

SCHUELERUEBUNGSSYSTEM

MIT ULTRASCHALL

CL 5004

BEDIENUNGSANLEITUNG

CONATEX
DIDACTIC

CONATEX-DIDACTIC Lehrmittel GmbH
Rombachstraße 65 - D-66539 Neunkirchen
Tel.: 06821-94110 - Fax: 06821-4411
Internet: <http://www.conatex.com>
E-mail: didactic@conatex.com

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Ultraschallsender	2
Ultraschallempfänger, -zusatzsender	3
Versuchsbeispiele:	
- Ultraschall in Umweltgeräuschen	4
- Lineare Interferenz und Superpositionsprinzip	5
- Stehende Welle zwischen zwei Schallquellen	6
- Stehende Welle in der Nähe einer Reflexionswand	7
- Phasensprung in benachbarten Schwingungsbäuchen bei einer stehenden Welle	8
- Interferenz zweier Schallquellen	9
- Interferenz durch Umwegreflexion	10
- Amplitudenmodulation und -demodulation	11
- Frequenzmodulation und -demodulation	12
- Überlagerung von Schwingungen verschiedener Frequenzen	13
- Phasenverschiebung in Richtung der Wellenausbreitung und Schallgeschwindigkeit	14
- Radarprinzip	15
- Indirekte Demonstration des Dopplereffektes	16

CL 5004 ist ein Gerätesystem und beinhaltet folgende Komponenten:

- CL 5004/1 Ultraschallsender mit 9 V-Batterie
- CL 5004/2 Ultraschallempfänger mit 9 V-Batterie
- CL 5004/3 Ultraschallsender (Zusatz) mit 2 Verbindungsleitungen

Mit diesem System ist die Möglichkeit gegeben, weite Bereiche der Wellenlehre in Schülerversuchen zu erarbeiten. Dabei genügt in den meisten Fällen ein Vielfachmeßgerät als Anzeigeeinstrument.

Versuchsbeispiele:

Sek. Stufe I) US-Versuch zur
Reflexion des Schalls
Bündelung des Schalls
Absorption in verschiedenen Stoffen
Doppler-Effekt
Wellencharakter

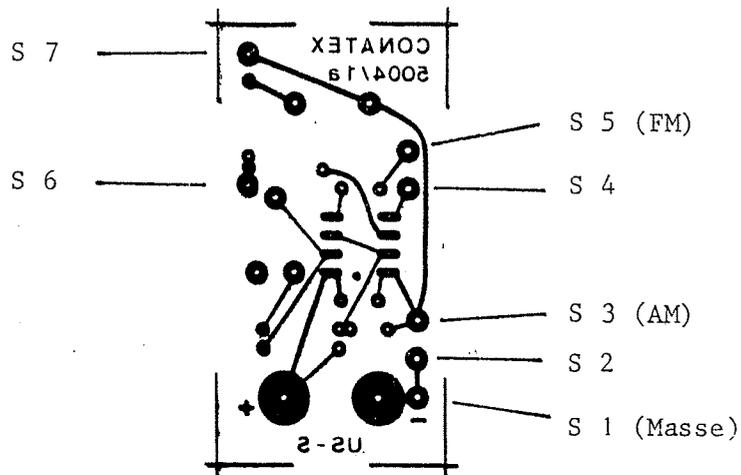
Sek. Stufe II) a) mit Vielfachmeßgerät
Resonanz des US-Quarzes
lineare Interferenz, λ -Messung
mehrere Versuche zur Schallgeschwindigkeitsbestimmung
Stehende Welle durch 2 Sender
Stehende Welle durch Reflexion
Interferenzfelder mehrerer Schallquellen
Interferenz durch Umwegreflexion
Doppler-Schwebungen (mit Kopfhörer)

b) mit Oszilloskop (teilweise auch Kopfhörer)
Amplituden-Modulation und Demodulation
Frequenz-Modulation und Demodulation
Schwebungen bei 2 verschiedenen Sendern
Phasensprung bei stehender Welle
Phasenverschiebung längs einer Welle
Echolot-Radar-Prinzip (c-Bestimmung)
Reflexionsvermögen verschiedener Stoffe.
Bewegungen im Ultraschallfeld - (Alarmanlage)
Doppler-Effekt
Änderung von c bei Erwärmung der Luft

Einige dieser Versuche werden ab Seite 4 beschrieben.

CL 5004/1 Ultraschallsender

Betriebsarten	Anschlußpunkte
Normalbetrieb	S 2 und S 3 gebrückt
Amplitudenmodulation	Brücke S 2, S 3 entfernt, Anschluß der Modulationsspannungs- quelle
Frequenzmodulation	Anschluß an S 5 und S 1
Austastung	Rechteckspg: ($\leq 9V$) oder Schalter (z. B. Reedrelais) an S 4 und S 1
Zusatzsender	Anschluß an S 6 und S 7



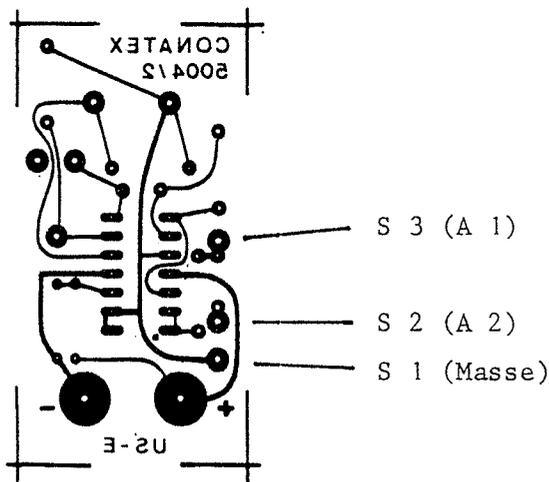
Mittenfrequenz: ca. 40 kHz
 kleinere Frequenz: Poti nach links drehen
 größere Frequenz: Poti nach rechts drehen

CL 5004/2 Ultraschallempfänger

Anschlußpunkte	Anzeigeelemente
S 1, S 3	Vielfachmeßgerät (~) Oszilloscope
S 1, S 2	Vielfachmeßgerät (=), Oszilloscope, Kopfhörer (insbesondere bei Versuchen mit moduliertem Sendesignal)

kleine Empfindlichkeit: Poti nach links drehen

große Empfindlichkeit: Poti nach rechts drehen

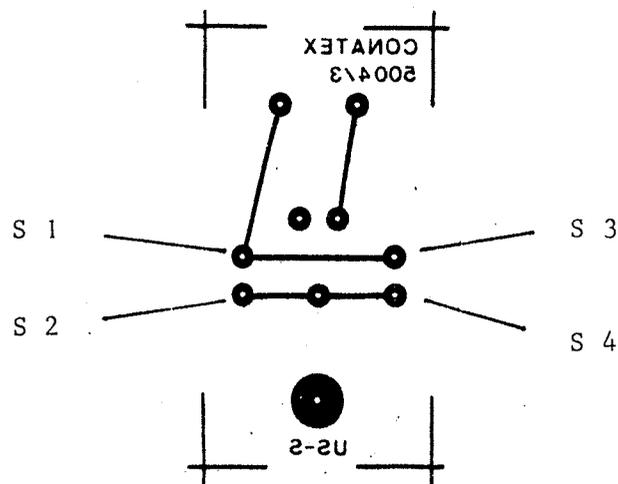


CL 5004/3 Ultraschallsender (Zusatz)

Anschluß der Verbindungsleitungen (von CL 5004/1 - S 6, S 7) an S 1, S 2 oder S 3, S 4.

kleine Schallintensität: Poti nach links drehen

große Schallintensität: Poti nach rechts drehen



Schülerübungen mit Ultraschall

Versuche zur Wellenlehre

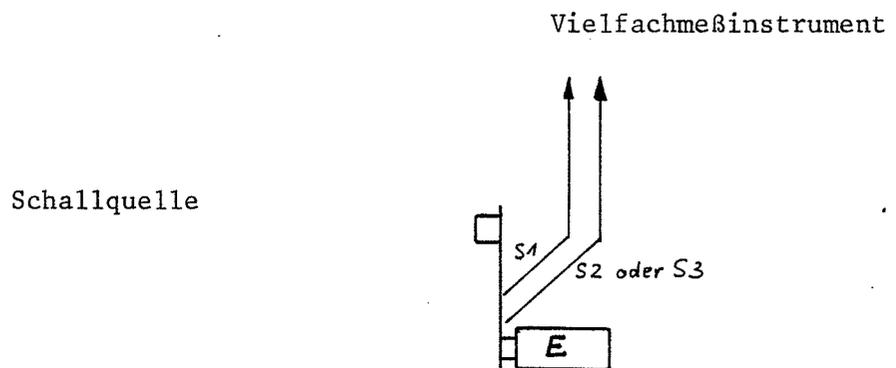
h.-w. oberholz

Ultraschall (40 kHz) in Umweltgeräuschen

Ziel: zu zeigen, daß in manchen Umweltgeräuschen Schall mit einer hohen, für den Menschen nicht hörbaren Frequenz vorkommt.

Gerätebedarf: US-Empfänger, Vielfachmeßinstrument (Eingang ca. 0,5 V) zwei Verbindungskabel

Versuchsskizze:



Durchführung: Der Empfänger wird auf maximale Empfindlichkeit eingestellt. Dann werden verschiedene Geräusche erzeugt: Lautes Sprechen, Klatschen, Schlüsselklirren, mit der Zunge schnalzen etc.

Ergebnis: Lautes (auch hohes) Sprechen oder Singen liefert keinen Ausschlag am Meßinstrument. Dagegen deutlicher Empfang bei Schlüsselklirren, schnalzen, Abbeißen von Knäckebrot und natürlich bei Inbetriebnahme des US-Senders.

Schülerversuche mit Ultraschall

Versuche zur Wellenlehre

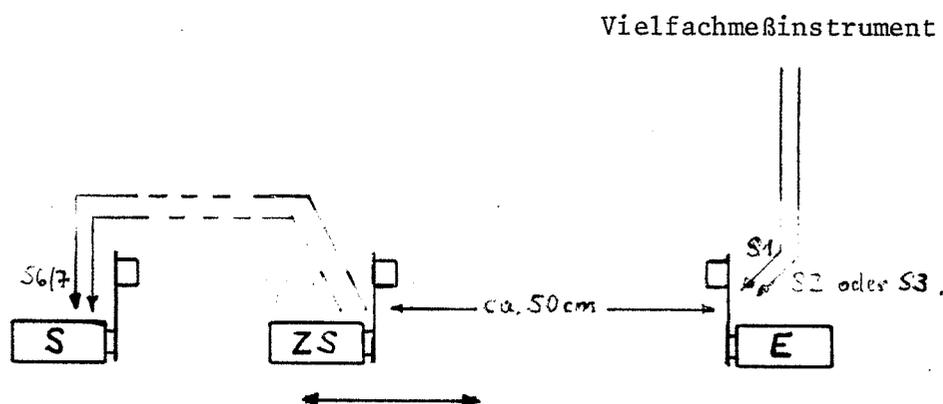
h.-w. oberholz

Lineare Interferenz und Superpositionsprinzip

Ziel: Es soll erkannt werden, daß das Ergebnis einer Überlagerung von Schallwellen der Addition der Schwingungsvektoren entspricht, so daß z. B. auch Auslöschung entstehen kann.

Gerätebedarf: Vielfachmeßgerät (Eingang z. B. 0,6 V), Sender, Zusatzsender, Empfänger, zwei Verbindungskabel

Versuchsskizze:



Durchführung: Der Empfänger wird auf kleine Empfindlichkeit eingestellt (voller Zeigerausschlag bei phasengleicher Überlagerung). Der Zusatzsender wird nun etwas seitlich vom Sender in Richtung auf den Empfänger zu bzw. von ihm weg bewegt. Es zeigen sich dabei in regelmäßigen Abständen Empfangsminima und -maxima, die durch das Superpositionsprinzip erklärt werden können.

- Ergebnis:**
1. Eine Verschiebung über 10 Minima entspricht einem Gangunterschied von 10 Wellenlängen.
Meßbeispiel: $\Delta s = 8,5 \text{ cm}$
 $\Rightarrow \lambda = 0,85 \text{ cm}$
Mit $f = 40,5 \text{ kHz}$ und $c = \lambda \cdot f$ folgt für die Schallgeschwindigkeit: $c \approx 344 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
 2. Abdecken von Sender oder Zusatzsender in der Stellung eines Minimums liefert wieder einen größeren Ausschlag des Meßgerätes!

Schülerübungen mit Ultraschall

Versuche zur Wellenlehre

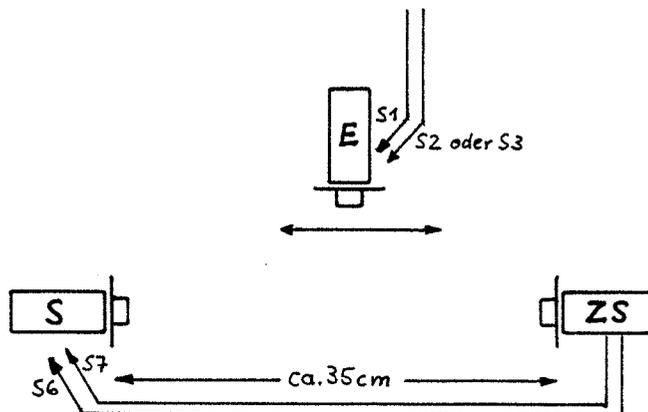
h.-w. oberholz

Stehende Welle zwischen zwei Schallquellen

Ziel: zu zeigen, daß das Ergebnis einer Überlagerung von zwei gegenläufigen, gleichartigen Wellen eine stehende Welle ist.

Gerätebedarf: Vielfachmeßinstrument, US-Sender, Zusatzsender, US-Empfänger, zwei Verbindungskabel

Versuchsskizze: (von oben gesehen)



Durchführung: Der Empfänger arbeitet bei kleiner Empfindlichkeit. Man stellt S und ZS auf ein Lineal und schiebt das Lineal langsam am E vorbei (oder E am Lineal vorbei). Ein Minimum etwa in der Mitte der Meßstrecke sollte 0 Volt liefern (evtl. Schallintensität des Zusatzsenders durch Drehen am Potentiometer ändern). Der Abstand über z. B. 20 Schwingungsknoten kann ausgemessen werden.

Ergebnis: $\Delta s = 8,5 \text{ cm} \cong 20 \cdot \frac{\lambda}{2}$
 $\Rightarrow \lambda = 0,85 \text{ cm}$

Schülerübungen mit Ultraschall

Versuche zur Wellenlehre

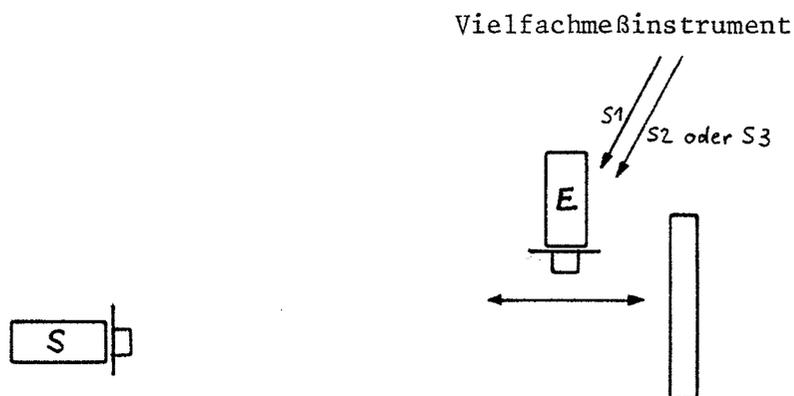
h.-w. oberholz

Stehende Welle in der Nähe einer Reflexionswand

Ziel: Zu zeigen, daß in der Nähe einer reflektierenden Wand durch gegenläufige Überlagerung eine stehende Welle entsteht.

Gerätebedarf: Vielfachmeßinstrument, US-Sender, US-Empfänger, Reflektor (z.B. Mattscheibe o.ä. aus Schülerübungssystem für Optik)

Versuchsskizze: (von oben)



Durchführung: Der Empfänger wird auf kleine Empfindlichkeit eingestellt und dann gemäß Skizze bewegt. Es zeigen sich in der Nähe des Reflektors deutliche Schwingungsbäuche und -knoten.

Ergebnis: siehe Versuch

Schülerübungen mit Ultraschall

Versuche zur Wellenlehre

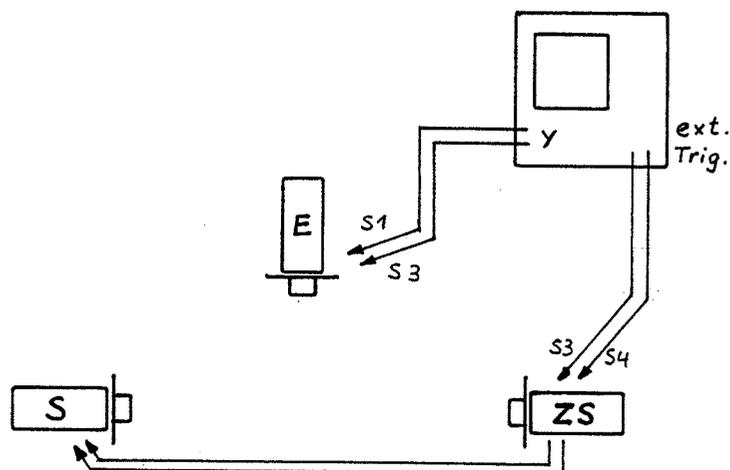
h.-w. oberholz

Phasensprung in benachbarten Schwingungsbäuchen bei einer stehenden Welle

Ziel: Zu zeigen, daß zwischen benachbarten Schwingungsbäuchen ein Phasensprung von $\Delta \varphi = \pi$ besteht.

Gerätebedarf: Ext. triggerbares Oszilloskop, Sender, Zusatzsender, Empfänger, 4 Kabel

Versuchsskizze: (von oben)



Durchführung: Der Empfänger wird auf kleine Empfindlichkeit eingestellt. In der Mitte sollte ein Minimum 0 Volt liefern, dazu ZS evtl. nachregeln. Bei Amplitudengleichheit zeigen sich dann im mittleren Bereich der stehenden Welle deutlich die Phasensprünge.

Ergebnis: Der Versuch bestätigt z. B. die Gleichung der stehenden Welle

$$y(t;x) = 2\hat{y} \cos 2\pi \frac{x}{\lambda} \sin 2\pi \cdot \frac{t}{T}$$

$$\text{für } x = n \cdot \lambda : \cos 2\pi \frac{x}{\lambda} = 1$$

$$x = \frac{2n+1}{2} \lambda : \cos 2\pi \frac{x}{\lambda} = -1$$

Schülerübungen mit Ultraschall

Versuche zur Wellenlehre

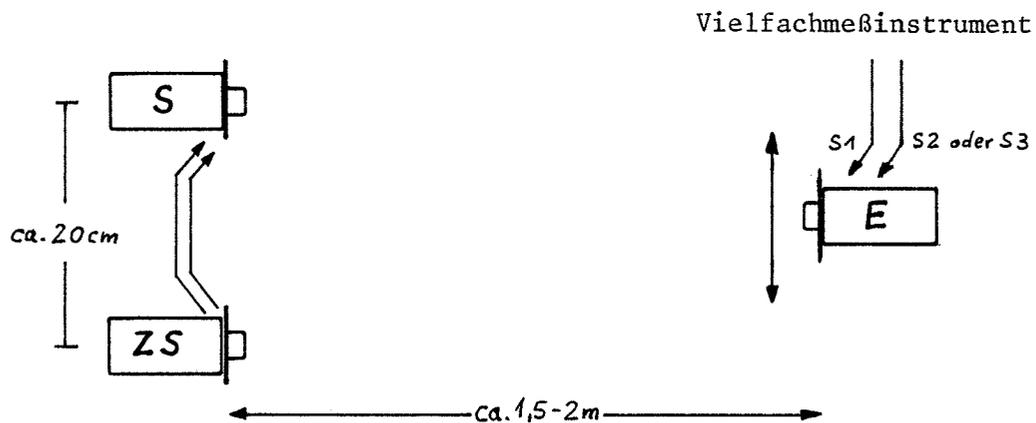
h.-w. oberholz

Interferenz zweier Schallquellen

Ziel: Es soll gezeigt werden, daß bei zwei kohärenten Wellen ein räumliches Interferenzfeld entsteht.

Gerätebedarf: Vielfachmeßinstrument, US-Sender, Zusatz-Sender, US-Empfänger, zwei Verbindungskabel

Versuchsskizze: (von oben)



Durchführung: Der Empfänger wird auf kleine Empfindlichkeit eingestellt. Er wird langsam in der angegebenen Richtung verschoben. Dabei ergeben sich neben dem Hauptmaximum mehrere Minima und Maxima. Wählt man im Vergleich zum Abstand der beiden Sender eine große Entfernung zum Empfänger, ergibt sich eine vereinfachte Auswertung. (Vergl. Versuch zur Beugung am Doppelspalt.)

Ergebnis:



$$\Delta s = d \cdot \sin \alpha \quad \text{und} \quad \sin \alpha = \frac{b}{l}$$

$$\Delta s = n \cdot \lambda$$

$$\Rightarrow n \cdot \lambda = \frac{d \cdot b}{l} \quad \Rightarrow \quad \lambda = \frac{d \cdot b}{n \cdot l}$$

Schülerübungen mit Ultraschall

Versuche zur Wellenlehre

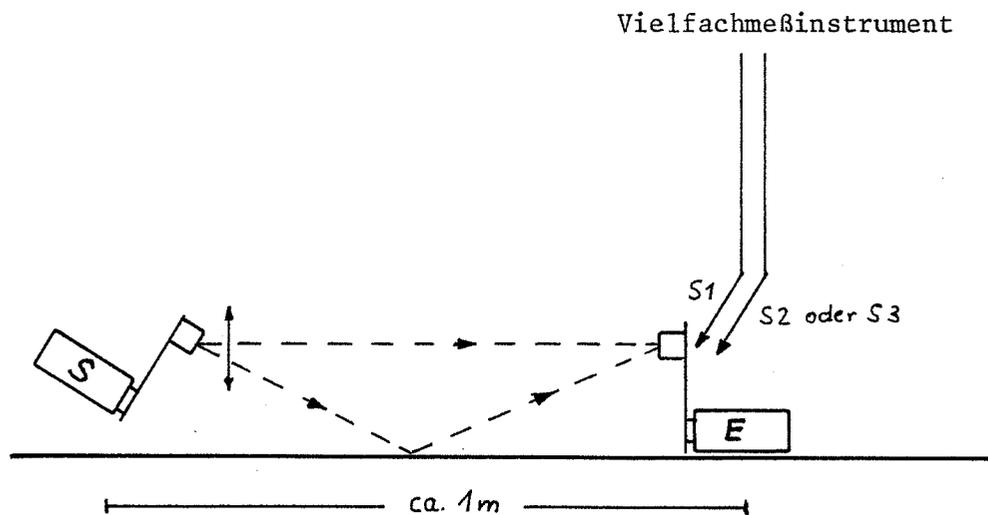
h.-w. oberholz

Interferenz durch Umwegreflexion (qualitativ)

Ziel: Es soll erkannt werden, daß bei Umwegreflexionen Interferenzerscheinungen auftreten

Gerätebedarf: Vielfachmeßinstrument, US-Sender, US-Empfänger, zwei Kabel

Versuchsskizze:



Durchführung: siehe Skizze. Der Empfänger arbeitet bei kleiner Empfindlichkeit

Ergebnis: Bei der vertikalen Bewegung treten periodisch Empfangsminima auf. Sie können als Interferenz von direktem und von einer virtuellen Schallquelle kommendem Schall interpretiert werden. (Vergl. Fresnelscher Spiegel)

Schülerübungen mit Ultraschall

Versuche zur Wellenlehre

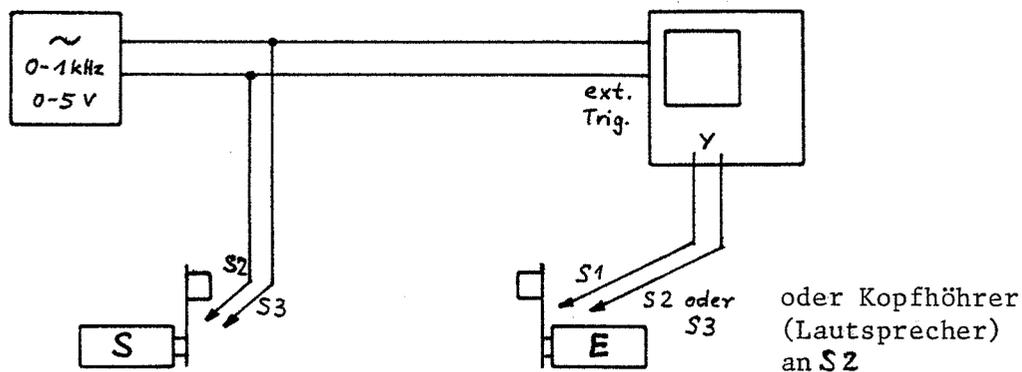
h.-w. oberholz

Amplitudenmodulation und -demodulation

Ziel: Zu zeigen, daß durch Modulation eines hochfrequenten Trägers Information übertragen werden kann.

Gerätebedarf: US-Sender, US-Empfänger, Funktionsgenerator (evtl. Stelltrafo), Oszilloskop und/oder Kopfhörer (Lautsprecher), div. Kabel

Versuchsskizze:



Durchführung: Die Drahtbrücke in der Stromzuführung beim Sender wird entfernt. Hier wird der Funktionsgenerator angeschlossen. Der Empfänger arbeitet bei kleiner Empfindlichkeit, Anschluß siehe Skizze. Statt eines Funktionsgenerators läßt sich auch der Lautsprecherausgang eines Radios o. ä. verwenden. Es lassen sich Sendestrecken von 20 m überbrücken, wenn die Empfindlichkeit des Empfängers entsprechend nachreguliert wird.

Ergebnis: Die Einhüllende der Trägerfrequenz (hier 40 kHz) entspricht der Modulationsspannung. Sie kann durch Demodulation m. Hilfe einer Diode empfängerseitig wiedergewonnen werden.

Schülerübungen mit Ultraschall

Versuche zur Wellenlehre

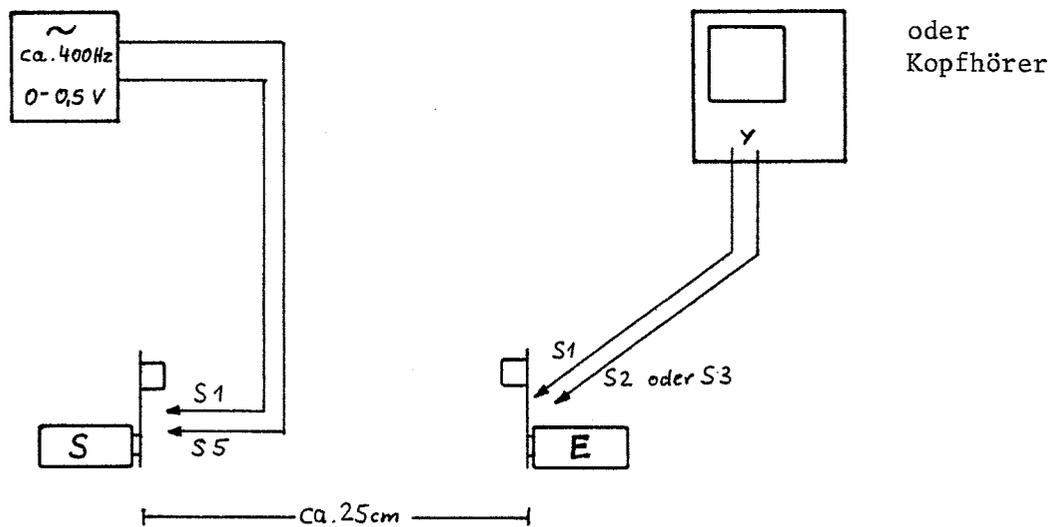
h.-w. oberholz

Frequenzmodulation und -demodulation

Ziel: zu zeigen, daß durch FM Information übertragen werden kann, die durch einen im Randbereich betriebenen Resonanzempfänger wiedergewonnen werden kann.

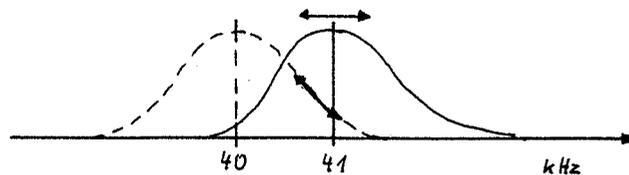
Gerätebedarf: US-Sender, US-Empfänger, Funktionsgenerator oder Radioausgang, Oszilloskop und/oder Kopfhörer, div. Kabel

Versuchsskizze:



Durchführung: Anschlüsse siehe Skizze (evtl. zusätzlich Triggerung). Durch Interferenzen können Verzerrungen des Empfangssignals auftreten, deshalb Idealentfernung ausprobieren. Zu Beginn des Versuchs durch Variieren der Sendefrequenz die Übertragungsleistung auf maximalen Wert einstellen (bei ca. 40,5 kHz), danach Poti im Uhrzeigersinn weiterdrehen, bis die Leistung wieder absinkt (jetzt $f \approx 41$ kHz). Nun eigentlichen Versuch durchführen.

Ergebnis: Da Sende- und Empfängerquarz verschiedene Mittenfrequenzen haben, ist eine Umsetzung von FM auf AM im Empfänger möglich:



Hinweis: In der Nähe starker Rundfunksender genügt der Anschluß einer Antenne (ca. 1 m) um den Sender auf diese Art zu empfangen.

Schülerübungen mit Ultraschall

Versuche zur Wellenlehre

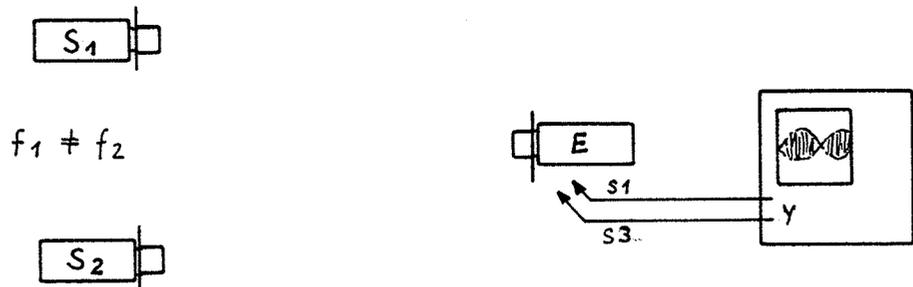
h.-w. oberholz

Überlagerung von Schwingungen verschiedener Frequenzen (bei gleicher Amplitude)

Ziel: Es soll erkannt werden, daß die resultierende Schwingung eine Schwebung mit sinusförmiger Einhüllenden ist.

Gerätebedarf: 2 US-Sender, 1 US-Empfänger, Oszilloskop

Versuchsskizze: (von oben)



oder Kopfhörer an S_2

Durchführung: Der Empfänger arbeitet bei kleiner Empfindlichkeit. Die Zeitablenkung des Oszilloskops wird so eingestellt, daß die Schwebungskurve gut sichtbar wird. Ein stehendes Bild erhält man durch leichtes Variieren der Zeitablenkung. Bei unterschiedlicher Sendeleistung verschiebt man einen der beiden Sender bis eine optimale Schwebung entsteht.

Ergebnis:
$$y(t) = y_1(t) + y_2(t) = 2y_{\max} \cos \frac{\omega_1 - \omega_2}{2} \cdot t \cdot \sin \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} \cdot t$$

Die doppelte maximale Amplitude $2y_{\max}$ erkennt man gut bei Wegnahme eines Senders. Die Amplitude schwankt sonst zwischen Null und $2y_{\max}$ mit der Kreisfrequenz $\omega_s = \omega_1 - \omega_2$ (ω_s = Schwebungsfrequenz). Einen Ton dieser Frequenz kann man mit einem Kopfhörer nach einer Demodulation (S_2) wahrnehmen.

Schülerübungen mit Ultraschall

Versuche zur Wellenlehre

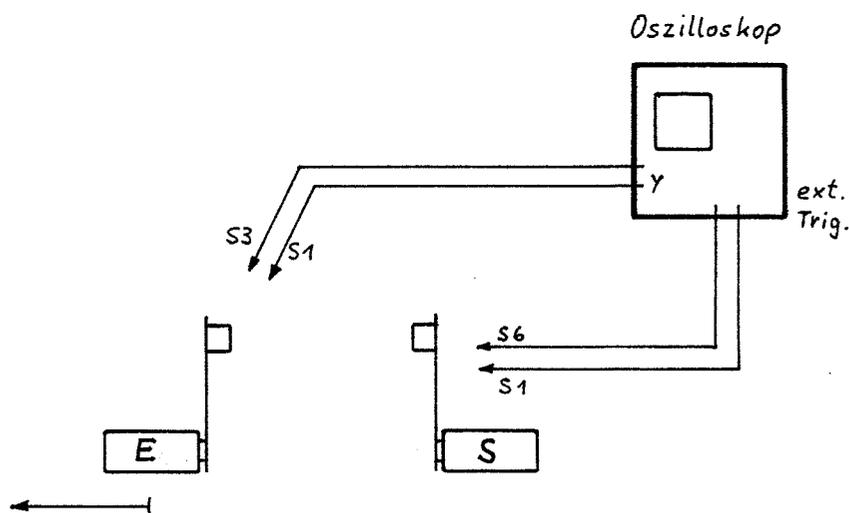
h.-w. oberholz

Phasenverschiebung in Richtung der Wellenausbreitung und Schallgeschwindigkeit

Ziel: Mit Hilfe der Phasenverschiebung und der Definition der Wellenlänge soll „c“ bestimmt werden.

Gerätebedarf: Ext. triggerbares Oszilloskop, US-Sender, US-Empfänger, 4 Verbindungskabel

Versuchsskizze:



Durchführung: Der Empfänger wird auf kleinste Empfindlichkeit eingestellt. Das Oszilloskop wird auf externe Triggerung umgestellt. Während der Verschiebung vom Sender weg beobachtet man die Phasenverschiebung auf dem Bildschirm. $\Delta \varphi = 2\pi$ entspricht einem verspäteten Eintreffen um $t=T$, d.h., die Schwingungskurve liegt wieder an der alten Stelle.

Ergebnis: Eine Phasenverschiebung um 2π entspricht nach Def. einer Wegdifferenz von einer Wellenlänge.

Meßbeispiel:

$$\Delta s = 20\lambda = 0,17 \text{ m} \Rightarrow \lambda = 8,5 \text{ mm}$$

Mit $f = 40,5 \text{ kHz}$ folgt:

$$c = \lambda \cdot f = 344,25 \text{ m/s} \quad (\text{bei } \vartheta = 22^\circ\text{C})$$

Schülerübungen mit Ultraschall

Versuche zur Wellenlehre

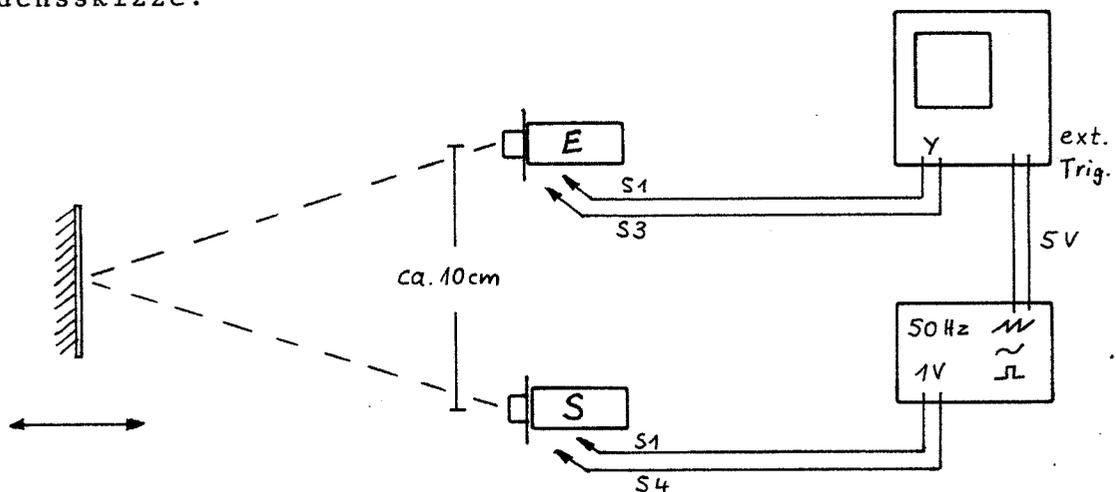
h.-w. oberholz

Radarprinzip

Ziel: Es soll gezeigt werden, daß die Laufzeit eines gepulsten und von einem Gegenstand reflektierten Signals zur oszillographischen Darstellung der Entfernung ausgenutzt werden kann.

Gerätebedarf: Oszilloskop, Funktionsgenerator oder Stelltrafo, US-Sender, US-Empfänger, div. Kabel

Versuchsskizze:



Durchführung: Aufbau nach Skizze. Der Empfänger wird auf volle Empfindlichkeit eingestellt. Die Tastspannung wird so reguliert, daß ein schmales Impulspaket (direkter Schall) auf dem Oszilloskop sichtbar wird (Einstellung 1 V/cm und 2 ms/cm). Vor der Anordnung werden jetzt Gegenstände bewegt oder eine Person geht auf und ab.

Ergebnis: Die reflektierten Impulse erscheinen auf dem Bildschirm je nach Abstand des Gegenstandes mehr oder weniger nach rechts verschoben. Dies entspricht der von der Entfernung abhängenden Laufzeit des Signals. Aus der Schallgeschwindigkeit und der am Bildschirm ablesbaren Zeitdifferenz läßt sich die Entfernung berechnen.

$$\begin{aligned} \text{Beispiel: } t &= 2 \text{ cm} \cdot 2 \text{ ms/cm} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ s}; & c &= 340 \text{ m/s} \\ \Rightarrow 2 s &= c \cdot t = 1,36 \text{ m} & \Rightarrow s &= 0,68 \text{ m} \end{aligned}$$

Schülerübungen mit Ultraschall

Versuche zur Wellenlehre

h.-w. oberholz

Indirekte Demonstration des Dopplereffekts (bei bewegtem S.)
(nach einer Idee von Herrn OStR. Finkenrath)

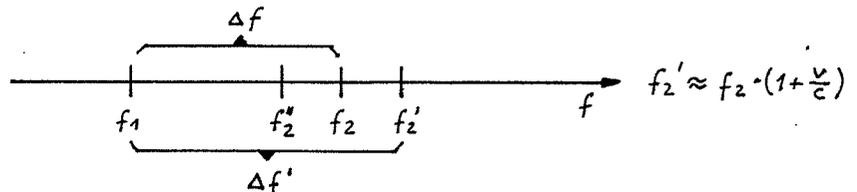
Ziel: Deutlicher Nachweis des Dopplereffekts

Gerätebedarf: Kopfhörer oder Lautsprecher evtl. mit NF-Verstärker,
2 US-Sender, 1 US-Empfänger, Verbindungskabel

Versuchsskizze:



Durchführung: Aufbau nach Skizze. Die Frequenz des 2. Senders wird verstellt, bis über den demodulierten Ausgang (S 2) des Empfängers eine gut hörbare Schwebungsfrequenz Δf abgegeben wird: $\Delta f = f_2 - f_1$; $f_2 > f_1$



Ergebnis:

Bei Aufeinanderzubewegen ist die empfangene Frequenz f_2' größer als vorher ($f_2' > f_2$): $\Delta f' = f_2' - f_1 > f_2 - f_1 = \Delta f$

Bei Wegbewegungen gilt ($f_2'' < f_2$): $\Delta f'' = f_2'' - f_1 < f_2 - f_1 = \Delta f$
(Dies ist in beiden Fällen deutlich zu hören.)

Achtung: Wenn man S_1 bewegt, muß die Tonhöhenänderung entgegengesetzt sein!

Der erzielte Effekt ist bei einer 1 kHz-Schwebung 40mal so deutlich wie bei einem gewöhnlichen 1 kHz-Ton.

Beispiel: Änderung der hörbaren Schwebungsfrequenz
 $\Delta f' - \Delta f = (f_2' - f_1) - (f_2 - f_1) = f_2' - f_2 = f_2 \cdot \frac{v}{c}$

mit $f_1 = 39$ kHz, $f_2 = 40$ kHz, $f_2' = 41$ kHz ergibt sich
 $(41 \text{ kHz} - 39 \text{ kHz}) \stackrel{?}{=} (40 \text{ kHz} - 39 \text{ kHz}) = 40 \text{ kHz} \cdot \frac{v}{c}$

$$\Leftrightarrow \underbrace{2 \text{ kHz} - 1 \text{ kHz}}_{\text{Oktave}} = 40 \text{ kHz} \cdot \frac{v}{c}$$

$$\Leftrightarrow v = \frac{1}{40} \cdot c$$

Um bei einem direkten Versuch zu einem 1 kHz-Ton die Oktave zu erreichen braucht man

$$2 \text{ kHz} - 1 \text{ kHz} = 1 \text{ kHz} \cdot \frac{v}{c}$$

$$\Leftrightarrow v = c$$