



DEUTSCHE
GESELLSCHAFT FÜR
ZERSTÖRUNGSFREIE
PRÜFUNG E.V.

ZfP-Sonderpreis der DGZfP beim Regionalwettbewerb Jugend forscht

DRESDEN



**Richtungsortung mit einem
einfachen Kopfhörer**

Victoria Woitaske

Schule:

Freie Christliche Schule Schirgiswalde

**Jugend forscht –
Schüler
experimentieren
2012/13**

Richtungshören mit einfachen Mitteln



Victoria Woitaske (13)

Freie Christliche Schule Schirgiswalde

Inhaltsverzeichnis

1.Zielstellung	3
2.Grundlagen	3
2.1 Einsatz von Kopfhörern als Mikrofone	3
2.2 Geräuscharstellung	3
3.Messverfahren.....	4
3.1 Experimentieranordnung und Vorgehensweise.....	5
3.2 Auswertung der Messwerte.....	7
4.Ergebnisse.....	8
4.1 Schallgeschwindigkeit.....	8
4.2 Laufzeitunterschied.....	8
5. Diskussion der Ergebnisse.....	10
5.1 Anpassung der Messwerte durch einfache Funktionen	10
5.1.1 Lineare Funktion	10
5.1.2 einfache Kosinusfunktion	10
5.1.3 Polynom	11
5.2 Anpassung der Messwerte durch komplexere Funktion.....	12
5.2.1 Herleitung	12
5.2.2 Anpassung	12
6. Zusammenfassung.....	15
7. Quellenverzeichnis.....	16

1. Zielstellung

Menschen besitzen unglaubliche Fähigkeiten. So können sie beispielsweise beim Hören eines Geräusches zuordnen, aus welcher Richtung dieses Geräusch kam, und sich dem Geräusch zuwenden. Ist jedoch das Gehör eines Menschen geschädigt, so verliert er möglicherweise diese Fähigkeit und damit eine wesentliche Grundlage für seine Orientierung.

Daraus ergibt sich die Fragestellung, ob die Orientierung an Geräuschen auch durch einfache technische Hilfsmittel realisiert werden kann, um die Erkenntnisse dann für gehörgeschädigte Menschen oder beispielsweise an Fahrzeugen einsetzen.

2. Grundlagen

2.1 Einsatz von Kopfhörern als Monomikrofone

Dazu muss man aber erst einmal wissen, was in einem Kopfhörer passiert. Das elektrische Signal im Kabel bringt die Membran im Kopfhörer in Schwingung. Diese Schwingung der Membran wiederum versetzt die Luftteilchen in Schwingung. Dadurch schwingen die Luftteilchen und die Schwingung breitet sich als Schallwelle aus. Mir kam die Idee, dass dieser Vorgang auch anders herum gehen müsste: denn wenn ich die Kopfhörer nicht in den Kopfhörer- sondern in den Mikrofoneingang eines PCs stecken würde, müsste ich damit auch Geräusche aufnehmen können. Und es hat auch funktioniert!

2.2 Geräuschartung

Töne und Geräusche können in elektrische Signale umgewandelt und dann grafisch dargestellt werden. Dabei werden Töne, Klänge, Geräusche und der Knall unterschieden, die alle eine unterschiedliche Form besitzen. Der Ton gleicht einer Sinuskurve, ein Klang besteht aus einer Abfolge von periodisch wiederkehrenden Schwingungen, ein Geräusch ist nicht periodisch und ein Knall sieht sie ein einzelner Ausschlag aus. Da wir es in unserer Umwelt mit Geräuschen zu tun haben, erwarte ich grafische Darstellungen, die dem Signal c) ähneln.

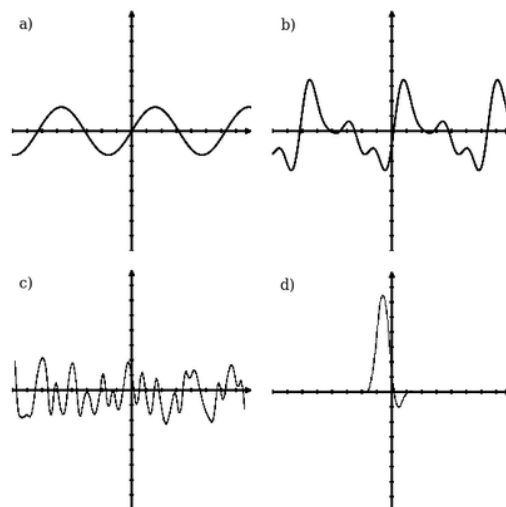


Abbildung 1: Darstellung eines Tons (a), eines Klangs (b), eines Geräusches (c) und eines Knalls (d)

3. Messverfahren

Menschen können dann die Richtung des Geräusches heraushören, wenn sie zwei gut funktionierende Ohren haben. Von ihnen ist die Geräuschquelle normaler Weise unterschiedlich weit entfernt. Weil es zu dem weiter entfernt liegenden Ohr O_1 einen weiteren Weg zurück legen muss als zu dem näher liegenden Ohr O_2 , wird das Geräusch am Ohr O_2 etwas eher wahrgenommen als am Ohr O_1 . Diese kleine Zeitverschiebung wird vom Menschen nicht bewusst wahrgenommen, allerdings ermöglicht sie uns das „Richtungshören“.

Ich habe mir zur Aufgabe gestellt, das „Richtungshören“ des Menschen zu simulieren. Dazu ersetze ich die Ohren durch zwei Mikrofone M_1 und M_2 , die ich durch die umgekehrte Verwendung eines einfachen Kopfhörers gewinne. Außerdem muss ich ein gut identifizierbares Geräusch erzeugen, welches ich dann mithilfe eines Computers sichtbar mache und auswerten kann.



Abbildung 2: Anschluss des Kopfhörers am Mikrofoneingang des PCs

3.1 Experimentieranordnung und Vorgehensweise

Zur Erzeugung des Geräusches nutzte ich ein Keyboard CASIO CTK-900. Damit sind sehr viele Klänge einstellbar. Um das Geräusch noch weiter zu verstärken und ihm eine eindeutige Richtung zu geben, schloss ich an den Ausgang des Keyboards noch einen aktiven Lautsprecher VISION AV 1000 an.



Abbildung 3: experimenteller Aufbau: Geräuscherzeugung (Keyboard und Lautsprecher), Aufnahme (Stativ mit Mikrofonen) und Auswertung (PC)

Bei den ersten Versuchen merkte ich, dass tiefe Töne mit viel Bass schlecht bzw. gar nicht mit dem PC darstellbar waren. Also suchte ich einen Ton heraus, der mit der Auswertungssoftware besonders gut erkennbar war. Diesen Ton nutzte ich dann für alle meine Versuche.

Der Aufbau der Experimente sowie die Bezeichnung aller wichtigen Größen sind schematisch in der folgenden Skizze dargestellt.

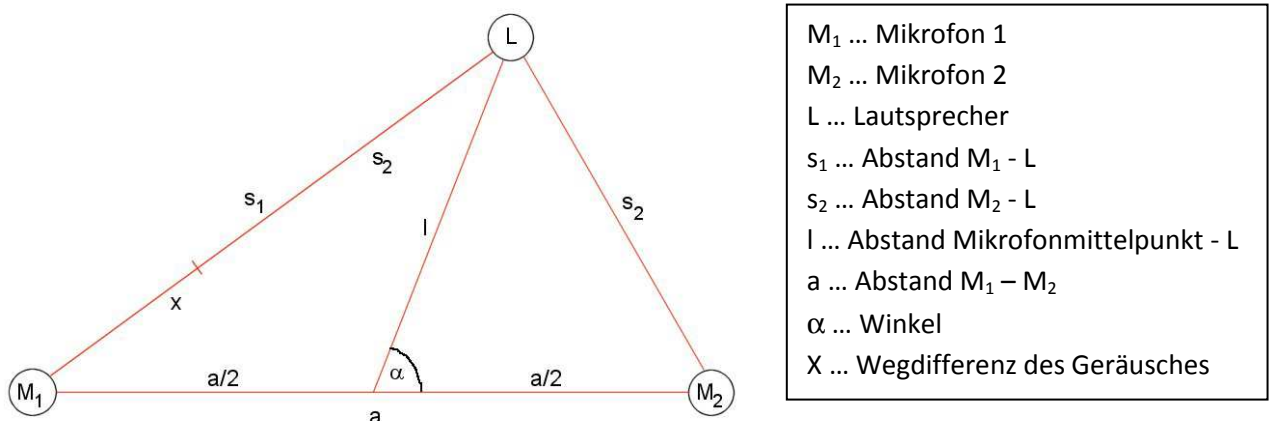


Abbildung 4: schematischer Aufbau der Messanlage

Um einen immer gleichbleibenden Abstand zwischen M_1 und M_2 zu sichern, habe ich ein Gestell gebaut, wo die Mikrofone genau $a = 60\text{cm}$ voneinander entfernt waren. In der Mitte dieses Gestells habe ich eine $l = 35\text{cm}$ lange Stange befestigt. Somit hatte ich immer den gleichen Abstand zwischen der Gestellmitte und dem Lautsprecher. Mit dieser Stange konnte ich auch immer den

Winkel α einstellen, den ich für meine Experimente gebraucht habe. Dies tat ich mit einem großen Winkelmesser, der eigentlich für den Einsatz an der Tafel gedacht ist.

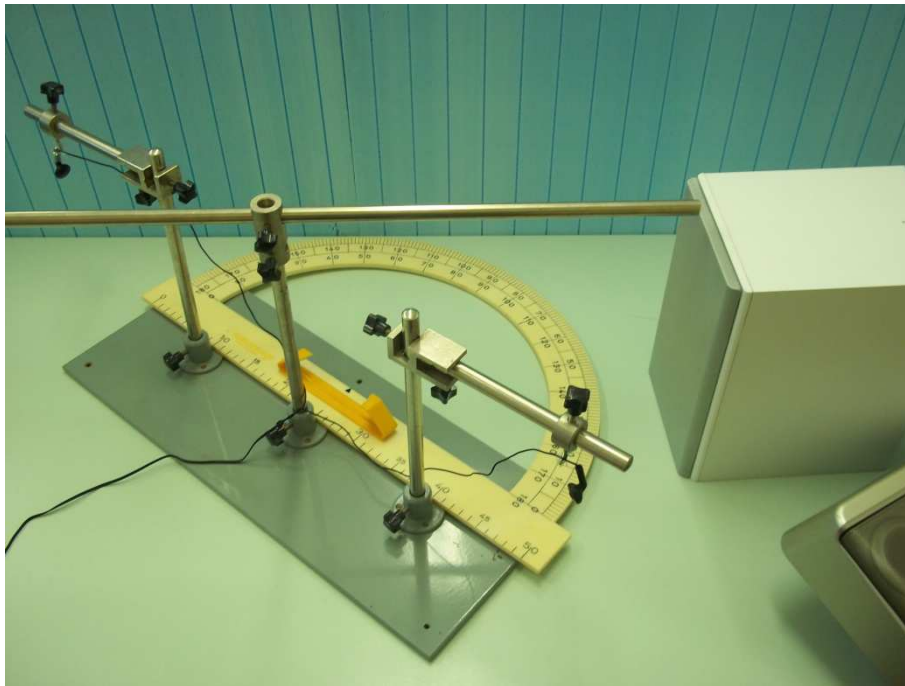


Abbildung 5: experimenteller Aufbau der Messeinrichtung

Um aus experimentell ermittelten Zeitdifferenzen die Wegdifferenzen ausrechnen zu können, muss die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Geräusche bekannt sein. Aus diesem Grund habe ich in einem Vorexperiment diese Ausbreitungsgeschwindigkeit bestimmt. Dazu habe ich auf einer Linie die beiden Mikrophone M_1 & M_2 sowie den Lautsprecher L aufgebaut. Die Mikrophone hatten einen Abstand von $a = 60\text{cm}$. Experimentell ermittelte ich die Zeitdifferenz und berechnete dann mit der Formel $v = s/t$ die Schallgeschwindigkeit.

Den Winkel veränderte ich, indem ich dieses Gestell immer um 10° in eine Richtung verdrehte. Das Geräusch habe ich dann mit dem kostenlosen Programm „Audacity 1.2.6“ aufgenommen. Die Zeitdifferenz ermittelte ich so: Ich schaute mir die Peaks genau an und versuchte möglichst den gleichen Peak bei beiden Tonspuren zu finden. Dazu eignete sich vor allem der Peak, bei dem das Geräusch begann. Danach trug ich die Zeitangabe, die ich bei dem Programm abgelesen hatte, in eine normale Exceltabelle ein. Dies tat ich mit beiden Zeiten und daraus habe ich die Zeitdifferenz berechnet. Aus dieser Zeitdifferenz konnte ich somit auch die Wegdifferenz ermitteln. Dies tat ich, indem ich die Formel $v = s/t$ nach s umstellte und ich dann mit der Formel $s = t \cdot v$ die Wegdifferenz ermitteln konnte.

Das Geräusch, das ich auswerten wollte, nahm ich immer 3x auf dann wertete ich die 3 Geräusche aus und ermittelte so einen Mittelwert. Damit versuchte ich, den Messfehler so gering wie möglich zu halten.

3.2 Auswertung der Ergebnisse

Zur Darstellung der Ergebnisse nutzte ich das kostenlose Programm „Audacity1.2.6“. Die Berechnungen führte ich mit Microsoft Office Excel 2007 durch.

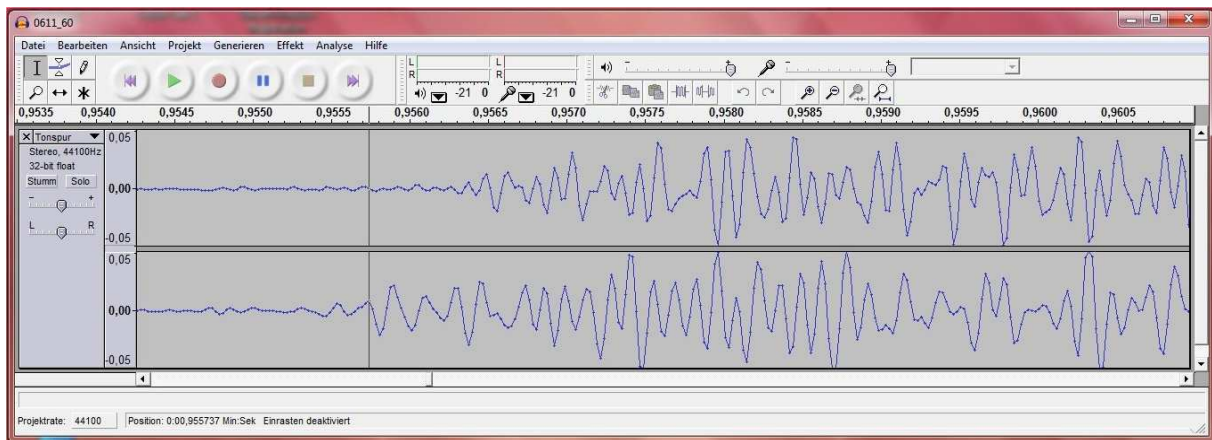


Abbildung 6: Auswertung der beiden Mikrofonsignale mit „Audacity 1.2.6“

Wie man bei dieser Abbildung sehen kann, nahm das Programm „Audacity1.2.6.“ die Geräusche, die die Mikrophone aufnahmen, in zwei Monosignalen als einzelne Tonspuren auf. Somit war gut erkennbar, wo das Geräusch eher bzw. später ankam. Hier suchte ich mir einen gut erkennbaren Peak aus und markierte ihn dann (siehe Abbildung). Da zeigte es mir nun darunter die entsprechende Zeit an, die ich ablas und in eine Excel-Tabelle eintrug. Dies tat ich dann auch noch bei der anderen Tonspur. Mit dem Excelprogramm ließ ich mir die Differenz dieser beiden Zeiten berechnen. Das war die Zeit, die das Signal brauchte, um den zusätzlichen Weg x zurückzulegen. Weil es beim Ablesen zu Fehlern kommen kann, wiederholte ich die Messung für jeden Winkel noch 2 mal und bildete dann den Mittelwert dieser drei Zeitdifferenzen. Mit der im Vorexperiment bestimmten Ausbreitungsgeschwindigkeit v des Geräusches berechnete ich dann mit $s = v \cdot t$ die zur Zeitdifferenz gehörende Wegdifferenz s .

4. Ergebnisse

4.1 Schallgeschwindigkeit

Die Schallgeschwindigkeit errechnete ich in einem Vorexperiment. Ich erhielt als Ergebnis 345,82m/s. Dies stimmte recht gut mit dem Wert im Tafelwerk ($v = 344 \text{ m/s}$ bei 20° Lufttemperatur) überein.

4.2 Laufzeitunterschied

Winkel von rechts in Grad	MW Wedd in m	Zeit t1 in s	Zeit t2 in s	Zeit-differenz in s	Weg-differenz in m	Zeit t1 in s	Zeit t2 in s	Zeit-differenz in s	Weg-differenz in m	Zeit t1 in s	Zeit t2 in s	Zeit-differenz in s	Weg-differenz in m
10	0,588126801	4,060295	4,058594	0,001701	0,588242075	0,543243	0,544943	0,0017	0,587896254	2,253265	2,254966	0,001701	0,588242075
20	0,525302594	5,081224	5,079705	0,001519	0,525302594	-	-	-	-	-	-	-	-
30	0,490028818	6,00381	6,005227	0,001417	0,490028818	-	-	-	-	-	-	-	-
40	0,405072046	0,31322	0,312041	0,001179	0,407723343	-	-	-	-	-	-	-	-
50	0,333371758	0,884977	0,885941	0,000964	0,333371758	-	-	-	-	-	-	-	-
60	0,20610951	0,955884	0,95648	0,000596	0,20610951	-	-	-	-	-	-	-	-
70	0,176368876	0,803209	0,803719	0,00051	0,176368876	-	-	-	-	-	-	-	-
80	0,094178674	1,122732	1,123005	0,000273	0,094409222	3,117438	3,11771	0,000272	0,094063401	5,077483	5,077755	0,000272	0,094063401
90	0	1,22576	1,22576	0	0	3,056054	3,056054	0	0	5,061293	5,061293	0	0
100	-0,083573487	1,696383	1,696621	0,000238	0,082305476	3,551837	3,552086	0,000249	0,08610951	5,506576	5,506814	0,000238	0,082305476
110	-0,241729107	1,043186	1,0439	0,000714	0,246916427	2,873016	2,873707	0,000691	0,238962536	4,838095	4,838787	0,000692	0,239308357
120	-0,243112392	1,043673	1,044365	0,000692	0,239308357	2,873084	2,873798	0,000714	0,246916427	4,838163	4,838866	0,000703	0,243112392
130	-0,316311239	2,792494	2,793401	0,000907	0,313659942	4,982653	4,983583	0,00093	0,321613833	7,002721	7,003628	0,000907	0,313659942
140	-0,388126801	0,83102	0,832154	0,001134	0,392161383	2,741043	2,742154	0,001111	0,384207493	4,806259	4,807381	0,001122	0,388011527
150	-0,449567723	1,135828	1,13712	0,001292	0,446801153	2,986134	2,987438	0,001304	0,450951009	4,960839	4,962143	0,001304	0,450951009
160	-0,483573487	0,34068	0,342029	0,001349	0,466512968	2,176519	2,178413	0,001894	0,654985591	4,146372	4,147324	0,000952	0,329221902
170	-0,522582133	0,475488	0,476995	0,001507	0,521152738	2,3555556	2,357052	0,0014964	0,517487032	4,265624	4,267154	0,00153	0,529106628
180	-0,543746398	3,04932	3,050884	0,001564	0,540864553	4,974104	4,975692	0,001588	0,549164265	6,944172	6,945737	0,001565	0,541210375

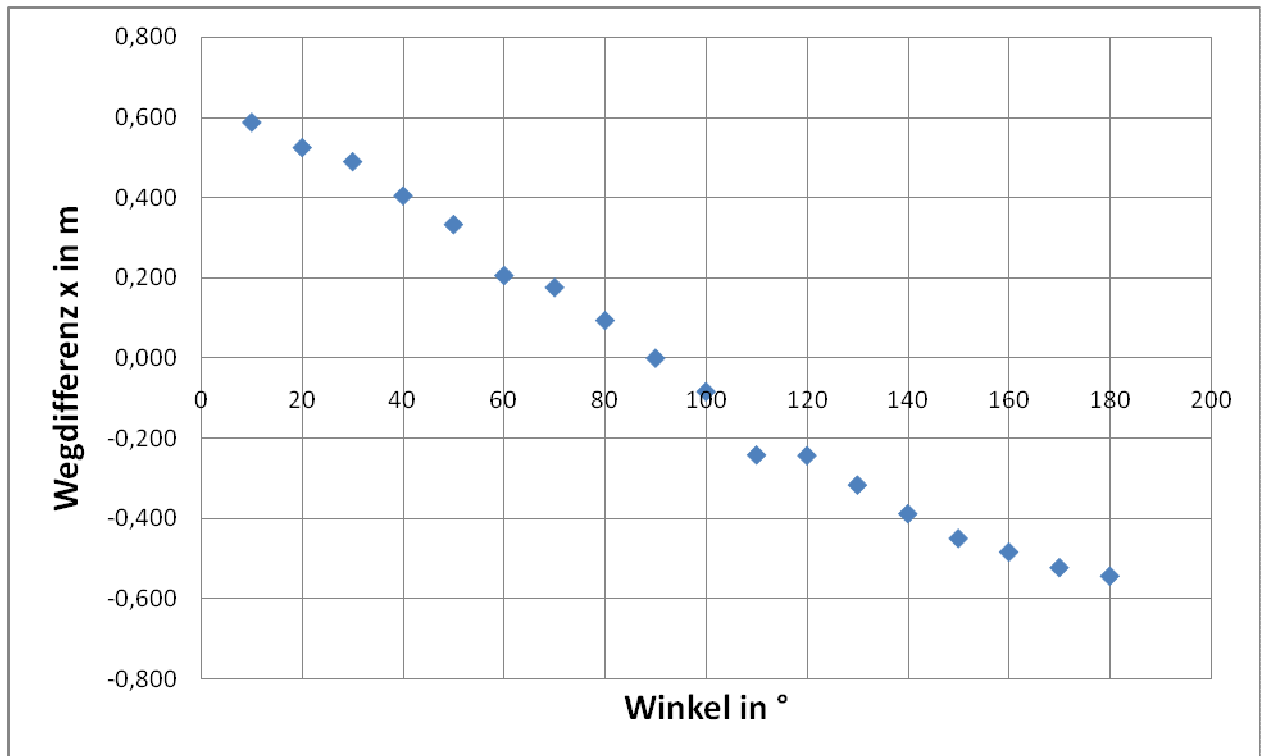


Diagramm1: Wegdifferenz in Abhängigkeit vom eingestellten Winkel.

Die Punkte ergeben eine geschwungene Kurve. Aber bei 60° und bei 110° gibt es kleine Abweichungen. Aber bei den großen Winkeln kommen sie nicht an die 0,600m heran.

5. Diskussion der Ergebnisse

5.1 Anpassung der Messwerte durch einfache Funktionen

5.1.1 Lineare Funktion

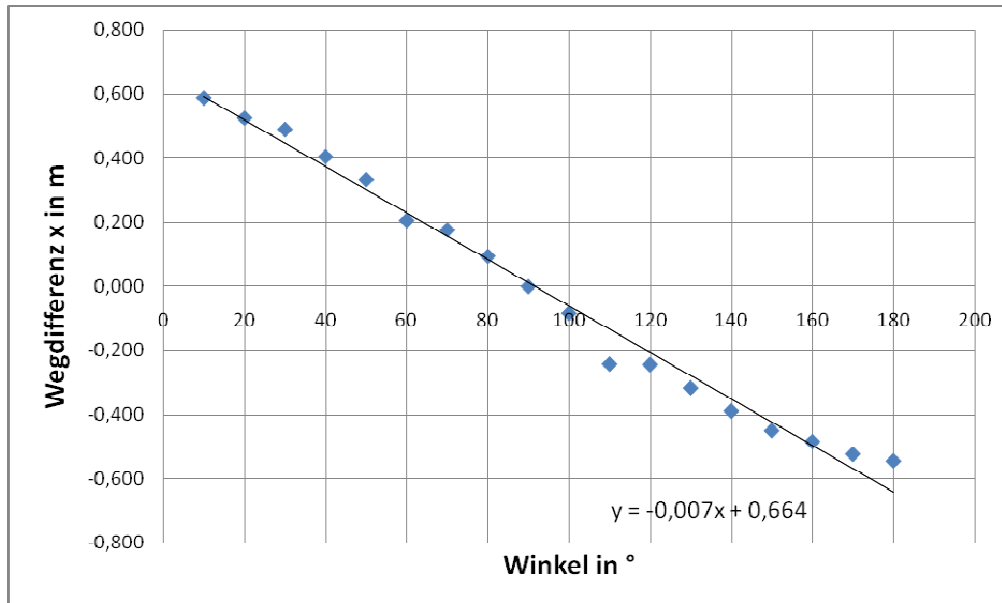


Diagramm 2: lineare Anpassung

Als lineare Funktion passt die Funktion mit der Gleichung $x = 0,007 * \alpha + 0,664$

Diese Funktion passt mit Abstand am schlechtesten. Denn hier liegen fast alle Punkte nicht auf der Funktion. Trotzdem ist festzustellen, dass die Messwerte nicht in einer Geraden verlaufen sondern, dass der Graph geschwungen ist.

5.1.2 einfache Kosinusfunktion

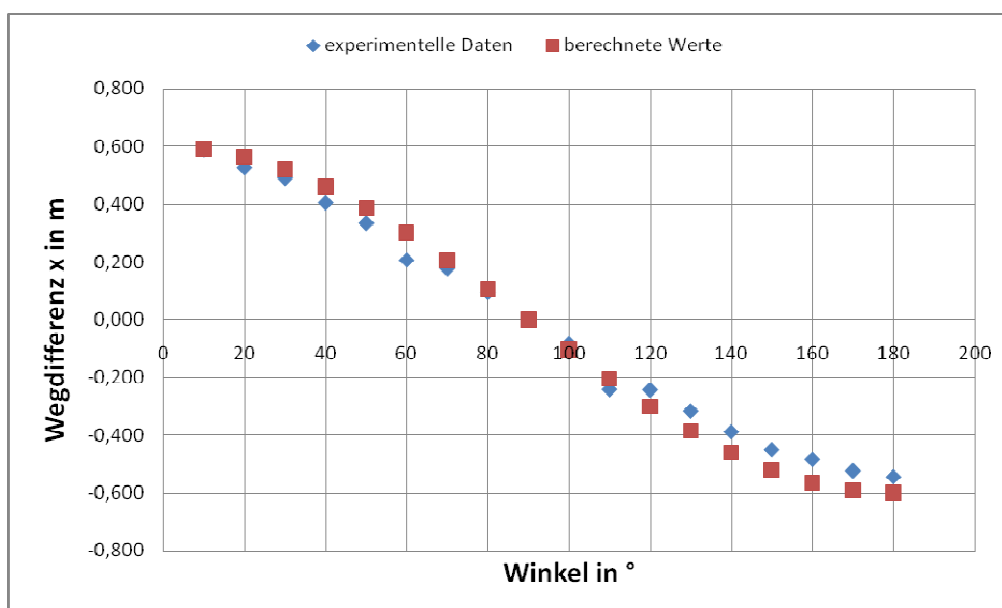


Diagramm 3: Anpassung durch die Kosinusfunktion

Bei der Anpassung mit der einfachen Kosinusfunktion $y = \cos x$ stimmen die experimentell ermittelten mit den ausgerechneten Ergebnissen eigentlich gut überein. Aber ab 120° weichen die Ergebnisse ab, sie liegen über den berechneten Werten.

5.1.3 Polynom

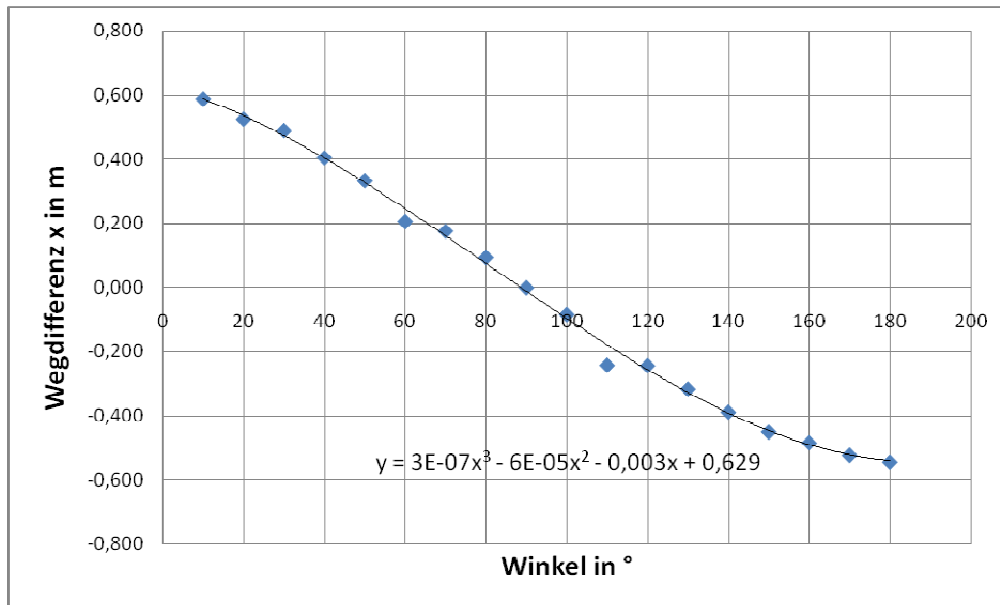


Diagramm 4: Anpassung durch eine Polynomfunktion

Für das Polynom passte die Funktion mit der Gleichung

$$x = 0,0000003 - \alpha^3 - 0,000005\alpha^2 - 0,003 * \alpha + 0,629 \text{ am besten.}$$

Diese Funktion passt eigentlich ganz gut. Die beiden problematischen Punkte bei 60° und bei 115° liegen auch hier nicht auf dem Funktionsgraphen. Leider kann diese Funktion nicht mathematisch hergeleitet und physikalisch begründet werden.

5.2 Anpassung der Messwerte durch komplexere Funktion

5.2.1 Herleitung

Für den zurückgelegten Weg des Geräusches vom Lautsprecher bis zum Mikrofon 1 gilt nach dem Kosinussatz

$$s_1^2 = l^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2 - 2 \cdot l \cdot \frac{a}{2} \cdot \cos(180^\circ - \alpha)$$

Wegen der Beziehung

$\cos(180^\circ - \alpha) = -\cos\alpha$ vereinfacht sich die Gleichung zu

$$s_1^2 = l^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2 + 2 \cdot l \cdot \frac{a}{2} \cdot \cos\alpha$$

Nach dem Ziehen der Quadratwurzel ergibt sich

$$s_1 = \sqrt{l^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2 + 2 \cdot l \cdot \frac{a}{2} \cdot \cos\alpha} \quad (\text{Gleichung 1})$$

Für den zurückgelegten Weg des Geräusches vom Lautsprecher bis zum Mikrofon 2 gilt nach dem Kosinussatz

$$s_2^2 = l^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2 - 2 \cdot l \cdot \frac{a}{2} \cdot \cos\alpha$$

Nach dem Ziehen der Quadratwurzel ergibt sich

$$s_2 = \sqrt{l^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2 - 2 \cdot l \cdot \frac{a}{2} \cdot \cos\alpha} \quad (\text{Gleichung 2})$$

Der Skizze kann entnommen werden, dass sich die Wegdifferenz des Geräusches x aus den beiden Wegen ergibt:

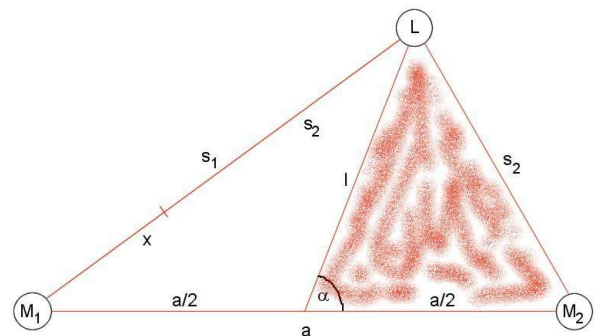
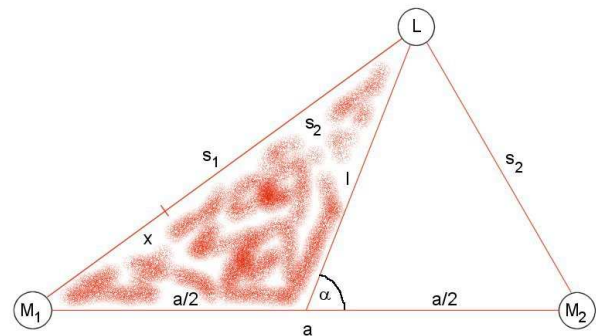
$$x = s_1 - s_2$$

Mit Gleichung 1 und Gleichung 2 ergibt sich dann:

$$x = \sqrt{l^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2 + 2 \cdot l \cdot \frac{a}{2} \cdot \cos\alpha} - \sqrt{l^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2 - 2 \cdot l \cdot \frac{a}{2} \cdot \cos\alpha}$$

Formel zur Berechnung der Wegdifferenz in Abhängigkeit vom eingestellten Winkel α

Will man aus experimentell ermittelten Wegdifferenzen nun die Richtung des Geräusches (und damit den Winkel) ermitteln, so muss diese Gleichung nach dem Winkel α umgestellt werden.



Das Quadrieren der Gleichung ergibt

$$x^2 = \left(\sqrt{l^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2} + 2 \cdot l \cdot \frac{a}{2} \cdot \cos \alpha - \sqrt{l^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2} - 2 \cdot l \cdot \frac{a}{2} \cdot \cos \alpha \right)^2$$

Nach Anwendung der 2. Binomischen Formel erhält man

$$x^2 = \left(l^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2 + 2 \cdot l \cdot \frac{a}{2} \cdot \cos \alpha \right) - 2 \cdot \sqrt{l^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2} + 2 \cdot l \cdot \frac{a}{2} \cdot \cos \alpha \cdot \sqrt{l^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2} - 2 \cdot l \cdot \frac{a}{2} \cdot \cos \alpha + \left(l^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2 - 2 \cdot l \cdot \frac{a}{2} \cdot \cos \alpha \right)$$

Diese Gleichung kann vereinfacht werden:

Auflösen der Klammern:

$$x^2 = 2 \cdot l^2 + 2 \cdot \left(\frac{a}{2}\right)^2 - 2 \cdot \sqrt{l^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2} + 2 \cdot l \cdot \frac{a}{2} \cdot \cos \alpha \cdot \sqrt{l^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2} - 2 \cdot l \cdot \frac{a}{2} \cdot \cos \alpha$$

Zusammenfassen der Wurzeln und Umstellen nach der Wurzel:

$$-\frac{x^2 - 2 \cdot l^2 - \frac{a^2}{2}}{2} = \sqrt{\left(l^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2 + 2 \cdot l \cdot \frac{a}{2} \cdot \cos \alpha \right) \cdot \left(l^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2 - 2 \cdot l \cdot \frac{a}{2} \cdot \cos \alpha \right)}$$

Quadrieren beider Seiten:

$$\left(-\frac{x^2 - 2 \cdot l^2 - \frac{a^2}{2}}{2} \right)^2 = \left(l^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2 + 2 \cdot l \cdot \frac{a}{2} \cdot \cos \alpha \right) \cdot \left(l^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2 - 2 \cdot l \cdot \frac{a}{2} \cdot \cos \alpha \right)$$

Ausmultiplizieren der beiden rechten Klammerausdrücke:

$$\begin{aligned} \left(-\frac{x^2 - 2 \cdot l^2 - \frac{a^2}{2}}{2} \right)^2 &= l^4 + l^2 \cdot \left(\frac{a}{2}\right)^2 - l^2 \cdot 2 \cdot l \cdot \frac{a}{2} \cdot \cos \alpha + \left(\frac{a}{2}\right)^2 \cdot l^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^4 - \left(\frac{a}{2}\right)^2 \cdot 2 \cdot l \cdot \frac{a}{2} \cdot \cos \alpha + 2 \cdot l \cdot \frac{a}{2} \cdot \cos \alpha \cdot l^2 + 2 \cdot l \cdot \frac{a}{2} \cdot \cos \alpha \cdot \left(\frac{a}{2}\right)^2 - \left(2 \cdot l \cdot \frac{a}{2} \cdot \cos \alpha\right)^2 \end{aligned}$$

Zusammenfassen:

$$\left(-\frac{x^2 - 2 \cdot l^2 - \frac{a^2}{2}}{2} \right)^2 = l^4 + 2 \cdot l^2 \cdot \left(\frac{a}{2}\right)^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^4 - \left(2 \cdot l \cdot \frac{a}{2} \cdot \cos \alpha\right)^2$$

Umstellen nach dem Klammerausdruck mit dem Winkel α :

$$\left(2 \cdot l \cdot \frac{a}{2} \cdot \cos \alpha\right)^2 = l^4 + 2 \cdot l^2 \cdot \left(\frac{a}{2}\right)^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^4 - \left(-\frac{x^2 - 2 \cdot l^2 - \frac{a^2}{2}}{2} \right)^2$$

Wurzelziehen auf beiden Seiten:

$$l \cdot \alpha \cdot \cos \alpha = \sqrt{l^4 + 2 \cdot l^2 \cdot \left(\frac{\alpha}{2}\right)^2 + \left(\frac{\alpha}{2}\right)^4 - \left(\frac{x^2 - 2 \cdot l^2 - \frac{\alpha^2}{2}}{2}\right)^2}$$

Umstellen nach $\cos \alpha$:

$$\cos \alpha = \frac{\sqrt{l^4 + 2 \cdot l^2 \cdot \left(\frac{\alpha}{2}\right)^2 + \left(\frac{\alpha}{2}\right)^4 - \left(\frac{x^2 - 2 \cdot l^2 - \frac{\alpha^2}{2}}{2}\right)^2}}{l \cdot \alpha}$$

Umstellen nach α :

$$\alpha = \cos^{-1} \frac{\sqrt{l^4 + 2 \cdot l^2 \cdot \left(\frac{\alpha}{2}\right)^2 + \left(\frac{\alpha}{2}\right)^4 - \left(\frac{x^2 - 2 \cdot l^2 - \frac{\alpha^2}{2}}{2}\right)^2}}{l \cdot \alpha}$$

Formel zur Berechnung des Winkels α in Abhängigkeit von der experimentell ermittelten Wegdifferenz

Mit dieser Gleichung kann aus ermittelter Wegdifferenz x und Abstand l sowie bekanntem Abstand a der beiden Mikrofone den Winkel α berechnen. Damit erhält man die Richtung, aus der das Geräusch kommt.

5.2.2 Anpassung

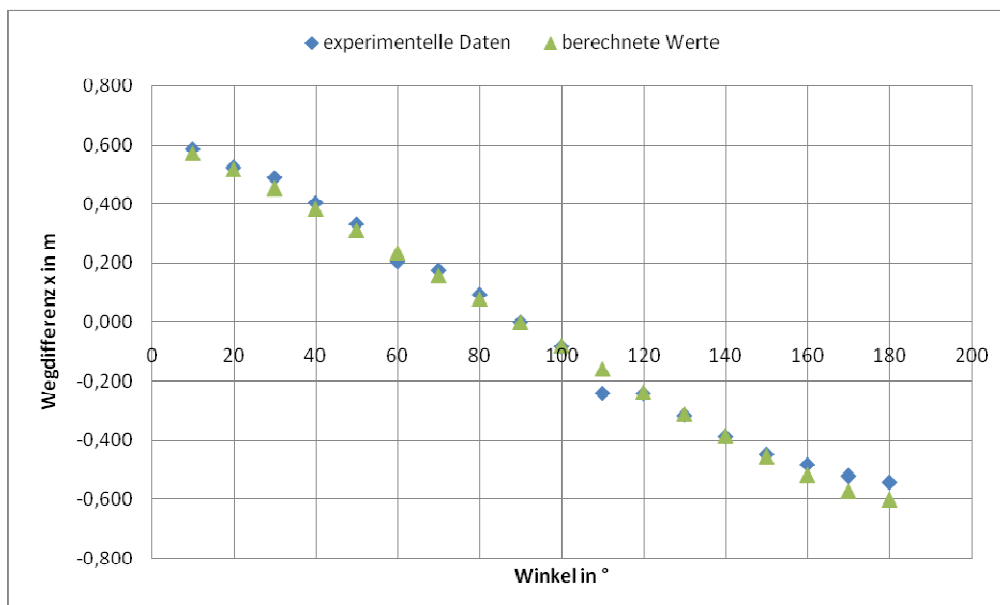


Diagramm 5: Anpassung durch die hergeleitete Funktion

Das Übereinanderlegen der experimentell ermittelten Werte sowie der Werte, die auf der Grundlage der hergeleiteten Funktion berechnet wurden, zeigt eine sehr gute Übereinstimmung. Lediglich im Bereich großer Winkel (ab 160°) liegen die Messwerte geringfügig über den Rechenwerten.

6. Zusammenfassung

1. Die Grundlage für meine Experimente bildete die Idee, dass ein einfacher Kopfhörer auch als Mikrofon eingesetzt werden kann. Daraus entwickelte ich ein Messverfahren, bei dem ein Stereokopfhörer 2 Monosignale aufnehmen sollte. Dieses Verfahren erwies sich als sehr geeignet.
2. Ich nutzte das Messverfahren um die Schallgeschwindigkeit in Luft zu bestimmen. Das experimentelle Ergebnis liefert eine Geschwindigkeit von $v = 345,82 \text{ m/s}$. Dieses Ergebnis weicht nur um etwa 5 % vom angegebenen Wert im Tafelwerk ($v = 344 \text{ m/s}$) ab.
3. Mithilfe meines Lehrers Herrn Heidrich stellte ich Überlegungen zu mathematischen Zusammenhängen im experimentellen Aufbau an. Dabei konnten wir eine komplizierte Formel herleiten, die den Zusammenhang zwischen eingestelltem Winkel α und Wegdifferenz x des Geräusches beschreibt. Die Messwerte können mit dieser Formel sehr gut angenähert werden.
4. Eine Umkehrung der in Punkt 3 genannten Gleichung ergab einen Zusammenhang zwischen einer experimentell ermittelbaren Wegdifferenz x und dem Winkel α , der die Richtung des Signals angibt. Diese Formel könnte man nun nutzen, um sie als Rechengrundlage für ein Richtungshören mit einfachen Mitteln einzusetzen.
5. Trotz meiner guten Ergebnisse gab es während meiner Arbeit mehrere Probleme:
 - a. Gleich zu Beginn musste ich feststellen, dass sich nur wenige der Geräusche, die ich mit dem Keyboard erzeugen konnte, für eine Messwertaufnahme eigneten. Vor allem tiefe Geräusche wurden durch die Kopfhörer nicht gut aufgenommen, so dass ich sie auch nicht auswerten konnte. Das Geräusch wurde durch Tastendruck erzeugt, wobei es auch nicht immer gleich laut war.
 - b. Besonders schwierig war es, heraus zu finden, welche Peaks der beiden Signale einander entsprachen. Dabei ist es sicher zu Messfehlern gekommen. Um den Einfluss der Fehler möglichst gering zu halten, habe ich die Experimente mehrfach wiederholt um einen Mittelwert zu berechnen. Das Erkennen der Peaks müsste bei einer Anwendung meiner Ergebnisse automatisch erfolgen, was sicher sehr schwierig sein wird.
 - c. Die in meiner Arbeit hergeleitete Funktion enthält neben dem Abstand der Mikrophone (fest einstellbar) auch noch den Abstand l zwischen Mikrofonmitte und Geräuschquelle. Diesen Abstand habe ich im Rahmen dieser Arbeit nicht experimentell ermitteln können. Allerdings sollte es mit Hilfe meiner Messwerte möglich sein: dazu würde ich die Signalstärken zueinander gehörender Peaks auswerten.

Allgemein: Ich bin recht zufrieden mit meinen Messergebnissen. Und ich merkte auch, dass es auch manchmal ziemlich schwierig wurde. Vor allen Dingen mit der vielen Mathematik aus den höheren Klassen. Aber ich finde es sehr gut, dass der Zukunftspreis 2012 an so ein Projekt ging.

7. Quellenverzeichnis

- (1) http://de.wikibooks.org/wiki/Grundlagen_der_Akustik:_Obert%C3%b6ne_und_Fourier-Analyse
- (2) Griesel, Postel, vom Hofe: Mathematik 9 heute. Mittelschule Sachsen. Realschulbildungsgang. Schroedel-Verlag. 2006 Braunschweig
- (3) Griesel, Postel, vom Hofe: Mathematik 10 heute. Mittelschule Sachsen. Realschulbildungsgang. Schroedel-Verlag. 2006 Braunschweig