

Wilhelm-Erb-Gymnasium

Facharbeit im
Leistungskurs Physik 2000
(Werner Stetzenbach)



*Physikalische Experimente mit
der PC-Soundkarte*

Version ohne Fotos

Nicole Gruter

Ralf Kretschmann
ralf @ mftech.de

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	1
Kurze Einführung in die verwendete Soft- und Hardware	2
<u>Akustik</u>	
Bestimmung der Schallgeschwindigkeit in	
Luft	6
Wasser	10
Eisen	12
Dopplereffekt	15
<u>Mechanik</u>	
Bestimmung von g	
durch Fall	18
durch Fadenpendel	20
Nachweis von g als konstante Größe	22
Energieerhaltung an schiefer Ebene	24
<u>Elektronik</u>	
Entladekurve eines Kondensators	28
Phasenverschiebung im Wechselstromkreis mit Spule oder Kondensator	30
Gedämpfter Schwingkreis	33
Einschwingphase eines Fremderregten Schwingkreises	37
Frequenzspektrum eines Schwingkreises	38
Geschwindigkeitsvergleich LDR – Fototransistor	41
NF-Signalübertragung	43
Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit	45
Ergebnis der Facharbeit	47
Anhang A	48
Detaillierte Einführung in die Soundkarte	
Anhang B	49
Detaillierte Einführung in die Software	
Anhang C	53
Beschreibung des Messinterfaces	
Anhang D	56
Herleitung physikalischer Formeln	
Literaturverzeichnis	58

Vorwort

Wir haben uns mit dieser Facharbeit vorgenommen, Experimente, wie sie die qualifizierten Wissenschaftler durchführen, mit einfachen Mitteln und natürlich auch in vereinfachter Form darzustellen. Unsere Aufgabe besteht darin so nah wie möglich an die Literaturwerte zu gelangen bzw. die selben Ergebnisse zu erzielen, die schon manche Leute vor uns gemacht haben.

Mit dieser Facharbeit wollen wir vor allem zeigen, dass auch Schüler in der Lage sind kompliziert aussehende Versuche nachzustellen und verständlich für jedermann zu erklären und zu präsentieren. Diese Arbeit ist ebenfalls auch für Nicht-Physiker geeignet, die damit einen Einblick in dieses Themengebiet erlangen und in Zukunft vielleicht mehr für die Materie der Physik zu begeistern sind, wenn sie sehen, dass es im Grunde doch nicht so schwer ist, wie es im ersten Moment erscheinen mag.

Wie schon unsere Überschrift ausdrückt, handelt es sich um Experimente, die sich mit wenig Geld aufbauen lassen und somit auch für jeden nachzubauen sind. Also haben sie keine Hemmungen sich auch mal an solche Versuche zu wagen!

Einführung in die Hardware

Für die folgenden Versuche benutzen wir die Soundkarte Soundblaster PCI 128 (ca. 50DM) unseres Computers.

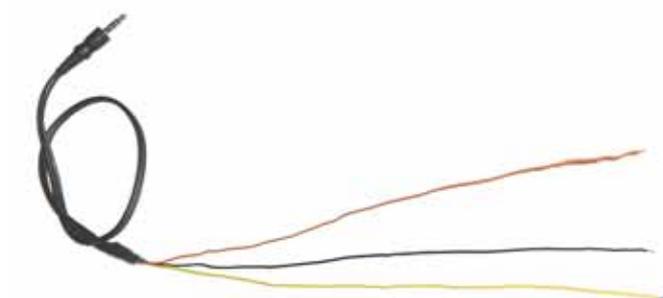
(Technische Daten und Spezifizierung siehe Anhang A)

Die Anschlüsse der Soundkarte:



In der Regel besitzen Soundkarten 3 oder 4 3,5mm Klinkenbuchsen auf der Rückseite. Die in unseren Versuchen verwendete Soundkarte weist eine Stereoklinkenbuchse für den Line-Out-Ausgang (grün), eine Monoklinkenbuchse für den Mikrofonanschluss (rot) und eine Stereobuchse für den Line-In-Eingang (blau) auf. Die eventuelle 4. Buchse für den Speaker-Out würde sich neben dem Line-Out befinden und man könnte an sie direkt unverstärkte Lautsprecher anschließen.

Um sich die Lötarbeit für die Schaltungen zu ersparen und sich die Möglichkeit zum „Herumspielen“ mit den Bauteilen offen zu lassen, werden die Schaltungen auf ein Steckbrett gebaut. Zu der Verbindung zwischen Schaltung und Soundkarte werden einige Kabel und Stecker benötigt, die es fertig konfektioniert zu kaufen gibt oder die man selbst zusammenschweißt.



1,5m langes 3-poliges Kabel mit starrer Litze und angelötetem 3,5mm Stereoklinkenstecker zur Verbindung des Steckbretts mit der Soundkarte bzw. mit der Stereoanlage. Es werden 2 Kabel dieser Art benötigt.



Zur Unterscheidung der Kabel wählen wir folgende Farbgebung:
linker Kanal gelb
rechter Kanal rot
Masse schwarz



2m langes Kabel mit 2 3,5mm Stereoklinkensteckern. Dieses Kabel wird in Verbindung mit dem Klinkenstecker-Cinch-Adapter zum Einsatz einer Stereoanlage zur Verstärkung der Soundkartensignale verwendet.



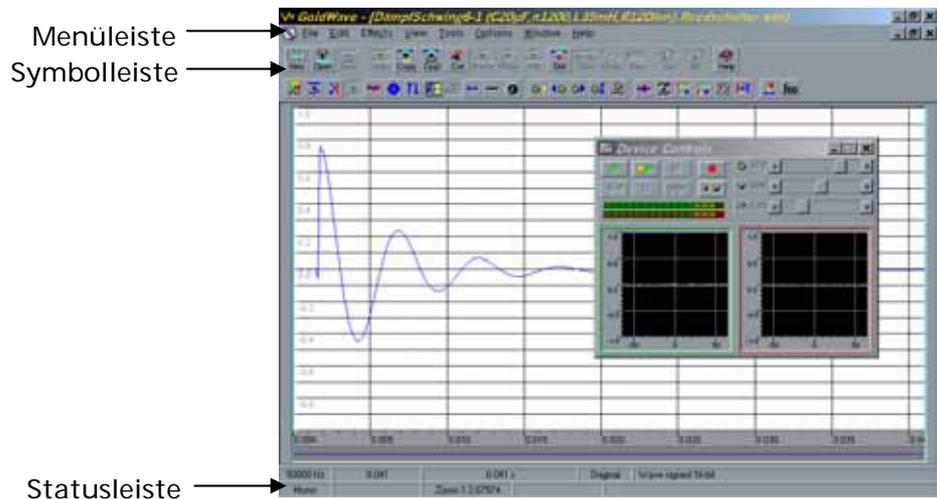
Der Klinkenstecker-Cinch-Adapter mit 2 Cinchsteckern und einer 3,5mm Stereoklinkenkupplung wird in den AUX-Eingang der Stereoanlage gesteckt.



Dieser Adapter verbindet den Kopfhörerausgang der Stereoanlage über den 6,5mm Stereoklinkenstecker mit der Schaltung auf dem Steckbrett über die 3,5mm Stereoklinkenkupplung.

Einführung in das Programm GoldWave

Für die folgenden Versuche wird das Programm Goldwave Version 4.02 verwendet. Die Software ist als Freeware auf der beiliegenden CD enthalten oder ist unter www.goldwave.com erhältlich. Der anschließende Abschnitt enthält kurz die wichtigsten Informationen für den Umgang mit der verwendeten Software. Für eine detailliertere Beschreibung der Funktionen siehe Anhang B.



Die Menü- und Symbolleiste enthalten alle Befehle und Funktionen. Die wichtigsten werden hier kurz erläutert.

Menüleiste:

Edit | Channel: die Auswahl des rechten, linken oder beider Kanäle bei Stereoaufnahmen; alle Veränderungen sind nur im ausgewählten Kanal wirksam.

Effects | Invert: hilfreicher Befehl, falls ein Kanal „auf dem Kopf steht“

Effects | Volume | Maximize...: vergrößert die Kurve im ausgewählten Kanal nach oben und unten für den Fall, dass das Eingangssignal zu schwach ist.

In der Symbolleiste:



Hiermit kann das Aufnahmeformat neuer Audio-Dateien festgelegt werden.



Öffnen einer gespeicherten Audio-Datei.



Hiermit speichert man die erstellte Datei.



Trimmt die Teile der Aufnahme, die sich außerhalb des gekennzeichneten Bereich befinden.



Vergrößert den ausgewählten Bereich auf den ganzen Bildschirm.

Die Statusleiste enthält wichtige Daten zu der jeweiligen Aufnahme, wie z.B.: die Sample-Rate, die Gesamtlänge der oder die Länge des markierten Bereichs.

Aufnehmen

Als erstes öffnet man ein neues Fenster, indem man auf die Schaltfläche  drückt.

Es erscheint dann dieses Dialogfenster:

Man muss hier noch Daten festlegen, wie die Sampling-Rate und die Länge der Aufnahme.

Aber ganz wichtig ist, ob man mono oder stereo aufnehmen will.



Hat man die Daten alle wie gewünscht eingegeben, dann kann man die Aufnahme starten, indem man im *Device Controls*-Dialogfeld auf den roten Aufnahmeknopf  drückt (ggf. gleichzeitig *Strg* gedrückt halten, falls die Sicherung nicht deaktiviert wurde).

Nachdem die Eingangssignale im Computer aufgezeichnet sind, drückt man auf den selben Knopf, der sich in ein Stoppsymbol verändert hat.

Je nach belieben kann man die entstandenen Kurven vergrößern, trimmen oder maximieren.

Erzeugung eines Tons mit beliebiger Frequenz

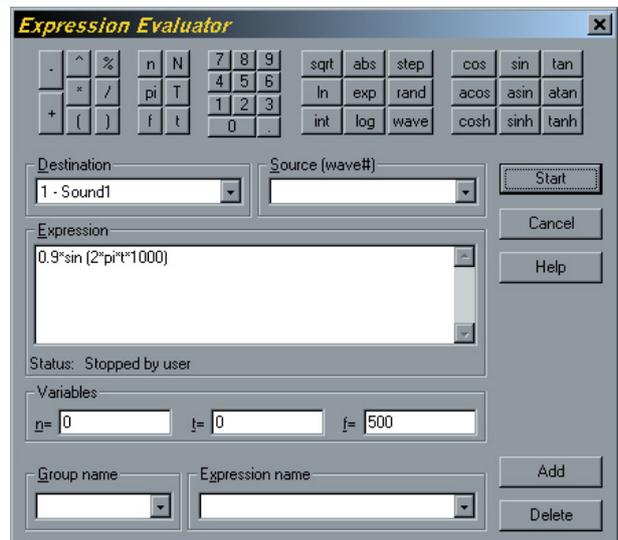
Um ein Signal von der Soundkarte wiederzugeben, muss man folgendermaßen vorgehen:

Im GoldWave Programm klickt man auf  oder in der Menüleiste auf *Tools*. Es erscheint dann der *Expression Evaluator*. In diesem Dialogfeld gibt man in das Feld „Expression“ diese Formel ein:

$0.9 * \sin(2 * \pi * t * \text{Frequenz})$

Durch das Drücken des Start-Buttons erscheint im GoldWave Hauptfenster die erwünschte Kurve.

Auf diese Art kann man Frequenzen bis ca. 40 kHz erzeugen und das mit einfachen Mitteln.



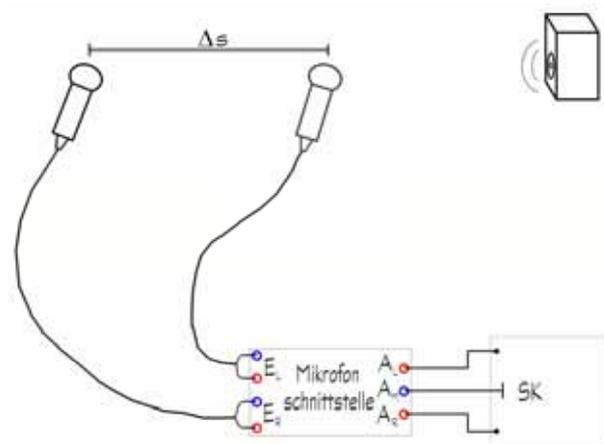
Schallgeschwindigkeiten

In den folgenden Versuchen wollen wir mit verschiedenen Hilfsmitteln die Schallgeschwindigkeit in der Luft, im Wasser, in Eisen mit und ohne Knall bestimmen.

Schallgeschwindigkeit in der Luft

Aufbau

- 2 Elektret-Mikrofonkapseln
Conrad Best Nr. 30191990-62
- Stativstangen mit Fuß
- Kordel
- selbstgebaute Mikrofonschnittstelle
(→ Anhang C)
- 2 Eisenstangen
- 2 Holzklötze



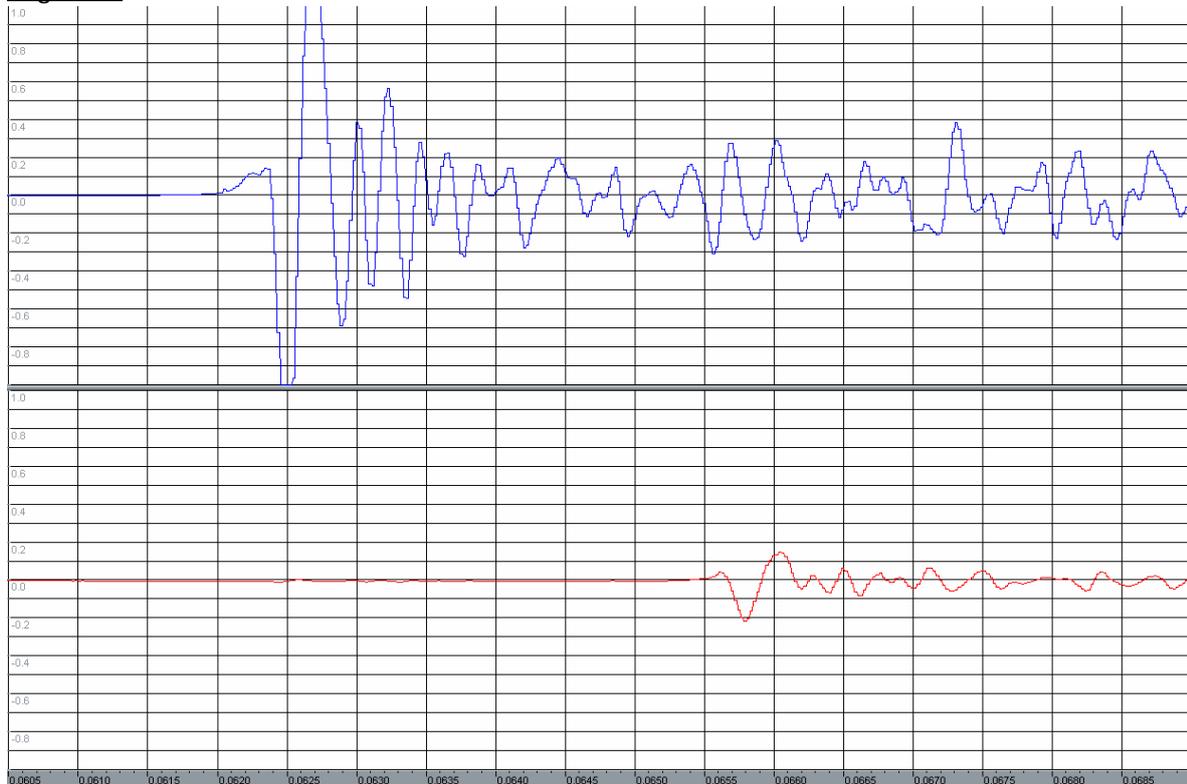
Die Mikrofonkapseln werden mit der Kordel an den Stativstangen befestigt. Diese werden in einem Abstand von $\Delta s = 4,43 \text{ m}$ aufgestellt. Die Mikrofone sind mit dem Verstärker und der wiederum mit der Soundkarte verbunden. Muss bei den Mikrofonen auf die Polarität geachtet werden, so kommt der +-Stecker in die rote und - in die blaue Buchse.

Der Ausgang des Verstärkers wird an den Line-In-Eingang der Soundkarte befestigt. Als Spannungsquelle für den Verstärker dient eine 9V Blockbatterie.

Durchführung

Die Eisenstangen werden vor einem Mikrofon zusammengeschlagen. Der entstandene Knall wird von dem am nächsten gelegenen Mikro als erstes aufgenommen und kurze Zeit später erreicht die Schallwelle auch das zweite. Mit den im Computer aufgenommenen Daten kann man dann die Schallgeschwindigkeit in der Luft ausrechnen.

Ergebnis



Der Schall erreicht zuerst das linke Mikrofon, 146 Samples später das 1,2 m entfernte rechte Mikrofon (Datei *Schall2-4*).

Auswertung (Datei *Schall2-1*):

z.B.: $s =$ Abstand der Mikrofonkapseln von 1,2 m

$$t = \frac{\text{Anzahl der Samples}}{\text{Samplingrate}}$$

Lufttemperatur: 21,9°C

Ablesen der Samples:

Differenz zwischen dem Anfang des ersten Signals und Anfang des zweiten Signals:

151 Samples

$$v = 1,2 \text{ m} \cdot \frac{44100}{151} \text{ Hz} = 350,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Berechnung des Messfehlers für diese Auswertung:

Messwert: $v = 350,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Geschätzt: $\delta v_{\text{zuf}} = \frac{\Delta \text{Samples}}{\text{Samples insgesamt}} + \frac{\Delta \text{Wegstecke}}{\text{Gesamtstrecke}} = \frac{\pm 4 \text{ Samples}}{151 \text{ Samples}} + \frac{\pm 1 \text{ cm}}{120 \text{ cm}} = \pm 0,0348$

Größtfehler (relativ): $\delta v_{\%} = \pm 3,57\%$

Größtfehler (absolut): $\Delta v = v \cdot \delta v = \pm 12,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Resultat: $v = 350,5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \pm 12,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Da die Temperatur bei dieser Messung 21,9°C war, wird sie bei der Berechnung vernachlässigt, denn der Literaturwert beträgt $340 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ bei 20°C. Der Idealwert liegt somit innerhalb der Fehlergrenzen des gemessenen Wertes.

Problem

An den Mikrofonen muss eine Spannung anliegen. Auch wenn die Mikrofone beide an dem Line-In-Eingang angeschlossen sind, ist das Durchführen dieses Versuches problematisch, weil so keine Spannung vorhanden ist, um die Mikrofone zu betreiben. Mikros allgemein können selbst eine Spannung erzeugen, sie ist jedoch zu klein, um von der Soundkarte erkannt zu werden. Jedoch besitzen die hier verwendeten Mikrofone einen eingebauten FET-Verstärker und erzeugen somit keine Spannung. Aus diesem Grund haben wir die Mikrofone zuerst am Mikrofoneingang angeschlossen, damit sie überhaupt mit Spannung versorgt werden. Nach längerem herumprobieren ist uns aufgefallen, dass der Mikrofoneingang der Soundkarte nur mono ist, obwohl der Mikrofoneingang eine 3,5 mm Stereoklinkebuchse besitzt. Infolgedessen haben wir die Mikrofone parallel geschaltet, um Stereosignale für unseren Versuch zu erhalten. Doch auch dieses Mal funktionierte es nicht, da sich die Signale überlagert haben und ein genaueres Ablesen der Spitzenwerte nicht möglich war. Anschließend haben wir den Versuch mit einem Niederfrequenzverstärker ausprobiert, doch auch hier war das Ausgangssignal viel zu schwach, um genauere Daten abzulesen. Daraufhin haben wir eine Schaltung entworfen, die die Mikrofone mit Spannung versorgt und die Signale an den Line-In-Eingang weiterleiten (→ Anhang C).

Wir haben diesen Versuch nicht nur mit Metallstangen oder Holzklötzen durchgeführt, sondern auch mit der Tür oder mit dem fallen lassen eines Buches auf den Boden. Dabei waren die Ergebnisse nicht so aufschlussreich, da durch die entstandenen Schwingungen die Aufzeichnung verfälscht wurde. Bei der Tür war es die eingebaute Glasscheibe, die sich in ihrer Fassung bewegt hat. Bei dem anderen Versuch war es wahrscheinlich die schnellere Fortbewegung der Schallwellen durch den Boden als durch die Luft, die die falschen Ergebnisse hervorgerufen hat.

Messung der Schallgeschwindigkeit in Luft ohne Knall

Durch den Wellencharakter des Schalls benötigt man nicht unbedingt einen Knall, um die Geschwindigkeit zu bestimmen, sondern ein konstantes Sinussignal führt bei 2 verschieden weit von der Schallquelle entfernten Mikrofonen zu einem Phasenunterschied der aufgezeichneten Wellen, der Aufschluss über die zeitliche Differenz gibt.

Aufbau

- 2 Elektret-Mikrofonkapseln
- selbstgebaute Mikrofonchnittstelle
- Sinuston von Sinusgenerator oder CD
- Brett zur Befestigung der Mikrofone

Die Elektret-Mikrofonkapseln werden im Abstand $\Delta s = 10 \text{ cm}$ ($\Delta s < 34 \text{ cm}$) auf einem Brett befestigt.

Sie sind an unserer selbstgebauten Schnittstelle angeschlossen: die roten Anschlussbuchsen des Mikrofoneingangs werden in die roten Buchsen hineingesteckt. Die schwarzen Anschlussbuchsen werden analog in die schwarzen Buchsen eingeführt.

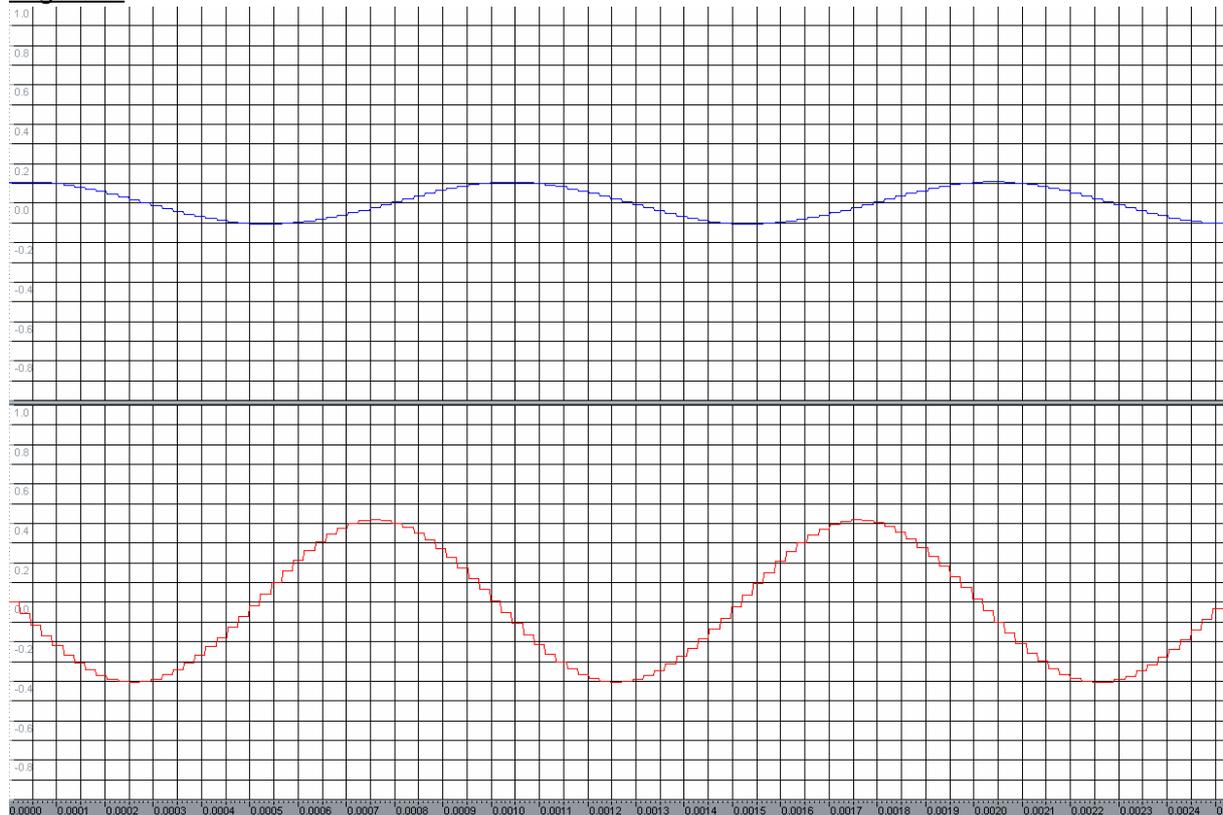
Der Ausgang des Interfaces wird an den Line-In-Eingang der Soundkarte befestigt. Die Spannungsquelle für die Mikrofonenschaltung besteht aus einer 9V Blockbatterie. Als Schallquelle dient ein Lautsprecher, der entweder von einem Sinusgenerator oder über einen CD-Player und der beiliegenden CD mit einem 1kHz-Ton angesteuert wird. Die Schallquelle und die Mikrofone müssen in einer Reihe hintereinander stehen.

Durchführung

Es wird ein Sinuston von 1000 Hz von der CD auf den Lautsprecher übertragen. Auf dem Monitor erscheinen nun die aufgezeichneten Wellen. Aufgrund der Phasenverschiebung zwischen dem linken und dem rechten eingegangenen Signal kann man nun die Schallgeschwindigkeit mit der Formel:

$$v = \frac{s}{t} \text{ errechnen.}$$

Ergebnis



(Datei *Ohne Knall1*) Die zeitliche Phasenbeziehung der Schallwellen durch die 2 Mikrofone gemessen bei bekanntem Abstand gibt Aufschluss über die Schallgeschwindigkeit.

unten: Mikro nahe an der Schallquelle, oben: Mikro mit größerer Entfernung

Auswertung

z.B.: $s = \text{konstanter Abstand der Mikrofonkapseln von } 0,1 \text{ m}$

$$t = \frac{\text{Anzahl der Samples}}{\text{Samplingrate}}$$

Lufttemperatur: 21,9°C

Ablesen der Samples:

Scheitelpunkt des ersten Signals bis zum etwas späteren Scheitelpunkt des zweiten Signals;
hier: 12 Samples

$$\Rightarrow v = 0,1 \text{ m} \cdot \frac{44100}{12} \text{ Hz} = 367,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Berechnung des Messfehlers:

Messwert: $v = 367,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Geschätzt: $\delta v_{\text{zuf}} = \frac{\Delta \text{Samples}}{\text{Samples insgesamt}} + \frac{\Delta \text{Wegstecke}}{\text{Gesamtstrecke}} = \frac{\pm 1 \text{ Sample}}{12 \text{ Samples}} + \frac{\pm 0,5 \text{ cm}}{10 \text{ cm}} = \pm 0,133$

Größtfehler (relativ): $\delta v_{\%} = \pm 13,3\%$

Größtfehler (absolut): $\Delta v = v \cdot \delta v = \pm 49 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Resultat: $v = 367,5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \pm 49 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Der Literaturwert mit $340 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ bei 20°C liegt somit innerhalb der Fehlergrenzen des gemessenen Wertes.

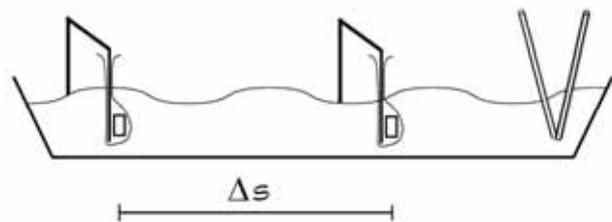
Fazit:

Die Messung der Schallgeschwindigkeit in der Luft ist auch ohne Knall möglich. Jedoch ist der Messfehler größer, weil der Abstand der Mikrone kleiner ist ($\Delta s < \lambda$).

Schallgeschwindigkeit im Wasser

Aufbau

- Blumenkasten
- 2 Elektret-Mikrofonkapseln
- 2 Eisenstangen
- 2 Stativstangen mit Fuß
- 2 Wasserbomben
- Kordel
- Wasser
- selbstgebaute Mikrofonschnittstelle



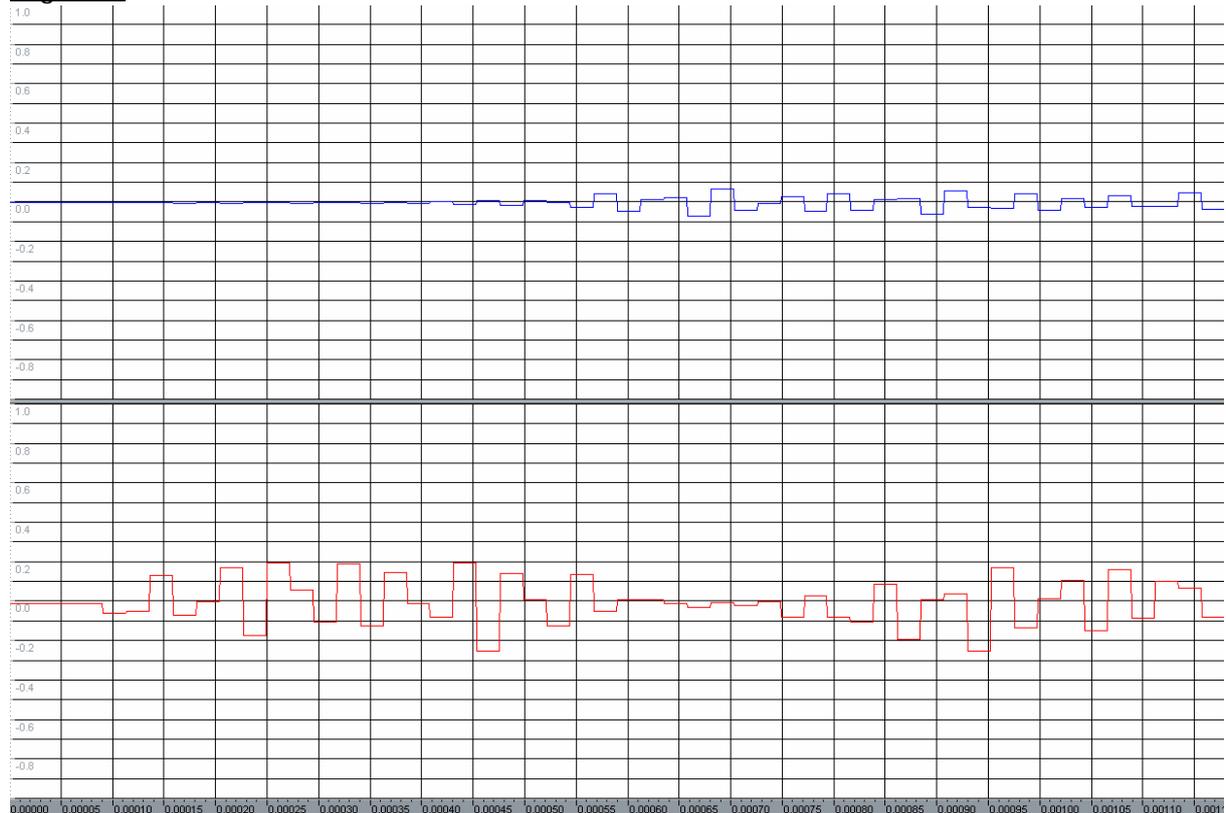
Die Mikrone werden mit einer Kordel einzeln an jeweils einer Stativstange befestigt. Danach werden Wasserbomben über die Mikros gestülpt. Anschließend wird der Blumenkasten $\frac{3}{4}$ mit Wasser gefüllt und die Mikrone in die Flüssigkeit eingetaucht, so dass sie vollständig im Wasser sind. Zu beachten ist, dass die Stangen, an denen sie befestigt sind, nicht den Blumenkasten berühren, da sich sonst die Ergebnisse verfälschen. Sie sind an unsere selbstgebautes Interface angeschlossen: die roten Anschlussbuchsen des Mikrofoneingangs werden in die roten Buchsen hineinsteckt. Die schwarzen Anschlussbuchsen

werden analog in die schwarzen Buchsen eingeführt. Der Ausgang des Interfaces wird an den Line-In-Eingang der Soundkarte befestigt. Als Spannungsquelle dient eine 9V Blockbatterie.

Durchführung

Die zwei Eisenstangen werden unter Wasser vor den Mikrofonen zusammengeschlagen. Das Geräusch wird von den Mikrofonen zeitversetzt aufgenommen. Die Schallgeschwindigkeit im Wasser lässt sich mit der Formel $v = \frac{s}{t}$ ausrechnen.

Ergebnis



Datei *Blubb18*

Auswertung:

$s =$ Abstand zwischen den Mikros (0,4 m)

$$t = \frac{\text{Anzahl der Samples}}{\text{Samplingrate}}$$

Wassertemperatur: 22,8°C

Ablesen der Samples: Anfang des ersten Signals bis zum Anfang des zweiten Signals
hier: 13 Samples

$$\Rightarrow v = 0,4 \text{ m} \cdot \frac{44100}{13} \text{ Hz} = 1356,92 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Berechnung des Messfehlers:

Messwert: $v = 1356,92 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Geschätzt: $\delta v_{\text{zuf}} = \frac{\Delta \text{Samples}}{\text{Samples insgesamt}} + \frac{\Delta \text{Wegstecke}}{\text{Gesamtstrecke}} = \frac{\pm 1 \text{ Sample}}{13 \text{ Samples}} + \frac{\pm 1 \text{ cm}}{40 \text{ cm}} = \pm 0,102$

Größtfehler (relativ): $\delta v_{\%} = \pm 10,2\%$

Größtfehler (absolut): $\Delta v = v \cdot \delta v = \pm 138,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Resultat: $v = 1356,9 \frac{\text{m}}{\text{s}} \pm 138,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Der Literaturwert mit $1485 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ bei 20°C liegt somit innerhalb der Fehlergrenzen des gemessenen Wertes.

Problem:

Durch die Schallreflexion an den Wänden des nur 10 cm breiten Blumenkastens wurden die Messwerte beeinflusst.

Schallgeschwindigkeit in Eisen

Aufbau

- 2 Elektret-Mikrofonkapseln
- Eisenstange (Länge: 1,50 m)
- Stange
- selbstgebautes Mikrofoninterface

Die Elektret-Mikrofonkapseln werden im Abstand von 0,94 m auf einer Eisenstange befestigt.

Sie sind wie im vorherigem Versuch angeschlossen.

Durchführung

Man schlägt nun mit der Stange auf das Ende der Eisenstange. Durch die Schwingungen der Metallteilchen wird das Signal von einem zum anderen Ende der Stange übertragen und zeitversetzt von den Mikrofonen erfasst.

Ergebnis



(Datei *Eisen1*, 2.Aufnahme) Die 2 Erhebungen oben sind unten nur minimal und zeitversetzt zu sehen.

Auswertung

Aufgrund der versetzten Flanken der Eingangssignale kann man die Schallgeschwindigkeit im Eisen wie folgt berechnen:

z.B.: s = konstanter Abstand der Mikrofonkapseln von 0,94 m

$$t = \frac{\text{Anzahl der Samples}}{\text{Samplingrate}}$$

Ablesen der Samples: Anfang des ersten Signals bis zum Anfang des zweiten Signals
hier: 10 Samples

$$\Rightarrow v = 0,94 \text{ m} \cdot \frac{44100}{10} \text{ Hz} = 4145,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Berechnung des Messfehlers:

$$\text{Messwert: } v = 4145,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\text{Geschätzt: } \delta v_{\text{zuf}} = \frac{\Delta \text{Samples}}{\text{Samples insgesamt}} + \frac{\Delta \text{Wegstecke}}{\text{Gesamtstrecke}} = \frac{\pm 1 \text{ Sample}}{10 \text{ Samples}} + \frac{\pm 0,5 \text{ cm}}{94 \text{ cm}} = \pm 0,105$$

Größtfehler (relativ): $\delta v_{\%} = \pm 10,5\%$

$$\text{Größtfehler (absolut): } \Delta v = v \cdot \delta v = \pm 435 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Resultat: $v = 4145,4 \frac{\text{m}}{\text{s}} \pm 435 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Der Literaturwert mit 5100 ms^{-1} liegt somit außerhalb der Fehlergrenzen des gemessenen Wertes.

Fazit:

Dieser Versuch demonstriert die Grenzen der Soundkarte als Messgerät. Sie bietet eine zu geringe zeitliche Auflösung, um exakt die Schallgeschwindigkeit in Eisen bestimmen zu können. Dennoch ist deutlich zu erkennen, dass sich Schallwellen in Eisen schneller ausbreiten als in Luft oder Wasser.

Dopplereffekt

An einer Stelle lassen sich herannahende und entfernende Fahrzeuge an der Tonhöhe ihrer Fahrgeräusche erkennen. Der folgende Versuch weißt diese Erscheinung nach.

Physikalisches Problem

Jeder hat schon mit dem Phänomen des Dopplereffekts Bekanntschaft gemacht, als ein Fahrzeug sich mit Sirene einem genähert hat. Bei weiter Entfernung war der Ton hoch und desto näher sich das Fahrzeug auf einen zu bewegt hat, desto tiefer wurde das Signal. Dies lässt sich so erklären, dass sich die Wellenlängen vor dem Beobachter verkürzen, wenn sich das Auto mit dem Signal auf einen zu bewegt. Entfernt sich das Fahrzeug, so verlängern sich die Wellenlängen. Die Ursache liegt darin, dass die Wellen sich mit einer bestimmten Frequenz in der Luft ausbreiten. Sie haben im Gegensatz zu der bewegten Quelle jedoch eine andere Geschwindigkeit. Auf die Person bewegen sich die Wellen mit einer Phasengeschwindigkeit zu, die aufgrund der geänderten Wellenlänge eine erhöhte (erniedrigte) Frequenz registriert.

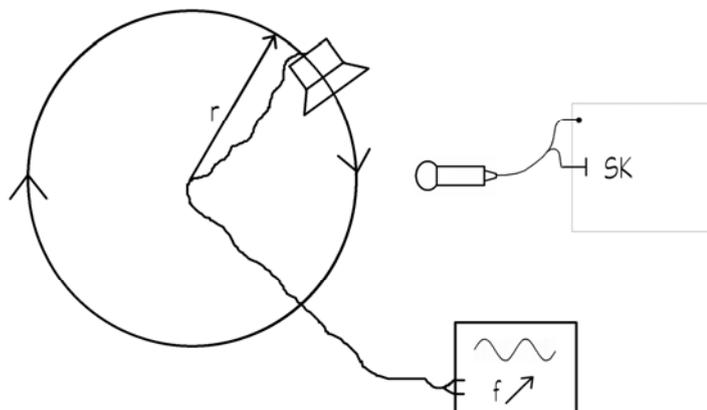
Im Moment des Passierens, schlägt die Frequenz von einem höheren auf eine niedrigeren Wert um.

Unsere Lösung mit Verwendung der Soundkarte

Aufbau

- Lautsprecher
- Mikrofon mit Windschutz
- Sinusgenerator 1000 Hz (Soundkarte verstärkt durch Stereoanlage)

Das Mikrofon ist mit dem Mikrofon-Eingang der Soundkarte verbunden. Der Lautsprecher ist über Kopfhörerausgang der Stereoanlage an dem Ausgang der Soundkarte angeschlossen.



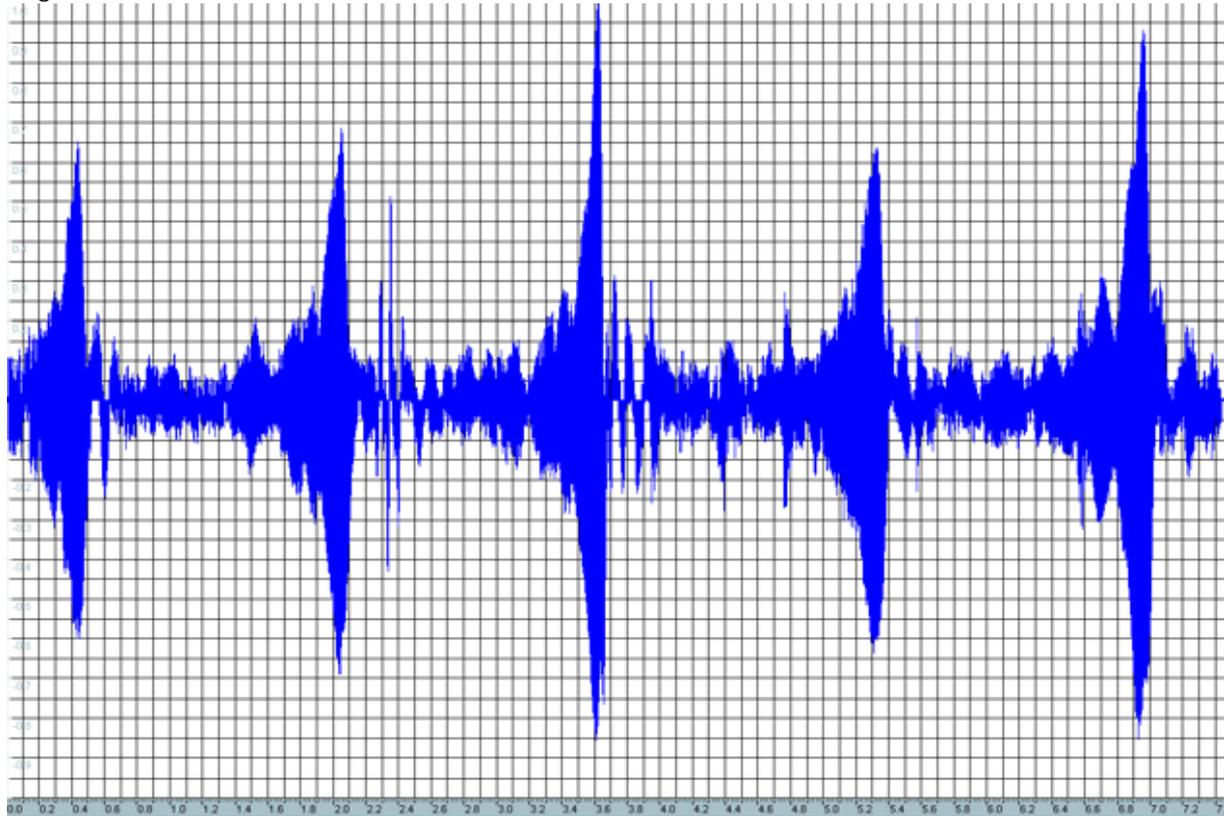
Durchführung

Eine Person hält das Mikrofon ruhig und ohne sich zu bewegen in der Hand. Eine zweite Person hat den Lautsprecher in der Hand. Diese zweite Person ist so weit von der ersten entfernt, so dass sie sich mit ausgestrecktem Arm an dem gehaltenen Mikrofon vorbei drehen kann. Es ist wichtig darauf zu achten, dass man sich nicht in dem Kabel des Lautsprechers verfängt. Deshalb ist es ratsam sich das Kabel um den Arm zu wickeln.

Hinweis

Um den Versuch richtig durchführen zu können, darf die Person mit dem Lautsprecher sich nicht zu langsam drehen, da sonst die aufgezeichneten Kurven sich verformen und das Ablesen schwerer fällt.

Ergebnis



Beim Annähern vergrößert sich nicht nur die Lautstärke sondern auch die Frequenz, beim Entfernen verringern sich Amplitude und Frequenz.

Auswertung

Um zu überprüfen, ob man diesen Versuch richtig durchgeführt hat, werden zuerst die erwarteten Ergebnisse wie folgt berechnet:

$$t = 1,569 \text{ s}$$

Die Zeitmessung ist unproblematisch, denn sie kann aus der Auswertung der Aufnahme entnommen werden. Man erhält sie, indem abgelesen wird, wie lange man für eine Umdrehung braucht. Man nimmt einfach die Zeit von dem ersten Ausschlag bis zum zweiten Ausschlag.

$$r = 0,64 \text{ m}$$

Den Radius bestimmt man, indem man die Entfernung von der Schulter bis zu den Fingerspitzen misst.

$$s = 2\pi \cdot r = 2\pi \cdot 0,64 \text{ m} = 4,021 \text{ m}$$

$$v = \frac{s}{t} = \frac{4,021 \text{ m}}{1,569 \text{ s}} = 2,56 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$f' = f \cdot \frac{c}{(c-v)} = 1000 \text{ Hz} \cdot \frac{320}{(320-2,56)} = 1008 \text{ Hz} \quad (\text{bei Annäherung})$$

$$f'' = f \cdot \frac{c}{(c+v)} = 1000 \text{ Hz} \cdot \frac{320}{(320+2,56)} = 992 \text{ Hz} \quad (\text{bei Entfernung})$$

Anhand der aufgezeichneten Kurven kann man nun die tatsächliche Frequenz und die Umlaufzeit berechnen, indem die durchschnittliche Umlaufzeit von 5 Schwingungen abgelesen wird:

Bei der Annäherung erhalten wir 219 smp.

$$T = \frac{\text{Samples}}{\text{Samplingrate} \cdot \text{Schwingungen}} = \frac{219}{44100 \cdot 5} \text{ s} = 0,000993 \text{ s}$$

$$\Rightarrow f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,000993} \text{ s}^{-1} = 1007 \text{ s}^{-1}$$

Bei der Entfernung erhalten wir 223 smp.

$$T = \frac{\text{Samples}}{\text{Samplingrate} \cdot \text{Schwingungen}} = \frac{223}{44100 \cdot 5} \text{ s} = 0,001011 \text{ s}$$

$$\Rightarrow f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,001011} \text{ s}^{-1} = 989,12 \text{ s}^{-1}$$

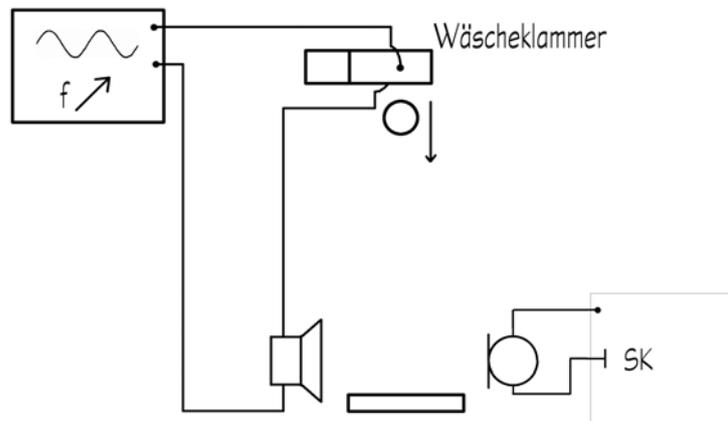
Ergebnis

Die Abweichungen lassen sich so erklären, dass es schwer ist, sich permanent mit der gleichen Geschwindigkeit zu drehen. Außerdem kommt es vor, dass sich die Person mit dem Lautsprecher immer weiter dem Mikrofon nähert, da sich z.B. das Kabel beim Drehen verkürzt.

g-Bestimmung durch Fall

Aufbau

- Wäscheklammer
- Stahlkugel
- Holzplatte
- Sinusgenerator
- Lautsprecher
- 2 Reißzwecken
- Mikrofon
- Stativstange

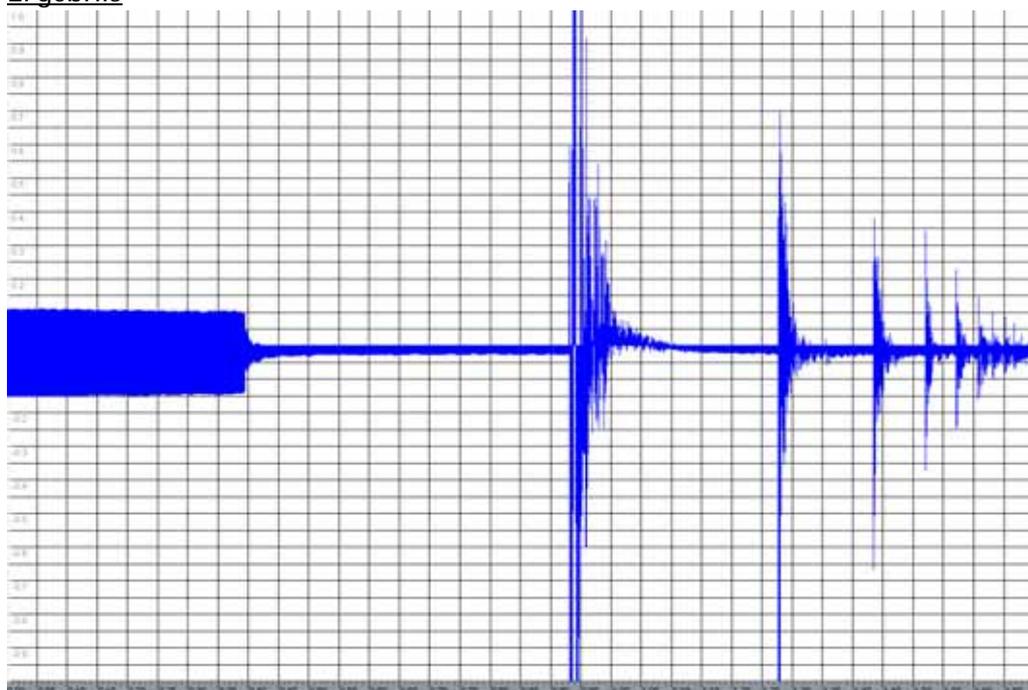


Zuerst muss die Wäscheklammer mit den Reißzwecken durchbohrt werden, so dass die Spitzen der Reißzwecken nach innen in die Klammer zeigen. Die Reißzwecken sind mit einem Kabel mit dem Sinusgenerator und dem Lautsprecher in Reihe verbunden. Die Wäscheklammer wird nun in einer beliebigen Höhe an einer Stativstange befestigt. Direkt darunter auf dem Boden befindet sich ein Holzbrett, worauf die Stahlkugel fallen soll. Neben dem Holzbrett befindet sich das Mikrofon, das das Geräusch aufnimmt und an die Soundkarte weiterleitet.

Durchführung

Zwischen die Wäscheklammer wird die Stahlkugel geklemmt \Rightarrow der Kontakt ist geschlossen und der Lautsprecher erzeugt einen Sinuston. Wird die Wäscheklammer nun geöffnet, fällt die Kugel und der Lautsprecher verstummt. Dadurch ist kein Signal erkennbar. Die Kugel trifft dann auf das Holzbrett und erzeugt einen Knall, den die Soundkarte aufzeichnet.

Ergebnis



Datei *g-fall8*

Auswertung

Datei *g-Fall5*

Die Fallzeit wird so bestimmt, indem man die Differenz zwischen dem erklingendem Ton und dem Knall abliest. Mit den vorhandenen Werten kann man nun die Fallbeschleunigung berechnen:

z.B.: h: Entfernung der Kugel bis zum Holzbrett von 1,47 m

t: Fallzeit der Kugel: $\frac{\text{Anzahl der Samples}}{\text{Samplingrate}}$

$$\Rightarrow s = \frac{1}{2} a \cdot t^2 \Leftrightarrow h = \frac{1}{2} g \cdot t^2$$

$$\Rightarrow g = \frac{2 \cdot h}{t^2}$$

für $g = \frac{2 \cdot 1,47 \cdot 44100^2}{23916^2} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 9,98 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Berechnung des Messfehlers:

Messwert: $g = 9,98 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Geschätzt: $\delta g_{\text{zuf}} = \frac{\Delta h}{h} + 2 \frac{\Delta t}{t} = \frac{\pm 1 \text{ cm}}{147 \text{ cm}} + 2 \frac{\pm 53 \text{ Samples}}{23916 \text{ Samples}} = \pm 0,0112$

Größtfehler (relativ): $\delta g_{\%} = \pm 1,12\%$

Größtfehler (absolut): $\Delta g = g \cdot \delta g = \pm 0,11 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Resultat: $g = 9,98 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \pm 0,11 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Der Literaturwert mit $9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ liegt somit knapp außerhalb der Fehlergrenzen des gemessenen Wertes.

Hinweis

Es ist sehr wichtig, dass die Stahlkugel spitzengelagert ist, da sie sonst an den Reißzweckenköpfen hängen bleibt, und so die Ergebnisse verfälscht.

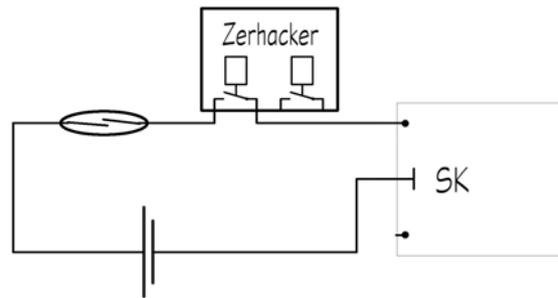
Problem

Der Versuch mit einem Elektromagnet als Kugelhalter war nicht möglich, weil die Frequenz des 1kHz-Tons zu hoch ist und somit auch der induktive Widerstand. Aufgrund der Selbstinduktion der Spule fließt zu geringer Strom, so dass die Magnetkraft nicht ausreicht um die Kugel zu halten.

g-Bestimmung durch Fadenpendel

Aufbau

- Faden
- Magnet mit Loch
- Reedkontakt¹
- Batterie, 1,5V
- Taktgenerator
- Stativ zur Halterung des Fadens



Der Faden wird durch den Magnet hindurchgeführt, und an der Stativstange befestigt. Das Pendel wird bifilar aufgehängt. Unter dem hängendem Pendel wird der Reedkontakt aufgestellt.

Durchführung

Der Magnet wird nun ausgelenkt, so dass er genau über dem Reedkontakt hin und her schwingt. Der Reedschalter wird durch das Magnetfeld des darüber schwingenden Magnetes durchdrungen und die darin enthaltenen Blattfedern verbiegen sich \Rightarrow der Kontakt ist geschlossen. Nun entsteht ein Signal, dass von der Soundkarte aufgenommen wird.

Man kann die Fallbeschleunigung g so ausrechnen, indem man diesen Fadenpendel mit unterschiedlichen Startwinkeln auslenkt:

- z.B.:
- h = Höhe des Fadenpendels (0,472 m)
 - b = Auslenkung des Pendels in cm
 - φ = Auslenkungswinkel

Da man schlecht mit Gradzahlen hantieren kann, haben wir sie in cm umgerechnet, und anhand eines Metermaßes so die Auslenkung bestimmt.

Und zwar mit der Formel: $\tan \varphi = \frac{b}{h} \Leftrightarrow b = \tan \varphi \cdot h$

$$b = \tan 5^\circ \cdot 0,472$$

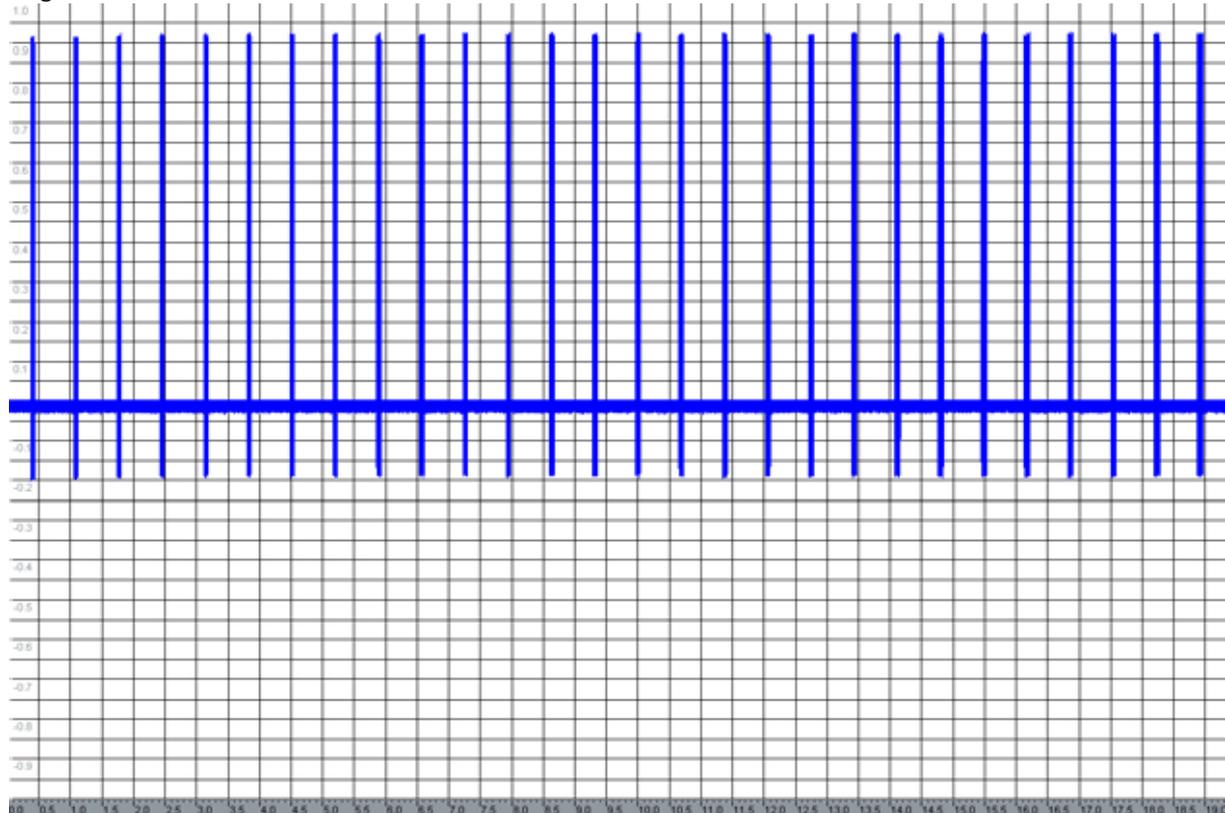
$$= 4,1 \text{ cm}$$

φ in $^\circ$	Auslenkung b in cm
5	4,1
10	8,32
20	17,2
30	27,25
40	39,6

(gilt nur für kleine Winkel)

¹ Ein kleines mit Schutzgas gefülltes Glasröhrchen, welches zwei Blattfedern aus einem magnetischen Werkstoff enthält.

Ergebnis:



Datei *Pendel2-3*; Die Auslenkung beträgt 15° , die Schwingdauer des Pendels ist 1,38 s

Auswertung

(Datei *Pendel2-3*)

Für die Schwingungsdauer eines Fadenpendels gilt folgende Gleichung:

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{l}{g}} \Leftrightarrow g = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot l}{T^2}$$

(Herleitung siehe Anhang D)

Am Bild lesen wir die Schwingdauer ab, welche der Abstand eines Balkens zum übernächsten ist. Diese beträgt 1,38 s. Die Länge des Pendels ist 47 cm.

$$g = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 0,47 \text{ m}}{1,38^2 \text{ s}^2} = 9,74 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Literaturwert: $9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Problem

Es war für uns sehr schwer das Pendel für kleine Winkel auszulenken. Deshalb sind die Ergebnisse teilweise nicht so genau.

g als konstante Größe

Durch den folgenden Versuch wird nachgewiesen, dass die Erdbeschleunigung eine konstante Größe ist.

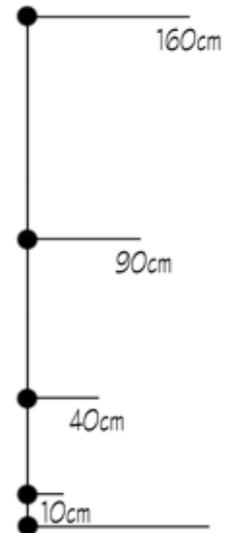
Aufbau

- Mikrophon
- 5 Holzkugeln
- Schnur (ca. 2m)
- Holzbrett
- Handtuch

Die erste Kugel wird an das Ende der Schnur durch einen Knoten befestigt. Die zweite Kugel wird im Abstand von 10 cm zur ersten an der selben Schnur geknotet. Der Abstand zwischen der zweiten und dritten Kugel beträgt 30 cm und zwischen der dritten und der vierten 50 cm. Die letzte Kugel wird 160 cm von der ersten Kugel an der Schnur angebracht. Die Abstände der Kugeln wurden mit der

Gleichung $s = \frac{1}{2}at^2$ errechnet.

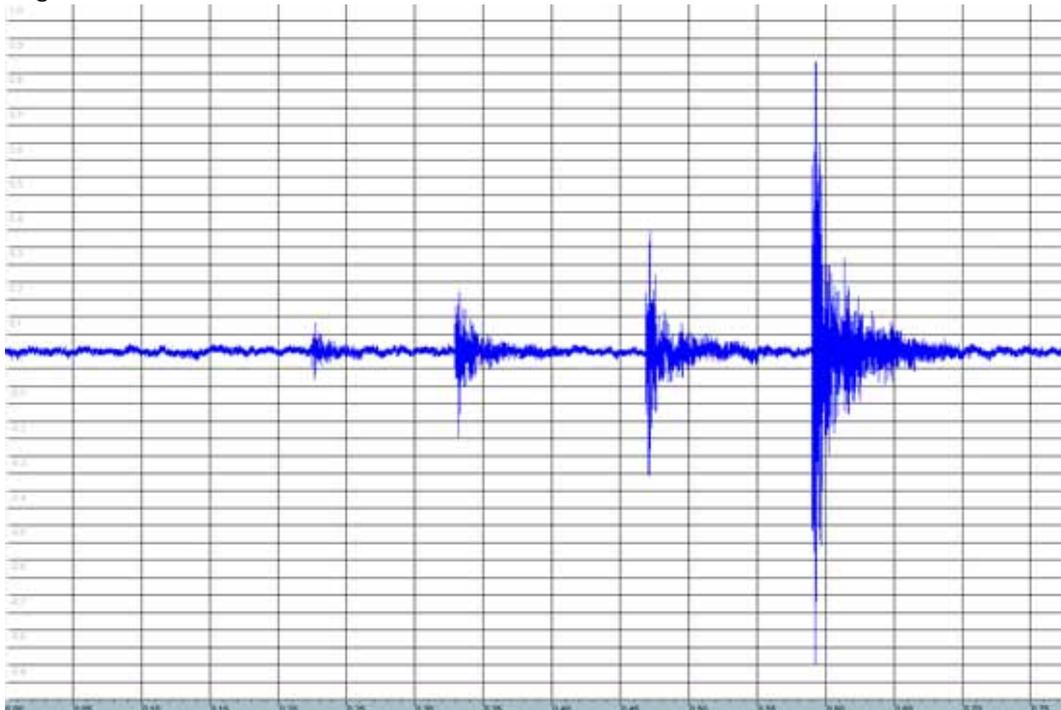
Als nächstes richtet man ein Holzbrett mit einem Handtuch darüber, das einen Zurückprall und ein erneutes Aufgeschlagen der Kugeln verhindert. Das Mikrophon wird direkt neben das Holzbrett gelegt.



Durchführung:

Man hält den Faden in der Luft, so dass die erste Kugel das Holzbrett berührt. Lässt man die Schnur los, so fallen die Kugeln nacheinander in einem bestimmten Abstand auf das Brett.

Ergebnis:



Die 4 Aufschläge der Kugeln folgen in fast konstanten Zeitabständen.

Auswertung

(Datei *g konstant3*)

$$t_{\text{Kugel 2-3}} = 0,128\text{s}$$

$$t_{\text{Kugel 3-4}} = 0,134\text{s}$$

$$t_{\text{Kugel 4-5}} = 0,124\text{s}$$

Probleme:

Es ist ratsam, Kordel anstatt einer Schnur zu benutzen, da nach dem Herunterfallen der Kugeln sich der Faden verknotet.

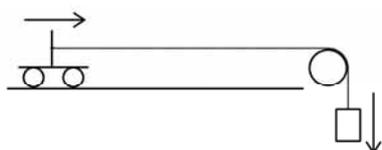
Eine weitere Schwierigkeit ist, die Kugeln so fallen zu lassen, dass sie nicht aufeinander fallen, da entweder der Aufprall nicht laut genug ist oder ein falsches Ergebnis herbeigeführt wird.

Energieerhaltungssatz

Die Zeit-Weg-Abhängigkeit einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung soll erfasst werden und der Energieerhaltungssatz soll mit Hilfe der schiefen Ebene überprüft werden.

Physikalisches Problem

Ein typischer Versuch zur Überprüfung der Energieerhaltung in der Mechanik ist in folgender Abbildung dargestellt.



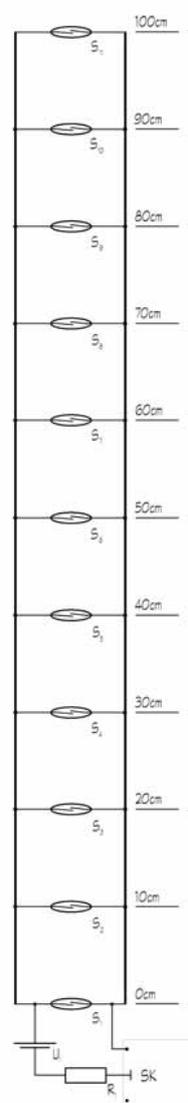
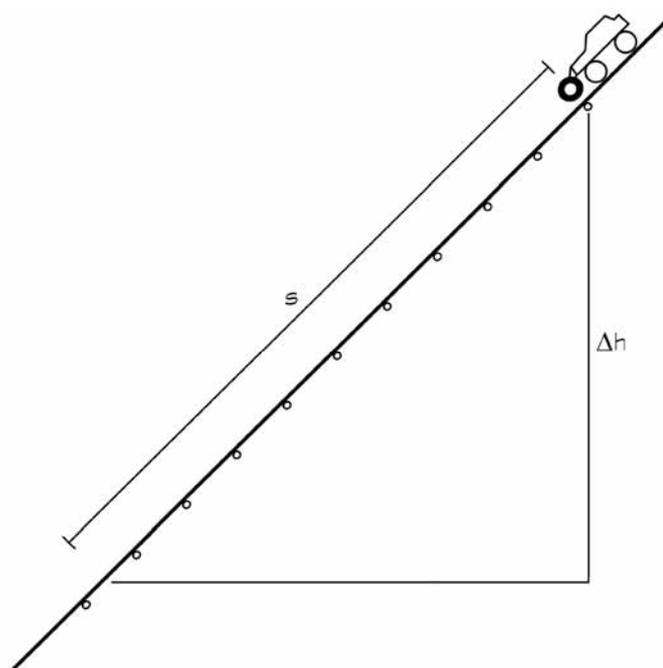
Mit Hilfe einer beschleunigten Masse wird das Luftkissenfahrzeug beschleunigt und die Umwandlung von potentieller Energie in Bewegungsenergie nachgeprüft. Dabei misst eine Lichtschranke, die mit einer Stoppuhr verbunden ist, die Momentangeschwindigkeit am Ende der Bahn.

Unsere Lösung mit der Soundkarte

Aufbau:

- Spannungsquelle 2,4 V: U_1
- 11 Reedkontakte: S_1 - S_{11}
- Widerstand 2 k Ω : R_1
- kleiner Ringmagnet
- Dardauto
- Dardabahn
- Brett (1,3 m)

Anstelle einer Luftkissenfahrbahn benutzen wir eine schiefe Ebene.



Die 11 Reedkontakte werden in einem Abstand von 10 cm auf der Rückseite der Dardabahn befestigt und durch 2 Kabel parallel geschaltet. Diese Konstruktion wird auf

einem Brett festklebt. Vor das Dardabahnauto wird ein Magnet befestigt, so dass er knapp über dem Boden hängt.

In Reihe zu den parallel geschalteten Reedkontakten werden eine Batterie mit der Spannung 2,4 V und ein Widerstand mit 2 k Ω geschaltet. Dieser Stromkreis wird nun an den Line-In-Eingang der Soundkarte angeschlossen.

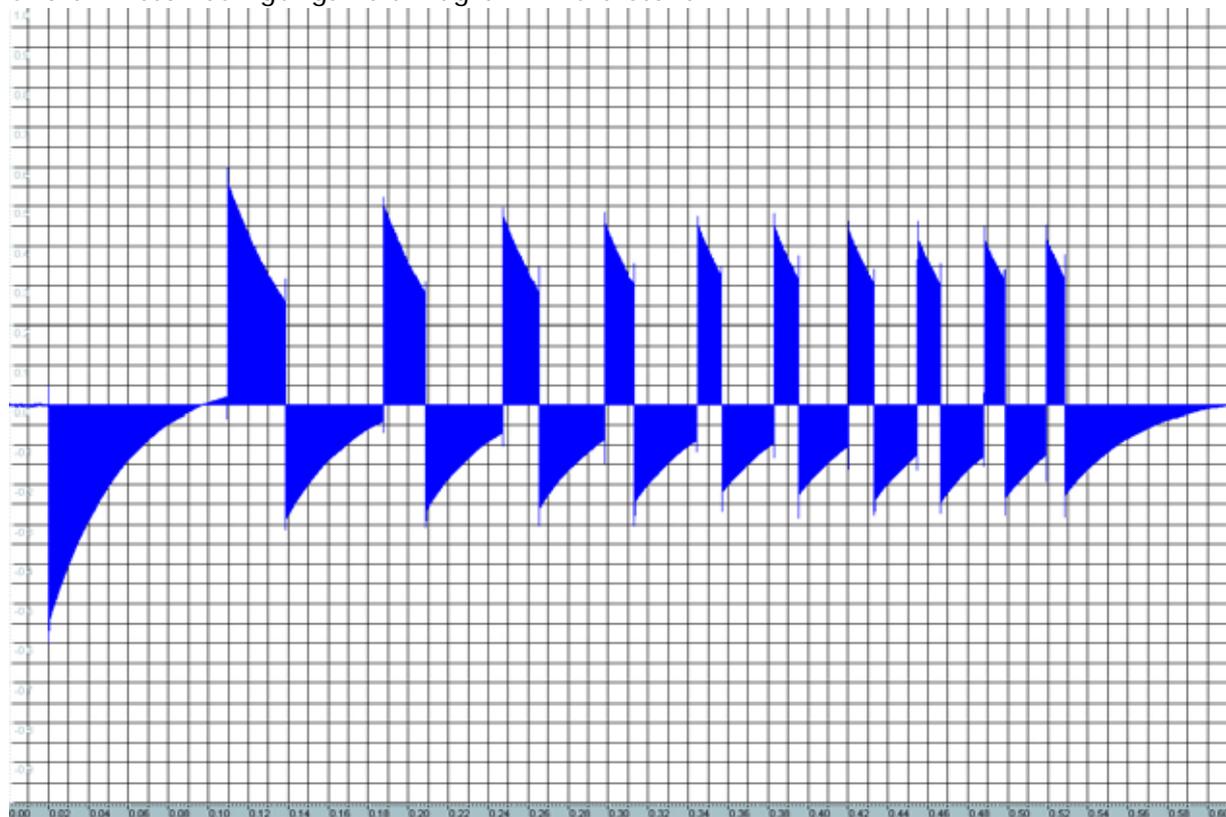
Alternativ kann das in Anhang C beschriebene Messinterface benutzt werden. Das Ergebnis wird graphisch deutlicher und die Messung ist sicherer. Für diesen Versuch wird dann nur eine Gleichspannungsquelle mit beliebiger Spannung benötigt. Die Stromquelle wird ebenfalls in Reihe zu den Reedkontakten geschaltet und der Stromkreis wird am Gleichspannungseingang des Messinterfaces angeschlossen. Die Messschnittstelle wird wie gewöhnlich an den Line-In-Eingang der Soundkarte angeschlossen und benötigt eine Betriebsspannung von 9 V.

Durchführung

Das Brett wird in einem Winkel von 45° aufgestellt. Das Dardabahnauto wird so am ersten Reedkontakt festgehalten, dass der Magnet den Schalter schließt (Kontrolle durch ein kurzes Knacken der Lautsprecher, falls die Wiedergabe des Line-In-Eingangs aktiviert ist). Lässt man nun das Auto los, so saust es über die Reedkontakte. Der Stromkreis wird immer dann geschlossen, wenn der Magnet über einen Reedkontakt fährt. Folglich zeichnet die Soundkarte 10 Ausschläge auf.

Ergebnis

Bei unserem Versuch ist es uns möglich, nicht nur die Geschwindigkeit des Autos am Ende der schiefen Ebene zu bestimmen, sondern auch noch zu 9 anderen Zeiten. Dadurch ist uns die Möglichkeit gegeben, ein Weg-Zeit-Diagramm, ein Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm und ein Beschleunigungs-Zeit-Diagramm zu erstellen.



(Datei *Energieerhaltung6*) Sobald der Wagen über einen der 10 Reedschalter fährt, nimmt die Soundkarte eine positive Spannungsspitze auf.

Die negativen Spannungsspitzen kommen durch die Entladung des Koppelkondensators am Soundkarteneingang zustande, der die empfindliche Karte vor Gleichstrom schützt.

Wenn sich der Wagen also über einem Reedschalter befindet und ihn schließt, wird ein abflachendes positives Signal aufgenommen; der Koppelkondensator der Soundkarte wird gerade geladen, falls sich der Magnet zwischen zwei Schaltern befindet und keinen schließt, sieht man ein negatives Signal; der Kondensator am Soundkarteneingang entlädt sich selbst. Deshalb zeichnet die Software anfangs keinen Ausschlag auf, wenn sich der Wagen über dem ersten Schalter befindet und längere Zeit festgehalten wird (Kondensator voll geladen; $I=0$), und sobald das Auto losgelassen wird, entsteht eine negative Spannungsspitze (Kondensator beginnt Selbstentladung).

Auswertung

a) Weg-Zeit-Erfassung

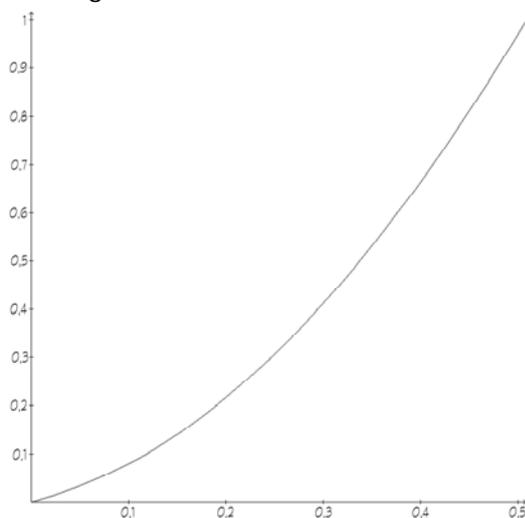
Zum Ablesen der Zeitdifferenz wird am einfachsten die Zeit von einer negativen Spannungsspitze zur nächsten gemessen.

Messwerttabelle (Datei *Energieerhaltung6*)

Reedkontakt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
s in m	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
t in Samples	0	5220	8320	10814	12920	14845	16535	18210	19669	21090	22418
t in s	0	0,118	0,189	0,245	0,293	0,337	0,375	0,413	0,446	0,478	0,508
v_D in $\frac{m}{s}$	0	0,847	1,408	1,786	2,083	2,273	2,632	2,632	3,03	3,125	3,333

Umrechnung von Samples in Sekunden: $t = \frac{\text{Samples}}{\text{Sampling Rate}}$

t-s-Diagramm

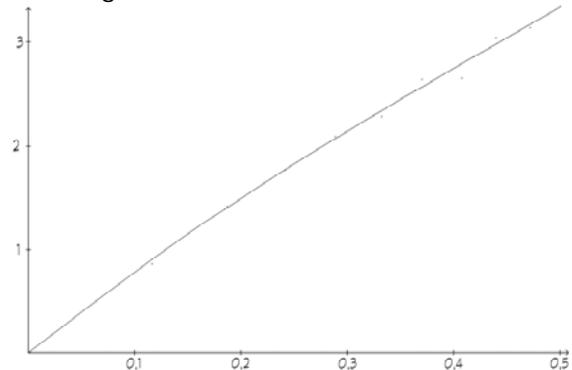


X-Achse: Zeit in Sekunden
Y-Achse: Strecke in Meter

Der Graph im t-s-Diagramm ist annähernd eine Parabel und entspricht somit der quadratischen Zeit-Weg-Funktion:

$$s(t) = \frac{1}{2} a \cdot t^2$$

t-v-Diagramm



X-Achse: Zeit in Sekunden

Y-Achse: Geschwindigkeit in $\frac{m}{s}$

Der Graph des t-v-Diagramms ist annähernd eine Gerade und entspricht der linearen Zeit-Geschwindigkeit-Funktion:

$$v(t) = a \cdot t$$

b) Energieerhaltung

Mit Hilfe des Energieerhaltungssatzes ist es möglich, die angenäherte Momentangeschwindigkeit am Ende der Bahn des Autos zu berechnen:

Energieerhaltungssatz:

$$E_{\text{pot}} = E_{\text{kin}}$$
$$m \cdot g \cdot h = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \Leftrightarrow v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

g: Fallbeschleunigung

h: Höhendifferenz zwischen dem ersten bis zur Mitte der letzten beiden Reedkontakte (0,89m – 0,21m = 0,68m)

$$v = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,68} \sqrt{\frac{\text{m} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}} = 3,65 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Das Dardabahnauto müsste eine Geschwindigkeit von $v = 3,65 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ erreichen.

Bei unserem Versuch erhalten wir folgende mittlere Geschwindigkeit zwischen den beiden letzten Kontaktstellen für das Auto:

Abgelesene Zeitdifferenz zum Überfahren der letzten beiden Kontakte in Samples: 1373

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = 0,1 \cdot \frac{44100 \text{ m}}{1373 \text{ s}^2} = 3,21 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Fazit:

Das Experiment ist auch zur Überprüfung des Energieerhaltungssatzes geeignet. Hierzu müsste allerdings versucht werden, die Reibungskraft weiter zu verringern.

Probleme

1) Als wir zuerst versuchten, das Signal mittels des Line-In-Eingangs aufzunehmen, ging es nicht, da das Signal mit einer 1,2V Spannungsquelle zu schwach war. Anschließend probierten wir, die Signale ohne Spannungsquelle mit dem Mikrofoneingang aufzunehmen. Die Ergebnisse waren aber von Störungen beeinflusst. Aus diesem Grund kamen wir wieder auf den Line-In-Eingang zurück, der dieses Mal mit 2,4V und einem 2kΩ Schutzwiderstand betrieben wurde. Wir ermittelten den 2 kΩ folgendermaßen:

$$R = \frac{2,5 \text{ V}}{1 \text{ mA}} \frac{\text{Spannungsversorgung der Soundkarte}}{\text{Stromstärke, die max. durch die Sounkarte fließen darf}} = 2,5 \text{ k}\Omega$$

Da wir aber keinen Widerstand mit 2,5 kΩ hatten, verwendeten wir 2 kΩ.

2) Es ist sehr wichtig, dass der Magnet am Auto richtig justiert ist. Bei uns waren manchmal nur 8 oder weniger Ausschläge auf dem Bildschirm zu sehen. Dies liegt daran, dass sich der Magnet nicht immer exakt über die Schalter bewegte.

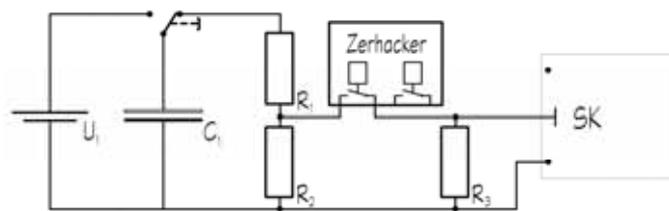
Auf- und Entladekurve eines Kondensators

Physikalisches Problem

Es soll die Spannung eines Kondensators beim Lade- und Entladevorgang messtechnisch erfasst werden.

Aufbau

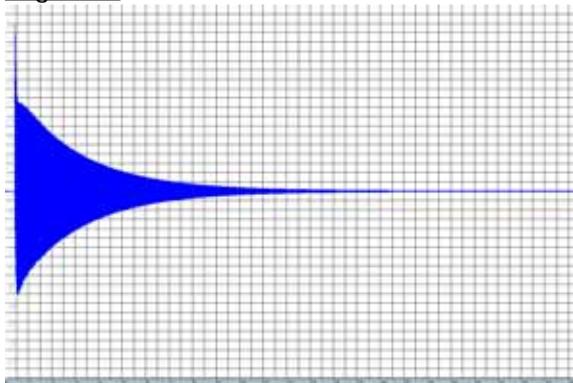
- Steckbrett
- 6V Batterie: U_1
- verschiedene Kondensatoren ($235\mu\text{F}$, $470\mu\text{F}$, $940\mu\text{F}$): C_1
- Widerstand ($10\text{k}\Omega$): R_1
- Widerstand (470Ω): R_2
- Widerstand ($1\text{k}\Omega$): R_3
- Zehnhacker



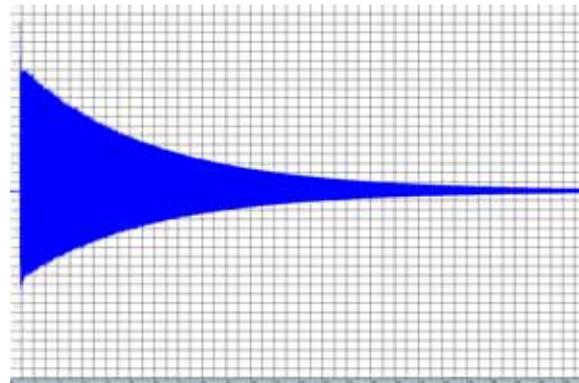
Durchführung

Schließt man den Kippschalter lädt sich der Kondensator auf. Direkt im Anschluss kippt man den Schalter zur anderen Seite, damit der Kondensator sich entlädt.

Ergebnis



Entladungskurve mit $235\mu\text{F}$



Entladungskurve mit $470\mu\text{F}$

Auswertung

Anhand der Aufzeichnung kann man ablesen, dass die Halbwertszeit eines Kondensators mit $470\mu\text{F}$ bei ungefähr 5 s liegt. Errechnet man die Halbwertszeit mit der Formel, stellt man fest, dass er nicht mit dem abgelesenen Wert übereinstimmt.

$$\text{Z.B.: } C = 470\mu\text{F} \quad T_H = R \cdot C \cdot \ln 2 = 10,47\text{ k}\Omega \cdot 470\mu\text{F} \cdot \ln 2 = 3,4\text{ s}$$

$$C = 235\mu\text{F} \quad T_H = 1,7\text{ s}$$

$$C = 940\mu\text{F} \quad T_H = 6,8\text{ s}$$

$$C = 2200\mu\text{F} \quad T_H = 15,96\text{ s}$$

Wir bestimmten den Flächeninhalt annähernd, indem wir die Grafiken ausgedruckten und die Kästchen zählten. Unser Ergebnis war für den rechten Graph mit $470\mu\text{F}$ ungefähr 164 Flächeneinheiten und für den linken Graph mit $235\mu\text{F}$ ungefähr 63 Flächeneinheiten. Auch hier stellen wir fest, dass die Verhältnisse nicht stimmen, da theoretisch die Ladung (Flächeninhalt) proportional zur Kapazität ist.

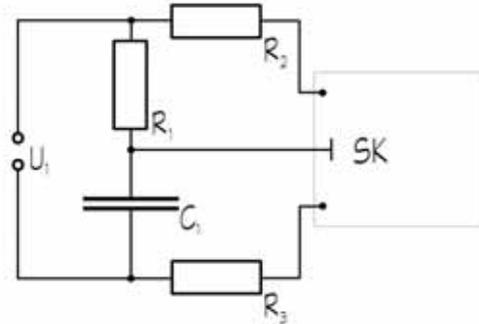
Dennoch erkennt man, dass mit zunehmender Kapazität sowohl die Halbwertszeit als auch die Ladung ansteigen.

Phasenverschiebung im Wechselstromkreis mit Kondensator

In den folgenden Versuchen soll die Phasenverschiebung zwischen Stromstärke und Spannung bei Wechselstromkreisen mit Spule oder Kondensator graphisch dargestellt werden.

Aufbau

- Steckbrett
- Wechselspannung (~16 V, 50Hz): U_1
- Kondensator (0,1μF): C_1
- 1 Widerstand (33 kΩ): R_1
- 2 Widerstände (0,5 MΩ): R_2, R_3



Berechnung des Widerstandes R_1 :

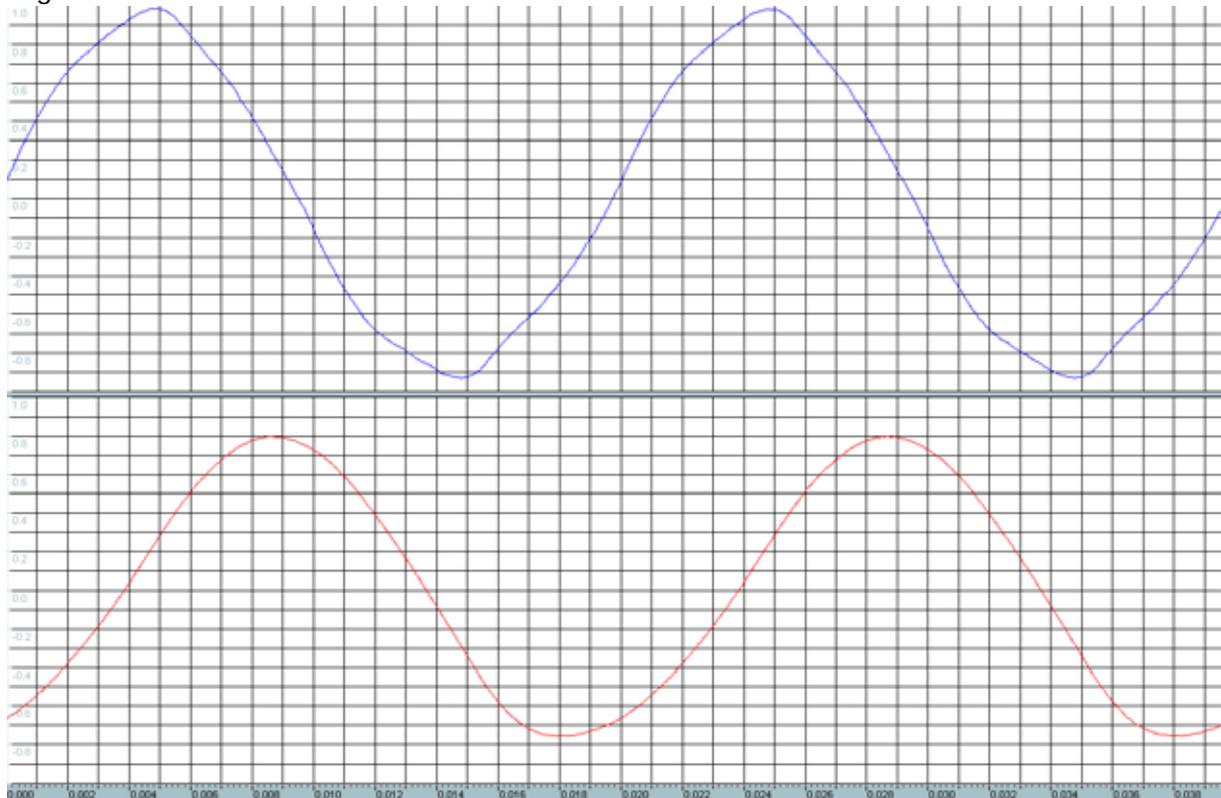
R_Ω muss gleich R_C sein, damit der Spannungsabfall (bzw. die Graphen) an R_Ω und R_C gleich groß ist.

$$R_\Omega = R_C = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6} \text{ F}} = 31831 \frac{\text{Vs}}{\text{As}} = 31831 \Omega \quad (\text{Wahl: } 33 \text{ k}\Omega)$$

Durchführung:

An die Schaltung wird eine Wechselspannung von 16V mit 50Hz angelegt.

Ergebnis:



Stromstärke (oben) und **Spannung** (unten) beim Kondensator sind hier um 72° phasenverschoben. Die Stromstärke eilt der Spannung voraus.

Auswertung

Aufgrund der erhaltenen Kurven und deren Verschiebung, lässt sich nun genau die Phasenverschiebung bestimmen:

(Datei *Phasenverschiebung2*)

$$\text{z.B.:} \quad \Delta\varphi = \omega \cdot t = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot t = 2 \pi \cdot 50 \cdot 0,004 \frac{\text{s}}{\text{s}} = 72^\circ$$

Im Idealfall sollte die Phasenverschiebung 90° betragen. Uns war aber auch durch mehrmaliges versuchen nicht möglich dieses Ergebnis zu erzielen.

Problem

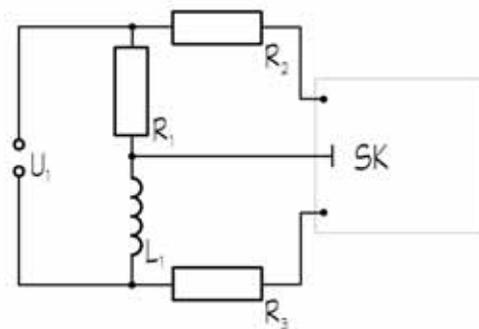
Da zu Beginn die Signale zu klein waren, haben wir die Schutzwiderstände von $1\text{M}\Omega$ auf $0,5\text{M}\Omega$ halbiert.

Ein weiteres Problem ist, dass die Soundkarte ein Signal verkehrt herum aufzeichnet. Deshalb haben wir die Kondensatoren durch Widerstände ersetzt, da wir wissen, dass beim Ohmschen Widerstand keine Phasenverschiebung zwischen der Spannung und der Stromstärke besteht. Dabei haben wir festgestellt, dass ein Kanal weiterhin invertiert ist. Daraufhin sind wir auf die Idee gekommen, durch die Software das Signal zurück zu invertieren. Unsere Diagnose lautet daher: die Soundkarte nimmt jeweils bei diesem Versuch ein Signal „auf dem Kopf stehend“ auf, davon abgesehen, ob ein Kondensator oder ein Widerstand in der Schaltung enthalten ist. Der Grund: Masse der Soundkarte liegt zwischen Spule und ohmschen Widerstand an. Wenn bei einer Halbwelle der Wechselspannungsquelle am Widerstand + und an der Spule – anliegt, fällt in Bezug zur Masse am Widerstand eine positive und an der Spule eine Negative Spannung ab.

Phasenverschiebung im induktiven Wechselstromkreis

Aufbau:

- Steckbrett
- Wechselstromquelle ($\sim 16\text{ V}$, 50Hz): U_1
- Spule (1200 Windungen, 35mH): L_1
- 1 Widerstand ($60\ \Omega$ 3W [$4 \times 100\ \Omega$ $1/2\text{W}$, $1 \times 150\ \Omega$ 1W]): R_1
- 2 Schutzwiderstände ($0,5\ \text{M}\Omega$): R_2, R_3



Messung der Stromstärke durch Spannungsabfall:

$$R = 60\ \Omega$$

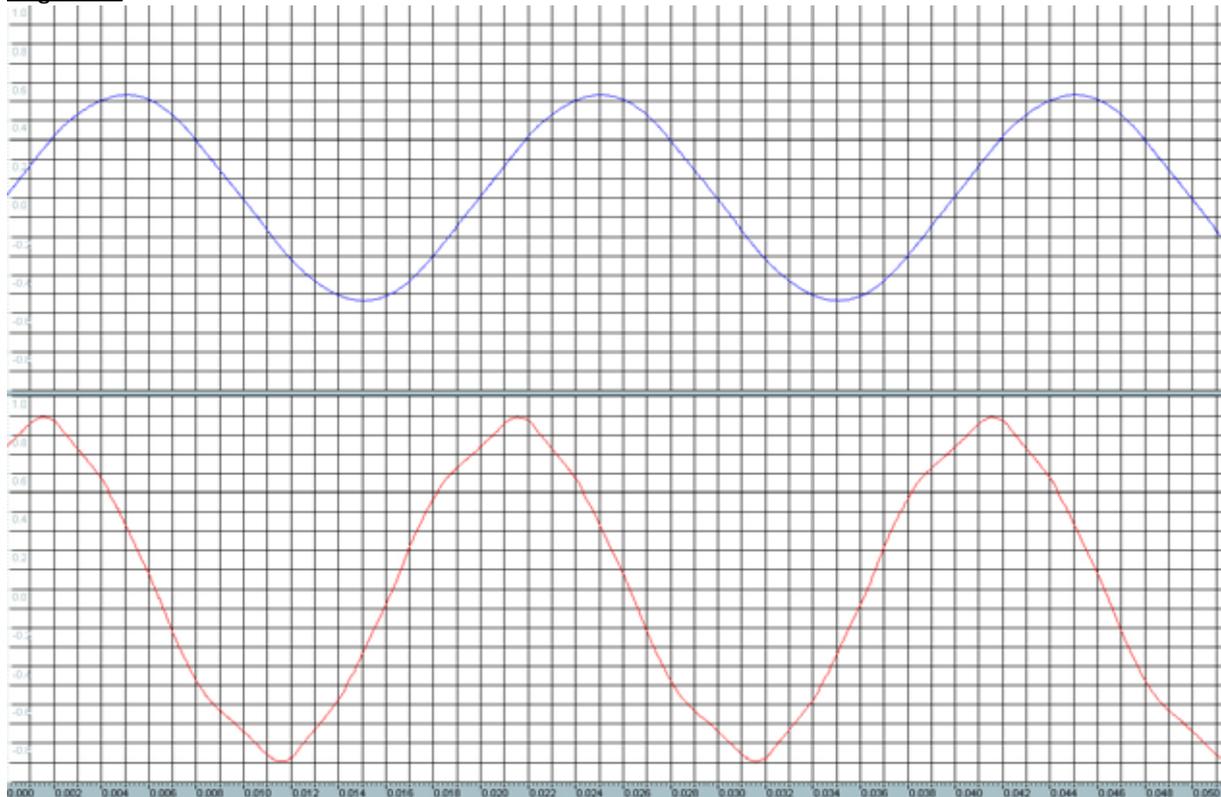
$$R_\Omega = R_L$$

$$R_\Omega = R_L = \omega \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 35 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Vs}}{\text{sA}} = 11\ \Omega \quad (\text{Wahl: } 60\ \Omega)$$

Durchführung

An die Schaltung wird eine Wechselspannung von 16 V angelegt und die entstehenden Schwingungen werden mit dem Line-In-Eingang der Soundkarte aufgenommen.

Ergebnis



Es liegt eine Phasenverschiebung von $68,6^\circ$ zwischen **Stromstärke** (oben) und **Spannung** (unten) bei der Spule vor. Die Spannung eilt der Stromstärke voraus.

Auswertung

Bestimmung der Phasenverschiebung zwischen Stromstärke und Spannung

a) experimentell:

Aufgrund der erhaltenen Kurven und ihrer zeitlichen Verschiebung lässt sich nun unsere Phasenverschiebung ermitteln:

(Datei *Phasenverschiebung1-3*)

$$t = 0,0038\text{s}$$

$$\Delta\varphi = \omega \cdot t = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot t = 2 \cdot \pi \cdot 50\text{Hz} \cdot 0,0038\text{s} = 0,38\pi = 68,57^\circ$$

b) theoretisch:

Im Vorfeld haben wir errechnet, welche Phasenverschiebung heraus kommen soll:

$$R_L = L \cdot \omega = 0,035 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50 \frac{\text{Vs}}{\text{As}} = 11\Omega$$

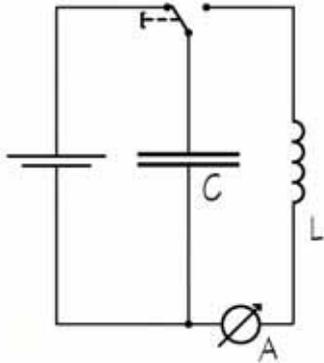
$$\varphi = \tan^{-1} \cdot \frac{R_L}{R_\Omega} = \tan^{-1} \frac{L \cdot \omega}{R_\Omega} = \tan^{-1} \frac{11\Omega}{12\Omega} = \tan^{-1} \cdot 0,83 = 69,47^\circ$$

Problem

Es treten die gleichen Schwierigkeiten wie bei dem vorherigem Versuch auf.

Gedämpfter elektrischer Schwingkreis

Die Schwingung eines gedämpften elektrischen Schwingkreises soll in Abhängigkeit von der Zeit dargestellt werden. Eine experimentelle Überprüfung der Thomson-Schwingungsformel wird ebenfalls möglich.



Physikalisches Problem

Entlädt man einen Kondensator über eine Spule, so stellt man fest, dass der Zeiger des Anzeigeinstrumentes eine gedämpfte Schwingung aufweist.

Diese Schwingung kommt folgendermaßen zu Stande:

Da die Ladung, elektrische Feldstärke und die Spannung des Kondensators beim Entladen abnehmen und die Stromstärke ansteigt, baut sich um die Spule ein Magnetfeld auf und verhindert dadurch den raschen Stromanstieg aufgrund der Selbstinduktion. Nachdem der Kondensator vollständig entladen ist, sorgt die Selbstinduktion der Spule für das Weiterbestehen des Stromflusses und ein erneutes Aufladen

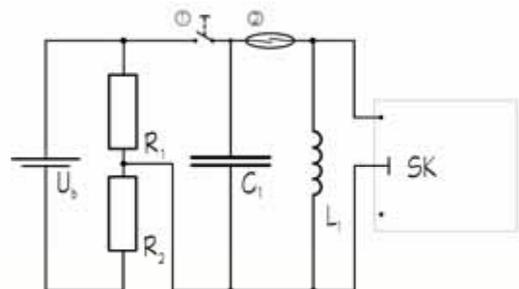
des Kondensators aber mit umgekehrter Polarität. Anschließend entlädt sich der Kondensator über die Spule und wird erneut mit gegensätzlicher Polarität aufgeladen. Somit hat sich der Anfangszustand des Schwingkreises eingestellt. Aufgrund des ohmschen Widerstandes des Stromkreises geht jedoch Energie verloren, wodurch die Amplitude stetig abnimmt und die Schwingung gedämpft wird.

Bei der Änderung von Kapazität und Induktivität ändert sich die Schwingdauer bzw. bei Unterschreitung gewisser Mindestwerte ist kein Ausschlag des Messinstrumentes zu registrieren. Der Grund dafür ist die Trägheit und die zu geringe zeitliche Auflösung der Messgeräte.

Unsere Lösung mit Verwendung der Soundkarte

Materialien:

- Steckbrett
- Batterie (9V): U_b
- Widerstand (1 k Ω): R_1
- Widerstand (10 k Ω): R_2
- verschiedene Kondensatoren (0,5 μ F, 1 μ F, 2 μ F, 5 μ F, 10 μ F, 20 μ F): C_1
- Spule (1200 Windungen, 12 Ω , 35 mH): L_1
- Schalter
- Reedschalter



Damit der Kondensator nicht mit zu hoher Spannung geladen wird und er dadurch den Line-In-Eingang der Soundkarte beschädigt, wird er über einen Spannungsteiler geladen. Er sorgt dafür dass die Maximalspannung U_{ss} von 2 V nicht überschritten wird.

Die Dimensionierung des Spannungsteilers wird wie folgt bestimmt:

$$U_B = 9V$$

$$U_{SS} = 2V$$

Nach der Kirchhoffschen Spannungsteilungsregel gilt:

$$\frac{U_B - U_{SS}}{R_2} = \frac{U_{SS}}{R_1} \Rightarrow \frac{R_2}{R_1} = \frac{7V}{2V} \Rightarrow R_2 \text{ ist } 3,5 \text{ mal so groß wie } R_1$$

Aus der Wahl

$$R_1 = 1k\Omega$$

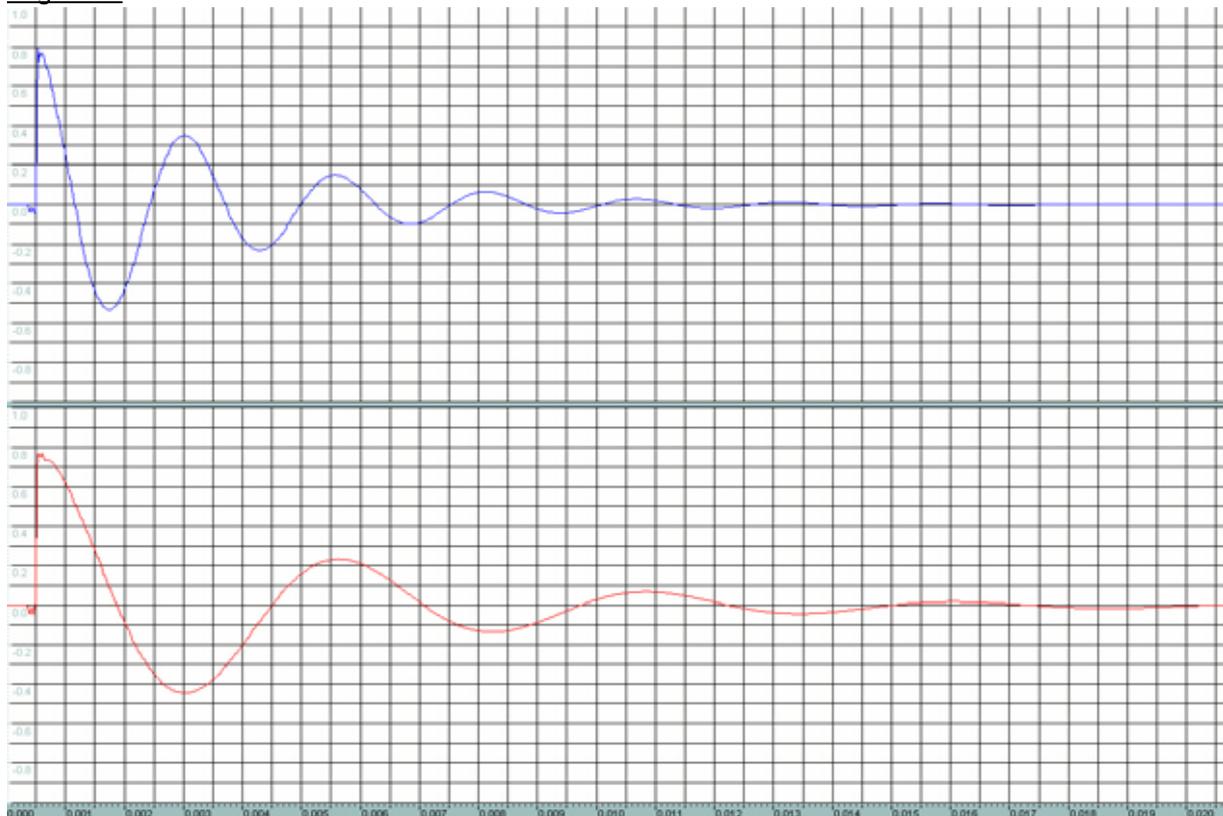
$$R_2 = 10k\Omega$$

ergibt sich für U_{SS} eine Spannung von 0,8 V.

Durchführung

Drückt man den Taster an Position 1, so wird der Kondensator aufgeladen. Anschließend wird die Aufnahme gestartet. Wird der prellfreie Reedschalter an Position 2 mit einem Magnetfeld durchdrungen, entlädt sich der Kondensator über die Spule und der Schwingkreis fängt zu schwingen an.

Ergebnis



oben: gedämpfte Schwingung mit Kondensator $5\mu F$ und Spule $35mH$

unten: gedämpfte Schwingung mit Kondensator $20\mu F$ und Spule $35mH$

Auswertung

Bestimmung der Frequenz:

a) Experimentell

Bei dem Versuch mit einer Spule mit 35mH und Kondensator mit 0,5µF (Datei *DämpfSchwing3-1*) liest man von der 1. bis zu 9. negativen Amplitude die Zeitdifferenz von 322 Samples für 8 Schwingungen ab. Für eine Schwingung ergeben sich dann durchschnittlich 40,25 Samples.

$$T_{0,5} = \frac{\text{Anzahl der Samples}}{\text{Samplingrate}} = \frac{40,25}{50000} \frac{1}{\text{Hz}} = 0,000805 \text{ s}$$

$$f_{0,5} = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,000805} \text{ s}^{-1} = 1242,24 \text{ Hz}$$

Durch die gleiche Methode wurden folgende Ergebnisse erzielt:

C=1µF; L=35mH (Datei *DämpfSchwing1-9*)

$$f_1 = 877,19 \text{ Hz}$$

C=2µF; L=35mH (Datei *DämpfSchwing2-1*)

$$f_2 = 619,47 \text{ Hz}$$

C=5µF; L=35mH (Datei *DämpfSchwing7-1*)

$$f_5 = 390,63 \text{ Hz}$$

C=10µF; L=35mH (Datei *DämpfSchwing5-1*)

$$f_{10} = 273,72 \text{ Hz}$$

C=20µF; L=35mH (Datei *DämpfSchwing6-1*)

$$f_{20} = 191,08 \text{ Hz}$$

b) Rechnerisch

Die experimentell erlangten Ergebnisse können auch theoretisch mit der Thomson'schen Schwingungsgleichung $T = 2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}$ errechnet werden:

C=0,5µF; L=35mH

$$T_{0,5} = 2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}$$

$$T_{0,5} = 2\pi \cdot \sqrt{35 \cdot 10^{-3} \cdot 0,5 \cdot 10^{-6}} \sqrt{\text{FH}} = 0,000831 \text{ s}$$

$$\text{die Umwandlung der Einheiten: } 1 \sqrt{\text{FH}} = 1 \sqrt{\frac{\text{C Vs}}{\text{V A}}} = 1 \sqrt{\frac{\text{As s}}{\text{A}}} = 1 \text{ s}$$

$$f_{0,5} = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,000831} \text{ s}^{-1} = 1203,1 \text{ Hz}$$

Gleichermaßen wurden die übrigen Ergebnisse aus der Tabelle weiter unten errechnet.

Fehlerbetrachtung

Ungeachtet des Messverfahrens hat die Periodendauer der Schwingungen einen wahren Wert, der durch unsere Messungen nur angenähert ermittelt werden kann. Die Abweichung vom wahren Wert wird durch die Messfehler verursacht, die einerseits durch ein falsches Ablesen der Samples an den undeutlichen Scheitelpunkten der Schwingung entstehen oder

die andererseits durch die Toleranzgrenzen der elektronischen Bauteile zu Stande kommen. Zur Berechnung dieses systematischen Fehlers gehen wir davon aus, dass die verwendeten Kondensatoren eine Toleranz von $\pm 5\%$ besitzen und die Spule mit 35mH eine Abweichung von $\pm 1\text{mH}$ vorweist. Der zufällige Ablesefehler beträgt höchstens 2 Samples für den Fall, dass die Zeit der Scheitelpunkte zwei mal jeweils um 1 Sample falsch abgelesen wurde und sich die beiden Ablesfehler nicht aufheben.

Beispiel zur Berechnung des Messfehlers für $L=35\text{mH}$ und $C=0,5\mu\text{H}$:

Messwert: $T = 0,805 \cdot 10^{-3}\text{s}$

$$\text{Geschätzt: } \delta T_{\text{zuf}} = \frac{\Delta \text{Samples}}{\text{Samples insgesamt}} = \frac{\pm 2 \text{ Samples}}{322 \text{ Samples}} = \pm 0,0062$$

$T = 2\pi\sqrt{L \cdot C}$, da die Konstante 2π den relativen Fehler nicht beeinflusst, gilt:

$$\delta T_{\text{syst}} = \frac{\Delta T}{T} = \frac{1}{2} \frac{\Delta C}{C} + \frac{1}{2} \frac{\Delta L}{L} = \frac{1 \pm 0,025 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 0,5 \cdot 10^{-6}} + \frac{1 \pm 1 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 35 \cdot 10^{-3}} = \pm 0,0393$$

Größtfehler (relativ): $\delta T_{\%} = \delta T_{\text{zuf}} + \delta T_{\text{syst}} = \pm 4,55\%$

Größtfehler (absolut): $\Delta T = T \cdot \delta T = \pm 0,0366 \cdot 10^{-3}\text{s}$

Resultat: $T = 0,805 \cdot 10^{-3}\text{s} \pm 0,0366 \cdot 10^{-3}\text{s}$

Werden die Messfehler berücksichtigt, ergeben sich diese Messwerte:

C in μF	0,5	1	2	5	10	20
$\delta T_{\%}$	4,55%	4,37%	4,28%	4,32%	4,2%	4,18%
$T_{\text{experimentell}}$ in ms	0,8050 \pm 0,0366	1,1400 \pm 0,0498	1,6143 \pm 0,0691	2,5600 \pm 0,1106	3,6534 \pm 0,1535	5,2334 \pm 0,2189
$T_{\text{theoretisch}}$ in ms	0,8312	1,1755	1,6624	2,6285	3,7172	5,2568

Alle theoretische Werte liegen somit innerhalb der Fehlergrenzen der gemessenen Werte.

Durch den Vergleich der Kurven der Schwingkreise mit Spule und Kondensatoren unterschiedlicher Kapazität stellt man gut fest, dass eine Vervierfachung der Kapazität die Verdopplung der Periodendauer zur Folge hat. Dies bestätigt die Thomson'sche Schwingungsgleichung $T = 2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}$.

Probleme:

Die Kurve entspricht dem Ideal eher, wenn man anstatt des Schalters einfach ein Kabel von Hand umsetzt oder einen Reedschalter verwendet. Der Grund dafür ist, dass der benutzte Schalter beim Umlegen prellt und die Kurve verfälscht. Der Versuch, das Prellen des Schalters mit einer Diode zu kompensieren, scheiterte.

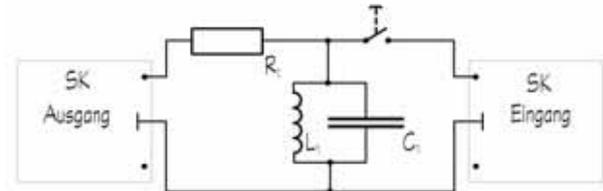
Die Herleitung der Thomson'schen Formel ist in Anhang D beschrieben.

Einschwingphase eines fremderregten Schwingkreises

Die Schwingungskurve eines elektrischen Schwingkreises, der mit einer bestimmten Frequenz von außen erregt wird, soll in Abhängigkeit zur Zeit dargestellt werden.

Aufbau

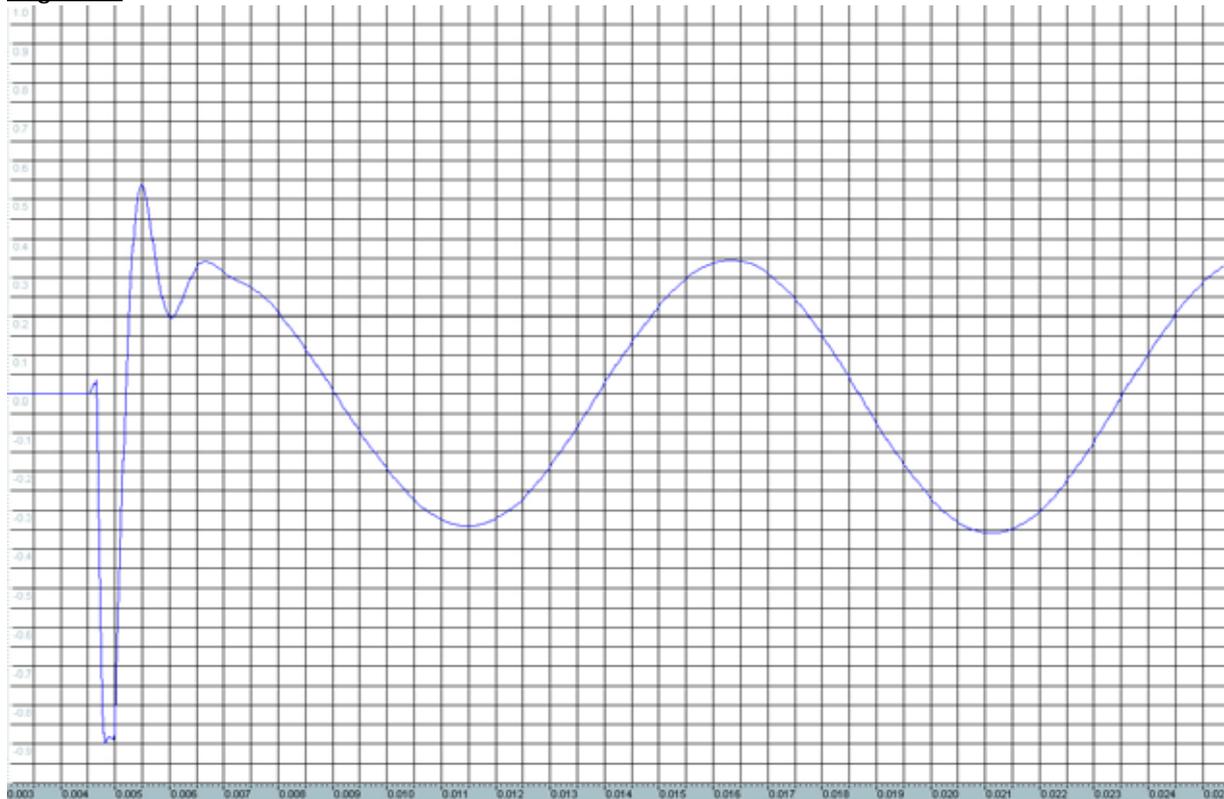
- Steckbrett
- Kondensator ($1\mu\text{F}$): C_1
- Spule (1200 Windungen, 35mH): L_1
- Schalter
- Widerstand (100Ω): R_1
- Sinusgenerator 100Hz
- (Soundkarte, verstärkt durch Stereoanlage)



Durchführung

Beim Umlegen des Schalters beginnt der Schwingkreis zu schwingen. Der Schwingkreis hat eine Resonanzfrequenz von 850 Hz. Durch das Anlegen von 100 Hz an den Schwingkreis mit dem Soundkartenausgang wird er gezwungen anders zu schwingen.

Ergebnis



Beim Schließen des Schalters will der Schwingkreis zunächst mit seiner Resonanzfrequenz 850Hz schwingen, wird aber von außen zu 100Hz gezwungen.

Frequenzspektrum eines Schwingkreises

Das Resonanzverhalten eines elektrischen Schwingkreises soll analysiert und in Abhängigkeit von der Frequenz graphisch dargestellt werden.

Physikalisches Problem

Hält man ein Fadenpendel in der Hand, und bewegt sie hin und her, so fängt die Kugel an sich mit der Hand mitzubewegen. Wenn die Erregerfrequenz gleich der Eigenfrequenz ist, steigt die Amplitude an und eine Phasenverschiebung von $\frac{1}{4}T$ wird zwischen den Frequen-

zen bemerkbar. Dies lässt sich folgendermaßen erklären: Wenn das Fadenpendel seine Nulllage erreicht hat, dann erreicht der Erreger seine größte Auslenkung. Dadurch wird das Fadenpendel bis zur nächsten Nulllage durchgehend beschleunigt. Diesen Vorgang nennt man Resonanz.

Fensterscheiben können auch durch vorbei fahrende Autos zum Schwingen gebracht werden und zu klirren anfangen.

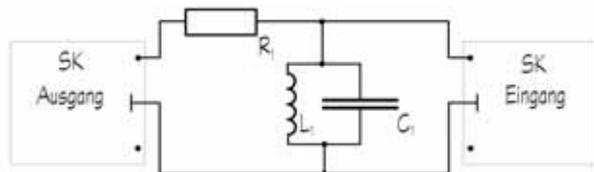
Beim elektrischen Schwingkreis treten die gleichen Erscheinungen auf. Um die Eigenfrequenz eines Schwingkreises experimentell zu ermitteln, wird ein Sinusgenerator und ein Oszilloskop verwendet. Durch den Sinusgenerator wird die Erregerfrequenz kontinuierlich gesteigert und die augenblickliche Amplitude des Oszillators wird am Oszilloskop abgelesen. Ist die Amplitude der Schwingung maximal, so ist die Resonanzfrequenz erreicht.

Unsere Lösung mit der Soundkarte

Die Verwendung der Soundkarte als Speicheroszilloskop und gleichzeitigen Frequenzgenerator ermöglicht es, nicht nur die momentane Amplitude des Schwingkreises festzuhalten sondern auch das Resonanzverhalten im Verhältnis zur Zeit bzw. Erregerfrequenz graphisch darzustellen.

Aufbau

- Steckbrett
- verschiedene Kondensatoren
- (0,1µF, 0,5µF, 1µF): C_1
- Spule (1200 Windungen, 35mH): L_1
- Widerstand (1kΩ): R_1
- Soundkarte zum „Wobbeln“
- (ständiges Ansteigen der Frequenz)



Durchführung

Um ein einen Ton mit ständig ansteigender Frequenz zu erzeugen, muss man in dem GoldWave Programm in der Menüzeile auf *Tools|Expression Evaluator* klicken. Man hat nun zwei Möglichkeiten, den Ton für das „Wobbeln“ zu erstellen:

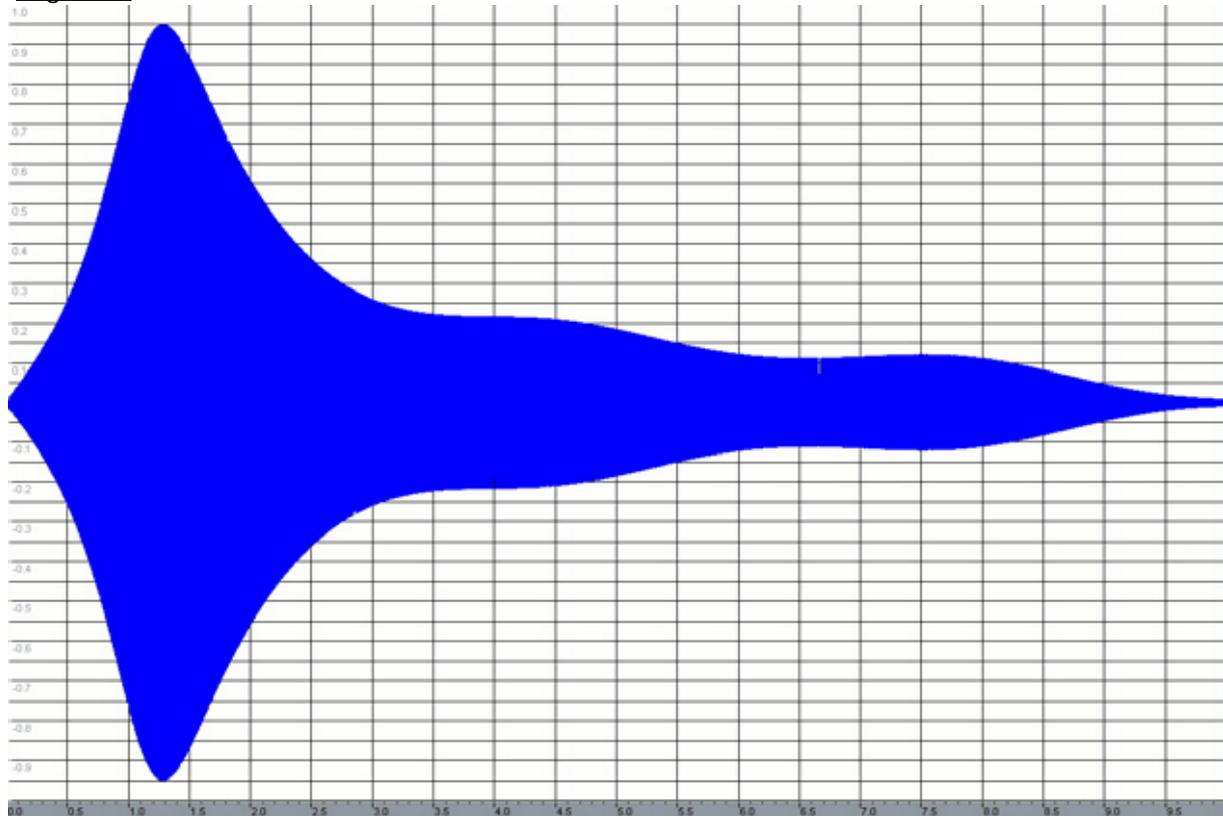
1) In dem Feld *Expression name* gibt man per Mausklick *Full scale weep* und in dem Feld *Group name* *Waves* ein. Daraufhin taucht in dem *Expression*-Fenster die Formel $\sin(\pi \cdot t \cdot (n/N/T/2))$ auf. Nach dem Betätigen des Start-Schalters beginnt der Computer diese Kurve zu errechnen.

2) Wenn man die Formel für das „Wobbeln“ schon kennt, kann man sie einfach in dem Feld *Expression* eingeben.

Die Datei *Generiert15* enthält den Ton, der nach dieser Anleitung erzeugt wurde. Außerdem befindet sich vor dem Weep ein kurzes 1kHz-Signal, um bei der Aufnahme exakt den Anfang bestimmen zu können.

Nachdem der 10s lange Sinusweep von 0Hz-20kHz erzeugt worden ist, wird dieser abge-
spielt und auf den Eingang der Schaltung gegeben. Gleichzeitig werden die momentane
Frequenz und die Amplitude des Schwingkreises durch den Line-In-Eingang der Soundkar-
te aufgezeichnet.

Ergebnis



Das Frequenzspektrum eines Schwingkreises mit $C=0,1\mu\text{F}$; $L=35\text{mH}$; $t_{\text{amplitude}} \approx 1,29\text{s}$;

Auswertung

Bestimmung der Eigenschwingfrequenz:

a) experimentell

Um die Resonanzfrequenz des Schwingkreises zu errechnen, wird der Zeitpunkt mit dem
größten Ausschlag an der aufgenommenen Kurve wird abgelesen. Da die Frequenz zum

Zeitpunkt 0s 0Hz und bei 10s 20kHz beträgt, gilt: $f(t) = \frac{t}{10\text{s}} \cdot 20000\text{Hz}$.

Beispiel für $C=0,1\mu\text{F}$, $L=35\text{mH}$ (Datei *Wobbel5*):

Abgelesener Zeitpunkt des größten Ausschlags $t_{\text{amplitude}}=1,297\text{s}$

$\Rightarrow f(1,297\text{s}) = 2594\text{Hz}$

$C=0,5\mu\text{F}$, $L=35\text{mH}$ (Datei *Wobbel3*):

$t_{\text{amplitude}}=0,55\text{s} \Rightarrow f=1100\text{Hz}$

$C=1\mu\text{F}$, $L=35\text{mH}$ (Datei *Wobbel1-2*):

$t_{\text{amplitude}}=0,355\text{s} \Rightarrow f=710\text{Hz}$

b) theoretisch

Die Thomsonsche Schwingungsgleichung, die im vorherigen Versuch hergeleitet wurde, liefert für $C=0,1\mu\text{F}$ und $L=35\text{mH}$:

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C} = 2\pi \cdot \sqrt{35 \cdot 10^{-3} \cdot 0,1 \cdot 10^{-6}} \sqrt{\text{H} \cdot \text{F}} = 0,3717\text{ms}$$

$$f = \frac{1}{T} = 2690\text{Hz}$$

Fehlerbetrachtung

Im Gegensatz zum vorangegangenen Experiment ist der Scheitel der Schwingung sehr breit ($\sim 0,1\text{s}$). Deshalb wird der Ablesefehler auf $\pm 0,05\text{s}$ geschätzt. Die Toleranz des Kondensators liegt wieder bei $\pm 5\%$ und die der Spule bei $\pm 1\text{mH}$.

Beispiel zur Berechnung des Messfehlers für $L=35\text{mH}$ und $C=0,1\mu\text{F}$:

Messwert: $f=2594\text{Hz}$

$$\text{Geschätzt: } \delta t_{\text{zuf}} = \frac{\Delta \frac{1}{2} \text{Scheitellänge}}{\text{Aufnahmelänge}} = \frac{\pm 0,05\text{s}}{10\text{s}} = \pm 0,005$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}}$$

Da konstante Faktoren wie 2π unbedeutend für den relativen Messfehler sind und im Zähler ebenfalls die Konstante 1 steht, gilt $\delta f = \delta T$

$$\delta T_{\text{sys}} = \frac{\Delta T}{T} = \frac{1}{2} \frac{\Delta C}{C} + \frac{1}{2} \frac{\Delta L}{L} = \frac{1 \pm 0,005 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6}} + \frac{1 \pm 1 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 35 \cdot 10^{-3}} = \pm 0,0393$$

Größtfehler (relativ): $\delta f_{\%} = \delta t_{\text{zuf}} + \delta T_{\text{sys}} = \pm 4,43\%$

Größtfehler (absolut): $\Delta f = f \cdot \delta f = \pm 114,9\text{s}$

Resultat: $f = 2594\text{Hz} \pm 114,9\text{Hz}$

C in μF	0,1	0,5	1
$\delta f_{\%}$	4,43%	4,18%	4,18%
$f_{\text{experimentell}}$ in Hz	2594 \pm 115	1100 \pm 46	710 \pm 30
$f_{\text{theoretisch}}$ in Hz	2690	1203	851

Nur der erste theoretische Wert liegt knapp innerhalb der Fehlergrenzen des Messwertes. Das zeigt, dass diese Versuchsanordnung nur bedingt zur Bestimmung der Resonanzfrequenz geeignet ist. Dieser Versuch soll vielmehr das Schwingverhalten eines elektrischen Schwingkreises im Bezug zur Erregerfrequenz präsentieren.

Probleme

Bei unseren ersten Aufnahmen mit Verwendung der Stereoanlage als Verstärker ist es uns nicht gelungen, den Ausschlag am Anfang und am Ende zu beheben. Wir gehen davon aus, dass es etwas mit dem Ein- und Ausschalten zu tun hat.

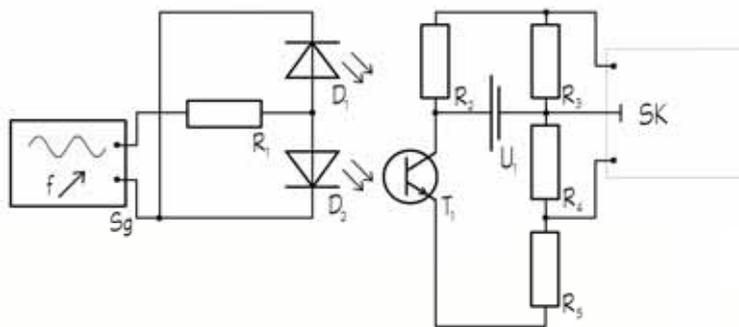
Außerdem ist es schwierig, den Anfang der Aufnahme zu finden, da der Weep bei 0Hz beginnt aber die Soundkarte die anfänglich niedrige Frequenz nicht aufzeichnen kann. Deshalb ist es sinnvoll, vor dem Weep ein kurzes 1kHz-Signal einzufügen, so dass bei der Aufnahme exakt der Anfang bestimmt werden kann.

Geschwindigkeitsvergleich LDR - Fototransistor

Im folgenden Versuch wird die Reaktionsgeschwindigkeit auf Lichtänderungen eines Fototransistors mit der Geschwindigkeit eines LDRs verglichen.

Aufbau

- Steckbrett
- 9V Batterie: U_1
- Widerstand (50Ω): R_1
- LDR: R_2
- 3 Widerstände ($10 \text{ k}\Omega$): R_3, R_4, R_5
- 2 helle LEDs (rot oder grün): D_1, D_2
- Fototransistor BPX 25: T_1
- Zerhacker
- Sinusgenerator 50Hz-20kHz, $6V \approx$ (Soundkarte, verstärkt durch Stereoanlage): S_g

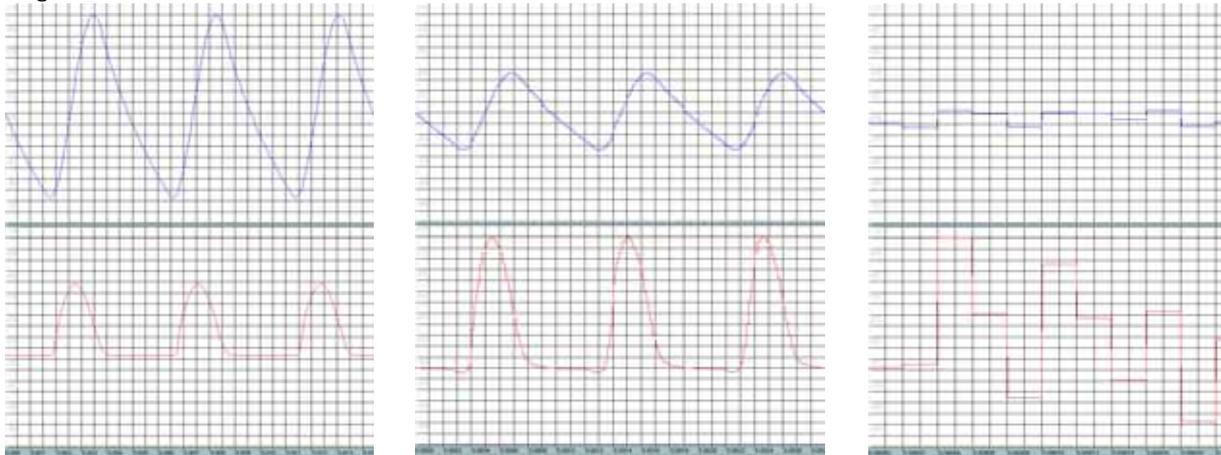


Durchführung

Diese Schaltung wird einmal mit Zerhacker (wofür wir eine separate Stromquelle von 9 V brauchen) und einmal mit dem Soundkartenausgang durchgeführt, der durch die Stereoanlage verstärkt wird. Da der Zerhacker nur mit 1000 Hz arbeitet, verwenden wir bei unseren Versuchen die Soundkarte zur Erzeugung von anderen Frequenzen.

Das Signal der Soundkarte wird durch die angeschlossene Stereoanlage verstärkt, und bringt damit die Leuchtdioden zum leuchten. An den Line-In-Eingang der Stereoanlage wird das Line-Out der Soundkarte angeschlossen und die Schaltung wird mit dem Mikrofonanschluss der Stereoanlage verbunden. Weil die Messwerte durch die gleiche Soundkarte aufgenommen werden, muss man in der *Lautstärkeregelung* unter *Wiedergabe* den Line-In deaktivieren, da es sonst zur Rückkopplung kommt, d.h. das Ausgangssignal der Soundkarte trifft auf die Schaltung und von der Schaltung wieder auf die Soundkarte. Die Soundkarte nimmt dieses Signal auf und leitet es an den Ausgang weiter. Die Schaltung erhält also das von ihr selbst abgegebene Signal wieder, und das führt zu einer Verfälschung der Ergebnisse.

Ergebnis



200Hz

1000Hz

15000Hz

oben: LDR

unten: Phototransistor

Auswertung

Mit Zehnhacker:

Bei einer Frequenz von 1000 Hz ist das Signal vom Fototransistor „sauberer“. Der LDR glättet stattdessen das Signal und ist dadurch mit der Aufzeichnung der Lichtimpulse langsamer.

Mit Soundkarte:

Bei einer Frequenz von 50Hz-500Hz ist der LDR lichtempfindlicher als die Fotodiode. Jedoch ab einer Frequenz über 500 Hz wird der LDR träge und die Fotodiode ist sensitiver.

Da die Dioden nur in eine Richtung leiten, ist das Sinussignal halb abgeschnitten und die analoge Signalübertragung ist dadurch umständlich. Daher sind die Leuchtdiode und der Fototransistor für die digitale Übertragung (Lichtwellenleiter) gut geeignet.

Probleme:

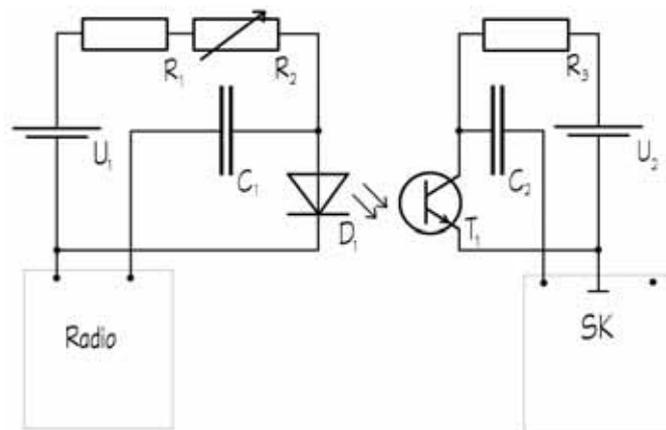
Obwohl eine rote LED mehr Abstrahlung im infraroten Bereich besitzt, sprechen die Fotoelemente besser bei einer hellen, glasklaren grünen LED an. Man muss die Leistung des Kopfhörerausgangs der Stereoanlage im Frequenzbereich von 50 bis 500 Hz kontinuierlich erhöhen, damit die Soundkarte das Signal der Schaltung mit vollem Ausschlag aufnehmen kann. Es ist auch wichtig, dass man die Schaltung abdunkelt, da sonst die Ergebnisse durch das Tageslicht (vor allem durch Leuchtstoffröhren) verfälscht werden.

LED und Fototransistor als NF-Signalübertrager

Im vorherigen Versuch wurde bereits festgestellt, dass sich Fototransistor und LED zur schnellen Signalübertragung gut eignen. Jedoch kann wegen der Leiteigenschaft der Halbleiter, die nur in Richtung Strom leiten, keine Wechselfspannung übertragen werden. Wie sich dennoch NF-Signale durch die Luft übertragen lassen und wie sich die Qualität von Musik ändert, wird im folgenden Experiment gezeigt.

Aufbau

- Steckbrett
- 2 Batterien (9V): U_1, U_2
- 2 Kondensatoren (2200 μ F): C_1, C_2
- helle LED (grün, glasklar): D_1
- Fototransistor BPX 25: T_1
- Widerstand (100 Ω): R_1
- Potentiometer (10 k Ω): R_2
- Widerstand (10 k Ω): R_3
- Sinusgenerator (Soundkarte, verstärkt durch Stereoanlage)/ Radio mit Kopfhörerausgang



Berechnung der physikalischen Größe der Bauteile

Damit der Optokoppler (Einheit aus LED und Fototransistor) die Eingangssignale voll aussteuern kann (nach oben und unten), ist es nötig, den richtigen Arbeitspunkt für die LED zu suchen, so dass sie ohne Einfluss des zu verstärkenden Signals nur „halb“ hell leuchtet und bei positiven bzw. negativen Eingangsspannungen heller bzw. dunkler wird.

Durch den Einsatz eines Stromkreises mit Potentiometer wurde der optimale Arbeitspunkt der LED bei 1,6V und 8mA festgestellt. $R_{1,6V} = 200\Omega$.

Die Koppelkondensatoren C_1 und C_2 sorgen einerseits dafür, dass der Gleichstrom im Innern der Schaltung nicht nach Außen in die gleichstromempfindlichen Geräte gelangen kann, und andererseits, dass an der LED eine Mischspannung aus dem zu verstärkenden Signal und der Betriebsspannung entsteht.

$$\text{Vorwiderstand vor LED: } R_2 = \frac{U_B - U_{LED}}{I_{LED}} = \frac{9V - 1,6V}{0,008A} = 925 \Omega \quad (\text{Wahl: Poti } 10k\Omega)$$

$$\text{Schutzwiderstand vor Poti: } R_1 = 100\Omega$$

Schutzwiderstand: $R_3 = \frac{U_B}{I_{LED}} = \frac{9V}{1mA} = 9000\Omega$ (Wahl: 10 k Ω)

Koppelkondensator: $R_{LED} = \frac{1,6V}{0,008A} = 200\Omega$

$$R_C < R_{LED}$$

$$\frac{1}{\omega \cdot R} < 200\Omega$$

Der hörbare Frequenzbereich beträgt ca. 50Hz – 20kHz. Aus diesem Grund wird für f jeweils der Anfangs- und Endwert in die Formel eingesetzt.

$$C_1 > \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 20000 \cdot 200 \text{ Hz} \cdot \Omega} = 39,8 \mu\text{F}$$

$$C_2 > \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 200 \text{ Hz} \cdot \Omega} = 15 \mu\text{F} \quad (\text{Wahl: } 2200 \mu\text{F})$$

Durchführung

1) Es wird ein Signal von 1000Hz von der Soundkarte (mit dem Expression Evaluator erzeugt) abgespielt, durch die Schaltung übertragen und gleichzeitig über den LineIn-Eingang aufgenommen.

2) Man lässt mit der Stereoanlage über den Kopfhörerausgang ein Lied abspielen und nimmt es mit der Soundkarte auf. Nach der Aufnahme überprüft man, wie weit die Qualität des aufgenommenen Liedes vom Original differiert.

Ergebnis

Das Signal der Sinuskurve ist diesmal nicht abgehackt und gleicht dem Original.

Die Qualität der Aufnahme ist im Vergleich zu dem Original nicht so gut, da ein Rauschen im Hintergrund vorhanden ist. Die Übertragung von Bässen ist auch problematisch, da die LED oder der Fototransistor leicht übersteuert werden.

Probleme

In der ersten, hier nicht aufgeführten Schaltung mit einer gemeinsamen Spannungsquelle für LED und Fototransistor funktionierte die Übertragung des Tons auch, wenn die LED aus der Schaltung ausgebaut wurde oder das Massekabel des Soundkarteneingangs aus dem Steckbrett gezogen wurde. Deshalb enthält die obige Schaltung für Sender (LED) und Empfänger (Fototransistor) jeweils eine separate Spannungsquelle (galvanische Trennung).

Der Versuch, einen Kopfhörer direkt parallel zum Fototransistor zu betreiben, schlägt fehl, da R_3 zu hochohmig ist. Wird der Kopfhörer parallel zu R_3 geschaltet, gelingt es auch nicht, weil der Fototransistor ein Halbleiterbauelement ist und bei einer bestimmten, für den Kopfhörer zu geringen Stromstärke die Sättigung erreicht ist. Eine Verdopplung der Versorgungsspannung U_2 bringt auch keine Abhilfe.

Lichtgeschwindigkeitsmessung

Ausbreitungsgeschwindigkeit einer elektromagnetischen Welle

Physikalisches Problem

Ein klassischer Versuch um die Lichtgeschwindigkeit zu messen ist der Drehspiegelversuch. Das Licht durchdringt eine Glasplatte. Ein Teil des Lichtes wird auf den seitlichen Schirm reflektiert, der Rest geht ungehindert durch sie durch und trifft auf einen Drehspiegel. Dieser reflektiert es auf einen etwas weiter entfernten Spiegel, der den Lichtstrahl wieder auf den Drehspiegel, der in der Zwischenzeit weiter rotiert ist, zurückwirft. Der Drehspiegel leitet das Licht wieder auf die Glasplatte und diese wirft das Licht auf den Schirm, jedoch an eine andere Stelle. Wenn alle physikalischen Größen bekannt sind, kann man durch die Verschiebung des Lichtstrahls auf dem Schirm die Lichtgeschwindigkeit errechnen.

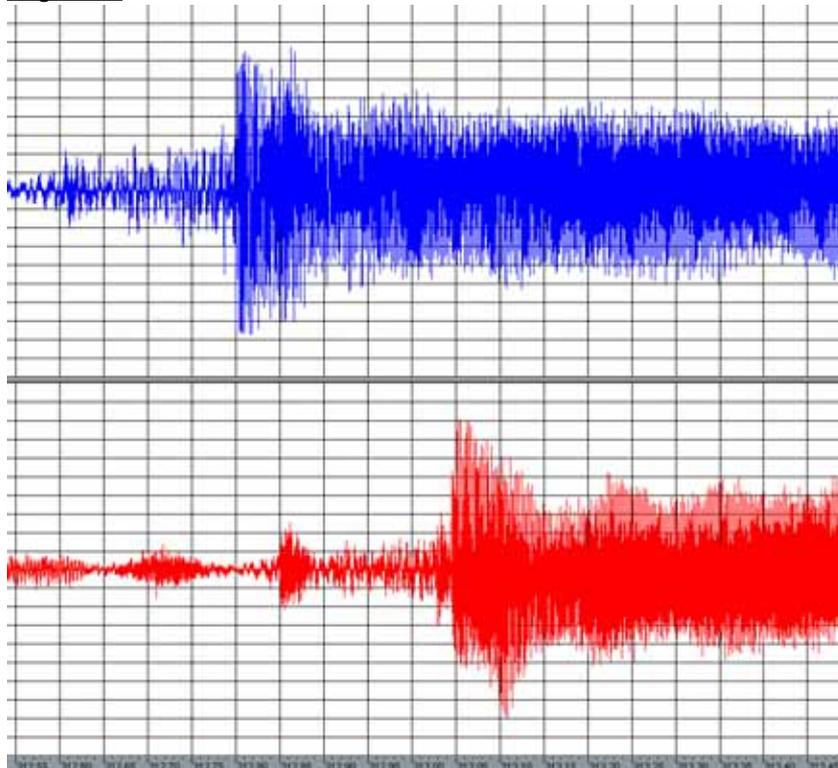
Unsere Lösung mit der Soundkarte

Für unseren Versuch verwenden wir lediglich unsere Soundkarte und einen Receiver. Weil viele Rundfunksender sowohl über Antenne als auch über Satellit empfangen werden können, konnten wir die Zeitverzögerung zwischen den beiden Signalen bestimmen. Die Zeitdifferenz ist ein Resultat der durch die Laufzeit Sender-Satellit-Sender bedingten Zeitverzögerung.

Durchführung

Die Soundkarte hat zwei Line-In Kanäle. An dem ersten Kanal der Soundkarte wird der Kopfhörerausgang eines Radios angeschlossen. Der Ausgang des Satelliten-Receiver wird mit dem zweiten Kanal verbunden. Nun wird ein gemeinsamer Radiosender gesucht (SWR 3) und die Aufnahme gestartet.

Ergebnis



Datei *Lichtgeschwindigkeit2*, Ausschnitt

oben: Radiosignal

unten: Zeitlich verzögertes Satellitensignal

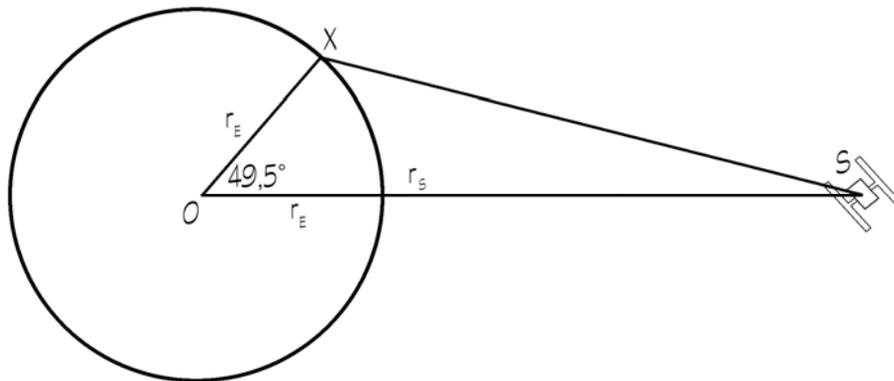
Auswertung

Die Messung fand in Kaiserslautern (49,5° Nord; 7,8° Ost) statt. Der ASTRA-Satellit befindet sich auf der Äquatorebene bei 19,2° Ost.

Erdradius: 6371 km

Umlaufbahnradius des ASTRA-Satellits = geostationärer Abstand: 42145 km

Zur Vereinfachung gehen wir davon aus, dass sich der Satellit auf dem gleichen Längengrad wie unser Empfangs- und Sendestandort befindet.



Die kartesischen Koordinaten des Satelliten sind $\begin{pmatrix} 42145 \\ 0 \end{pmatrix}$.

Der Erdmittelpunkt hat die Koordinaten $\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$.

Die kartesischen Koordinaten des Beobachtungsortes errechnen sich nach

$$x = \cos(49,5^\circ) \cdot r_E = 4138 \text{ km}$$

$$y = \sin(49,5^\circ) \cdot r_E = 4844 \text{ km}$$

Berechnung der Länge von Punkt X zu S:

$$|\overrightarrow{XS}| = \sqrt{(42145 - 4138)^2 + 4844^2} \text{ km} = 38316 \text{ km}$$

$$c = \frac{2 \cdot s}{\Delta t} = \frac{2 \cdot 38316 \text{ km}}{0,248 \text{ s}} = 3,09 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\text{Literaturwert: } 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Ergebnis

Die Soundkarte präsentierte eine große Palette an Einsatzmöglichkeiten in vielfältigen Versuchen aus der Physik von Akustik über Mechanik bis zur Elektronik. Zudem sind die meisten Versuche gut geglückt und die Soundkarte wies dabei eine überraschende Präzision auf. Dennoch stößt man durch den relativ kleinen Frequenzgang von 20Hz - 20kHz in einigen Bereichen wie die HF-Technik auf die Grenzen dieses „Low-Cost-Messgerätes“. Auch die Tatsache, dass Gleichspannung nicht direkt erfasst werden kann, zeigt, dass ein viel teureres Speicheroszilloskop die Soundkarte als Messgerät übertrifft. Obwohl die Soundkarte ursprünglich zur Wiedergabe und Aufzeichnung von Tönen und Musik für den multimedialen Einsatz des PCs konzipiert wurde, bewiesen unsere Experimente, dass in ihr ein viel größeres, für jeden zugängliches Potential steckt.

Anhang A – Die Hardware

Technische Daten der Soundkarte Soundblaster PCI 128

Sampling-Rate:	4kHz – 50kHz
Digitalisierung des Audiosignals:	8Bit/ 16Bit
Line-In:	Spannung $2V_{SS}$ (Spitze-Spitze) Impedanz $20k\Omega$
Mic-In (Mono):	Spannung $10mV_{SS} - 200mV_{SS}$ (Spitze-Spitze) Impedanz 600Ω (für dynamisches Mikrofon)
Line-Out:	Spannung $2V_{SS}$ (Spitze-Spitze)
Frequenzgang:	20Hz – 20kHz
Dynamikbereich:	> 80dB
Signal/Rauschabstand für Line-In:	> 80dB
Output Power:	4 Watt bei 8Ω

Die für die Experimente wichtigsten Daten sind die Sampling-Rate und das Auflösungsvermögen. Da die Soundkarte die analogen Eingangssignale in digitale konvertiert, arbeitet sie mit einer bestimmten Frequenz, in der die Abtastung geschieht. Diese Abtastfrequenz wird als Sampling-Rate bezeichnet und beträgt bei der verwendeten Soundkarte maximal 50kHz, das heißt es wird 50000 mal pro Sekunde die Spannung am Eingang gemessen. Dadurch ergibt sich eine Zeitdifferenz von $20\mu s$ zwischen zwei Messwerterfassungen. Die Sampling-Rate gibt außerdem Aufschluss über die größtmögliche erfassbare Frequenz. Um eine Sinuskurve angenähert darzustellen, benötigt man mindestens 2 Punkte auf der Kurve pro Periode. Also kann höchstens ein Sinussignal mit 25kHz durch die Soundkarte mit akzeptabler Qualität aufgenommen werden.

Die zweite wichtige Größe ist das Auflösungsvermögen. Es gibt an, in wie viele Schritte die Hochwertachse bei der Messung unterteilt ist. Beträgt das Auflösungsvermögen 8 Bit, so wird die am Eingang gemessene Spannung in ein $2^8=256$ -stufiges Raster übertragen, liegt die Digitalisierung des Audiosignals bei 16 Bit, so ist die Hochwertachse in $2^{16}=65536$ Einheiten unterteilt. Bei unseren Versuchen wurde immer ein 16 Bit-Auflösungsvermögen und eine Sampling-Rate von 44,1kHz oder 50kHz verwendet, um die bestmögliche Qualität zu erzielen. Dadurch kommen leider auch die großen Wave-Dateien zu Stande, denn eine 1-Minuten Stereoaufzeichnung ist somit $2 \cdot 60s \cdot 50000Hz \cdot 2Byte \approx 12MByte$ groß.

Ein ebenfalls wichtiger Wert ist die Spitzenspannung für den Line-In-Eingang. Diese Spannung $\hat{U}=2V$ ist ein Maximalwert, d. h. das Messen eines Wechselspannungssignals mit der Spannung $U_{\text{eff}}=2V$ würde die Grenze bereits überschreiten, denn $\hat{U} = 2V \cdot \sqrt{2}$. Zur Absicherung gegen Beschädigungen durch Gleichstrom vom außen sind die Ein- und Ausgänge der Soundkarte mit Koppelkondensatoren geschützt. Dies verhindert jedoch die direkte Aufzeichnung von Gleichspannung. Wie die Aufnahme dennoch mit Hilfe eines Zerhackers gelingt, wird weiter unten aufgezeigt.

Anhang B - Die Software

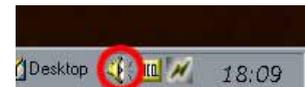
Aufrufen des Goldwave-Programms

Um die volle Funktionsfähigkeit der Software zu gewährleisten, muss sie von der CD unter dem Verzeichnis *Goldwave* kopiert oder aus dem Internet unter www.goldwave.com heruntergeladen und auf der Festplatte gespeichert werden. Der Aufruf erfolgt dann mit Doppelklick auf die Anwendung *goldwave.exe*.

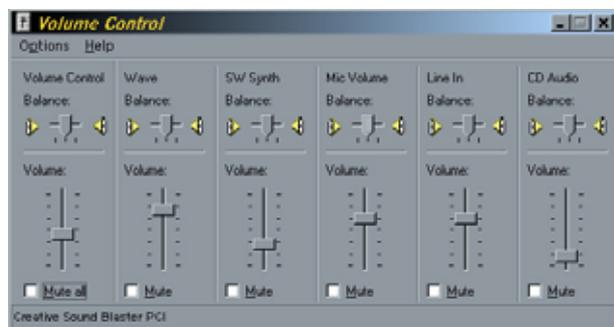
Bestimmung der Aufnahmequelle und ihrer Parameter

Die Aufnahmequelle kann in Goldwave nicht direkt gewählt werden sondern sie wird durch die Lautstärkereglung bestimmt.

Ein Doppelklick auf das Lautsprechersymbol im System Tray oder der Menübefehl *Tools | Volume Control* öffnet sie.



Die entscheidende Spalte zur Wiedergabe von Tönen über die Soundkarte besitzt die Überschrift *Wave*. Die Lautstärke entspricht der Position dieses Schiebereglers. In den Spalten *Mic Volume* und *Line In* wird festgelegt, wie laut ein Mikrofon oder eine andere Quelle, die an den Eingängen der Soundkarte angeschlossen sind, durch den Ausgang wiedergegeben werden. In der Regel sollten die Wiedergabe von Mikrofon und Line In deaktiviert sein, um mögliche Störungen durch Rückkopplung zu vermeiden. Zu Rückkopplung bei aktivierter Line In-Wiedergabe kommt es auch, wenn mit der Soundkarte ein Ton erzeugt und gleichzeitig ein weiterer aufgezeichnet wird. Bei solchen Versuchen muss auf jeden Fall das Kästchen *stumm* unter dem Schieberegler für den Line In angekreuzt sein.



Durch den Menübefehl *Optionen | Eigenschaften* gelangt man zu einem Dialogfenster, von dem aus das Aufnahme-Fenster geöffnet werden kann.

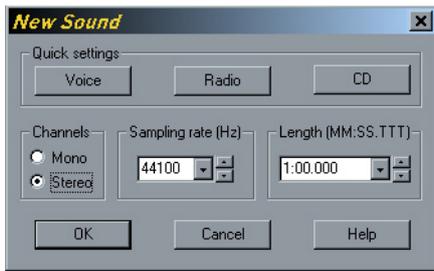


Aufnahmequelle, entweder Line In oder Mikrofoneingang, und den entsprechenden Pegel. Liegt bei einem Versuch Übersteuerung des Eingangs vor, muss der Schieberegler weiter nach unten gesetzt werden, ist das Signal zu schwach, dann muss er weiter hoch. Befindet er sich schon am Anschlag, kann über Goldwave das aufgezeichnete Signal im Nachhinein vergrößert oder verkleinert werden.

Aufnehmen

Nach der Wahl der Quelle in der Lautstärkereglung wird in Goldwave durch die Schaltfläche folgendes Dialogfenster geöffnet.

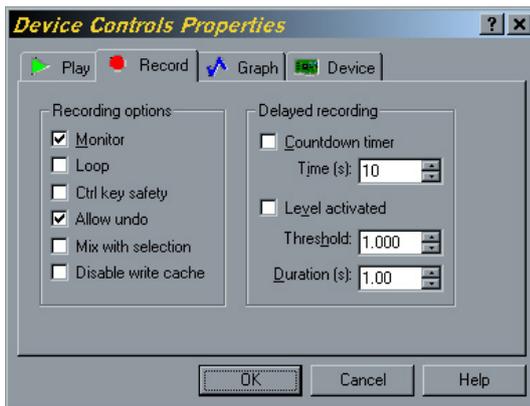
Man muss hier noch Daten festlegen, wie die Sampling-Rate und die Länge der Aufnahme. Außerdem ist wichtig ist, ob man mono oder stereo aufnehmen will.



Hat man die Daten wie gewünscht eingegeben, dann kann man die Aufnahme starten, indem man im *Device Controls*-Dialogfeld auf den roten Aufnahmeknopf  drückt. Dieses Fenster wird durch *Tools | Device Controls* aufgerufen. Als Standard ist eine Aufnahmesperre aktiviert, d.h. es muss gleichzeitig *Strg* gedrückt gehalten und auf den Aufnahmeschalter geklickt werden. Nachdem die Eingangssignale im Computer aufge-

zeichnet sind, drückt man auf den selben Knopf, der sich in ein Stoppsymbol verändert hat.

Um die Aufnahmeeigenschaften zu ändern, klickt man auf das  Symbol.



Unter *Ctrl key safety* wird die oben beschriebene Aufnahmesperre beeinflusst.

Weitere nützliche Funktionen sind der *Countdown timer*, der wie eine selbstauslösende Fotokamera die Aufnahme erst nach einer bestimmten Zeit beginnt, und die Triggerfunktion unter *Level activated*.

Sie beginnt die Aufnahme, wenn am Eingang ein Startsignal festgestellt wird. *Duration* gibt die Mindestlänge in Sekunden dieses Signals an und *Threshold* den Mindestausschlag. *Threshold* 0,5 und *Duration* 0,1 heißt also, das Signal muss mindestens 50% des möglichen Maximalausschlags haben und mindestens 0,1s andauern, damit die Aufnahme automatisch gestartet wird.

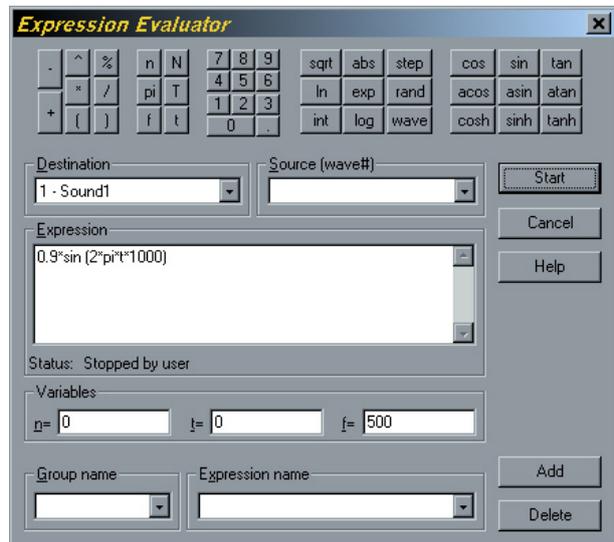
mindestens 50% des möglichen Maximalausschlags haben und mindestens 0,1s andauern, damit die Aufnahme automatisch gestartet wird.

Erzeugung von Tönen

Um ein bestimmtes Signal von der Soundkarte wiederzugeben, muss man folgendermaßen vorgehen:

In GoldWave unter *Tools | Expression Evaluator* oder  findet man ein Dialogfeldfenster, mit dem sich ein Ton erzeugen lässt, dessen Verlauf durch eine mathematische Funktion beschrieben wird. Um z.B. ein Sinuston mit beliebiger Frequenz zu erzeugen lautet die Funktion $0.9 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot t \cdot f)$.

Soll ein Sinusweep, ein Ton mit ständig ansteigender Frequenz, erzeugt werden, wählt man unter *Group name* *Waves* und unter *Expression name* *Full scale weep*. Anschließend erscheint diese Funktion $\sin(\pi \cdot t \cdot (n/N/T/2))$ im Fenster. Die Software bietet noch viele weitere voreingestellte Geräusche und Funktionen.



Durch das Drücken des Start-Schalters erscheint im GoldWave Hauptfenster die erwünschte Kurve, die je nach Länge der Datei und Rechnerleistung schnell oder langsam berechnet wird. Auf diese Art kann man Frequenzen bis ca. 40 kHz erzeugen. Alle erzeugten Töne, die in den Experimenten verwendet werden, sind unter dem Verzeichnis *generierte Töne* auf der CD zu finden.

Wiedergeben einer Audio-Datei

Nachdem eine Sound-Datei durch  geöffnet worden ist, kann sie im *Device Controls*-Fenster mit  oder  abgespielt werden, wobei das zweite Symbol das Abspielen in einer Endlosschleife bewirkt.

Gleichzeitiges Abspielen und Aufnehmen eines Tons

Für einige Versuche wie Frequenzspektrum eines Schwingkreises oder Geschwindigkeitsvergleich LDR – Fototransistor benötigt man einen Tongenerator und ein Messgerät. Um auf die Verwendung eines Sinusgenerators zu verzichten, kann die Soundkarte als Frequenzgenerator benutzt werden. Dazu muss eine zweite Instanz der Goldwave-Anwendung geöffnet werden. In ihr wird der Ton wie oben beschrieben abgespielt, während die erste Instanz das Signal am Eingang liebt. Dabei ist es wichtig, dass die Wiedergabe des Line In- oder des Mikrofoneingangs deaktiviert ist, da es sonst zu Rückkopplungen kommt. Falls dieses Verfahren zum Wiedergeben und gleichzeitigen Aufnehmen nicht funktioniert (gelingt mit der günstigen Soundkarte Soundblaster PCI 128 ohne Probleme), gibt es die Alternativen, einen 2 PC zu benutzen oder die gewünschten Töne auf CD zu brennen und über einen CD-Player abzuspielen.

Bearbeitung einer Messung in Goldwave

Kanal auswählen:

Edit | *Channel*  wählt den rechten, linken oder beide Kanäle bei Stereoaufnahmen aus. Alle Veränderungen sind nur im ausgewählten Kanal wirksam.

Kanal Invertieren:

Falls ein Kanal „auf dem Kopf steht“, wird er ausgewählt und mit *Effects* | *Invert* umgedreht.

„Müll“ abschneiden:

Um informationslose Ränder in der Aufnahme abzuschneiden, wird zuerst der zu behaltende Bereich markiert. Im Hauptfenster wird mit der linken Maustaste die linke Grenze dieses Bereichs, mit der rechten Taste die rechte Grenze festgelegt. Anschließend bewirkt *Edit* | *Trim* das  Löschen des nicht markierten Bereichs.

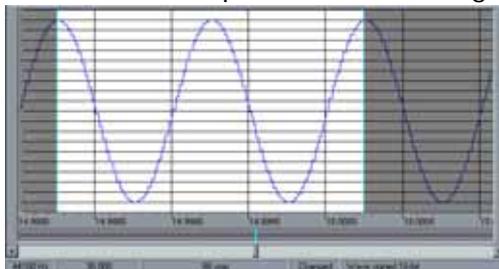
Kurve vergrößern:

Falls die Intensität des Signals trotz den Einstellungen in der Lautstärkeregelung zu schwach ist, kann durch *Effects* | *Volume* | *Maximize...*  der Ausschlag angepasst werden. Zum Beispiel bedeutet *Volume* 0.8, dass die Elongation des Messpunktes mit dem größten Ausschlag der gesamten Messung auf 80% des Maximalausschlags vergrößert wird. Entsprechend dieses errechneten Vergrößerungsfaktors wird die Elongation aller Messpunkte vergrößert bzw. der Graph in Richtung der Hochwertachse gestreckt. Ein Wert größer als 1 bedeutet also ein Abschneiden der Messung nach oben und unten.

Rückgängig:

Jeder dieser Befehle kann durch *Edit* | *Undo*  rückgängig gemacht werden.

Ablesen der Frequenz einer Schwingung



Um die Frequenz eindeutig bestimmen zu können, muss das aufgezeichnete Signal mit Markieren und *View* | *Selection*  oder *Shift* + *Pfeiltaste* soweit vergrößert werden, bis die Schwingungen sichtbar sind. Man markiert anschließend zwei markante Punkte, die um Vielfache von T versetzt sind. Die Breite der Markierung in Sekunden kann im dritten

Feld der Statusleiste abgelesen werden. Durch Mausklick auf dieses Feld wird der Zeitabstand in Samples angezeigt, das eine genauere Bestimmung der Frequenz zulässt. In diesem Beispiel beträgt die Zeitdifferenz 88 Samples bei 2 Schwingungen. Da 44100 Messwernerfassungen pro Sekunde entstehen, beträgt die Frequenz der Schwingung 1002,3Hz.

$$\text{Allgemein: } T = \frac{\Delta t}{\text{Sampling Rate} \cdot n} \text{ und } f = \frac{\text{Sampling Rate} \cdot n}{\Delta t}$$

Messwerte exportieren

Die erfassten Daten können außer im Wave- oder komprimierten MP3-Format noch als ASCII abgespeichert werden (*File | Save as... | Save as type | Text*). Diese Informationen sind nun für ein mathematisches Programm z.B. Microsoft Excel lesbar und als Graph darstellbar. Weil eine Aufnahme sehr groß sein kann (siehe Anhang A), muss die Datenmenge eventuell verkleinert werden, bevor sie in ein anderes Programm exportiert wird. Dazu kann man durch *Effects | Resample* die Sampling Rate der Aufzeichnung erniedrigen.



eine gedämpfte Schwingung als Excel-Diagramm dargestellt

Anhang C – Messinterface

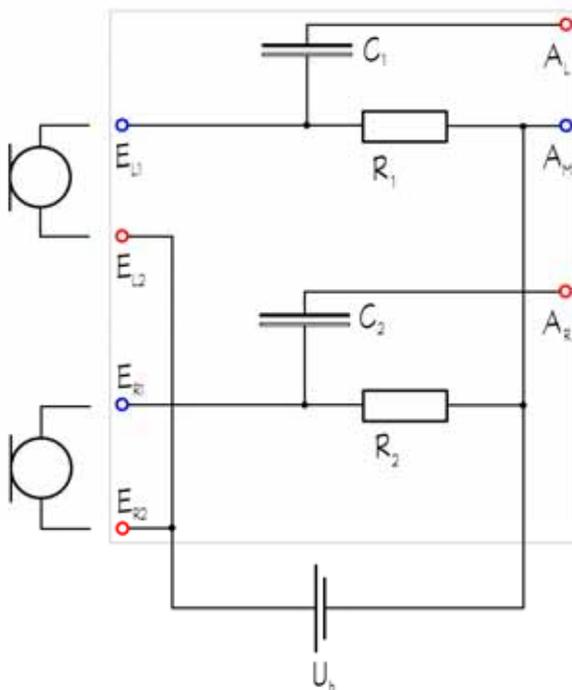
Probleme

Die von uns verwendete Soundkarte Soundblaster 128 PCI besitzt nur einen Mono-Mikrofoneingang. Weil aber in den Versuchen zur Schallgeschwindigkeitbestimmung 2 Kanäle vorausgesetzt sind, muss der Stereo Line In-Eingang benutzt werden. Nun ergibt sich aber das Problem, dass die Mikrofonkapseln keine oder eine zu geringe Spannung erzeugen, um ein Signal am Line In zu registrieren. Deshalb bauten wir eine Mikrofonschaltung, dessen Anleitung den Mikrofonkapseln beilag.

Eine weitere Schwierigkeit ist das Aufzeichnen von Gleichspannung, das z.B. bei der Endladekurve eines Kondensators benötigt wird. Die Soundkarte besitzt als Schutzvorrichtung Kondensatoren vor allen Ein- und Ausgängen. Mit ihrer geringen Kapazität leiten sie nur Wechselstrom und blocken daher Gleichstrom ab. Um also Gleichstrom erfassen zu können, muss er zuerst in Wechselstrom umgeformt werden. Dabei ist es für die Soundkarte ohne Belang, ob das Wechselstromsignal sinusförmig ist oder ein Rechtecksignal, die Kopplungskondensatoren müssen nur ständig geladen und entladen werden. Dieses Problem wurde durch die Konstruktion eines Zerhackers, eine Einheit aus Taktgenerator und Reed-Relais, gelöst.

Zuletzt stellten wir uns die Frage, wie man direkt Spannungen messen kann, ohne zu jedem Versuch einen Spannungsteiler zu errechnen, und wie der Eingang der Soundkarte gegen zu hohe Spannung geschützt werden kann. Außerdem soll der Ausschlag des zu messenden Signals veränderbar sein. Diese Aufgaben wurden mit einigen Dioden, Widerständen und Potentiometer gelöst.

a) Mikrofonschnittstelle



$$R_1 = R_2: 10k\Omega$$

$$C_1 = C_2: 1\mu F$$

$$U_b: 9V$$

E_L : Eingang links

E_R : Eingang rechts

A_M : Ausgang Masse

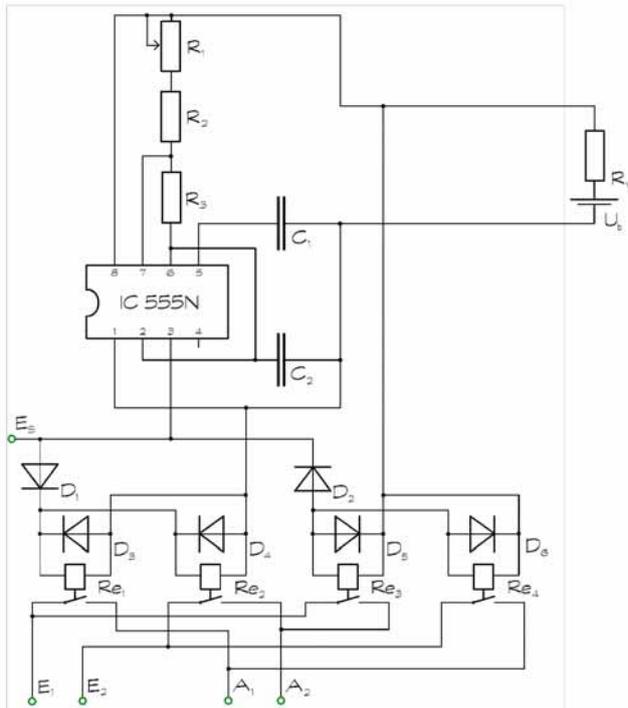
A_L : Ausgang Signal links

A_R : Ausgang Signal rechts

Funktionsweise:

Die Widerstände sorgen für den Spannungsabfall für die Soundkarte, die Kondensatoren lassen nur den Wechselspannungsanteil der Mischspannung der Mikrofone zur Soundkarte. Die Veränderung von R oder C hat keine messbare Auswirkung.

b) Zerhacker



IC 555N:

1: Versorgung Masse

8: Versorgung +4,5 V bis +15 V

3: Ausgang Rechteckimpuls

4: Reset (Abschaltung)

2,5,6,7: Frequenzfestlegung

C_1 : 10 nF

C_2 : 47 nF

R_1 : Potentiometer 10 k Ω

R_2 : 10 k Ω

R_3 : 100 k Ω

D_1 bis D_6 : Diode, Si

Re_1 bis Re_4 : Reedrelais, 5 V, 500 Ω

R_V : 130 Ω

U_b : 9 V

E_1, E_2 : Eingang Gleichspannung

A_1, A_2 : Ausgang

Rechteck-Wechselspannung

E_3 : Eingang für manuelle

Ansteuerung der Reedrelais

Funktionsweise:

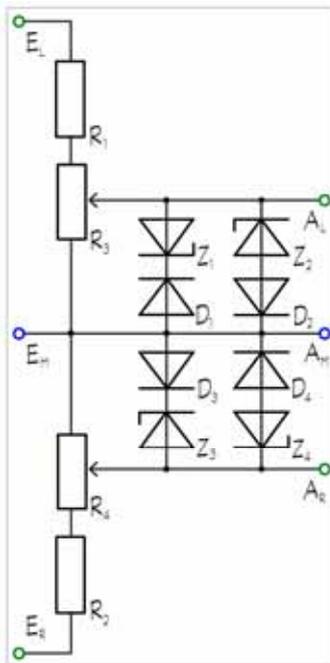
Die 5V-Reedrelais, die gering prellen und auf hohe Frequenzen ansprechen, werden durch den Taktgenerator IC 555N gesteuert. Der integrierte Schaltkreis erzeugt ein Rechtecksignal mit der durch die physikalische Größe der Widerstände und Kondensatoren bestimmten Frequenz.

Dabei gilt: Impulslänge $t_i = 0,7 \cdot C_2 \cdot (R_1 + R_2 + R_3)$, Impulspause $t_p = 0,7 \cdot C \cdot R_3$ und Periodendauer, die aus einem Impuls und einer Impulspause gebildet wird $T = 0,7 \cdot C \cdot (R_1 + R_2 + 2 \cdot R_3)$. Wir wollen eine Frequenz von 1000 Hz erhalten, also eine Periodendauer von 1ms. Im Kennlinienfeld des ICs wird ein Kondensator mit der Kapazität 47nF gewählt und für 1000 Hz erhält man einen Gesamtwiderstand mit ~ 20 k Ω . Zur präzisen Abstimmung der Frequenz wird für R_1 ein Potentiometer benutzt.

Die Gleichrichter D_1 und D_2 haben die Aufgabe, jeweils nur ein paar der 4 Reedrelais anzusteuern. Ist das Potential am Ausgang 3 des ICs 0V, dann werden Re_3 und Re_4 durchgeschaltet, bei einem Potential von +6V leitet nur D_1 den Strom zu R_1 und R_2 . Die Dioden D_3 bis D_6 sind Freilaufdioden und verhindern die Zerstörung des ICs durch Induktionsspannungen der Relais. Eine einfachere Schaltung mit nur einem Reedrelais und dem IC ist zwar möglich, aber die Eingangsspannung wird nicht ständig umgepolt sondern es wird nur ein Kanal ständig unterbrochen. Diese „Wechselspannung“ kann die Soundkarte erkennen, jedoch wird der Kondensator am Eingang der Soundkarte nur geladen und nicht entladen. Dadurch flacht das gemessene Signal auf dem Bildschirm ab und die Proportionen zwischen Spannung und Ausschlag stimmen nicht mehr. Die Messung von Zeitabständen wird durch dieses Problem aber nicht beeinflusst.

Wird die Spannungsquelle für den Zerhacker durch eine Brücke ersetzt und mit Masse einer Wechselspannungsquelle verbunden, so kann über den Eingang E_3 ein Wechselspannungssignal die Relais von außen ansteuern. Die Frequenz kann dabei bis 2kHz erhöht werden und die Spannung U_{eff} soll 5V nicht überschreiten.

c) Schutz für die Soundkarte



$R_1 = R_2: 47 \text{ k}\Omega$
 $R_3 = R_4: \text{Potentiometer, } 220 \text{ k}\Omega$
 $D_1 \text{ bis } D_4: \text{Diode, Si}$
 $Z_1 \text{ bis } Z_4: \text{Zehnerdiode, } U_z = 2,7 \text{ V}$

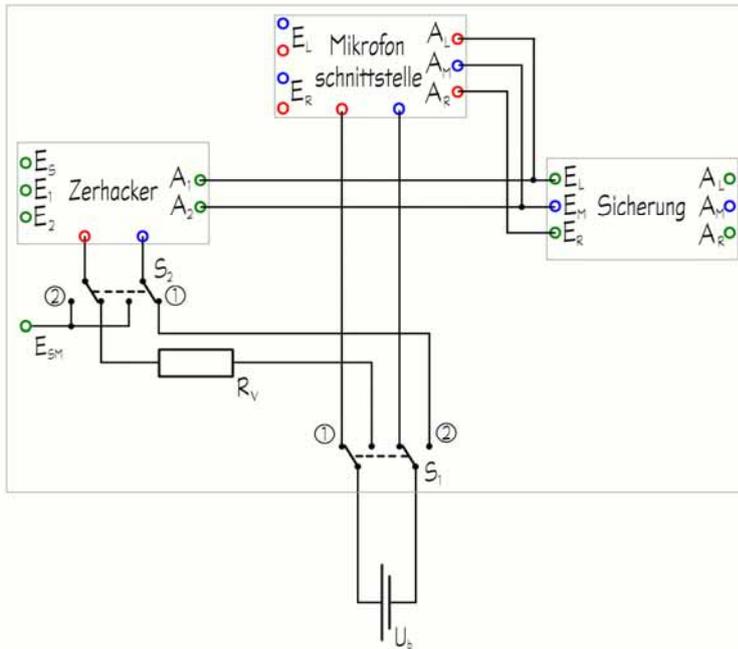
$E_M: \text{Eingang Masse}$
 $E_L, E_R: \text{Eingang Signal}$
 $A_M: \text{Ausgang Masse}$
 $A_L, A_R: \text{Ausgang Signal}$

Funktionsweise:

Der verstellbare Spannungsteiler aus R_1 und dem Potentiometer R_3 steuert den Spannungsabfall für die Soundkarte. Die Stärke des Eingangssignals kann somit von 0% bis 82% des ursprünglichen Signals gewählt werden. Theoretisch lässt sich somit eine Spannung, die durch die Wärmeverlustleistung $P = 250 \text{ mW}$ von R_1 begrenzt wird, bis max. 108 V messen. Durch eine falsche Stellung des Potentiometers kann diese Maximalspannung an der Soundkarte anliegen und sie zerstören.

Deshalb wird der Eingang der Soundkarte durch antiparallel geschaltete Zehnerdioden geschützt. Sobald die Spannung größer als 3,3 V wird ($U_z + U_D$), beginnen die Dioden zu leiten und der Spannungsabfall an den Dioden überschreitet diese Schwellenspannung nicht weiter.

d) Verbindung der Komponenten



Funktionsweise:

Wenn der Schalter S_1 in der Position 1 steht, wird das Mikrofoninterface mit Spannung versorgt und ist betriebsbereit. In Position 2 wird dem Zerhacker die Spannung zugeführt, wenn Schalter S_2 in Position 1 steht. Andernfalls können die Relais des Zerhackers mit einer Wechselspannung von 5 V durch die Eingänge E_S und E_{SM} von außen angesteuert werden. Durch die Eingänge des Soundkartenschutzes kann zusätzlich direkt Wechselspannung gemessen werden.

Anhang D – physikalische Formeln und ihre Herleitung

1. Die Thomson'sche Schwingungsformel $T = 2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}$

Summe der Energie im Kondensator: $E_C = \frac{1}{2} \cdot \frac{Q^2}{C}$

$$E_{\text{ges}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{Q^2}{C} + \frac{1}{2} \cdot I^2 \cdot L = \text{konst.}$$

Summe der Energie der Spule: $E_L = \frac{1}{2} \cdot I^2 \cdot L$

Ein Ableiten dieser Gleichung nach der Zeit und Multiplikation mit C ergibt:

$$Q \cdot \dot{Q} + L \cdot C \cdot I \cdot \dot{I} = 0$$

Da $I = \dot{Q}$ ist, lässt sich die Gleichung durch I teilen; es folgt:

$$Q + L \cdot C \dot{I} = 0 \quad \text{bzw.} \quad Q + L \cdot C \ddot{Q} = 0$$

Diese Differentialgleichung kann durch folgenden Ansatz gelöst werden:

Sei $Q = Q_M \cdot \sin(\omega t + \varphi)$, so wird

$$\dot{Q} = Q_M \cdot \omega \cdot \cos(\omega t + \varphi) \quad \text{und}$$

$$\ddot{Q} = -Q_M \cdot \omega^2 \cdot \sin(\omega t + \varphi).$$

Dann gilt:

$$(L \cdot C) \cdot Q_M \cdot \omega^2 \cdot \sin(\omega t + \varphi) = Q_M \cdot \sin(\omega t + \varphi)$$

Gleichheit gilt für

$$\omega^2 = \frac{1}{(L \cdot C)} \quad \text{bzw. für} \quad T = 2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}$$

2. Die Schwingdauer eines Fadenpendels $T = 2 \cdot \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$

Zeit-Weg-Zusammenhang einer harmonischen Schwingung:

$$s(t) = s_M \cdot \sin(\omega t) = s_M \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T} \cdot t\right)$$

Die Ableitung der Funktion nach der Zeit liefert den Zeit-Geschwindigkeit-Zusammenhang:

$$v(t) = \frac{2\pi}{T} \cdot s_M \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{T} \cdot t\right)$$

Die Ableitung der Geschwindigkeitsfunktion ist die Beschleunigungsfunktion:

$$a(t) = -\frac{4\pi^2}{T^2} \cdot s_M \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T} \cdot t\right)$$

Aus $F(t) = a(t) \cdot m = -\frac{4\pi^2}{T^2} \cdot s_M \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T} \cdot t\right) \cdot m$ erhält man wieder das lineare Kraftgesetz

$$F(t) = -D \cdot s(t) \text{ mit } D = \frac{4\pi^2}{T^2} \cdot m.$$

Die Federkonstante D ist bei Fadenpendel durch $D = \frac{m \cdot g}{l}$ festgelegt.

Weil bei kleinen Auslenkungen das Fadenpendel harmonisch mit der Kraft $F(t) = -D \cdot s$

schwingt, gilt $\frac{m \cdot g}{l} = \frac{4\pi^2}{T^2}$.

Für die Schwingdauer T folgt: $T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{l}{g}}$

Literaturverzeichnis

- [1] Impulse Physik – Versuche mit der Soundkarte, (Hg) Klett Verlag Stuttgart 1999, Walter Stein
- [2] Impulse Physik 2, Gesamtband (Hg.) Klett Verlag, 1. Auflage, Reinhard Bayer et. al, S. 135, S. 125-127 (Herleitung der Formeln aus Anhang D)
- [3] Praxis-Magazin, Messung der Lichtgeschwindigkeit als Heimexperiment, PdN-Ph, 2/47, Jg 1998, J. Bolz, S.41
- [4] Roland Jeschke, Blinken, Tönen, Steuern mit dem Timer 555, Topp-Buch 169 Fresch-Verlag, Stuttgart 1979, S.38-57