

Facharbeit
aus dem Leistungskurs
Physik

Thema

Verschiedene Methoden zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit

Verfasser: Markus Plutka
Leistungskurs: Physik
Kursleiter: OStR Günter Gottfried
Bearbeitungszeitraum: 1 Jahr
Abgabetermin: 02. Februar 1998

Erzielte Note:

Erzielte Punkte:

(einfache Wertung)

Eintrag des Ergebnisses:

.....
(Unterschrift des Kursleiters)

Inhaltsverzeichnis

1. Einführung in das Thema „Schall“ und „Schallgeschwindigkeit“	3
2.	4
2.1 Definitionen und Erläuterungen:	4
2.1.1 Entstehung und Fortpflanzung von Schallwellen.....	4
2.1.2 Schallgeschwindigkeit.....	5
2.2 Versuchsbeschreibungen:	6
2.2.1 <i>Messung der Schallgeschwindigkeit durch Bestimmung von λ (Wellenlänge) und f (Frequenz)</i>	6
2.2.1.1 An fortschreitenden Wellen.....	6
V1: Abhören des Schalls mit Hilfe eines U-Schlauches.....	6
V2: Messung mit Hilfe aussetzender Rückkopplung am Stimmstab (drei Ausführungen).....	7
V3: Messung der Schallgeschwindigkeit mit Schallinterferenz (drei Ausführungen).....	9
V4: Messung der Wellenlänge an fortschreitenden Wellen durch Mikrofon.....	10
V5: Messung der Wellenlänge mit Hilfe eines Simultangerätes (zwei Ausführungen).....	11
2.2.1.2 An stehenden Wellen.....	12
V6: Messung mit dem Kundtschen Rohr.....	12
V7: Messung mit dem Quinckeschen Resonanzrohr.....	14
2.2.2 <i>Messung der Schallgeschwindigkeit durch Bestimmung von s (Strecke) und t (Zeit) an fortschreitenden Wellen</i>	15
V8: Messung aus einer Weg- und Zeitbestimmung (zwei Ausführungen).....	15
V9: Stoßversuch zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit (zwei Ausführungen).....	16
V10: Messung der Schallgeschwindigkeit bei andauernden Stößen (drei Ausführungen).....	17
V11: Zeitmessung mittels rotierender Glimmlampe.....	20
2.3 Praktischer Versuch:	21
2.3.1 <i>Messung der Schallgeschwindigkeit mit Hilfe einer Computersoundkarte (Weg- und Zeitmessung)</i>	21
2.3.1.1 Versuchsaufbau.....	21
2.3.1.2 Beobachtungen und Berechnungen.....	22
3. Zusammenfassung	23

1. Einführung in das Thema „Schallgeschwindigkeit“

Schon seit jeher gibt es eine einfache Methode, um die Entfernung zu einem nahenden Gewitter zu ermitteln. Man zähle einfach die Sekunden, die zwischen dem Aufleuchten des Blitzes und dem Ertönen des Donners vergehen und dividiere diese Zahl durch drei. Das Ergebnis entspricht annäherungsweise der Distanz zum Gewitter, gemessen in Kilometern.

Diese einfache Überschlagsrechnung funktioniert jedoch nur, weil man den Zeitraum zwischen Blitz und Donner leicht und ohne aufwendige technische Hilfsmittel ziemlich genau bestimmen kann. Die Geschwindigkeit, mit der sich das Geräusch des Donners in der Luft ausbreitet, muss also sehr viel kleiner sein als die des Lichts, das der Blitz aussendet. Dies lässt sich besonders gut an einem vorüberfliegenden Flugzeug beobachten. Das Geräusch der Triebwerke scheint weit hinter dem Flugzeug zu entspringen. Das liegt daran, dass der Schall eine gewisse Zeit braucht, um aus dieser Flughöhe zum Beobachter zu gelangen. Bei dessen Ankunft jedoch, ist das Flugzeug aufgrund seiner relativ hohen Geschwindigkeit schon wieder ein ganzes Stück weitergeflogen, wodurch sich der oben genannte Effekt bemerkbar macht. Beachtet man diesen Umstand nicht, so wird man das Flugzeug zu weit hinten vermuten und vergeblich suchen.

Dies beweist wieder, dass die Geschwindigkeit des Schalls ein Bruchteil der des Lichts ausmachen muss. Aus oben aufgeführter Berechnung ergibt sich nunmehr ein Schätzwert von rund 300 Metern pro Sekunde.

Zur genaueren Bestimmung dieser „Schallgeschwindigkeit“ bieten sich nun eine Vielzahl von Versuchen an, die hieran anschließend eingehend erläutert werden sollen.

Die Methode wird zuerst beschrieben und durch eine Abbildung erklärt. Anschließend wird eine Beispielsberechnung der Schallgeschwindigkeit mit für diesen Versuch realistischen Werten durchgeführt. Im praktischen Teil dieser Arbeit stelle ich noch eine relativ einfache Methode vor, mit der sich die Schallgeschwindigkeit in Luft mit Hilfe einer einfachen Computersoundkarte und zwei daran angeschlossenen Mikrofonen errechnen lässt.

2.

2.1 Definitionen und Erläuterungen:

2.1.1 Entstehung und Fortpflanzung von Schallwellen

Viele Gegenstände, die sich in unserem täglichen Gebrauch befinden, erzeugen Schall. Dieser äußert sich, wenn die Frequenz der Schallwelle im hörbaren Bereich (zwischen ca. 16 Hz und 20000 Hz) liegt, durch ein, mit unseren Ohren wahrnehmbares, Geräusch. Aber wie entstehen überhaupt diese Schallwellen und wie breiten sie sich im uns umgebenden Medium Luft aus? Am Einfachsten untersucht man dies mit einem normalen Lautsprecher. Spielt man über diesen zum Beispiel Musik ab, dann fällt auf, dass sich die Membran des Lautsprechers im Rhythmus der Töne mitbewegt - sie schwingt. Diese Schwingung der Membran überträgt sich nun auf die den Lautsprecher umgebenden Luftmoleküle, die daraufhin ebenfalls in Schwingungen versetzt werden. An den Stellen, von denen sich die Luftteilchen wegbegeben, nimmt der Druck ab. Dort, wo sie sich hinbewegen, erhöht sich der Druck. Durch diese Druckunterschiede werden auf die benachbarten Luftmoleküle in Bewegungsrichtung Kräfte übertragen, die diese ebenfalls zu Schwingungen anregen. Auf diese Weise pflanzt sich eine Longitudinalwelle¹ in Schwingungsrichtung fort, bis sie endlich auf das Ohr des Menschen trifft, wo eben diese Schallwelle, also die übertragene Schwingung von Luftteilchen, von Bestandteilen des Mittel- und Innenohres in elektrische Impulse umgesetzt werden, die das Gehirn wiederum in für uns wahrnehmbare Töne umwandelt. Ebenso vollzieht sich dieser Vorgang auch in Flüssigkeiten. Einen großen Einfluss auf die Ausbreitungs- und somit auch Schallgeschwindigkeit für diesen Stoff, hat dessen Dichte und Elastizität. Gase und Flüssigkeiten besitzen im Allgemeinen nur Volumenelastizität, d. h. sie erzeugen auf eine Volumenänderung hin einen Druck, der das ursprüngliche Volumen wiederherstellen soll. Deshalb können in Gasen und Flüssigkeiten nur Längswellen entstehen. Ein bisschen anders gestaltet sich dieser Sachverhalt in Feststoffen. Obwohl sich in diesen ebenfalls Longitudinalwellen ausbreiten können, besitzen sie auch die Möglichkeit, Transversalwellen² auszubilden. Dies erklärt sich wiederum durch die Art, wie Feststoffe auf äußere Einflüsse reagieren. Anders als bei Gasen und Flüssigkeiten, sind diese Stoffe formelastisch, d. h. sie versuchen bei Verformungen, durch Kräfte ihre ursprüngliche Form wiederherzustellen.

¹ Längs- oder Dehnwellen

² Quer- oder BiegeWellen

Dies ist der Grund dafür, dass sich die Ausbreitungsgeschwindigkeit einer Schallwelle in diesen Medien erheblich von der in anderen Stoffen unterscheidet.

Quellen: Q1 S.62

2.1.2 Schallgeschwindigkeit

Wie bereits erwähnt, bezeichnet man die Ausbreitungsgeschwindigkeit einer Schallwelle auch als Schallgeschwindigkeit c . Diese ist von vielen Faktoren abhängig, u. A. den elastischen Eigenschaften des Stoffes und den äußeren Umständen. Hierzu zählen

besonders Druck, Dichte und Temperatur der Umgebung. Darüber hinaus hängt die Schallgeschwindigkeit noch von weiteren Größen ab, die durch das Medium in dem sich die Schallwelle ausbreitet, festgesetzt sind. Bei Feststoffen zählen hierzu die Dichte ρ und das Elastizitätsmodul³ E :

$$c_{\text{Fest}} = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (\text{Formel 1})$$

Bei Flüssigkeiten tritt hier an Stelle von E die Kompressibilität⁴ $K = dV/Vdp$:

$$c_{\text{Flüss}} = \sqrt{\frac{1}{K\rho}} \quad (\text{Formel 2})$$

Bei Gasen:

$$c_{\text{Gas}} = \sqrt{\chi_0 \frac{p}{\rho}} \quad (\text{Formel 3})$$

Hier stellt p den Gasdruck und $\chi_0 = \frac{c_p}{c_v}$ das Verhältnis der spezifischen Wärmekapazitäten, auch Adiabatexponent⁵ genannt, dar.

Quellen: Q1; Q2; Q4 S.98-101; Q6

³ Das Elastizitätsmodul ist das Verhältnis der erforderlichen Spannung zur erzielten relativen Längenänderung.

⁴ Unter der Kompressibilität K versteht man das Verhältnis der relativen Volumenänderung zur erforderlichen Druckänderung.

⁵ Der Adiabatexponent χ gibt Aufschluss darüber, ob bei einer Schallwellenausbreitung ein Wärmeaustausch mit der Umgebung stattfindet oder nicht.

Wie unterschiedlich die Schallgeschwindigkeit in unterschiedlichen Stoffen ausfällt, zeigt die Tabelle 1.

Feste Körper (Stäbe)	Flüssigkeiten	Gase
Stahl	5200 destilliertes Wasser	1407 Luft
Eisen	5000 Benzol	1324 Sauerstoff
Kupfer	3600 Toluol	1326 Stickstoff
Messing	3500 Petroleum	1316 Kohlendioxid
Blei	1320 Quecksilber	1460 Leuchtgas
Tannenholz (trocken)	5200 Glycerin	1500 Helium
Glas	4000...5370	Wasserstoff

Tabelle 1: Schallgeschwindigkeit bei 0°C in m/s

Quelle: Q1 S.88

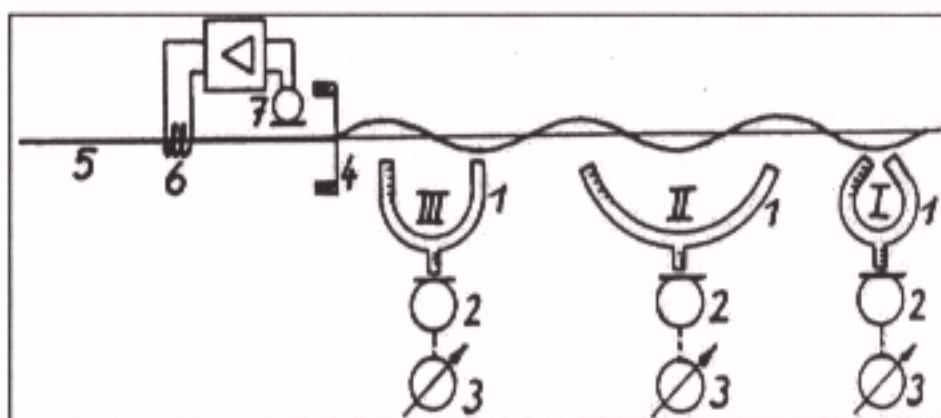
2.2 Versuchsbeschreibungen:

2.2.1 Messung der Schallgeschwindigkeit durch Bestimmung von λ (Wellenlänge) und f (Frequenz)

2.2.1.1 An fortschreitenden Wellen

V1: Messung der Schallgeschwindigkeit durch Abhören mit einem U-Schlauch

Für den ersten Versuch benötigt man einen ca. 1,5 m langen, dicken Gartenschlauch, der in der Mitte eine Öffnung von etwa 1,5 cm im Durchmesser



hat. In dieses Loch wird nun ein Mikrofon mit

Abbildung 1: 1 Schlauch mit 2 Mikrofon und 3 Messinstrument, 4 Tamburin, 5 Stimmstab, 6 Spule, 7 Mikrofon für Rückkopplung

angeschlossenem Messgerät eingesetzt, mit dem es später möglich sein wird, den Schall am Ende des Schlauchs nachzuweisen. Als Tonerreger eignet sich hier besonders ein Lautsprecher, der an den Ausgang eines Frequenzgenerators angeschlossen ist. Zur Übertragung und Verstärkung des Schalls wird ein Stimmstab der Länge $l = \lambda/2 = 120$ cm und einer Frequenz von $f = 2120$ Hz an eine lotrecht stehende Tamburin⁶-Membran gelehnt.

⁶ Unter einer Tamburin versteht man für gewöhnlich eine kleine Trommel oder zumindest deren Fell

Ein am Frequenzgenerator angeschlossenes Mikrofon dient zusammen mit dem Stimmstab als Rückkopplungsvorrichtung, die der Schwingungserregung dient (Abb. 1). Nun ist es möglich, mit dem biegsamen Schlauch verschiedene Bereiche der fortschreitenden Welle abzugreifen. Greifen z.B. beide Schlauchenden an der gleichen Stelle (I), oder um λ in Ausbreitungsrichtung verschoben (II), ab, so ist am Messgerät ein Ausschlag festzustellen - das Mikrofon erhält die Wellen in gleicher Phase. Sind nun aber die Schlauchenden um $\lambda/2$ voneinander entfernt (III), dann empfängt das Mikrofon die Welle gegenphasig. Dies äußert sich im Ausbleiben eines Ausschlages am Messgerät. Bleibt man nun mit einem Schlauchende fest an einem Punkt und bewegt dagegen das Andere in Ausbreitungsrichtung der Schallwelle, so lassen sich am Messgerät bald Maxima und Minima bestimmen. Betragen die Abstände dreier Minima z.B. $15,0\text{ cm}$; $15,5\text{ cm}$; $16,3\text{ cm}$ \Rightarrow Mittelwert von $15,6\text{ cm}$, dann erhält man mit folgender Rechnung leicht die Schallgeschwindigkeit:

$$c = f \cdot \lambda = 2120\text{ Hz} \cdot 15,6\text{ cm} \approx 331\text{ ms}^{-1} \text{ (Formel 4)}$$

Quelle: Q3 S.213-214

V2: Messung mit Hilfe aussetzender Rückkopplung am Stimmstab (drei Ausführungen)

a) Ein Mikrofon wird in Längsrichtung des Stabes von der Membran wegbewegt (Abb. 2). In ziemlich regelmäßigen Abständen beobachtet man nun ein Tönen und Verstummen des Stabes. Dies erklärt sich damit, dass es nur dann zu einer Rückkopplung (und somit zum Schwingen des Stabes) kommt, wenn die Stromstöße in

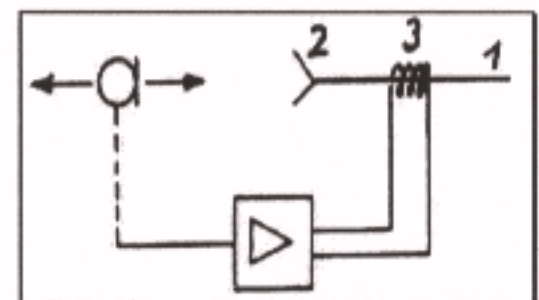


Abbildung 2: 1 Stimmstab, 2 Membran, 3 Spule

der Spule in gleicher Phase mit den Schwingungen des Stabes liegen. Geschieht dies gegenphasig, dann verstummt der Ton. Hierbei muss allerdings beachtet werden, dass in Membrannähe die Minima und in größerer Entfernung die Maxima besser wahrnehmbar sind. Auf einem Papierband, das unter einem am Mikrofon hängenden Lot befestigt ist, werden nun die Maxima bzw. Minima vermerkt. Daraus ergibt sich:

F (Hz)	BAND	LÄNGE DER MESSSTRECKE L (cm)	ANZAHL DER MAX.	ANZAHL DER MIN.	λ (cm)	C (ms ⁻¹)
1940	I	311,0	18		17,30	
	II	483,5	28		17,25	
	II	464,5		27	17,22	
				Mittelwert	$\Rightarrow 17,26$	335

b) Dieser Versuch kann auch wie in Abb. 3 gezeigt, aufgebaut werden. Hierbei agiert die Wand vor der Membran und dem Mikrofon als Reflektor. Wichtig ist hier auch die dicke, isolierende Brett dazwischen, um etwaige Rückkopplungen zu vermeiden. Im Gegensatz zum Aufbau bei a) wird hier die reflektierende Wand verschoben. Bei jeder Verschiebung um $\lambda/2$ folgt Maximum auf Maximum bzw. Minimum auf Minimum.

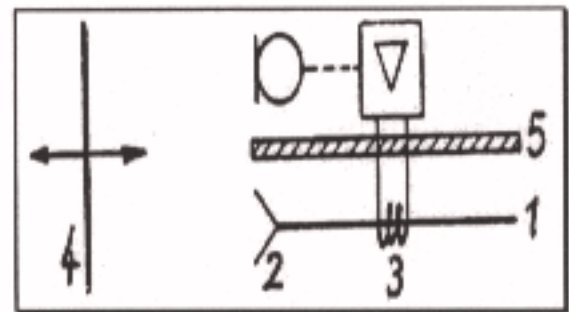


Abbildung 3: 1 Stimmgabestab, 2 Membran, 3 Spule (1200), 4 reflektierende Wand, 5 schallisolierende Wand

Auf einer Strecke von $86,5 \text{ cm}$ befanden sich, das Erste mitgerechnet, *zehn Maxima*. Daraus ergibt sich für die Wellenlänge bei diesem Aufbau:

$$\lambda = \frac{86,5 \text{ cm}}{10} \cdot 2 = 17,5 \text{ cm}$$

c) Die Methode der aussetzenden Rückkopplung bietet auch eine einfache Möglichkeit, die Schallgeschwindigkeit in verschiedenen Gasen zu bestimmen. Hierzu wird eine mindestens 1 m lange Papprohre an einem Ende mit einem Trommelfell (z.B. aufgeklebtes Pergamentpapier) abgedichtet (Abb. 4). Das andere Ende wird mit einer Holzscheibe mit Bohrloch, durch das ein

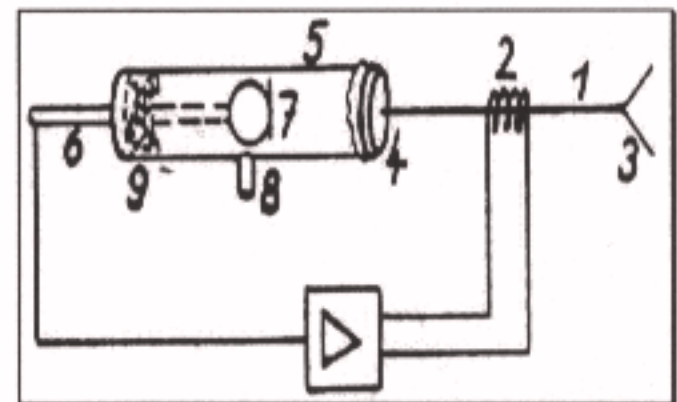


Abbildung 4: 1 Stimmgabestab, 2 Spule, 3 Membran, 4 Trommelfell, 5 Papprohre, 6 Stab mit 7 Mikrofon, 8 Rohransatz zum Einfüllen von Gasen, 9 Watte

Stab mit dem Mikrofon eingeführt wird, verschlossen. Ungefähr in der Mitte der Röhre wird ein kleiner Rohreinsatz eingeführt, durch den später das Gas einströmen kann. Die Luft entweicht dann durch die Bohröffnung. Reflexion und Bildung stehender Wellen wird durch das Auskleiden eines Rohrendes mit Watte vermieden. Es empfiehlt sich ebenso, während des Versuchs langsam Gas nachströmen zu lassen. Genau wie bei den beiden obigen Versuchen beobachtet man hier beim Bewegen des Mikrofons Stellen mit und ohne Rückkopplung. Bei der Verwendung verschiedener Gase, stellen sich hier auch verschiedene Abstände ein.

Für Luft ergeben sich somit folgende Werte:

$$l_1 = 51 \text{ cm} ; n_1 = 3 \text{ Wellen}$$

Bei Leuchtgas:

$$l_2 = 46 \text{ cm} ; n_2 = 2 \text{ Wellen}$$

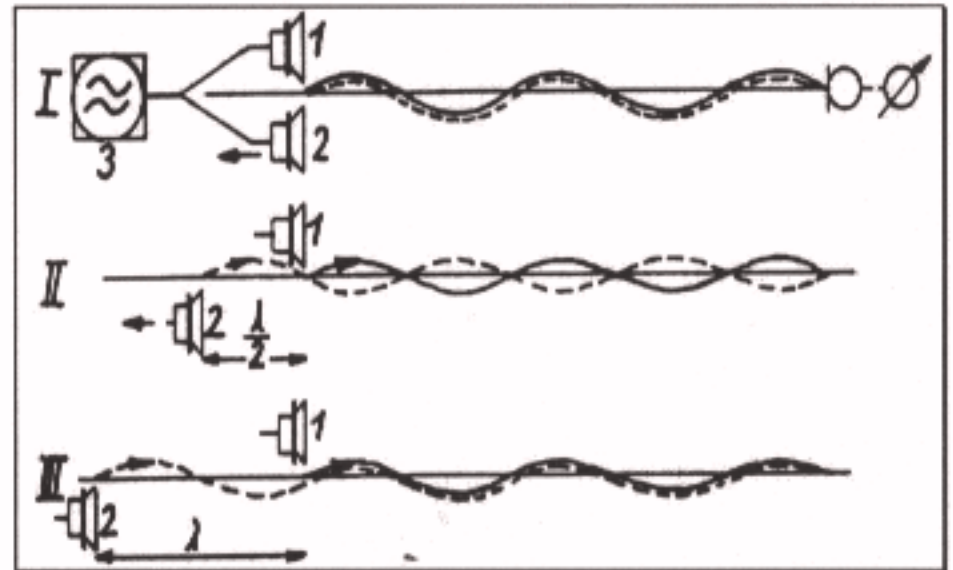
Daraus folgt: $\lambda_1 = \frac{51}{3} \text{ cm} = 17 \text{ cm}$; $\lambda_2 = \frac{46}{2} \text{ cm} = 23 \text{ cm}$

Da die Beziehung $\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{c_1}{c_2}$ (Formel 5) gilt, folgt für die Schallgeschwindigkeit in Leuchtgas ein Wert von $c_2 = 435 \text{ ms}^{-1}$.

Quelle: Q3 S.214-216

V3: Messung der Schallgeschwindigkeit mit Schallinterferenz (drei Ausführungen)

Wie in Abb. 5 gezeigt, werden zwei kleine Lautsprecher an denselben Tonfrequenzgenerator angeschlossen. In ungefähr ein bis zwei Metern Entfernung wird das Mikrofon mit Messinstrument angebracht. Nun wird der zweite Lautsprecher relativ zum Ersten



zurückbewegt. Stehen beide Tonköpfe genau nebeneinander (I),

Abbildung 5: 1 und 2 Tonkopf, 3 Tongenerator. Die Kurven dürfen nicht als stehende Wellen verstanden werden.

dann verlaufen die Schallwellen gleichphasig und am Messgerät ist ein Ausschlag zu verzeichnen (Die Wellen verstärken sich also). Bewegt man nun den Lautsprecher um genau $\lambda/2$ nach hinten (II), dann wird die Welle ausgelöscht (Die Wellen schwingen gegenphasig). Wird der Lautsprecher jedoch um λ wegbewegt (III), zeigt das Messinstrument wieder einen Maximalausschlag. Nun wird der Abstand der Minima voneinander bestimmt. Für die Frequenz $f = 1660 \text{ Hz}$ und die Strecke $l = 101 \text{ cm}$ folgt, bei fünf Wellen zwischen zwei Maxima, eine Wellenlänge von $\lambda = 20,2 \text{ cm}$ und daraus eine Schallgeschwindigkeit $c = 335 \text{ ms}^{-1}$.

b) Bei der zweiten Variante dieser Methode ersetzt man einen der Lautsprecher durch eine reflektierende Wand und den Anderen durch eine Pfeife, damit sich der Schall diesmal gleichmäßig in alle Richtungen verteilen kann. Wird nun die Wand z.B. um $\lambda/2$ relativ zur Pfeife bewegt, so beträgt der Gangunterschied der reflektierten Wellen λ . Durch Hin- und Herbewegen der Wand lassen sich nun leicht die Abstände zwischen den Minima bzw. Maxima bestimmen und damit c berechnen.

c) Eine weitere Möglichkeit diesen Versuch aufzubauen, besteht darin, vor den einen Tonkopf eine gefaltete Papptafel, deren Innenwinkel somit kleiner als 180° sein sollte, zu plazieren (Abb. 6). Ein Teil der vom Tonkopf ausgesendeten Schallwellen

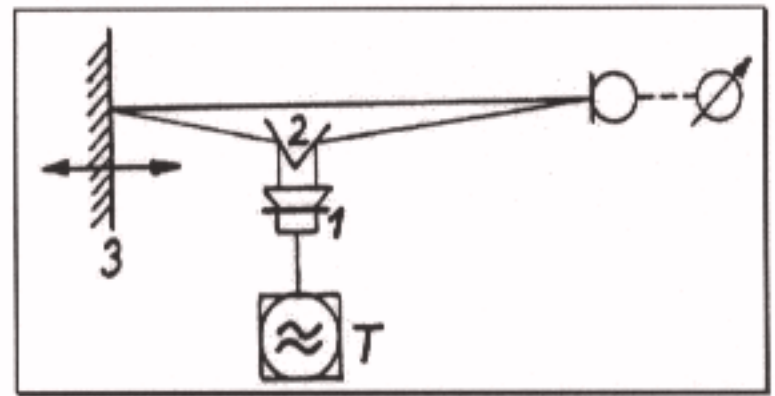


Abbildung 6: 1 Tonkopf mit Tongenerator, 2 gewinkelte Papptafel, 3 verschiebbare, reflektierende Wand

wird nun durch die eine Hälfte dieses Reflektors direkt auf das Mikrofon (wieder mit Messgerät versehen) abgelenkt. Der andere Teil trifft reflektiert zuerst auf die Wand und wird von dieser anschließend ebenfalls zur Empfangseinheit weitergeleitet. Eine Verschiebung der Wand um $\lambda/2$ bedeutet nun wieder einen Phasenunterschied von λ der ankommenden Wellen am Mikrofon. Auf eine Verschiebung der Wand um $40,5 \text{ cm}$ hin, ergaben sich vier *Minima* (ohne dem Ersten). Daraus ergibt sich eine Wellenlänge von $\lambda = 20,25 \text{ cm}$. Bei einer Frequenz $f = 1660 \text{ Hz}$ folgt somit eine Schallgeschwindigkeit von:

$$c = f \cdot \lambda = 1660 \text{ Hz} \cdot 20,25 \text{ cm} = 336 \text{ ms}^{-1}$$

Quelle: Q3 S.217-218

V4: Messung der Wellenlänge an fortschreitenden Wellen durch Mikrofon

Bei diesem Versuch wird neben den beiden Mikrofonen auch ein dreiteiliger Transformator benötigt. Die aus den Empfängern fließenden Ströme werden in die beiden äußeren Teile des Trafos geführt (Abb. 7) und der in der Mitte induzierte Strom kann durch ein Messgerät sichtbar gemacht werden.

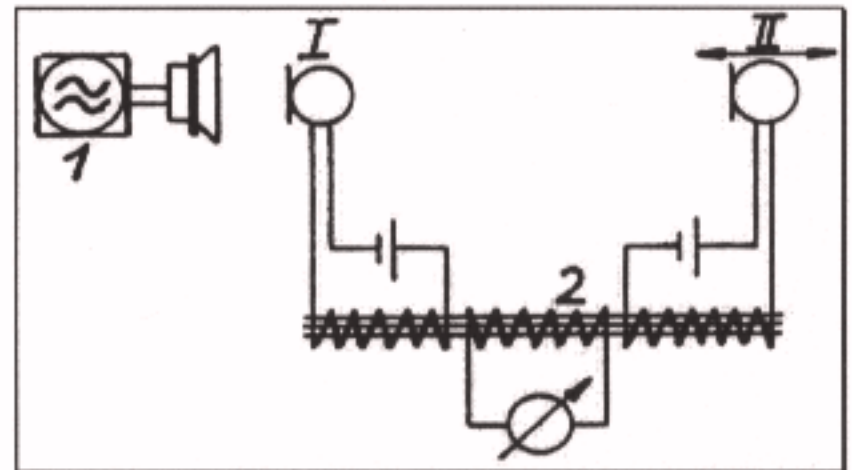


Abbildung 7: 1 Tongenerator, 2 dreiteiliger Transformator

Stehen die beiden Mikrofon nebeneinander vor dem Lautsprecher, so ist der Ausschlag am Messgerät besonders groß, vorausgesetzt, die beiden äußeren Trafoelemente sind gleich gepolt. Wird nun das zweite Mikrofon relativ zum Tonkopf bewegt und sind die beiden auftreffenden Wellen gleichphasig (Gangunterschied z.B. λ), dann ist ein Ausschlag zu erkennen. Bei Gegenphasigkeit sinkt er auf *null*. Auch hier bietet es sich an, den Abstand der Minima zu betrachten, da diese sehr viel genauer zu bestimmen

sind als die Maxima. Die Ausgangsstellung sollte hierbei $\lambda/2$ betragen. Beispielsmessungen ergaben für die Wellenlänge einen Durchschnittswert von $\lambda = 19,90 \text{ cm}$. Für die Schallgeschwindigkeit folgt somit ein Wert von:

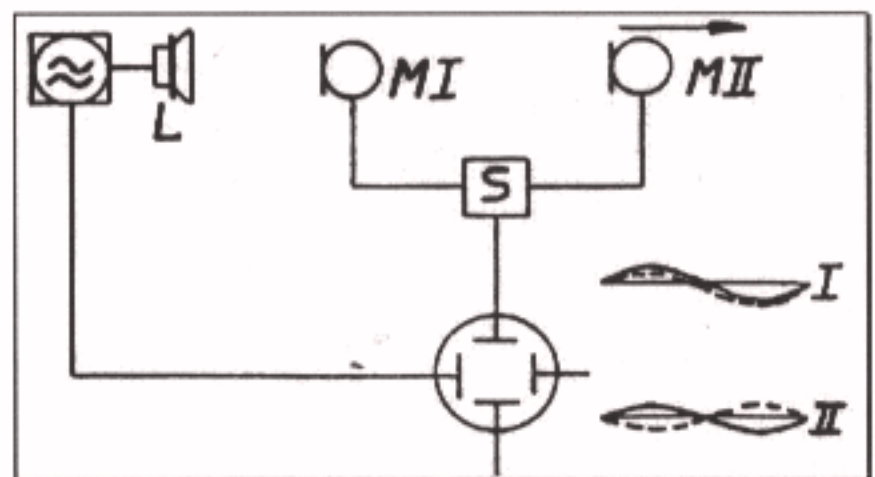
$$c = f \cdot \lambda = 1660 \text{ Hz} \cdot 19,90 \text{ cm} = 331 \text{ ms}^{-1}$$

Quelle: Q3 S. 219

V5: Messung der Wellenlänge mit Hilfe eines Simultangerätes (zwei Ausführungen)

a) Bei dieser Methode benutzen wir einen Kathodenstrahloszillographen, um die aus den Mikrofonen kommenden Spannungen zur Wellenlängenmessung sichtbar zu machen

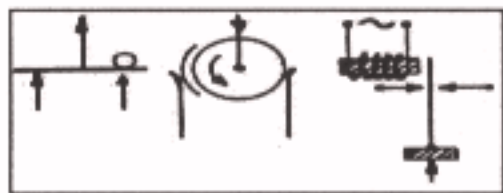
(Abb. 8). An einem Tonfrequenzgenerator werden sowohl ein Lautsprecher als auch die lotrechten Platten des Oszillographen angeschlossen. Die Ströme eines feststehenden und eines beweglichen Mikrofons werden über ein rotierendes



Simultangerät oder einen Pendelschalter (vgl. Abb. 9) in einer

Abbildung 8: L Lautsprecher, M Mikrophon, S Simultangerät - I Kurven in Phase, II Kurven symmetrisch

solchen Schaltfrequenz so auf die waagrechten Platten des Oszilloskops gegeben, dass



die beiden Kurven gleichzeitig auf dem Schirm sichtbar werden. Das rotierende Simultangerät oder auch der Pendelschalter ermöglichen eine rasche Umschaltung

Abbildung 9: Simultangeräte

zwischen zwei Zuleitungen. Bei einem gepolten

Pendelschalter (Relais) an der technischen Wechselspannung beträgt die Frequenz $f_1 = 50 \text{ Hz}$, bei einem ungepolten $f_2 = 100 \text{ Hz}$. Der Aufbau lässt sich noch vereinfachen,

indem man einfach die Kippfrequenz des Oszillographen als Tongenerator hernimmt.

Die Frequenz wird mit der einer Stimmgabel synchronisiert. Stehen nun beide

Mikrofone nebeneinander, so liegen die beiden Wellen am Oszillographen übereinander

oder sind in gleicher Phase, falls sich die beiden Amplituden unterscheiden. In diesem

Fall erfolgt ein Abgleich der Wellen, indem man die Spannungen an den Mikrofonen

verändert. Für den Versuch ist dies aber nicht erforderlich. Verschiebt man das eine

Mikrofon vom Lautsprecher um $\lambda/2$, $3\lambda/2$, $5\lambda/2$ usw., liegen die Kurven symmetrisch.

Beträgt der Phasenunterschied aber λ , 2λ , 3λ usw., so decken sie sich wieder. Durch Verschiebung des Mikrofons von Deckung der Kurven zu Deckung oder von symmetrischer Lage zu symmetrischer Lage lässt sich die Wellenlänge ziemlich genau bestimmen. Aus der ermittelten Wellenlänge errechnet sich in gleicher Weise wie bei den obigen Versuchen die Ausbreitungsgeschwindigkeit, denn die Frequenz der Welle sollte nach der Überprüfung mit der Stimmgabel mit deren Frequenz übereinstimmen.

b) Dieser Versuch lässt sich auch insofern variieren, als das man einfach das Simultangerät weglässt und die beiden Mikrofone jeweils an ein Ablenkplattenpaar anschließt. Abhängig vom Phasenverhältnis, zeigt der Oszillograph nun einen Kreis (oder bei ungleicher Ablenkung eine Ellipse mit waagrecht-lotrechten Achsen), eine schräg liegende Ellipse oder eine Gerade (Lissajousche Figur). Bei Bewegung eines Mikrofons werden diese Kurven durchlaufen. Ist die Ursprungsfigur wiederhergestellt, dann wurde das Mikrofon um genau eine Wellenlänge verschoben.

Quelle: Q3 S.220-221

2.2.1.2 An stehenden Wellen

„Die Ausmessung einer stehenden Schallwelle ist die *klassische Methode* zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit“ Quelle: Q2 S.90

V6: Messung mit dem Kundtschen Rohr

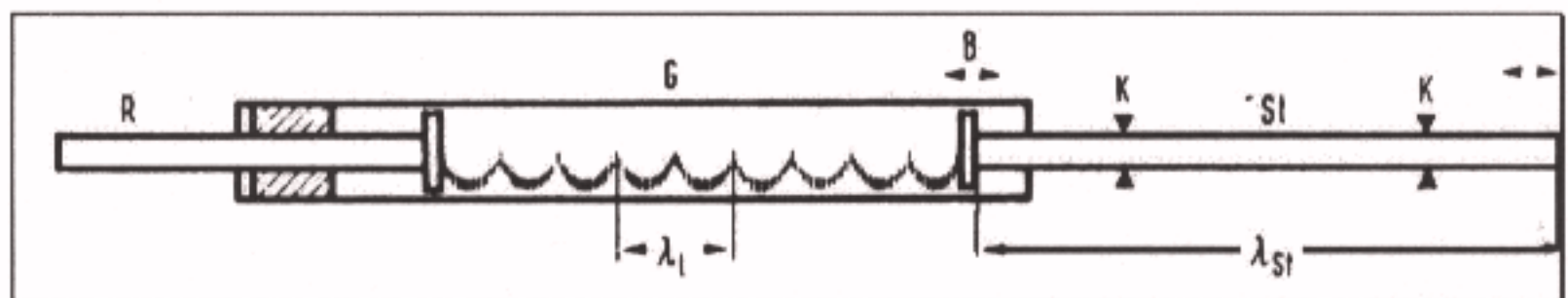


Abbildung 10: St longitudinal schwingender Metallstab, R verschiebbarer Reflektor, G Glasröhre, K Einspannung (Knoten)

Bei der von Kundt beschriebenen Versuchsanordnung klemmt man einen Stab St aus dem Material, dessen Schallgeschwindigkeit bestimmt werden soll, bei $\frac{1}{4}$ und $\frac{3}{4}$ seiner Länge fest ein. Wird nun der Stab mit einem Lappen, der zuvor mit Alkohol getränkt wurde, gerieben, dann wird er in Longitudinalschwingungen versetzt (Abb. 10). Die festgeklemmten Stellen sind hierbei Schwingungsknoten \Rightarrow die Stablänge L_{St} entspricht einer Wellenlänge λ_{St} . Die Mitte und das Ende des Stabes sind Schwingungsbäuche,

wobei der Stab in die durch die beiden Doppelpfeile angegebenen Richtung schwingt. Um nun die Wellenlänge λ_L in Luft zu bestimmen, wird eine Glasröhre G , die an einem Ende verschlossen ist, so über den zum Schwingen erregten Stab geführt, das der etwa *ein bis zwei Zentimeter* in die Glasröhre hineinragt. Für eine bessere Übertragung der Schwingung auf die Luft in der Röhre, wird das Ende, in das der Stab mündet, durch eine leichte Endplatte B verschlossen, die aber die Longitudinalschwingungen des Stabes mitmacht. Die Luftsäule in der Glasröhre wird dann mitschwingen, wenn die Erregungsfrequenz mit der Eigenfrequenz übereinstimmt,

$$\text{d.h. } f_{St} = f_L \text{ oder } \frac{c_{St}}{\lambda_{St}} = \frac{c_L}{\lambda_L}.$$

Um nun die Eigenschwingungen (stehenden Wellen) sichtbar zu machen, streut man etwas Korkpulver auf den Boden der Glasröhre, die möglichst gut trocken sein sollte. Das Pulver sollte in einer dünnen Spur auf der Unterseite der Röhre liegen. Bilden sich nun in der Röhre stehende Wellen aus, so bleibt das Korkpulver an den Stellen an denen sich Knotenstellen befinden, liegen. Da sich Schallwellen durch Druckunterschiede (oder besser gesagt durch Verdichtung und Verdünnung der Luft in Ausbreitungsrichtung) fortpflanzen, wird das Pulver an den Stellen zwischen den Knoten wegbewegt. Es entstehen am Boden der Röhre girlandenartige Wellenfiguren. Es kann aber nur dann eine stehende Welle entstehen, wenn $L_L \approx n\lambda_L/2$ gilt. Resonanz stellt man her, indem man das Glasrohr in Längsrichtung verschiebt. Am geschlossenen Ende des Rohres und an der Endplatte des Stabes befinden sich nun Knoten der stehenden Welle (streng gesehen befinden sich diese beiden Punkte **dicht** an einem Knoten, also nicht exakt auf ihm). Nun werden die Abstände der Knotenstellen gemessen, da diese viel leichter zu lokalisieren sind als beispielsweise die Wellenbäuche. Dazu dient eine am Auflagebrett der Glasröhre befestigte Millimetereinteilung mit Visiereinrichtung (Diopter). Diese wird zuerst an die erste Knotenstelle und dann auf die Letzte eingestellt. Dadurch erhält man den Abstand a dieser beiden Messpunkte. Durch die Beziehung $\lambda_L = 2a/n$, wobei n die Anzahl der Bögen zwischen den äußeren Knotenstellen angibt, erhalten wir die Wellenlänge der Schallwelle. Hätten wir nun aber vorher die stehende Welle z.B. durch einen Frequenzgenerator mit Lautsprecher, der am offenen Ende der Glasröhre befestigt ist, erzeugt, so erhielten wir jetzt bequem die Schallgeschwindigkeit durch die bekannte

Formel $c = f \cdot \lambda$. Aber da uns die Erregerfrequenz nicht bekannt ist, müssen wir anders vorgehen. Die Unbekannte λ_{St} erhalten wir durch Abmessen der Länge des Stabes L_{St} . Für die Berechnung benötigen wir aber noch die Umgebungstemperatur und die Dichte des Stabmaterials. Beide Werte sind entweder leicht zu messen (ϑ) oder sind in Tabellen angegeben (ρ). Die Schallgeschwindigkeit in Luft kann nun durch folgende Formel ausgerechnet werden:

$$c_{Luft} = (331,6 + 0,6 \frac{t}{\text{°C}}) \text{ms}^{-1} \quad (\text{For. 6})$$

Aufgrund der oben erwähnten Beziehung der Schallgeschwindigkeiten und Wellenlängen in zwei verschiedenen Stoffen zueinander (For. 5), kann man nun die Schallgeschwindigkeit im Stabmaterial bestimmen. Jetzt ist es auch möglich das Elastizitätsmodul des Stabmaterials zu ermitteln, denn die Dichte und die Schallgeschwindigkeit des Stoffes sind ja nun bekannt (For. 1).

Quelle: Q4 S.101-102

V7: Messung mit dem Quinckeschen Resonanzrohr

Die Eigenschwingungen einer einseitig geschlossenen, einseitig offenen Luftsäule (Abb. 11) ermöglichen es, bei bekannter Frequenz eines Schallgebers der die Luftsäule erregt, die Schallgeschwindigkeit in Luft zu bestimmen. Am offenen Ende entsteht ein Schwingungsbauch, am geschlossenen Ende ein Knoten, weshalb man folgende Formel für die Länge l und die Wellenlänge λ_L der Luftsäule verwenden darf:

$$l = n \frac{\lambda_L}{2} + \frac{\lambda_L}{4} = \frac{2n + 1}{4} \lambda_L \quad (\text{Formel 7})$$

Die Resonanz bei dieser Methode wird überprüft, indem man an einem Rohransatz in der Nähe des offenen Endes einen Hörschlauch H (es sind für diesen Versuch auch die in Abb. 11 gezeigten Alternativen gegeben) anbringt. Wird nun der Stempel St verschoben, so werden nacheinander mehrere Maxima (erkennbar an einem Höhepunkt der Lautstärke im Hörschlauch) durchlaufen. Die Strecke, um die man St verschieben muss, um von einem Maximum zum Nächsten zu gelangen, beträgt genau $\lambda_L/2$. Um ein möglichst genaues Messergebnis zu erlangen, verwendet man folgende Beziehung

$$\frac{\lambda_L}{2} = \frac{x}{m - 1} \quad (\text{Formel 8}),$$

wobei m die Zahl der durchlaufenen Maxima und x der Abstand vom ersten bis zum letzten deutlich hörbaren Resonanzmaximum beträgt. Um einen genauen Wert für die

Stellung von St zu bekommen, empfiehlt es sich wieder, einen Zeiger am Ende des Stabes St zu befestigen, der ein Ablesen der Werte auf einer Millimeterskala ermöglicht. Da ja die Frequenz des Erregers bekannt ist (in unserem Fall war es eine Stimmgabel), lässt sich die Schallgeschwindigkeit wieder mit der bekannten Formel

$$c_{Luft} = f_{Err} \cdot \lambda_L$$

berechnen.

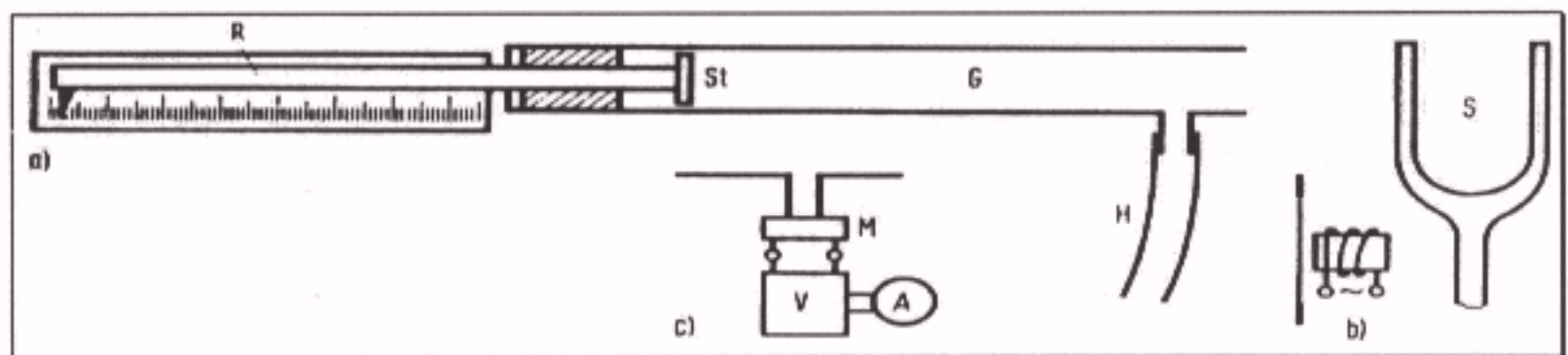


Abbildung 11: a) Glas- oder Metallrohr, R Rohr mit verschiebbarem Stempel St, S Stimmgabel, H Hörschlauch, b) elektromagnetisch erregte Membran (Telefon, Lautsprecher) anstelle von S, c) Mikrophon mit Verstärker und Strommesser anstelle von H

Quelle: Q4 S.103-104

2.2.2 Messung der Schallgeschwindigkeit durch Bestimmung von s (Strecke) und t (Zeit) an fortschreitenden Welle

V8: Messung aus einer Weg- und Zeitbestimmung (zwei Ausführungen)

a) Beim 100-Meter-Lauf wurden die Schüler schon immer ermahnt, die Klappe, mit der das Startsignal gegeben wird, deutlich hochzuhalten, damit der Lehrer am Ende der Bahn genau sehen kann, wann der Start erfolgt. Würde er nämlich auf sein Gehör vertrauen und erst beim Ertönen der Klappe die Stoppuhr betätigen, kämen für die laufenden Schüler wahrlich gute Zeiten zustande. Diesen Umstand kann man sich zunutze machen, um die Schallgeschwindigkeit durch eine Weg- und Zeitbestimmung zu ermitteln. Diese Methode ist aber genauso einfach durchzuführen wie ungenau. Am Ende der *100 Meter* Bahn wird eine Person mit einer Stoppuhr platziert. Er startet die Messung, wenn er die Klappe zuschlagen sieht und beendet sie, wenn der Knall bei ihm ankommt. Aus der Beziehung $c = s/t$ (Formel 9) lässt sich nun die Schallgeschwindigkeit berechnen.

b) Viel bessere Werte erreicht man jedoch mit folgender Methode. Gegenüber einer Wand, die ein besonders gutes Echo erzeugt, schlägt man gleichmäßig (z.B. zum Takt eines Metronoms) mit einem Hammer auf ein Brett. Nun bewegt man sich von dieser Wand soweit weg, bis das Echo des Schlages genau zwischen zwei Schläge fällt.

Erfolgen nun n Schläge in T Sekunden, dann ist die Zeit von Schlag zu Schlag $t = T/n$ und von Schlag zu Schlagmitte $t = T/2n$. Dies ist die Zeit, die der Schall braucht, um vom Schlagort zur Wand und wieder zurück zu gelangen. Die Strecke s beträgt deshalb $2a$, wobei a die Distanz zur Wand darstellt. Aus den gewonnenen Werten ergibt sich nun die Schallgeschwindigkeit.

Dazu verwende man folgende Formel:

$$c = \frac{s}{t} = \frac{4an}{T}$$

Quelle: Q3 S.205-206

V9: Stoßversuch zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit (zwei Ausführungen)

a) Bei dieser Versuchsreihe wird ein Stoßgerät mit einer Wegstrecke von 15 bis 30 m verwendet (Abb. 12). Dieser Versuch lässt sich auch mit Staubfiguren-Kurzzeitmessung durchführen.

Ein Gummiball mit Ansatz (z.B. Kindergummiball mit eingesetztem, äußerem Fahrradventilteil) wird zwischen zwei, durch Scharniere bewegliche, Brettchen gelegt. An

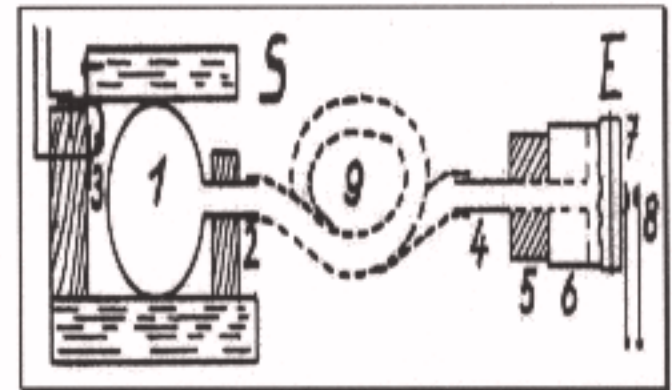


Abbildung 12: 1 Gummiball mit 2 Anschlussröhre, 3 Kontakt, 4 Röhre, 5 Kork, 6 Metallrohr, 7 Gummimembran, 8 Kontakte, 9 Schlauch, S Druckstoßsender, E Empfänger

das Ventil wird nun eine z.B. 33 m lange Schlauchleitung angeschlossen. Am Ende des Schlauches sitzt der Druckstoß-Empfänger: Über eine Röhre ist eine dehnbare Haut (Plastikhaut) gespannt, die sich bei ankommendem Druckstoß nach außen wölbt und dabei einen Kontakt zwischen zwei Federn schließt (z.B. Telefonrelais).

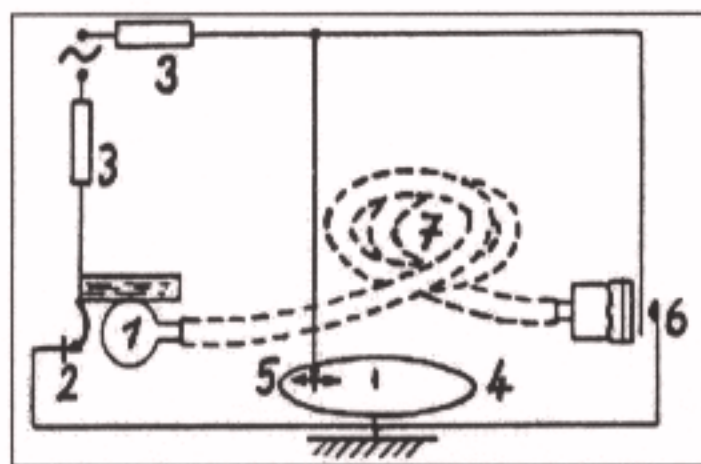


Abbildung 13: 1 Gummiball und 2 Kontakt des Senders, 3 Hochohmwiderstand, 4 Spurenpolplatte auf Plattenteller, 5 schreibender Finger, 6 Kontakte des Empfängers, 7 Schlauch

Verbindet man nun den Gummiball und den Druckstoß-Empfänger nur mit einer kurzen Schlauchleitung, dann leuchtet ein Glimmlämpchen, dessen Stromkreis bei offenem Empfängerkontakt unterbrochen ist, augenblicklich auf. Wird statt dessen aber eine sehr lange Leitung verwendet, dann spricht das Lämpchen erst mit einer merklichen Verspätung an. Dieser Zeitunterschied zwischen Schlag und Eintreffen des

Druckstoßes am Empfänger kann mit der Schaltung in Abb. 13 mittels Staubfiguren gemessen werden. Als Wechselspannungsquelle dient eine elektromagnetisch rückgekoppelte Stimmgabel mit einer Frequenz $f = 435 \text{ Hz}$. Die Staubspuren werden auf einer Spurenplatte, die auf einer drehbaren Scheibe liegt (z.B. Plattenspieler) und mit Schwefelblume bestreut ist, sichtbar gemacht. Spuren werden geschrieben, wenn der Kontakt am Sender durch den Schlag geschlossen wird. Die Aufnahme wird gestoppt, wenn der Druckstoß am Empfänger ankommt und somit durch Kurzschluss die Wechselspannung zwischen Finger und Spurenplatte unterbricht. Die Auszählung einer Beispielsspurenplatte ergab mit geringsten Abweichungen durchschnittlich 43 Spuren. Die Laufzeit des Druckstoßes betrug $t = 43/435 \text{ s}$. Daraus ergibt sich also für die Schallgeschwindigkeit in Luft:

$$c = \frac{s}{t} = \frac{33\text{m} \cdot 435}{43\text{s}} = 332\text{ms}^{-1}$$

Natürlich kann der Schlauch auch mit anderen Gasen als Luft gefüllt werden, um so die Ausbreitungsgeschwindigkeit in diesen Medien zu ermitteln.

b) Zwischen zwei isolierte Klemmen, die an den Buchsen „Impulsstart“ angeschlossen sind, wird ein Lamettafaden gespannt. Die Ströme eines Mikrofons werden an den Anschluss „Impulsstop“ geleitet (Abb. 14). Der Abstand Mikrofon-Lamettafaden beträgt etwa $3,4 \text{ m}$. Der Lamettefaden wird nun mit einer Knallpistole durchschossen. Das Kurzzeitmessgerät registriert zuerst das Signal am Eingang „Impulsstart“ und dann den Spannungsanstieg des Mikrofons, wenn der Knall dieses erreicht hat. Das Messgerät gibt sofort die gesuchte Zeit aus (z.B. $1/100 \text{ s}$).

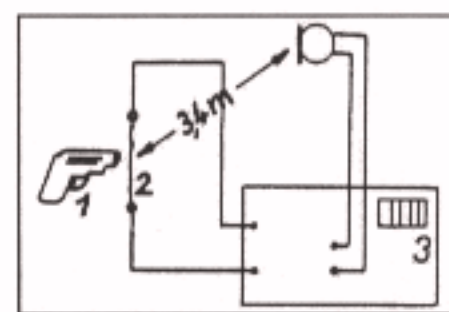


Abbildung 14: 1 Startpistole, 2 Lamettafaden, 3 Impulszählgerät mit links Impulsstart und Mitte Impulsstop

Quelle: Q3 S.207-209

V10: Messung der Schallgeschwindigkeit bei andauernden Stößen (drei Ausführungen)

a) An einer einseitig eingespannten Holzleiste sitzt (Abb. 15) ein Weicheisenstück, das von einem Elektromagneten angezogen werden kann. Wird nun über einen Trafo eine technische Wechselspannung angelegt, dann wird die Holzleiste zu Schwingungen bei einer Frequenz von ca. $f = 100 \text{ Hz}$ angeregt, nachdem ein Einweg-Gleichrichter mit einer Frequenz von 50 Hz angeschlossen wurde. Ein Metallstück (z.B. Schraubenkopf) schlägt demnach pro Sekunde 100- bzw. 50 mal auf ein großes Bleistück. Der Luftstoß,

vom Blei aufgrund der aufschlagenden Holzleiste abgegeben, wird durch das benachbarte Mikrofon 1 als Spannungsstoß über die Spule I (300 Windungen) und die Spule III (1200 Windungen) eines dreiteiligen Transformators auf die Ablenkplatten eines Kathodenstrahloszillographen geleitet, auf dessen Schirm nun scharfe Zacken zu sehen sind, denen nur wenige, stark gedämpfte, Schwingungen folgen. Diese scharfen Zacken sind jedoch nur bei Blei vorhanden. Bei Glas, Eisenblech, Karton usw. entstehen nach dem Schlag längere Eigenschwingungen. Die Zeit von Zacke zu Zacke beträgt bei

$$f_1 = 100 \text{ Hz} \quad t_1 = 1/100 \text{ s}, \quad f_2 = 50 \text{ Hz} \quad t_2 = 1/50 \text{ s}.$$

Das Mikrofon 2 erzeugt auf dem Schirm über die Spule II (300 Windungen) ebenfalls Zacken mit gleichen Abständen, die aufgrund der größeren Distanz zur Schallquelle aber eine kleinere Amplitude aufweisen und deshalb leichter von den anderen Ausschlägen zu unterscheiden sind. Stehen beide Mikrofone nebeneinander (also gleich weit von der Schallquelle entfernt), dann befinden sich die Zacken an gleicher Stelle. Bewegt man das Mikrofon 2 vom Schallort weg, dann wandern die kleineren Zacken von den Großen weg und zur Mitte hin. Wird das Mikrofon nun um eine Strecke $s = 3,30 \text{ m}$ vom Anderen wegbewegt, dann lagen die kleinen Zacken genau zwischen den Großen (Kloppfrequenz $f = 50 \text{ Hz}$). Die Zeit von einer großen zu einer kleinen Zacke betrug also $t = 1/100 \text{ s}$. Die Schallgeschwindigkeit errechnet sich daraus zu:

$$c = \frac{s}{t} = \frac{3,30 \text{ m} \cdot 100}{1 \text{ s}} = 330 \text{ ms}^{-1}$$

Bei einer Frequenz von $f = 100 \text{ Hz}$ lagen die kleinen Zacken genau auf den Großen, woraus sich aber der gleiche Wert für c errechnet. Es bleibt zu erwähnen, dass dieser Versuch zwar von der Methode her wichtig ist, aber leider keine sehr exakten Werte liefert.

b) Man schließt ein Tauchspulen-, Kristall-Mikrofon an den Y-Verstärker des Oszillographen (Abb. 16), schlägt die Stimmgabel ($f = 435 \text{ Hz}$) an und stellt die

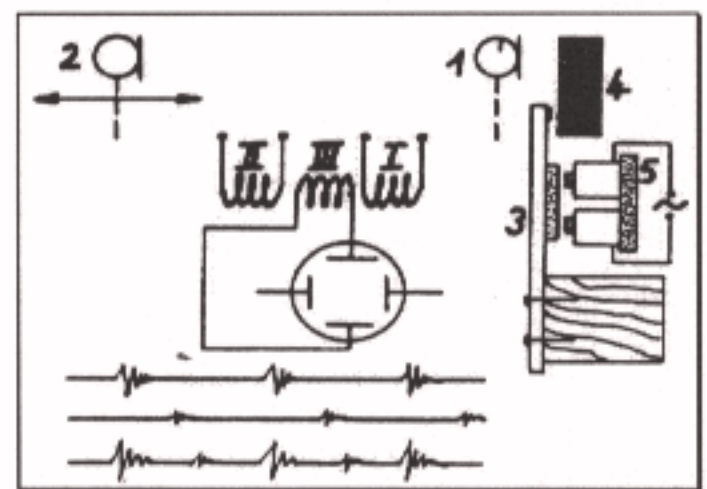


Abbildung 15: 1 und 2 Mikrofone, 3 Holzleiste, 4 Bleistück, 5 Elektromagnet. An der Spule I liegt Mikrofon 1, an II das Mikrofon 2. Die Spule III liegt am Oszillographen. Unten die auftretenden Kurven.

Kippfrequenz so ein, dass auf dem Schirm zwei oder vier Sinuskurven der Stimmgabelschwingung erscheinen. Die Zeit für einen waagrechten Hinlauf beträgt demnach $2/435$ bzw. $4/435$ s. Dann werden die Spannungstöße der Kippfrequenz, die entsteht, wenn die Kippspannung zusammenbricht und der Strahl zurückläuft, über einen Verstärker auf einen Lautsprecher (Tonkopf) geleitet. Hier entstehen demnach Tonstöße der Frequenzen

$435/2$ bzw. $435/4$ Hz. Jeder Tonstoß entsteht immer am Ende eines Laufes des Kathodenstrahles, d.h. immer am Ende einer waagrechten Linie auf dem Schirm. Die Kippsynchronisation sollte auf „Fremdsynchronisation“ gestellt werden. Nun wird das Mikrofon, das zuerst direkt am Lautsprecher steht, von diesem wegbewegt. Auf dem Schirm des

Oszilloskops entsteht ein Zacken, der mit zunehmender Distanz des Mikrofons zum Lautsprecher von einem Ende des waagrechten Leuchtstrichs zum Anderen wandert. Die kleineren Wellen hinter dem Schallstoß rühren von den Eigenschwingungen der Lautsprechermembran her. Wird nun eine Frequenz $f = 435/2$ Hz verwendet, dann liegt der Zacken genau in der Mitte des Leuchtstrichs. Die Laufzeit ist demnach $1/435$ s und die Schallgeschwindigkeit

$$c = 0,77m \cdot 435Hz = 335,9ms^{-1},$$

wenn die Distanz Lautsprecher-Mikrofon 77 cm beträgt.

c) Der Oszillograph kann auch als Zeitmesser fungieren, wobei als Zeitnormal die 50 Hz-Frequenz der Netzwechselspannung dient. Das Kippgerät erhält eine

Fremdsynchronisation von $6V \sim$, und eine Frequenz von 50 Hz. Die Zeit, die der Bildpunkt für einen Durchlauf benötigt, beträgt demnach $1/50$ s. Ein Lautsprecher, der über einen Kondensator und Anpassungstransformator an den Ausgang des Kippgerätes angeschlossen wird, erzeugt alle $1/50$ s einen kurzen Schallimpuls. Diese Impulse werden dann vom Mikrofon

aufgefangen, das an den Verstärkereingang des Oszilloskops angelegt wird. Der auf dem

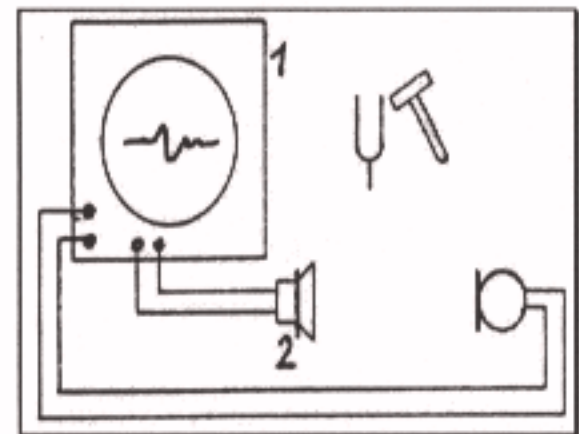


Abbildung 16: 1 Oszillograph, 2 Tonkopf

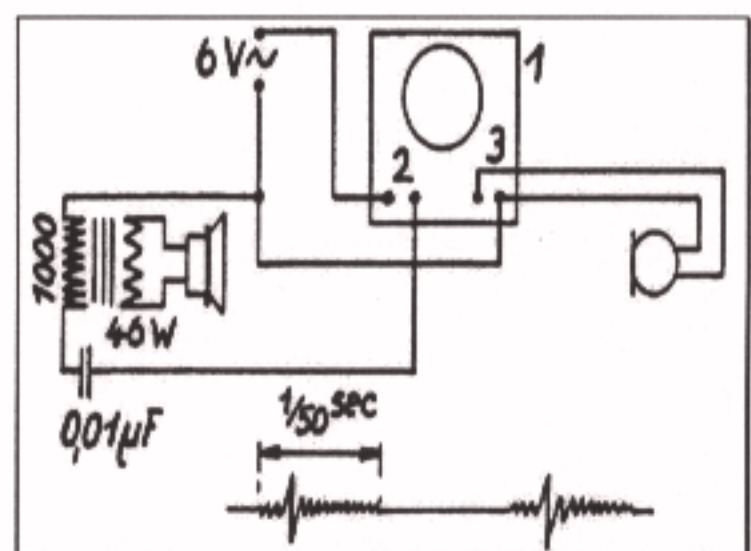


Abbildung 17: 1 Oszillograph, 2 Kippeingang, 3 Verstärkereingang

Bildschirm erscheinende Zacken verschiebt sich nach rechts, wenn man die Distanz Mikrofon-Lautsprecher vergrößert (Abb. 17). Hat der Zacken auf diese Weise die ganze Länge des Strichs vom Zeitnormal durchlaufen (bzw. wenn er von einer bestimmten Stelle ausgehend wieder diese Stelle erreicht), dann misst man erneut den Abstand des Mikrofons zum Lautsprecher. Bei einer Verschiebung um $6,80\text{ m}$ beträgt die Schallgeschwindigkeit

$$c = \frac{s}{t} = \frac{6,80\text{ m} \cdot 50}{1\text{ s}} = 340\text{ ms}^{-1}.$$

Quelle: Q3 S.211-213

V11: Zeitmessung mittels rotierender Glimmlampe

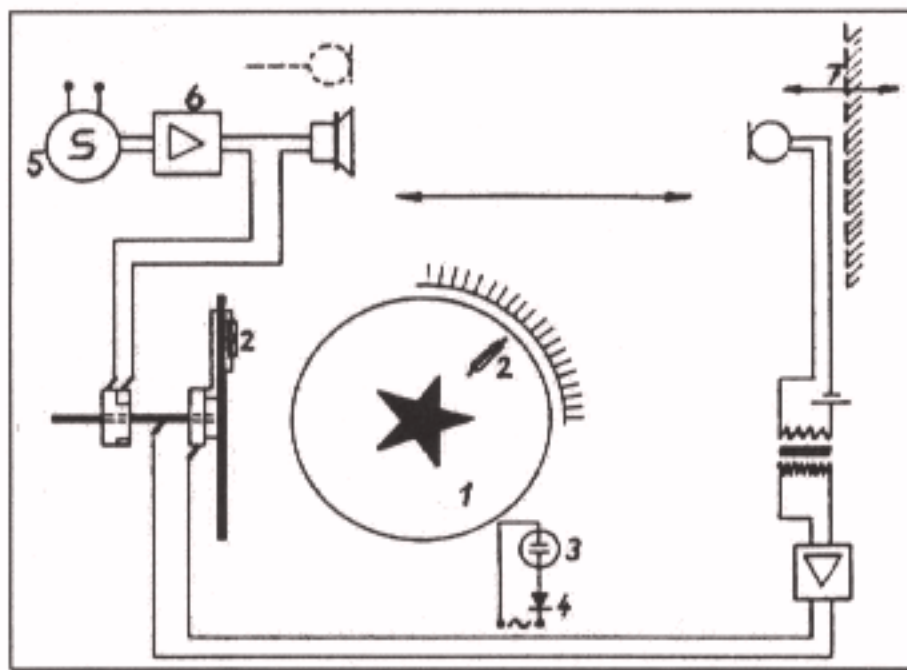


Abbildung 18: 1 Kreisscheibe, 2 Glimmröhrchen, 3 Glimmlampe, 4 Gleichrichter, 5 Summer, 6 Verstärker, 7 reflektierende Wand

Am Rande einer rotierenden Scheibe, deren Umlaufzeit durch einen regelbaren Antriebsmotor konstant gehalten wird und deren Umlaufzeit mittels Stern und Glimmlampe an der technischen Wechselspannung leicht gemessen werden kann, sitzt ein Glimmröhrchen. Es wird durch Bürsten und Schleifringe aus einem Mikrofon mit Verstärker, das in verschiedenen Entfernungen zu

einem Lautsprecher plaziert werden kann, mit Spannungstößen versorgt. Dem Tonkopf werden über einen kurzzeitigen Kontakt an der Achse der Kreisscheibe (über einen Verstärker) kurze Tonstöße aus einem ständig tönenden Summer zugeleitet (Abb. 18). Wird nun die Distanz des Mikrofons zum Lautsprecher vergrößert, dann leuchtet das rotierende Lämpchen immer später auf. Aus der Umlaufzeit der Scheibe und der Verspätung des Aufleuchtens der Glimmlampe bei größerer Entfernung des Mikrofons, berechnet sich die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Schalls. Bei der Verwendung eines fünfzackigen Sterns und einer in Reihe mit einem Gleichrichter geschalteten Glimmlampe, ergeben sich bei erstmaligem Stillstand des Stern zehn Umdrehungen pro Sekunde. Wird nun der volle Winkel um die rotierende Kreisscheibe in 100 gleiche

Teile separiert, dann bedeutet ein verzögertes Aufleuchten des Lichts um einen Strich eine Verspätung von $1/1000$ s. Stellt man nun den Empfänger nicht direkt vor den Sender, sondern nebeneinander vor eine reflektierende Wand (vgl. Abb. 18), dann verdoppelt sich der Weg. Schiebt man nun die Wand näher zum Sender, dann leuchtet das Lämpchen früher auf. Dieser Aufbau zeigt z.B. auch die Funktionsweise eines Echolots.

Quelle: Q3 S.209-210

2.3 Praktischer Versuch:

2.3.1 Messung der Schallgeschwindigkeit mit Hilfe einer Computersoundkarte (Weg- und Zeitmessung)

2.3.1.1 Versuchsaufbau

Für diesen Versuch benötigt man zwei Mikrofone, einen Klinkenstecker (3,5 mm), einen Computer mit Software zum Aufzeichnen von Geräuschen und deren Speicherung als WAV-Dateien (z.B. **Cool Edit**), eine Voll Duplex-fähige (gleichzeitiges Aufnehmen und Abspielen von Sounddaten) Soundkarte mit Mikrofoneingang, ausreichend Dämpfungsmaterial (z.B. Schaumstoff, Kissen etc.).

Zu Beginn des Versuchs werden die beiden Mikrofone zusammen an den Klinkenstecker gelötet. Es kann hierbei auch ein Stereostecker verwendet werden, wobei beachtet

werden muss, dass die Anschlüsse für den linken und den rechten Kanal

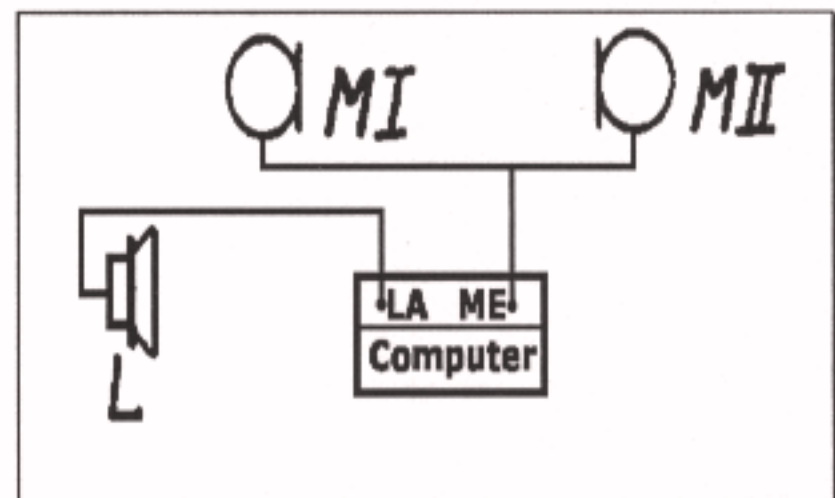


Abbildung 19: M I und M II Mikrofone, L Lautsprecher, LA und ME Lautsprecherausgang und Mikrofoneingang an der Soundkarte

gebrückt werden müssen, damit die Mikrofonspannungen nur auf einen Kanal fließen. Die Mikrofone werden sodann an den entsprechenden Eingang der Soundkarte geschlossen und der Computer gebootet. Nun gilt es, eine geeignete Messstrecke für den Versuch zu präparieren. Ich benutzte einfach die Längsseite meines Bettes und stellte die Mikrofone im Abstand $s = 2,15$ m auf (Abb. 19). Dann muss das erste Mikrofon sehr gut gedämpft werden. Ein Kissen erfüllt hier genauso den Zweck wie z.B. viel Schaumstoff. Den Nutzen dieser Aktion erkläre ich später. Sodann wird ein Lautsprecher, der ebenfalls an die Soundkarte (Lautsprecherausgang) angeschlossen ist, nahe an das Mikrofon I gestellt. Als Letztes muss nur noch ein geeignetes Geräusch für

die Messung mit der Software entworfen werden. Es empfiehlt sich ein Knacken zu erstellen, das nicht länger dauern sollte, als die Zeit, die der Schall braucht um von einem Mikrofon zum Anderen zu gelangen. In meinem Versuch war dies ein Klopfen auf eines der Mikrofone. Diesen Knacks habe ich nun auf eine Länge von rund 1 ms zugeschnitten und fast bis zum Übersteuern verstärkt. Mit Hilfe der Software und der Voll Duplex-fähigen Soundkarte konnte ich nun die Aufnahme für die beiden Mikrofone starten und gleichzeitig das Geräusch abspielen. Die aufgenommenen Werte nahm ich im Format $44100\text{ Hz}/16\text{ Bit}/\text{Mono}$ (Geräusch-Datei muss im gleichen Format vorliegen!) auf. Die so entstandene Datei bereinigte ich zuerst mit der „Noise Reduction“-Funktion der Software, um das Hintergrundrauschen der Mikrofone zu beseitigen. Dann habe ich die gesamte WAV-Datei soweit verstärkt, dass man jede Einzelheit des aufgenommenen Geräuschs erkennen konnte. Nun muss nur noch der Teil vor dem Beginn des aufgezeichneten Knalls weggeschnitten werden. Da das Mikrofon, bei dem der Lautsprecher steht (M I), das Knacken viel lauter wahrnimmt als das Andere (M II), wird dieses gedämpft, um eine Überdeckung der Aufnahme des zweiten Mikrofons zu vermeiden. Es erweist sich als ratsam, zuerst einen Probelauf mit jeweils einem Mikrofon durchzuführen, um auszuschließen, dass entweder das eine Mikrofon zu stark gedämpft wurde oder das Zweite den Schall zu leise empfängt. Markiert man nun den Punkt, an dem das zweite Mikrofon anspricht und zoomt an diesen nun sehr weit heran, dann lässt sich sehr bequem die Phasenverschiebung ermitteln.

2.3.1.2 Beobachtungen und Berechnungen

Es wurden fünf Versuche durchgeführt und ausgewertet. Das Ansprechen des zweiten Mikrofons ist besonders gut in Abb. 20 zu erkennen. Die Werte lagen jedesmal um 6 ms :

$$5,96\text{ ms}; 6,08\text{ ms}; 6,77\text{ ms}; 6,00\text{ ms}; 6,05\text{ ms}$$

Hieraus folgt ein Durchschnittswert von $6,172\text{ ms}$.

Die Schallgeschwindigkeit berechnet sich somit wie folgt:

$$c = \frac{s}{\Delta t} = \frac{2,15\text{ m}}{6,172 \cdot 10^{-3}\text{ s}} \approx 348\text{ m s}^{-1}$$

Nach For. 6 errechnet sich bei 17°C Zimmertemperatur ein Wert von ca. $341,8\text{ m s}^{-1}$. Der gemessene Wert liegt demnach noch im Bereich der Messungengenauigkeit von 4% .

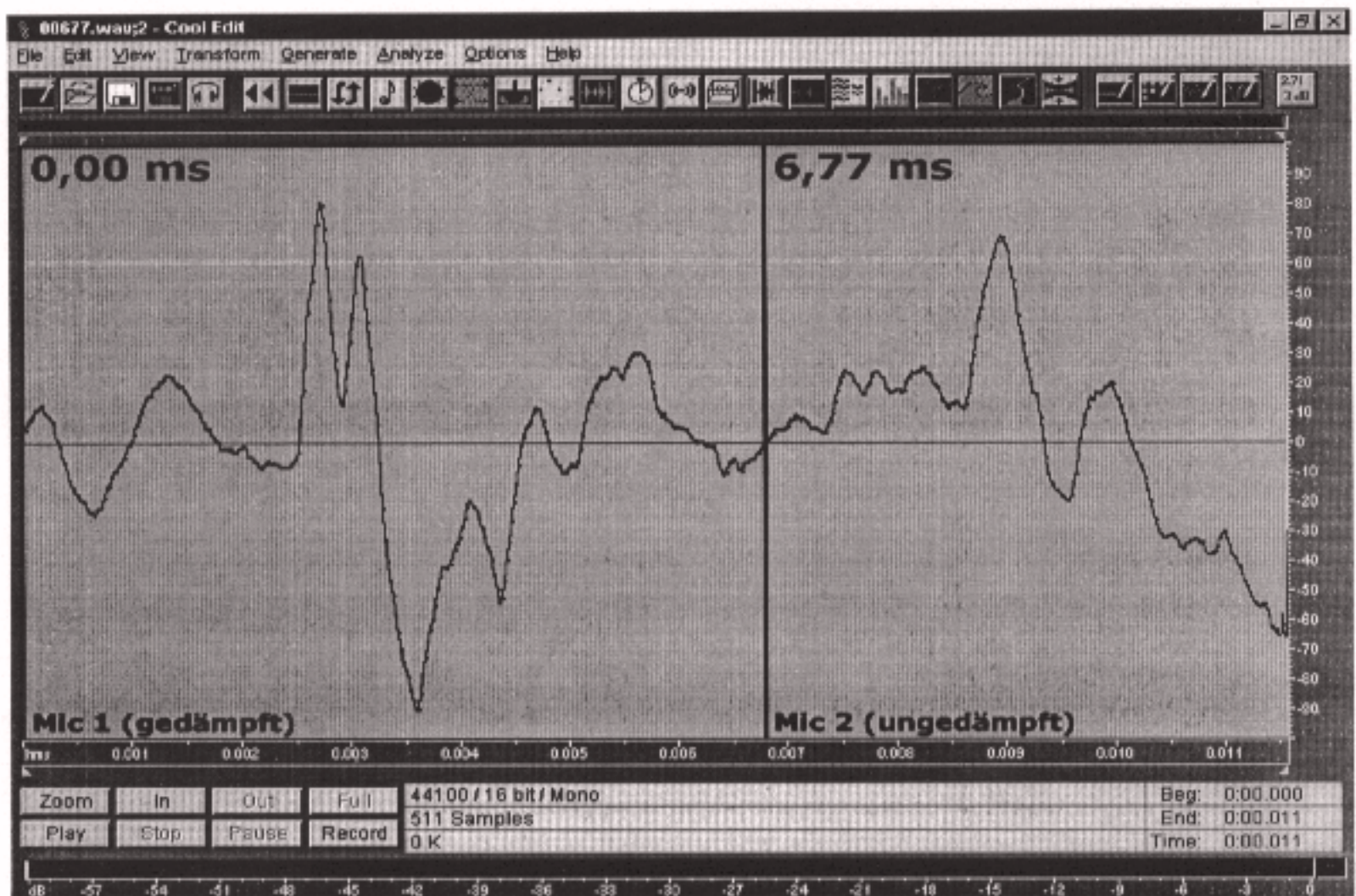


Abbildung 20: Darstellung des dritten Versuchs als WAV-Datei

Quelle: Q5

3. Zusammenfassung (Die letzten Worte)

Viele der hier aufgeführten Versuche sind leicht nachzumachen und erfordern kein besonderes handwerkliches Geschick. Die benötigten Materialien und Bauteile können billig in jedem guten Elektronikfachhandel erworben werden. Nur größere und speziellere Geräte wie z.B. das Oszilloskop oder das Impulszählgerät dürften dort wohl schwer zu finden sein. Es bleiben aber noch genug andere Methoden, um experimentell dem Phänomen Schall und dessen Ausbreitungsgeschwindigkeit auf die Schliche zu kommen. Und wer dabei handwerkliches Geschick und Präzision beweist, kann hierbei erstaunlich gute Ergebnisse erzielen.

Quellenverzeichnis

- Q1 Kuhn; Physik - IIIID Schwingungen und Wellen; 1975; Georg Westermann Verlag Braunschweig
 Q2 Brennecke; Physik - Schwingungs- und Wellenlehre; 1964¹; Friedrich Vieweg Verlag Braunschweig
 Q3 Friedrich; Handbuch der experimentellen Schulphysik; 1961¹; Deubner u. Co KG Verlag Köln
 Q4 Walchner; Praktikum der Physik; 1985⁵; B.G. Teubner Verlag Stuttgart
 Q5 Schommer, Kabuß; Messung der Schallgeschwindigkeit mit einer Soundkarte (Internet) Siehe Anhang
 Q6 Kuchling; Taschenbuch der Physik; 1988¹⁰; Harri Deutsch Verlag Thun und Frankfurt/Main

Alle Abbildungen (außer Abb. 19/20) stammen aus den zum Text gehörenden Quellen.

Anhang

Messung der Schallgeschwindigkeit mit einer Soundkarte

Frederic Schommer, Wolfgang Kabuß

Fast jeder neuere Computer besitzt eine Soundkarte. Damit lassen sich jedoch nicht nur Spiele oder Multimediaanwendungen akustisch untermalen, sondern eine Soundkarte ist auch ein vielseitiges Experimentiergerät. Mit ihrer Hilfe können eine ganze Reihe von Experimenten aus der Akustik, Mechanik und Optik, für die bisher teure Laborgeräte benötigt wurden, auch zu Hause durchgeführt werden. Hier soll berichtet werden, wie man mit einer Soundkarte, zwei Mikrofonen, einem Gummiring, einem Stück Styropor und einem Sharewareprogramm zum Darstellen von WAV-Dateien die Schallgeschwindigkeit bestimmen kann.

Um beide Mikrofone an die Soundkarte anschließen zu können, haben wir zunächst ein Kabel gelötet, bei dem die Leitungen zweier Kupplungen, an die wir die Mikrofone angeschlossen haben, in einem Klinkenstecker zusammengeführt werden. Die Mikrofone wurden in einer Entfernung von 1,5 m voneinander aufgestellt. Dann haben wir in der Nähe eines der beiden Mikrofone einen scharfen Knall erzeugt, indem wir einen Gummiring auf ein Styroporstück schnellen ließen. Das Meßprinzip ist nun, aus der von der Soundkarte erzeugten WAV-Datei den Zeitunterschied zwischen dem Ansprechen beider Mikrofone abzulesen und dann mit Hilfe des Mikrofonabstands die Schallgeschwindigkeit zu berechnen. Leider zeigt sich, daß ein derartiger Knall viel länger dauert, als der Schall braucht, um sich vom ersten Mikrofon zum zweiten auszubreiten. Da man nur die Summe der Mikrofonspannungen erfassen kann, ist es schwer zu sagen, ab welchem Zeitpunkt das zweite Mikrofon einen Beitrag zum gemeinsamen Signal liefert. Daher haben wir das erste Mikrofon mit einem Pullover umwickelt. Dadurch wird der Knall gedämpft und das Mikrofonsignal ist ziemlich klein. Der Beginn des Signals des zweiten Mikrofons ist dadurch recht gut zu sehen und die Zeitdifferenz zwischen dem Ansprechen der beiden Mikrofone kann man auf ca. 1/20000 s ablesen.

Wir haben fünf Zeitmessungen für einen Mikrofonabstand von 1,5 m ausgewertet. Die Ergebnisse sind in Klammern angegeben:

(0.0044s, 0.0041s, 0.0041s, 0.0042s, 0.0041s)

Daraus ergibt sich ein Mittelwert von $t=0,0042s$. Für die Schallgeschwindigkeit erhalten wir damit das Ergebnis:

$$v=1,5m/4,2ms=357 \text{ m/s.}$$

Das weicht von dem Wert 343 m/s, der sich bei sich bei einer Temperatur von 20 °C ergeben müßte, um 4% ab. Das Meßergebnis liegt also noch innerhalb des Fehlerbereichs, der durch die Abtastrate von 22 kHz bedingt ist.