

Radarpistole

Am Modell einer Radarpistole wird die Geschwindigkeitsmessung mittels Dopplereffekt demonstriert.

Klassenstufe	Oberthemen	Unterthemen	Anforderungs-niveau	Durchführungs-niveau	Vorlauf Vorbereitung Durchführung
SII	Schwingungen und Wellen	Dopplereffekt Ultraschall	●●	■	- ca. 10 min. ca. 15 min.



Abb. 1: Gesamtaufbau

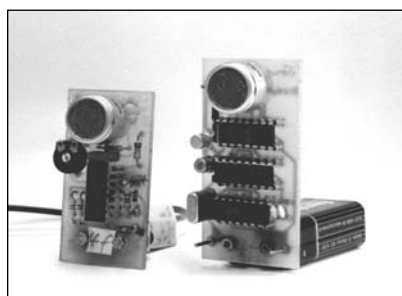


Abb. 2: Sender (rechts) und Empfänger

Vorbereitung

Zur Durchführung dieses Experiments wird der „Ultraschallwandler für Schülerübungen“ der Firma Conatex verwendet, da er den herkömmlichen Ultraschallgeräten der Schulsammlung in Messgenauigkeit und Bedienungsfreundlichkeit deutlich überlegen ist.

Als zu messendes Objekt eignet sich ein Motorwagen sehr gut, bei dem sich durch unterschiedliche Spannungen verschiedene, konstante Geschwindigkeiten einstellen lassen. An der Front dieses Wagens wird als Reflexionsfläche eine Metallplatte mittels doppelseitigem Klebeband angebracht.

Der verwendete Ultraschallsender wird durch eine 9 V Batterie betrieben, die einfach auf die auf der Platine angebrachten Anschlüsse gesteckt wird. Der Ultraschallempfänger wird ebenfalls mit einer 9 V Batterie betrieben. Zur Messung der Frequenz muss der Ausgang an einen Digitalzähler angeschlossen werden. Der im Lieferumfang enthaltene Zusatzsender wird für diesen Versuch nicht benötigt. Die Batterien sind im Lieferumfang enthalten.

Durchführung

Zu Beginn des Versuchs wird die Ultraschallfrequenz f_Q der verwendeten Quelle eingestellt. Diese sollte $f_Q=40.000$ Hz betragen. Durch Linksdrehung am Poti kann die Frequenz verkleinert, durch Rechtsdrehung vergrößert werden. Nun stellt man eine Geschwindigkeit am Motorwagen ein und lässt den Wagen mit diesem konstanten Tempo auf das Ultraschallsystem zufahren, dabei wird die empfangene Frequenz mit dem Digitalzähler gemessen. Bewegt sich der Reflektor auf das Sender-Empfänger-System zu, kommt es zu einer Frequenzerhöhung. Diese lässt sich auf Grund der frequenzstabilen Ultraschallsensoren sehr genau bestimmen. Aus der gemessenen Frequenzverschiebung Δf und der Kenntnis der Schallgeschwindigkeit c lässt sich nun nach folgender Formel die Geschwindigkeit des Reflektors v_R bestimmen:

$$v_R = \frac{\Delta f \cdot c}{2f_Q}$$

Funktionsweise

Es handelt sich hierbei um einen zweifachen Dopplereffekt, der im folgenden in vier Schritten formal gelöst werden soll.

1. Sendet eine ruhende Schallquelle Q eine Welle der Frequenz f_Q aus, so trifft auf einen Reflektor, der sich mit der Geschwindigkeit v_R auf die Quelle zu bewegt, eine Welle der Frequenz

$$f_R = f_Q \left(1 + \frac{v_R}{c}\right)$$

auf.

2. Die reflektierte Welle erfährt ebenfalls eine Dopplerverschiebung, da der Reflektor für diese Welle als bewegte Quelle betrachtet werden kann. Ein ruhender Beobachter nimmt daher eine reflektierte Welle der Frequenz

$$f_B = \frac{f_R}{1 - \frac{v_R}{c}}$$

wahr.

Ersetzt man hierin f_R , so ergibt sich zwischen der vom Beobachter wahrgenommenen Frequenz f_B und der Frequenz der Quelle f_Q exakt folgender Zusammenhang:

$$f_B = f_Q \frac{1 + \frac{v_R}{c}}{1 - \frac{v_R}{c}}$$

3. Da sich diese Gleichung nicht einfach nach v_R auflösen lässt, führt man eine Reihenentwicklung durch:

$$f_B = f_Q \left[1 + 2 \frac{v_R}{c} + 2 \left(\frac{v_R}{c} \right)^2 + \dots \right]$$

4. Da v_R deutlich kleiner ist als c , können höhere Terme in $\frac{v_R}{c}$ vernachlässigt werden, so dass die obige Gleichung durch

$$f_B = f_Q \left(1 + \frac{2v_R}{c} \right) \text{ sehr gut angenähert werden kann.}$$

Hinweis

Beträgt der Abstand zwischen Ultraschallsender und Wagen mehr als 1 m, so kommt es durch Streuung oder Reflexion des Ultraschalls an Gegenständen der Umgebung zu scheinbaren Intensitätsverlusten und Frequenzverschiebungen, so dass das vom Empfänger wahrgenommene Signal nicht mehr der Dopplerverschiebung durch das Fahrzeug entspricht. Um derartige Fehlmessungen zu vermeiden, empfiehlt es sich, die Dopplerverschiebung für jede Geschwindigkeitsstufe mehrmals zu messen.

Methodischer Einsatz

Der Versuch kann sowohl als Demonstrationsexperiment und wegen seiner sicheren und einfacher Handhabung auch von Schülerinnen und Schülern durchgeführt werden. Es besteht die Möglichkeit, dass die Schüler und Schülerinnen motorgetriebene Spielzeugautos mitbringen, um deren Geschwindigkeit mit dem Modell der Radarpestole zu messen.

Führt man gleichzeitig Vergleichsmessungen nach der bekannten Weg-Zeit-Methode oder Dunkelzeitmessung durch, so lässt sich auch eine größere Schülerzahl aktiv integrieren.

Die Zusammenarbeit mit Obleuten der Verkehrserziehung an Schulen bietet sich an. Eventuell lässt sich über den ADAC oder den zuständigen Fachberater eine Radarpestole für Unterrichtszwecke ausleihen. Im Rahmen eines Projektes können verschiedene Geschwindigkeitsmessverfahren¹ erörtert werden.

Materialien	Best.-Nr.
• Ultraschallsystem besteht aus 1 Sender, 1 Zusatzsender und 1 Empfänger, Steuergerät	200.3003
• Netzgerät 0 ... 16 V – stabilisiert	z.B. 101.0201
• Dynamikwagen	100.1886
• Motor für Dynamikwagen, 0-6 VDC	101.8861
• Digitalzähler	z.B. 101.1829 oder 100.1183
• Metallplatte als Reflexionsfläche	(ca. 10 cm x 15 cm)

Diese Versuchsanleitung ist ein Auszug aus dem Buch:
StR B. Eckert, StD W. Stetzenbach, Prof. Dr. H.-J. Jodl:
Low Cost – High Tech Freihandversuche Physik
ISBN 3-7614-2278-4
Erschienen im Aulis Verlag Deubner GmbH & Co. KG Köln
Veröffentlichung mit freundlicher Genehmigung des Verlages

¹ Vgl. beispielsweise:
<http://www.radarfalle.de/technik> oder <http://voss.fernuni-hagen.de/gebiete/thi2/mitarbeiter/speed/speed.html>. Ein weiteres
interessantes Einsatzgebiet speziell des Ultraschall-Dopplereffektes ist auch die Messung der Blutfließgeschwindigkeit
(Dopplersonographie)