

W8

Noah Huesser <yatekii@yatekii.ch>

January 6, 2017

Contents

1	Arbeitsgrundlagen	2
1.1	Phasengeschwindigkeit von Schallwellen in Gasen	2
1.2	Schallgeschwindigkeit in einem Gasgemisch	2
1.3	Stehende Wellen in einem Rohr	2
2	Durchführung	4
2.1	Laufzeitmessung	5
2.2	Resonanzmethode	6
2.3	Gasgemische	6
2.4	Konstanten	7
2.5	Verwendete Messgeräte	7
3	Auswertung	8
3.1	Laufzeitmethode	8
3.2	Resonanzmethode	10
4	Gasgemische	12
5	Fehlerrechnung	12
6	Resultate und Diskussion	12

1 Arbeitsgrundlagen

In diesem Versuch soll die Schallgeschwindigkeit in Gasen mittels Laufzeitmessung sowie Bestimmung der Resonanzfrequenz des Schalls bestimmt werden. Es werden ausschliesslich Longitudinalwellen am einen Ende des Mediums in welchem gemessen wird ausgesandt und am anderen Ende aufgefangen.

1.1 Phasengeschwindigkeit von Schallwellen in Gasen

Die Schallgeschwindigkeit c in idealen Gasen ist eine Funktion die nur von der Temperatur abhängig ist. Unter Annahme der isentropen Kompression und Dekompression mit dem Koeffizienten κ , der molaren Gaskonstante R_m und der Molmasse M_m erhält man die Formel 1

$$c = \sqrt{\kappa \frac{R}{M} T} \quad (1)$$

R_m ist dabei immer $8.314 \frac{kJ}{kmol \cdot K}$. Mit R_m lässt sich für viele Gase die Schallgeschwindigkeit berechnen, welche mit den Messwerten gut übereinstimmt. Den Isentropenkoeffizienten κ kann der Theorie des Dozenten oder Tabellen entnommen werden. κ kann jedoch auch von der Temperatur abhängen, weswegen experimentelle Daten vorzuziehen sind.

1.2 Schallgeschwindigkeit in einem Gasgemisch

Um die spezifische Schallgeschwindigkeit in einem Gasgemisch zu bestimmen, müssen κ und R_i umgerechnet werden. Hier geht man von den Definitionen 2 und 1 aus.

$$\kappa = \frac{c_p}{c_v} \quad (2)$$

Dies führt zu 3.

$$c = \sqrt{\kappa^* R_i^* T} = \sqrt{\frac{\sum m_j \cdot c_{p,j} \cdot \sum m_j \cdot R_{i,j}}{\sum m_j \cdot c_{v,j} \cdot \sum m_j} T} \quad (3)$$

Im Experiment wird das Gasgemisch jedoch nicht über die Einfüllmassen m_j sondern den jeweiligen Partialdruck p_j beziehungsweise über den relativen Partialdruck $p_{rel,j} = \frac{p_j}{p_{tot}}$ bestimmt. Somit gilt für ideale Gase die Relation in 4.

$$m_j \propto p_j \cdot M_{m,j} \propto p_{rel,j} \cdot M_{m,j} \quad (4)$$

Und natürlich gilt für jedes Gasgemisch die Relation $p_{rel,2} = 1 - p_{rel,1}$.

1.3 Stehende Wellen in einem Rohr

Durch das Begrenzen einer Welle in einem Medium, in diesem Versuch sind das Schallwellen in Gasen in einem Zylinder, werden Reflexionen hervorgerufen. Wenn die Randbedingungen, sprich die Länge des Rohres, bzw die passenden Frequenzen des Schalls dazu, gut gewählt werden, dann entsteht konstruktive Interferenz. Natürlich kann dabei auch destruktive Interferenz ausgelöst werden, so dass die Wellen ganz verschwinden. Wenn konstruktive Interferenz herrscht, so spricht man von einer stehenden Welle. Die Amplitude dieser Stehwelle ist abhängig von der Dämpfung, beziehungsweise der Güte Q des Resonators, welche das Verhältnis zwischen Anregeamplitude und Resonanzamplitude darstellt.

Für ein offenes Rohr gelten die in 5 und 5 ersichtlichen Formeln.

$$L = n \cdot \frac{\lambda}{2} \quad (5)$$

$$f_n = n \cdot \frac{c}{2L} \quad (6)$$

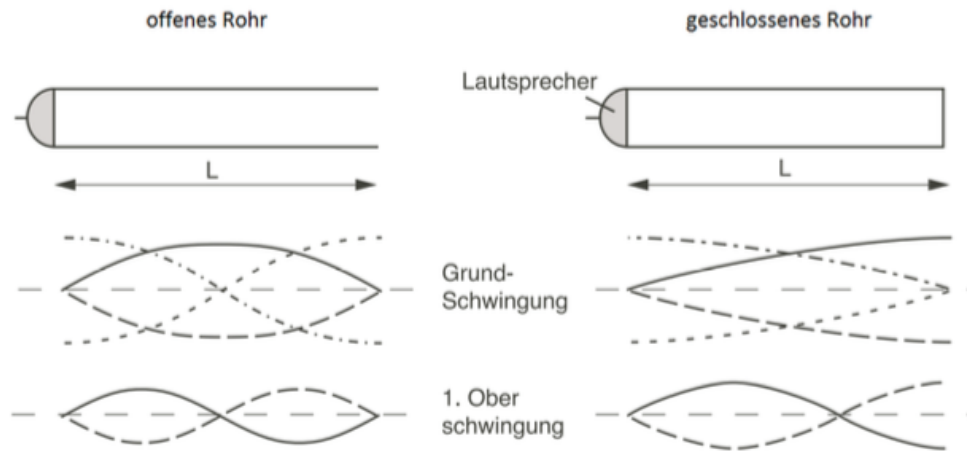


Figure 1: Stehende Wellen

Für ein geschlossenes Rohr gelten die in 7 und 8 ersichtlichen Formeln.

$$L = \frac{\lambda}{4} + n \cdot \frac{\lambda}{2} \quad (7)$$

$$f_n = \frac{c}{4L}(1 + 2n) \quad (8)$$

Wobei L die Länge des Rohres, f_n die Eigenfrequenz, c die Schallgeschwindigkeit λ die Wellenlänge und n ein ganzzahliger Faktor sind.

2 Durchführung

Die Versuchumgebung besteht aus einem doppelwandigen, luftdicht verschlossenen Messingrohr R. Auf einer Seite des Rohres ist im Inneren ein Lautsprecher L und gegenüberliegend ein Kondensatormikrofon KM montiert. Um die Schallgeschwindigkeiten bei verschiedenen Distanzen bestimmen zu können, kann die Wand, an welcher das KM angebracht ist, per Handkurbel verstellt werden. Die Temperatur im Inneren kann durch ein Chromel-Alumel-Thermoelement bestimmt werden. Zudem gibt es natürlich ein Einlassventil sowie ein Ablassventil.

Die genaue Versuchsanordng kann der nachstehenden Illustration entnommen werden.

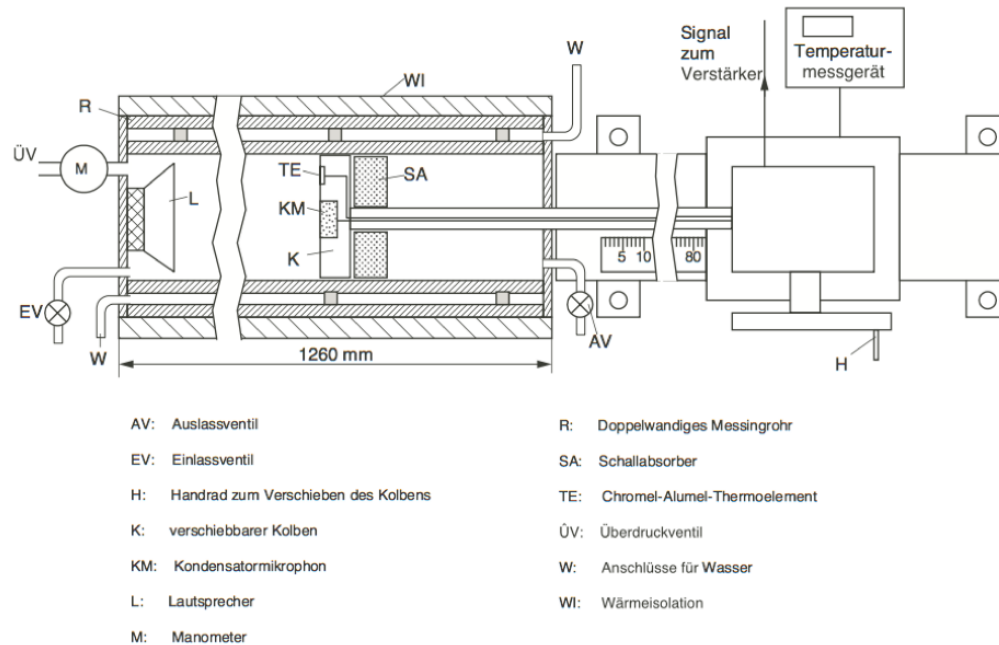


Figure 2: Versuchsanordnung

2.1 Laufzeitmessung

Die Versuchsanordnung zur bestimmung der Schallgeschwindigkeit mithilfe der Laufzeitmethode kann der folgenden Abbildung entnommen werden.

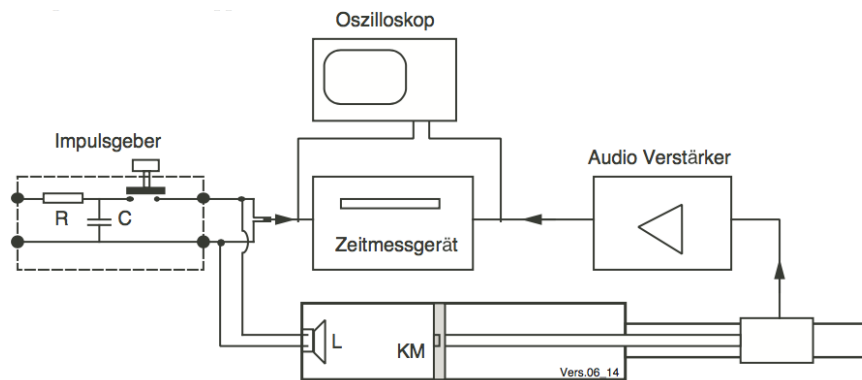


Figure 3: Versuchsanordnung zur Laufzeitbestimmung

Um kurze, steile Schallimpulse zu erzeugen, wird ein Kondensator C per Drucktaster über dem Lautsprecher L entladen. Zeitgleich wird dem Zeitmesser signalisiert dass er die Zeitmessung starten soll. Das Kondensatormikrofon wird dann nach einiger Zeit und genügend Verstärkung im Audioverstärker den Impuls aufnehmen und dem Zeitmesser das Signal die Zeit zu stoppen geben.

Zur Kontrolle der Funktionalität steht ein Oszilloskop bereit auf welchem die Impulse beobachtet werden können. Diese sollten in etwa wie in folgender Abbildung aussehen.

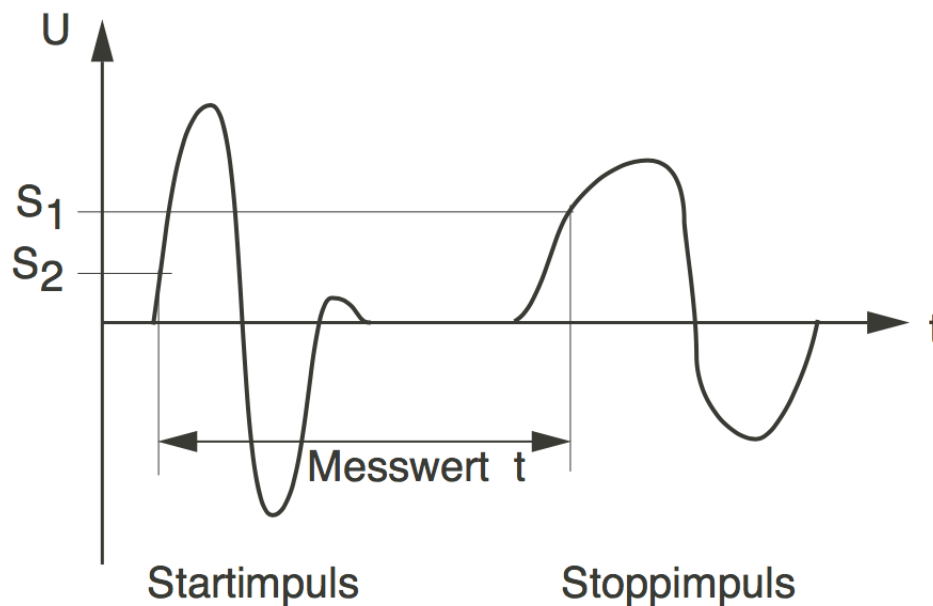


Figure 4: Oszilloskop mit Impulsen

2.2 Resonanzmethode

Nachfolgend ist die Versuchsanordnung zur Resonanzbestimmung zu sehen.

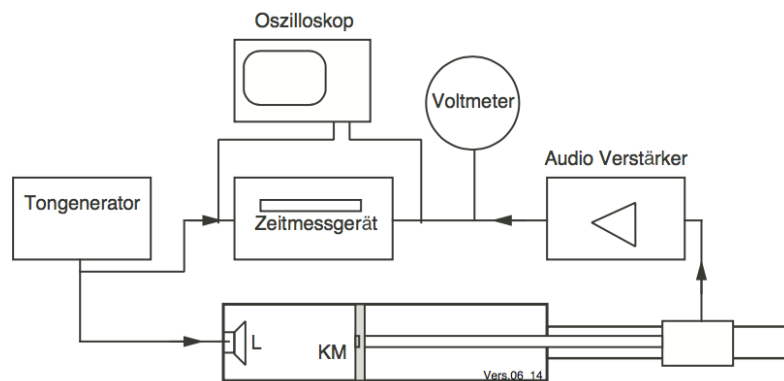


Figure 5: Versuchsanordnung zur Resonanzbestimmung

Zur bestimmung der Resonanz wird der Impulsgeber aus der Laufzeitmessung durch einen Sinusgenerator ersetzt. Nun sendet der Lautsprecher kontinuierlich Wellen in das Rohr. Auf dem Oszilloskop wird das ausgesendete Signal mit dem empfangenen Signal im XY-Modus in Relation gestellt. Logischerweise müsste bei Resonanz die Verstärkung des Resonators linear sein und auf dem Oszilloskop eine Linie zu sehen sein. Ist noch eine Ellipse sichtbar, so herrscht noch hysteresis und es ist noch keine vollkommen konstruktive Interferenz. Nun kann mithilfe der Handkurbel die Distanz des Mikrofons zum Lautsprecher verstellt werden. Dadurch kann die Distanz zwischen zwei Wellenbergen gemessen werden.

2.3 Gasgemische

Beide Methodiken wurden mit reiner Luft und je Helium und SF₆ angewandt. Zudem wurden dann die Gase Helium und SF₆ in 20% schritten vermischt und gemessen. Der Anteil konnte einfach über den Druck im Behälter eingestellt werden, da dieser wie in 4 dargestellt direkt proportional zu den Molekülen des Gases ist.

2.4 Konstanten

Die nachfolgenden Konstanten sind alle in Horst Kuchlings Taschenbuch der Physik zu finden.

Gas	$M_m[\frac{g}{mol}]$	$R_i[\frac{J}{kgK}]$	$c_p[\frac{kJ}{kgK}]$	$c_v[\frac{kJ}{kgK}]$	K	$c_0[\frac{m}{s}]$
Luft	28.95	287	1.01	0.72	1.63	971
Helium	4.0	2078	5.23	3.21	1.4	344

Table 1: Kennwerte und Konstanten der verwendeten Gase.

2.5 Verwendete Messgeräte

Funktion	Hersteller	Gerätename
Oszilloskop	LeCroy	9631 Dual 300MHz Oscilloscope 2.5 GS/s
Zeitmesser	Keithley	775 Programmable Counter/Timer
Funktionsgenerator	HP	33120A 15MHz Waveform Generator
Verstärker	WicTronic	Zweikanalverstärker
Vakuumpumpe	Pfeiffer	Vacuum
Netzgerät		
Temperaturmessgerät		

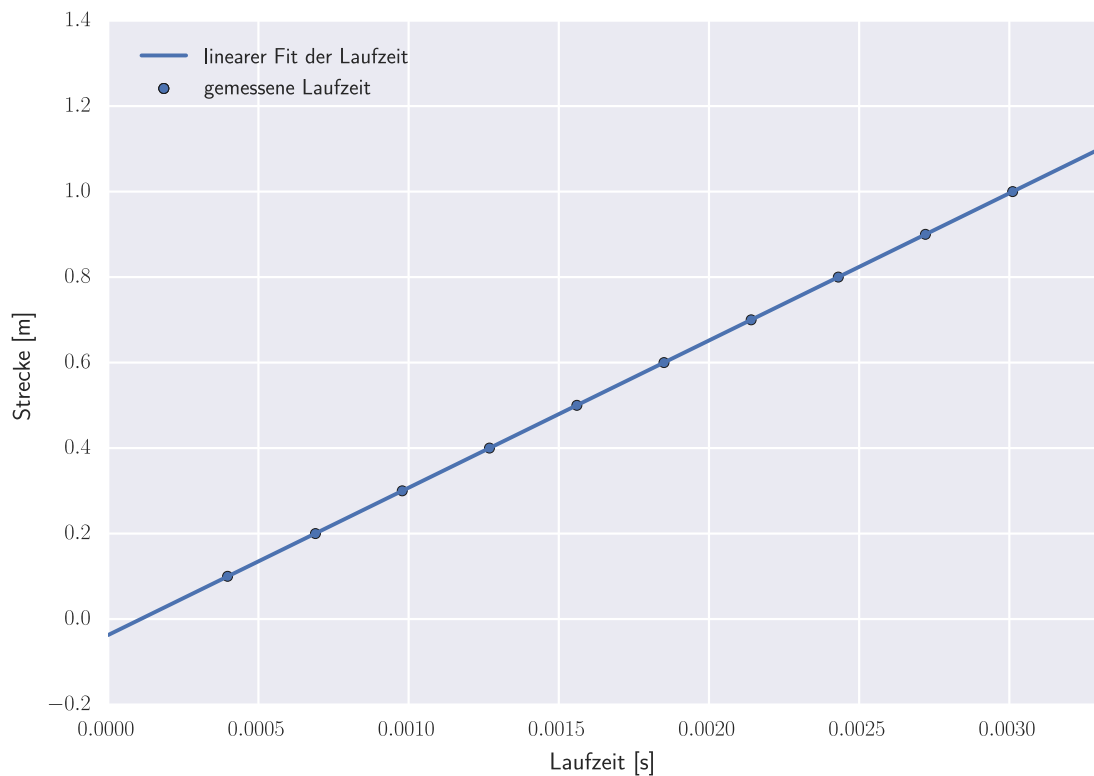
Table 2: Verwendete Gerätschaften

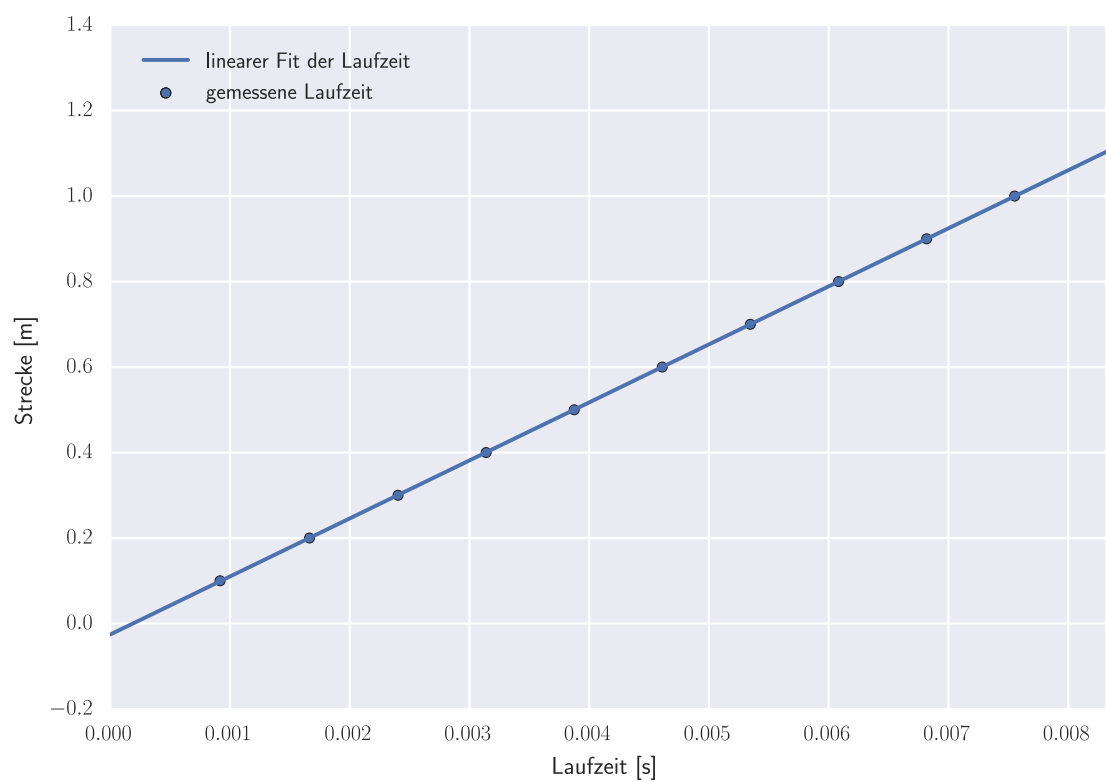
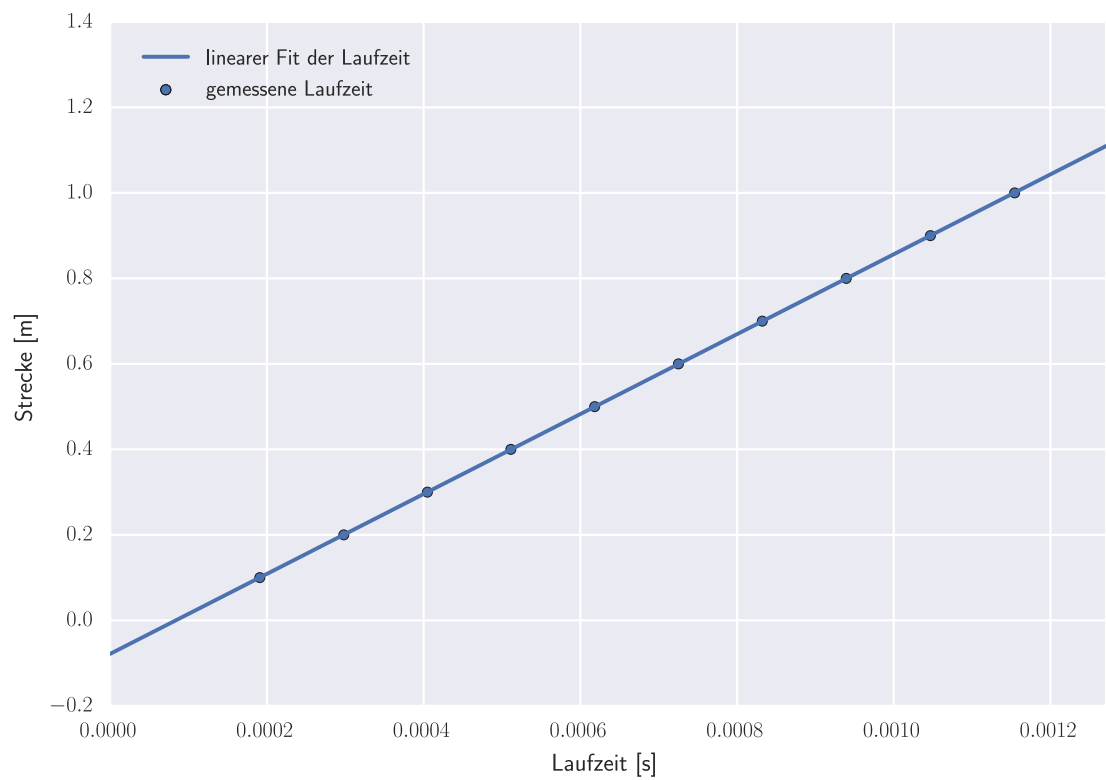
3 Auswertung

Bei allen Versuchen wurde im Behälter ein Unterdruck von -0.8 Bar erzeugt. Anschließend wurde das Rohr bis 0.3 Bar mit Gas gefüllt. Dies wurde jeweils zweimal gemacht um Rückstände des vorherigen Gases zu entfernen.

3.1 Laufzeitmethode

Bei der Laufzeitmethode wurde die Laufzeit vom Lautsprecher bis zum Mikrofon bei verschiedenen Distanzen gemessen. Mit einer Linearen Regression konnte dann die Schallgeschwindigkeit bestimmt werden. systematische Fehler wie die Wahl der Triggerschwelle, die Position des Mikrofons oder der Position des Lautsprechers sind im y-Achsenabschnitt t_0 enthalten und müssen somit nicht mehr berücksichtigt werden.

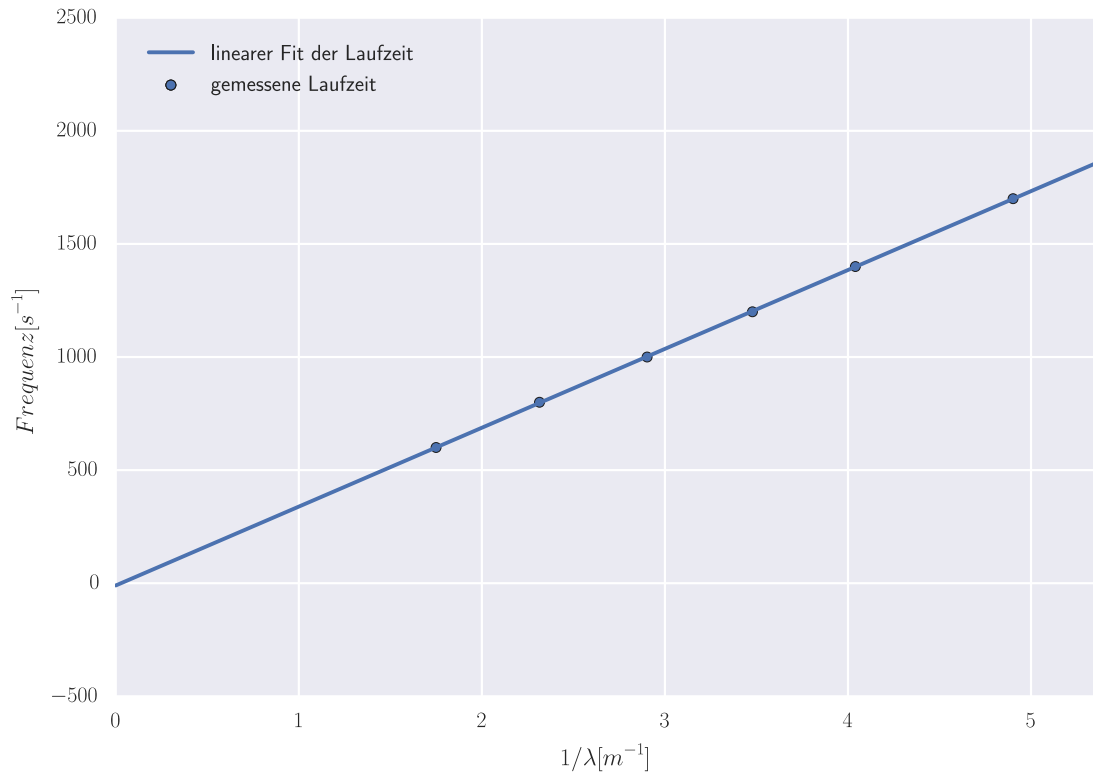


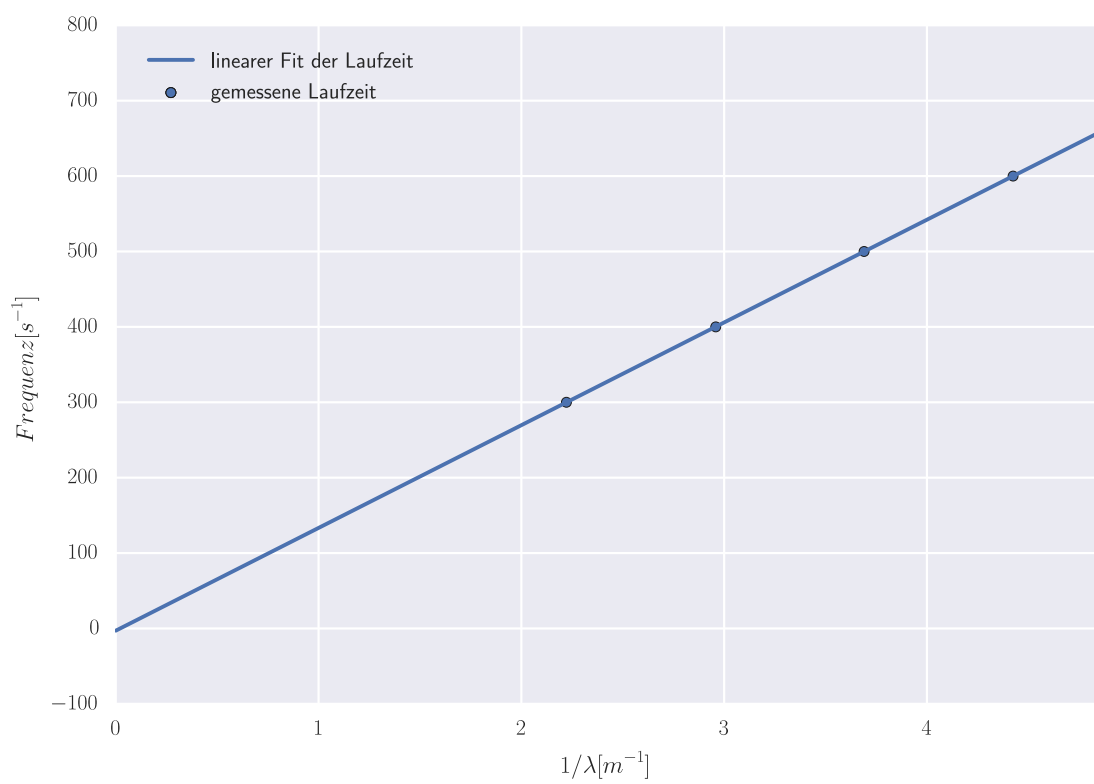
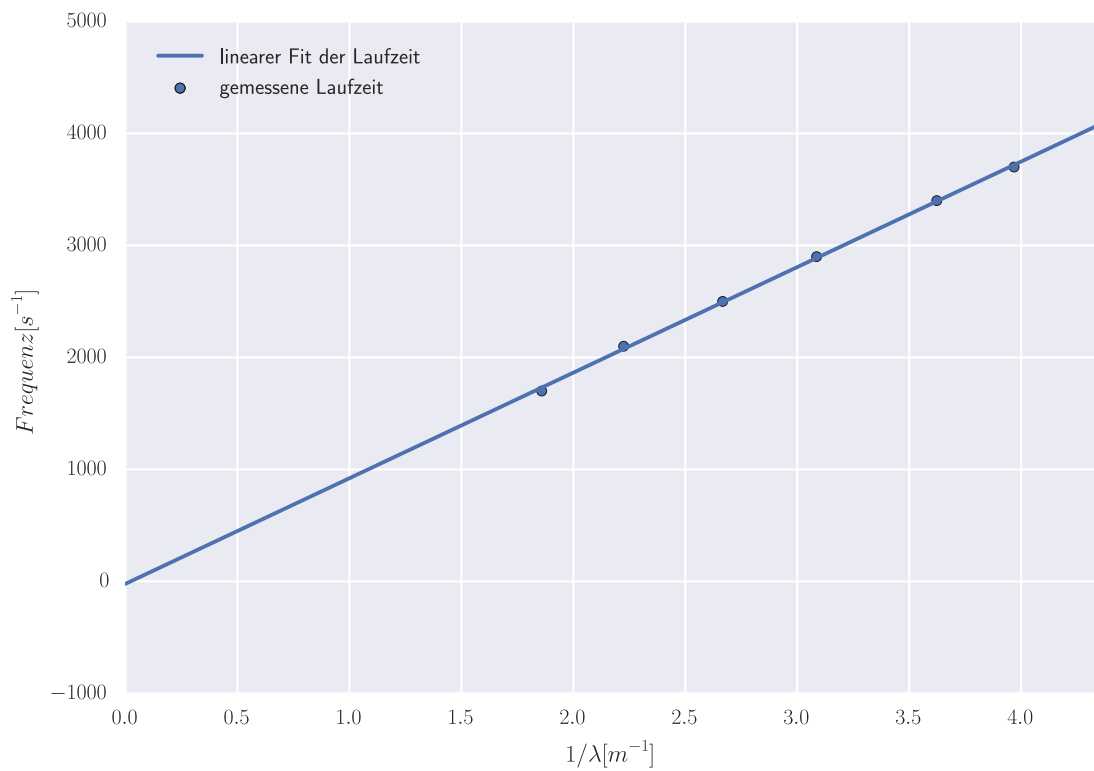


3.2 Resonanzmethode

Um eine anständige Messung zu kriegen, wurde zuerst eine Anfangsfrequenz bestimmt, bei welcher mindestens 3 konstruktive Interferenzen über die Messdistanz von einem Meter gemessen wurden. Da wurde dann eine Messung durchgeführt, sowie bei 5 weiteren, höheren Frequenzen.

Mit einem linearen Fit konnte dann vorzüglich die Schallgeschwindigkeit berechnet werden. Hierbei wurde die Formel in 6 verwendet.





- 4 Gasgemische**
- 5 Fehlerrechnung**
- 6 Resultate und Diskussion**