich ist noch Nr. 2 da: Sobald Sie eine Aufnahme gemacht haben, können Sie bei diesem Knopf eine Linie im unteren Bild in allen 4 Richtungen bewegen. Diese Linie verschiebt sich dann durch das Bild, und Sie können beim grünen Pfeil die Frequenz ablesen, bei welcher sich die Linie befindet.

3. Schliessen Sie nun den Kassettenrecorder an den Computer. Spielen Sie den ersten Teil einer Aufnahme (Knopf 1 und 4 drücken) ein. Sie sollten ungefähr den Teil abspielen, bis kurz vor dem Moment, in dem das Fahrzeug an Ihnen vorbeifuhr. Betrachten Sie das untere Bild am Bildschirm. Falls dieses Bild nicht zu viele grosse Spitzen aufweist, bestimmen Sie die Frequenzen der grössten 4 Spitzen und schreiben sie auf das Arbeitsblatt. Bei zu vielen (mehr als ca. 10) grossen Spitzen müssen Sie diesen Aufnahmeteil noch einmal in den Computer einspielen.

4. Spielen Sie jetzt noch den zweiten Teil der Aufnahme in den Computer. Am besten nehmen Sie den Teil kurz nachdem das Fahrzeug an Ihnen vorbeifuhr. Wiederum schreiben Sie sich die Frequenzen der Spitzen auf.

5. Jetzt sollten Sie f_1, f_2, f_3, f_4 und f_5, f_6, f_7, f_8 bestimmt haben. Berechnen Sie die auf dem Arbeitsblatt angegeben Verhältnisse: f_1/f_5 f_2/f_6 f_3/f_7 f_4/f_8

   Finden Sie eine Gemeinsamkeit zwischen den einzelnen Frequenzen? Wenn sich die Werte zu sehr unterscheiden müssen Sie wieder von vorn beginnen.

   Bestimmen Sie den Durchschnitt der Verhältnisse und berechnen Sie mit der obigen Formel die Fahrzeuggeschwindigkeit.

Arbeitsblatt

3. Schreiben Sie die Frequenzen der ersten 4 Spitzen des ersten Aufnahmeteils auf:

f_1:_____Hz

f_2:_____Hz

f_3:_____Hz

f_4:_____Hz

4. Schreiben Sie die Frequenzen der ersten 4 Spitzen des zweiten Aufnahmeteils auf:

f_5:_____Hz

f_6:_____Hz

f_7:_____Hz

f_8:_____Hz

5. Bestimmen Sie die folgenden Verhältnisse:

f_1/f_5 = _____

f_2/f_6 = _____

f_3/f_7 = _____

f_4/f_8 = _____

Durchschnitt der 4 Verhältnisse:

$\frac{f'}{f''} =$

Berechnen Sie nun die Fahrzeuggeschwindigkeit. Verwenden Sie dazu c = 340 m/s.

$$v = c \cdot \frac{\frac{f'}{f''} - 1}{\frac{f'}{f''} + 1}$$

v = _____ m/s

Fuhr der Fahrzeuglenker zu schnell ?

Materialliste

- 1 PC mit Messkarte, die Signale in Zeitauflösung und in Spektraldarstellung zeigen kann z.B. National Instruments NI AT DSP-2200.
- 1 Geeignetes Mikrophon mit Vorverstärker für Anschluss an ein Kassettenrecorder.
- 1 Kassettenrecorder mit leerer Kassette.
- Verbindungskabel vom Kassettenrecorder zum Computer.