

Schallwellen

Durchführung am 7.10.16

1. Beschreibung des Versuchs

1.1. Ziel des Versuchs

Primäres Ziel des Versuchs ist es die Schallgeschwindigkeit in Luft zu bestimmen. Diese wird durch drei verschiedene Versuchsreihen ermittelt, welche ~~später~~ genauer beschrieben werden. ✓

1.2. Physikalische Grundlagen

Schwingungen beschreiben eine periodische Zustandsänderung.

Eine Welle ist eine sich räumlich ausbreitende Schwingung. Hier unterscheidet man zwischen transversalen und longitudinalen Wellen.

Eine transversale Welle ist senkrecht zur Ausbreitungsrichtung und eine longitudinale Welle ~~geht entlang~~ schwingt entlang der Ausbreitungsrichtung.

Schallwellen in Gasen sind longitudinale Dichteschwingungen, da das ^{sich} Medium ^{periodisch} verdichtet und verdünnt.

Außerdem gibt es Druckschwingungen, bei denen Druckänderungen eine Welle ~~erzeugen~~ verursachen.

Eine stehende Welle tritt auf bei Interferenz zweier gegenläufiger gleicher Wellen.

In einem geschlossenen Rohr befinden sich Druckbauche (~~Schwingungs~~ an der Wand ($n \cdot \frac{\lambda}{2}$) und Druckknoten bei $\frac{\lambda}{4}, \frac{3}{4}\lambda, \frac{5}{4}\lambda, \dots$. Im offenen Rohr ist dies genau umgekehrt. ✓

Eigenschwingungen entstehen bei Eigenfrequenzen und werden vom schwingenden System bevorzugt.

Resonanz tritt bei erzwungenen Schwingungen auf, wenn die Frequenz etwa so groß wie die

Eigenfrequenz wird. (Was können wir dann messen / hören?)

Eine harmonische Schwingung ist eine Schwingung, welche mit einer ganzzahlig Vielfachen einer Grund-

frequenz schwingt. Daher nennt man die Grundschwingung auch harmonische (Grundschwingung mit Grundfrequenz)

und sie ist die Teilschwingung mit der kleinsten Frequenz.

Alle weiteren Harmonischen nennt man Oberschwingungen. ✓

Die ideale Gasgleichung lautet $p \cdot V = NkT$ ($p \hat{=}$ Druck, $V \hat{=}$ Volumen, $N \hat{=}$ Anzahl der Moleküle, $k \hat{=}$ Boltzmannkonst., $T \hat{=}$ Temperatur)

In einem adiabatischen Prozess findet bei Temperaturänderung ~~keine~~ Wärmeaustausch mit der Umgebung statt.

Es gilt: $p \cdot V^\gamma = \text{const.}$ ($\gamma \hat{=}$ Adiabatenkoeffizient)

Bei einer Schallwelle variiert der Druck mit der Dichte.

Es gilt: $p \propto nKT$ ($n \hat{=}$ Teilchendichte)

Die Temperatur variiert dabei entlang der Welle. Der Temperaturverlauf $T(x,t)$ verläuft phasengleich zum Druckverlauf $p(x,t)$

Die Schallgeschwindigkeit c ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit im Medium des Schalls.

$c = \lambda \cdot f$ ($\lambda \hat{=}$ Wellenlänge, $f \hat{=}$ Frequenz)

Mit dem Kompressionsmodul K beschreibt man, welche allseitige Druckänderung nötig ist um eine bestimmte Volumenänderung zu erzielen.

Der Kehrwert des Kompressionsmodul ist die Kompressibilität κ :

$$\kappa = \frac{1}{K}$$

Zwischen der Schallgeschwindigkeit und der Frequenz besteht ~~ein~~ Zusammenhang, dieser wird Dispersion genannt. Allerdings ist dieser Zusammenhang für uns vernachlässigbar.

Für die Schallgeschwindigkeiten in Flüssigkeiten und Gasen der Dichte ρ gilt:

$$c = \sqrt{\frac{K}{\rho}}; \text{Dimensionsanalyse: } [K] = \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\left[\sqrt{\frac{K}{\rho}} \right] = \sqrt{\frac{\frac{\text{Pa}}{\text{kg/m}^3}}{\text{kg/m}^3}} = \sqrt{\frac{\text{N/m}^2}{\text{kg/m}^3}} = \sqrt{\frac{\frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2 \cdot \text{m}^2}}{\text{kg/m}^3}} = \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Mit Ultraschall bezeichnet man Schall mit Frequenz oberhalb des menschlichen Hörbereichs. Er umfasst Frequenzen ab etwa 16 kHz.

Für $c \approx \left(331 + 0,6 \frac{\Delta T}{K} \right) \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ist dies eine gute Näherung bei ~~der~~ ~~in~~ ~~geringen~~ ~~Abweichung~~ vom Gefrierpunkt 0°C .

~~In Quinischen Resonanzrohr entsteht eine größte verstellbare Luftsäule, die in einem einseitig geschlossenen Rohr schwingen kann.~~

~~die~~

Während adiabatischen Prozessen ist die Schallgeschwindigkeit für kleine Temperaturen ($> 0^\circ\text{C}$ bis $\approx 70^\circ\text{C}$)

proportional zu \sqrt{T} .

$$c = \sqrt{\gamma \frac{RT}{M_{\text{mol}}}} = 331 \sqrt{\frac{T}{273,15\text{K}}} \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx \left(331 + 0,6 \frac{\Delta T}{\text{K}} \right) \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Um dies zu zeigen für Werte nahe bei $0^\circ\text{C} = 273,15\text{K}$ betrachtet man die Taylorentwicklung bei $T_0 = 0^\circ\text{C} = 273,15\text{K}$.

$$c(T) = 331 \cdot \sqrt{\frac{T}{273,15\text{K}}} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\approx c(T_0) + c'(T_0) \cdot (T - T_0)$$

$$= 331 \frac{\text{m}}{\text{s}} + \frac{1}{2} \cdot \frac{331}{273,15\text{K}} \cdot \sqrt{\frac{273,15}{T_0}} \cdot (T - T_0) \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$= \underline{331 \frac{\text{m}}{\text{s}}} + 0,6 \cdot \frac{\Delta T}{\text{K}} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

In der Medizin werden Schallwellen z.B. bei einer Sonographie zur Untersuchung des inneren Organe eingesetzt.

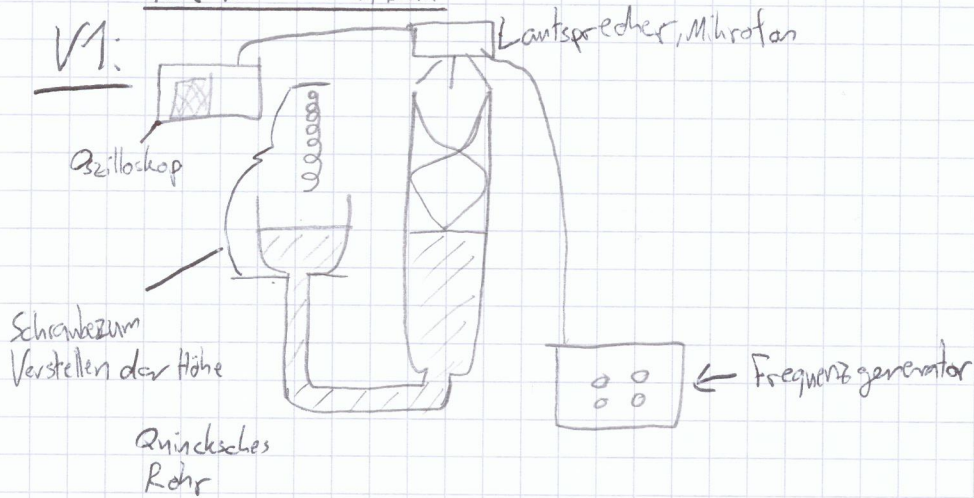
Dabei werden Ultraschallwellen von 2-20Hz eingesetzt, die Tumore ab etwa 0,75mm \rightarrow 0,07⁵mm ^{→ messen...} sichtbar werden können. ✓

Resonanzlängen... ?

Feld...

... ..

1.3. Versuchsaufbau



V2:

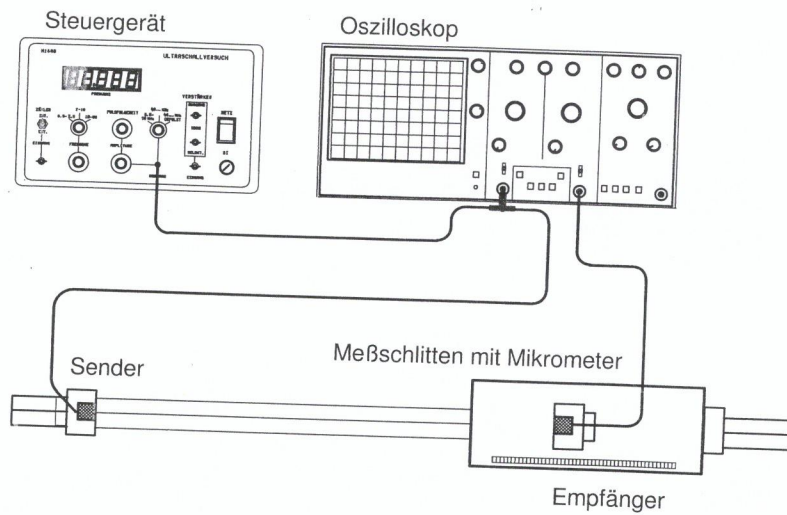


Abbildung 3.2: Versuchsanordnung für den Teil 2

V3:

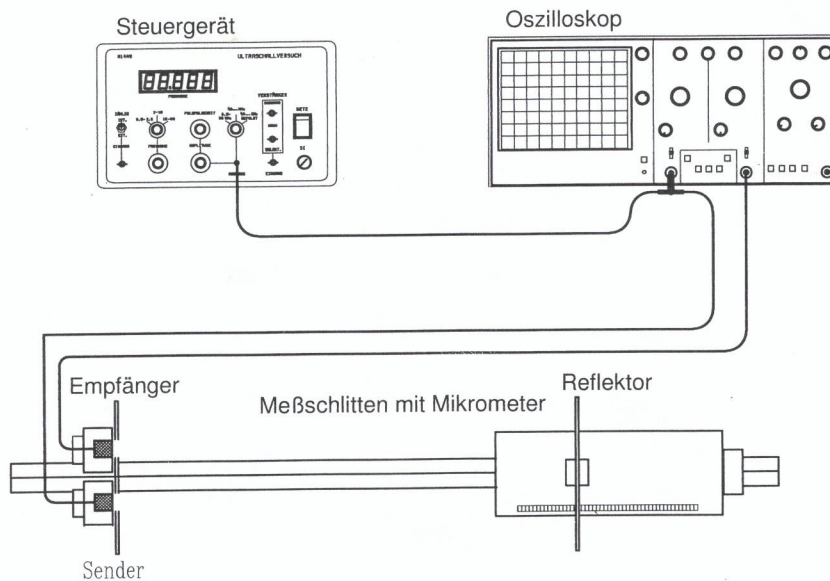


Abbildung 3.3: Versuchsanordnung für den Teil 3

Quelle?

bisshen erklären?

14. Versuchsdurchführung

V1: Die Luft wird von einem Lautsprecher, der an einen Frequenzgenerator angeschlossen ist, zu Schwingungen angeregt.

Diese Messung wird von jeder Gruppe für eine Frequenz durchgeführt. Für die Auswertung verwendet man dann die Messungen aller Gruppen.

Für jede der Frequenzen ändert man die Länge der Luftsäule langsam über den gesamten Einstellbereich, durch die Veränderung des Wasserspiegels mithilfe der Schraube, welche diesen verstellt.

Man ermittelt nun 8 Längen l_k ($k \in \{1, \dots, 8\}$) für die Resonanz auftritt. Diese Resonanz macht sich durch maximale Lautstärke bzw. maximale Signalamplitude bemerkbar. ✓

Die Messung erfolgt mit ~~Mikroskop~~ Mikrofon und Oszilloskop wie im Versuchsaufbau ^(13.14) skizziert wurde. ✓

V2: Mit einem Ultraschallsender wird eine Frequenz von 40 kHz erzeugt, bei der besonders scharfe Resonanz auftritt.

Nun verschiebt man den Empfänger mithilfe einer Mikrometerschraube, bis die Signale des Senders und Empfängers zur Deckung kommen. Sender und Empfänger stehen sich gegenüber.

Die dann erreichte Position wird von nun an als x_0 bezeichnet. Nun wird langsam die Position des Schlittens, welche auf dem Empfänger montiert ist, solange verschoben bis man eine Phasenverschiebung von 2π erreicht hat. Dies erkennt man an den erneut Deckungsgleichung Signalen auf dem Oszilloskop. Diese Position wird nun notiert anhand der auf dem Schlitten vorhandenen Skala. Man führt die nun 8 weitere Male durch und notiert sich die jeweiligen Werte.

Dieses Messverfahren wiederholen wir nun 4 mal für 4 verschiedene Startpositionen x_0 .

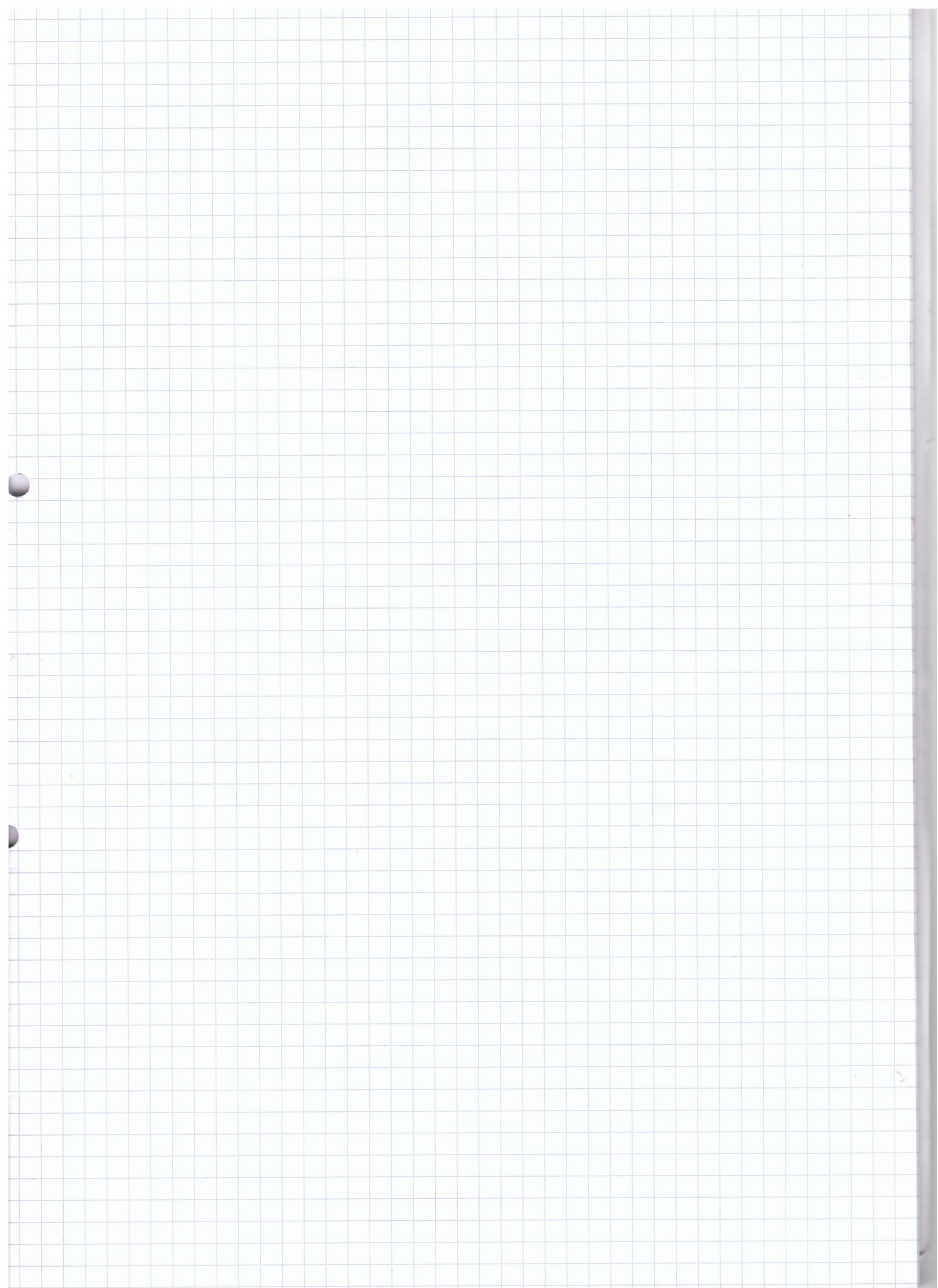
VS: Mit einem Ultraschallsender werden gepulste Frequenzen erzeugt. Diese Frequenzen betragen 40 kHz .

Diese werden vom Reflektor, dieser steht dem Sender gegenüber steht, zurück zum Sender geschickt.

Man misst nun die Laufzeit einer Reflektion, wie auch die Strecke Sender-Reflektor-Empfänger.

Um diese Laufzeit zu messen stellt man am Oszilloskop die Zeit pro Kästchen ein (divs). Das heißt ein Kästchen auf dem Oszilloskop eine bestimmte Zeit bestimmt.

Diese Messungen erfolgen nun für verschiedene Positionen des Reflektors, welchen man durch Verschiebung des Messschlittens ~~etwa~~ verändern kann. ✓



2. Messdaten und

Versuchsreihe 1

Messung mit Maximaltheil	$f_1 = 4 \text{ kHz}$	$f_2 = 6,024 \text{ kHz}$	$f_3 = 7,029 \text{ kHz}$	$f_4 = 5,033 \text{ kHz}$	$f_5 = 2,008$
1	45,9 cm	45,2 cm	45,7	45,8	37,2
2	41,6 cm	39,8 cm	42,4	42,4	28,7
3	37,1 cm	36,7 cm	39,1	39,2	19,8
4	32,8 cm	Maximum nicht auffindbar	36,4	35,5	10,9
5	28,6 cm	30,9 cm	33,2	32,8	-
6	24,4 cm	28,0 cm		29,2	
7	20,2 cm	25,6 cm			
8	16,0 cm	22,4 cm			

$f_{e1} = 0,02 \text{ kHz}$ $f_{e2} = 0,4 \text{ cm}$
 $s_{e1} = 0,5 \text{ cm}$ $f_{e3} = 0,02 \text{ kHz}$

f_1 Paul Janak

f_2 Rolf Severin $s_e = 0,4 \text{ cm}$

f_3 Daniel und Daniel $s_e = 0,4 \text{ cm}$

f_4 Erika und Eric $s_e = 0,5 \text{ cm}$

f_5 Benjamin Ali $s_e = 0,5 \text{ cm}$

Hameg Oszilloskop HM702-6

Zeit $\pm 3\%$

Spannung $\pm 3\%$

Druck: $(986 \pm 1) \text{ mBar}$

Temperatur 1 $21,9^\circ\text{C}$

Temperatur 2 $23,0^\circ\text{C}$

$f = 0,3\%$

Versuchsreihe 3

Abstand Sender/Empfänger in Kistchen	Differenz in Kistchen
43,2	4
49,1	4,9

div = 0,5ms Werts / Div 10V 50mV

Abstand Sender Empfänger auf Platte: $r = 5,2\text{cm}$

Frequenz: 40kHz gepulst

$s_d = 0,1\text{cm}$ $s_r = 0,1\text{cm}$

K₂ sorry nicht übersichtlich

Abstand Sender Reflektor d [cm]	Differenz in Kistchen
43,2	4
49,1	4,9
55,2	5,2
58,5	5,3
62,2	6,1

UT 2. Oktober
7. 10. 15

Versuchsreihe 2

Frequenz $f = 40\text{kHz}$

Oszilloskop systematisch nach rechts
Phasenverschiebung

$s_d = 0,01\text{mm}$ $s_{x_0} = 0,1\text{cm}$ ✓

i	$x_0 = 44,5\text{cm}$ Position auf Schlitzen	$x_0 = 22,4\text{cm}$	$x_0 = 49,5\text{cm}$	$x_0 = 39,4\text{cm}$
0	191,47 mm	144,63 mm	150,78 mm	107,21
1	183,00 mm	186,22 mm	144,63	98,75
2	174,67 mm	157,47 mm	136,37	80,39
3	166,90 mm	169,15 mm	127,81	81,85
4	157,45 mm	160,06	119,38	73,57
5	148,78 mm	152,17	110,88	65,12
6	140,46 mm	143,68	102,53	56,45
7	132,83 mm	135,25	94,24	47,96
8	123,27 mm	126,31	85,59	39,53
9	114,89 mm	118,01	76,02	31,33

3. Auswertung

Mehr Nachvollziehbarkeit durch mehr gante Sätze

3.1. Quinchesches Rohr

Temperatur	21,9°C	23°C				
Druck	986 mBar					
1. Messreihe						
	Frequenz	2kHz	3kHz	4kHz	5kHz	6kHz
	1	37,2	45,7	45,9	45,8	45,2
	2	28,7	42,4	41,6	42,4	39,8
	3	19,8	39,1	37,1	39,7	36,7
	4	10,9	36,4	32,8	35,5	
	5		33,2	28,6	32,8	30,9
	6			24,4	29,2	28
	7			20,2		25,6
	8			16		22,4
Steigung		8,78	3,1	4,26	3,31	2,85
Wellenlänge / cm		17,56	6,2	8,52	6,62	5,7
Schallgeschwindigkeit		351,2	186	340,8	331	342 $\frac{m}{s}$

Beurteilung ob lin. Regression SINN macht

$S_m?$ \leftarrow

Formel für (c_r) taucht nie auf?

$$m = \frac{\lambda}{2} \Rightarrow \lambda = 2m$$

$S_2?$

$$c_L = \lambda \cdot \nu$$

(\uparrow bisschen chaotisch)

Mittelwert der Schallgeschwindigkeiten (ohne den der 3 kHz Messung \checkmark)

$$\bar{c}_L = \frac{1}{4} \cdot \sum_{i=1}^4 c_{Li} = 341,25 \frac{m}{s}$$

Streuung der Ergebnisse

$$s_{c_{Li}} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (c_{Li} - \bar{c}_L)^2} = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot 204,83} = 8,26 \frac{m}{s}$$

(S_{c_L}) aus s_2 & $(s_f) \Rightarrow$ macht \bar{c} (MW-Billog) Sinn!

$$S_{\bar{c}_L} = \frac{s_{c_{Li}}}{\sqrt{n}} \Rightarrow \bar{c}_L = (341,25 \pm 8,26) \frac{m}{s}$$

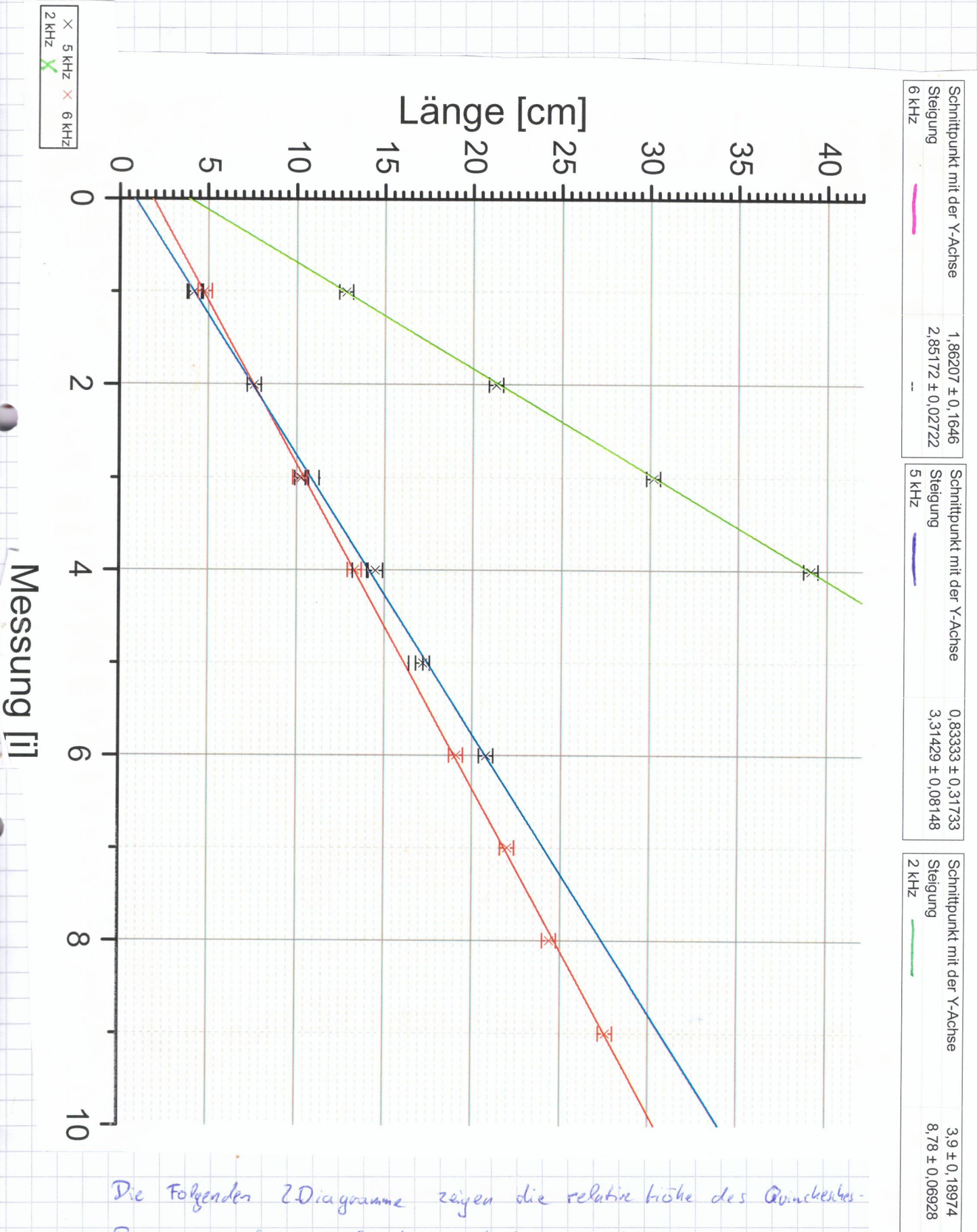
Die Steigungen „ w “ wurden mit einer linearen Regression auf Origin ausgerechnet. (siehe Diagramm)

Der Übersicht wegen wurden hierfür 2 Diagramme erstellt.

Trägt man die Steigungen auf die Frequenzen auf, so ist schnell ersichtlich, dass die Messung der mit 3 kHz vernachlässigbar ist und aus der Reihe fällt.

Der Relative Fehler beträgt 2%

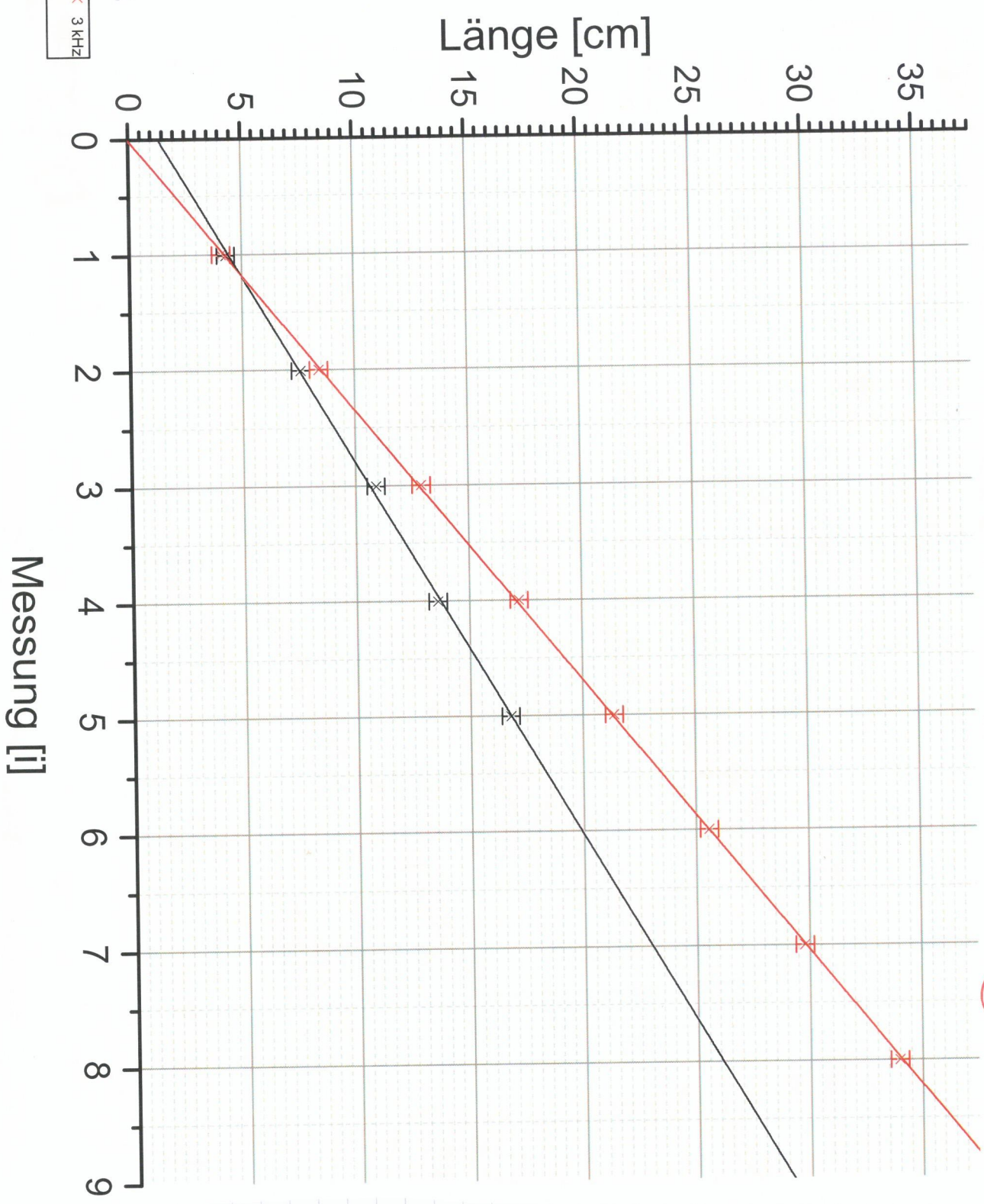
Formeln lin. Regression?



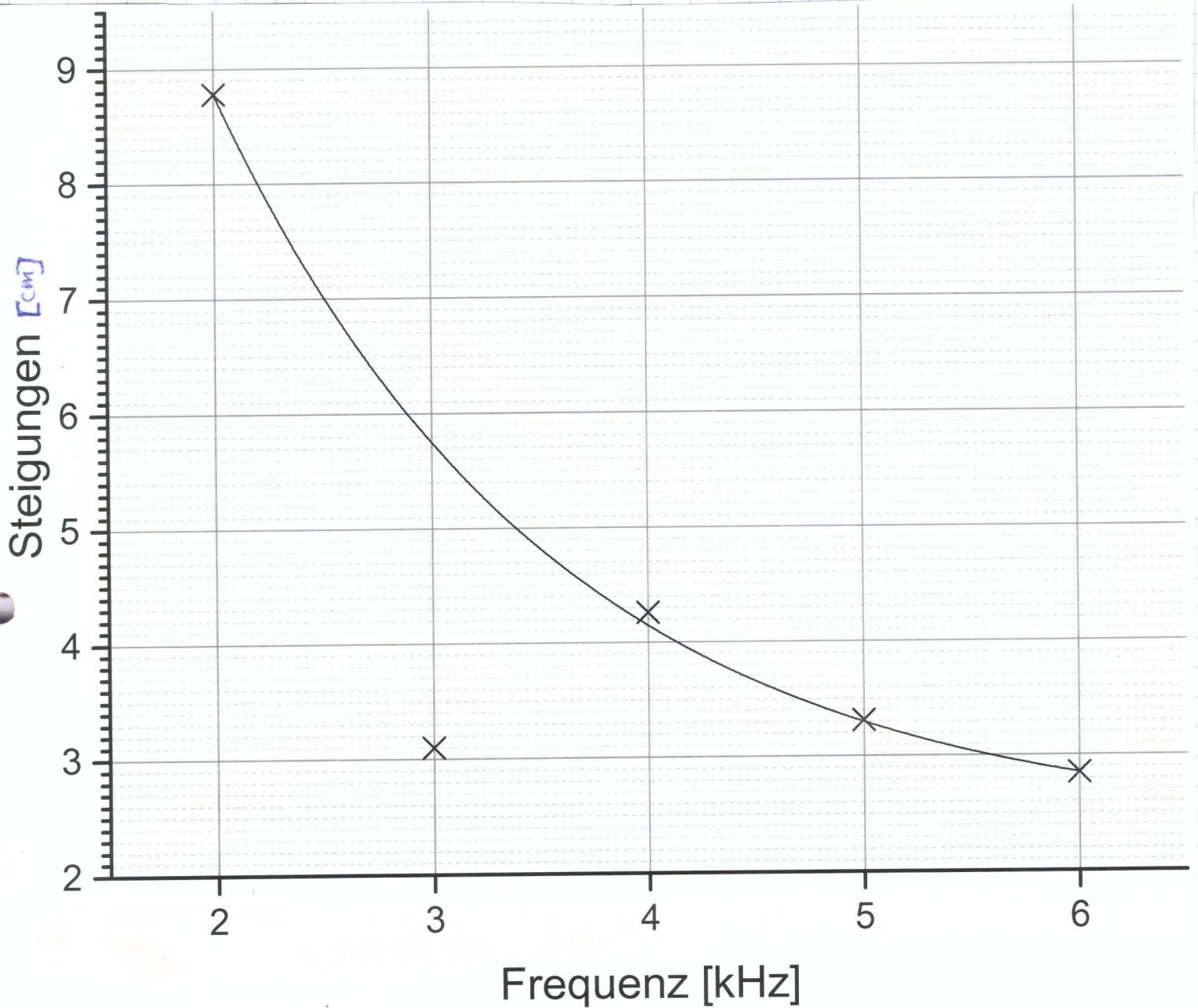
Die folgenden 2 Diagramme zeigen die relative Höhe des Quinches-Rohrs aufgetragen auf die gefundenen Amplitudenmaxima

Schnittpunkt mit der Y-Achse Steigung 4 kHz	$-0,03571 \pm 0,09792$ $4,26905 \pm 0,01939$	Schnittpunkt mit der Y-Achse Steigung 3 kHz	$1,34 \pm 0,20265$ $3,1 \pm 0,0611$
---	---	---	--

*Welche ist 1!
Welche ist 2!*



x 4 kHz x 3 kHz



Da $\frac{S}{v} = \lambda$ haben wir die Steigungen auf die Frequenzen aufgetragen, um zu zeigen, dass der Wert aus der 3kHz Messung rausfällt. Theoretisch müssten sich die Werte auf einer $\frac{1}{x}$ Funktion aufhalten. Daher haben wir die Messung beim Mitteln nicht berücksichtigt.

↑

✓

(rote Faden:
Messung ist ausschließen & dann berechnen.)

↓

3.2 Ultraschall, Messung der Wellenlänge

2. Messreihe					
	$S_s = 0,01 \text{ mm}$		S_{x_0}	0,1	cm
Frequenz	40 kHz		se?		
X_0 [mm]	445	224	495	394	
Anfangsposition [mm]	191,47	194,69	153,78	107,21	
Rel. Pos					
	1	8,47	8,47	9,15	8,46
	2	16,8	19,22	17,41	16,82
	3	24,57	25,54	25,97	25,36
	4	34,02	34,63	34,4	33,64
	5	42,69	42,52	42,9	42,03
	6	51,01	51,01	51,25	50,76
	7	58,64	59,44	59,54	59,25
	8	68,26	67,78	68,19	67,68
	9	76,66	76,68	77,76	75,88
Steigungen	8,538	8,378	8,513	8,453	
	Mittelwert d. Steigung		8,4705		
	Schallgeschwindigkeit		338,82	m/s	

Vollst.: ↑ mit Fehlern! auch für Steigungen!
 ! jede einzelne!

Auch hier werden die Steigungen mit Origin berechnet.
 der Mittelwert wurde mit der Formel $\bar{m} = \frac{1}{n} \sum m_i$
 berechnet und beträgt $\bar{m} = 8,4705$ die Frequenz
 betrug 40 kHz, daraus folgt eine Schallgeschwindigkeit
 von $338,82 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Der Fehler auf diese berechnet sich mit:

i) $c = \lambda \cdot \overset{\leftarrow \bar{m}}{\nu}$

ii) $S_x = 2 \cdot S_m$ ✓

iii) $S_c = c \cdot \sqrt{\left(\frac{S_p}{p}\right)^2 + \left(\frac{S_\lambda}{\lambda}\right)^2}$ ✓

S_m ? woher? oder mehr
 ihr S_m ? ???

$$S_c = 338,82 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \sqrt{\left(\frac{0,02 \text{ mm}}{40 \text{ kHz}}\right)^2 + \left(\frac{0,009}{8,4705}\right)^2} = 1,979 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\Rightarrow c = (338,82 \pm 1,9) \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

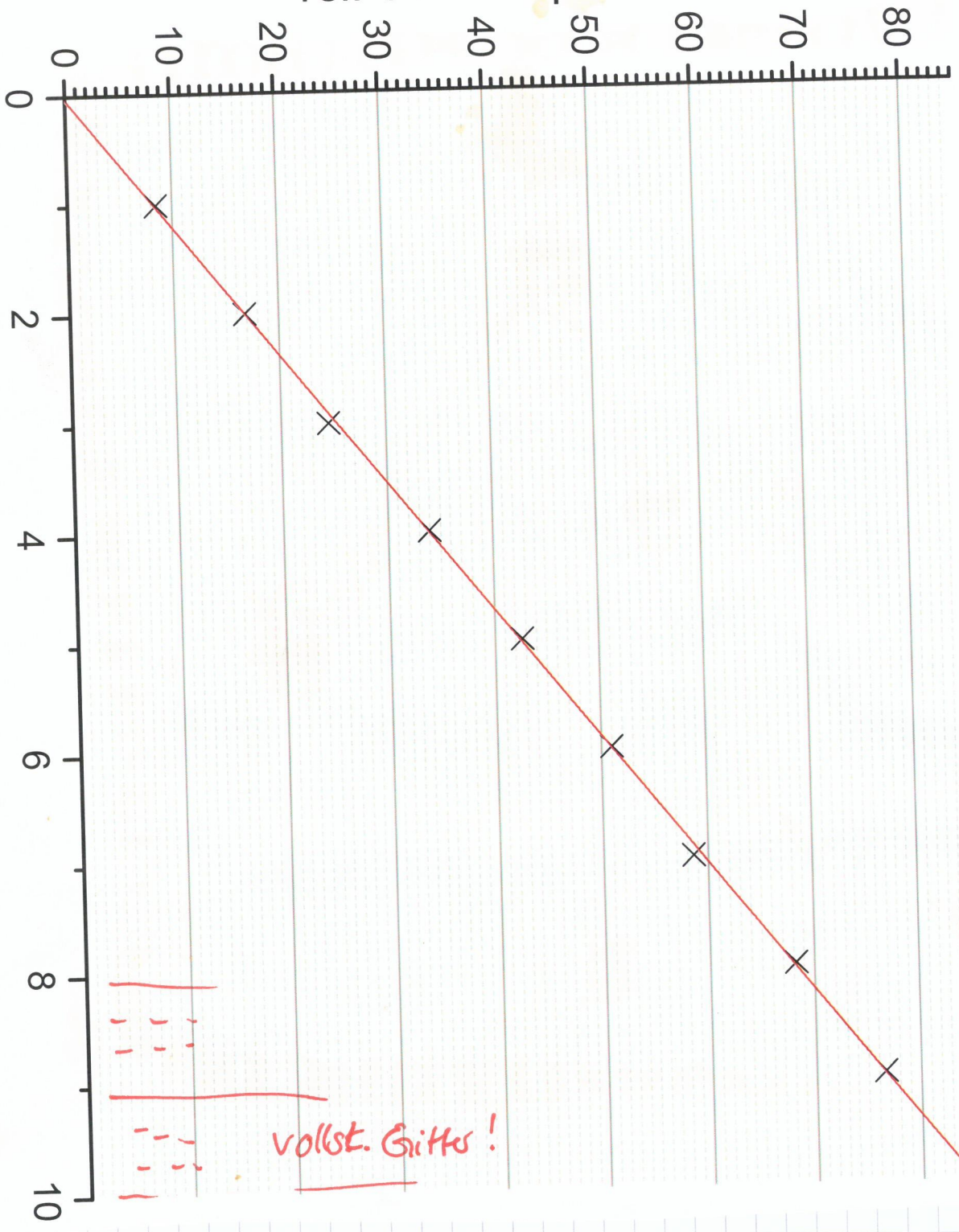
Der relative Fehler liegt bei 0,5%

⇒ Unvollst.: Tathergang hier für S_m aus Fortpflanz.
 S_{m_i} analytisch oder aus $S_{m_i} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum \epsilon c \bar{m}}$
 sodass $S_{\bar{m}} = \frac{S_{m_i}}{\sqrt{n}}$? Ich vermute hier
 einen Wohl.-Fehl.
 "
 "

rel. Schlittenposition [mm]

Schrittpunkt mit der Y-Achse
Steigung
x0

-0,3425 ± 0,33379
8,53783 ± 0,05932
44,5cm



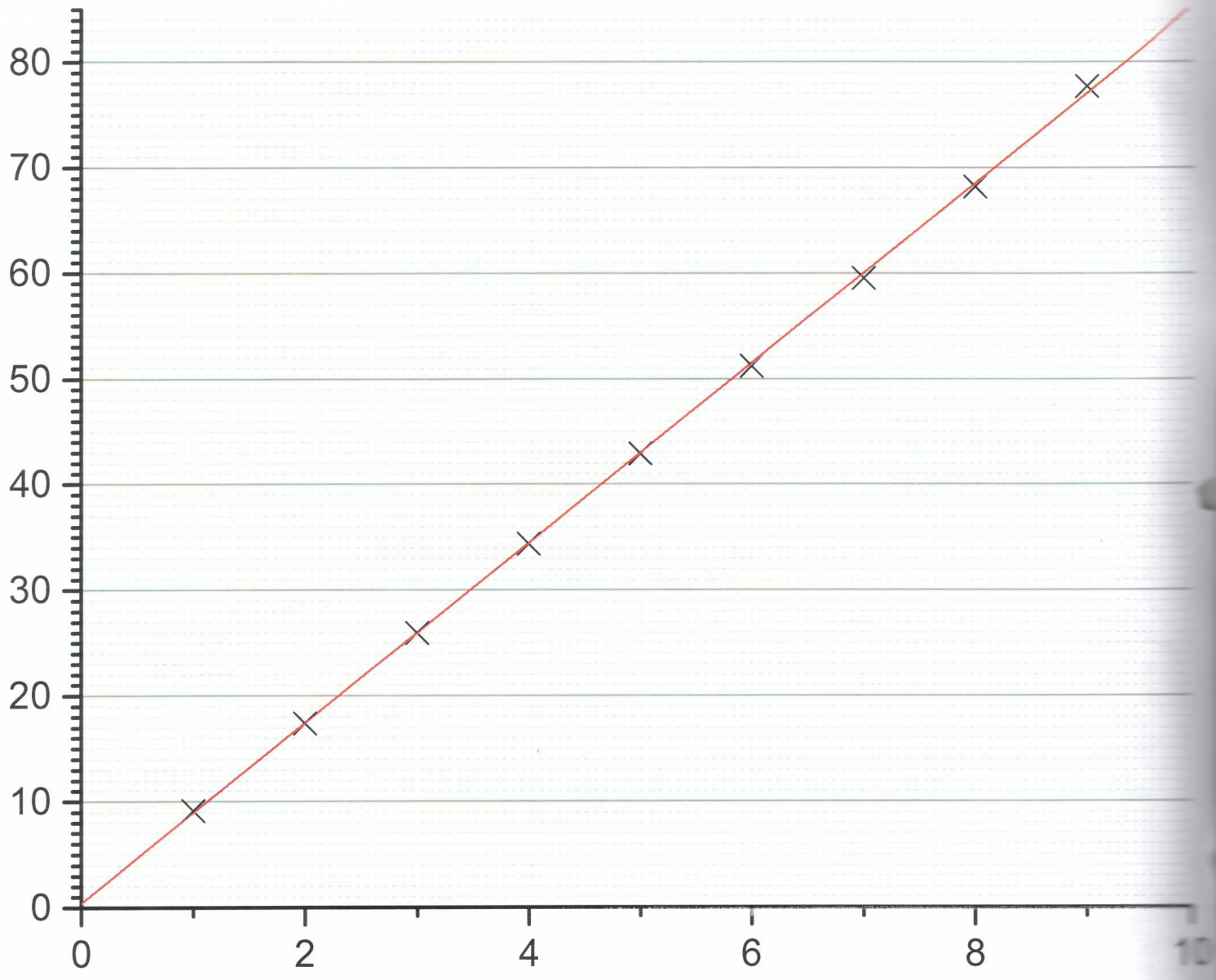
Phasen übereinstimmungen [m]

vollst. Gitter!

In den folgenden 4 Diagrammen, ist die relative Schlittenposition für je einen anderen Anfangswert x_0 auf die jeweils n -ten Phasen übereinstimmungen aufgetragen. Der Fehler auf die Schlittenposition ist $S_{rel} = \sqrt{S_{x_0}^2 + S^2} = 0,1 \text{ cm}$ und auf den Diagrammen nicht zu erkennen. ✓

(Warum nicht alle in 1?)

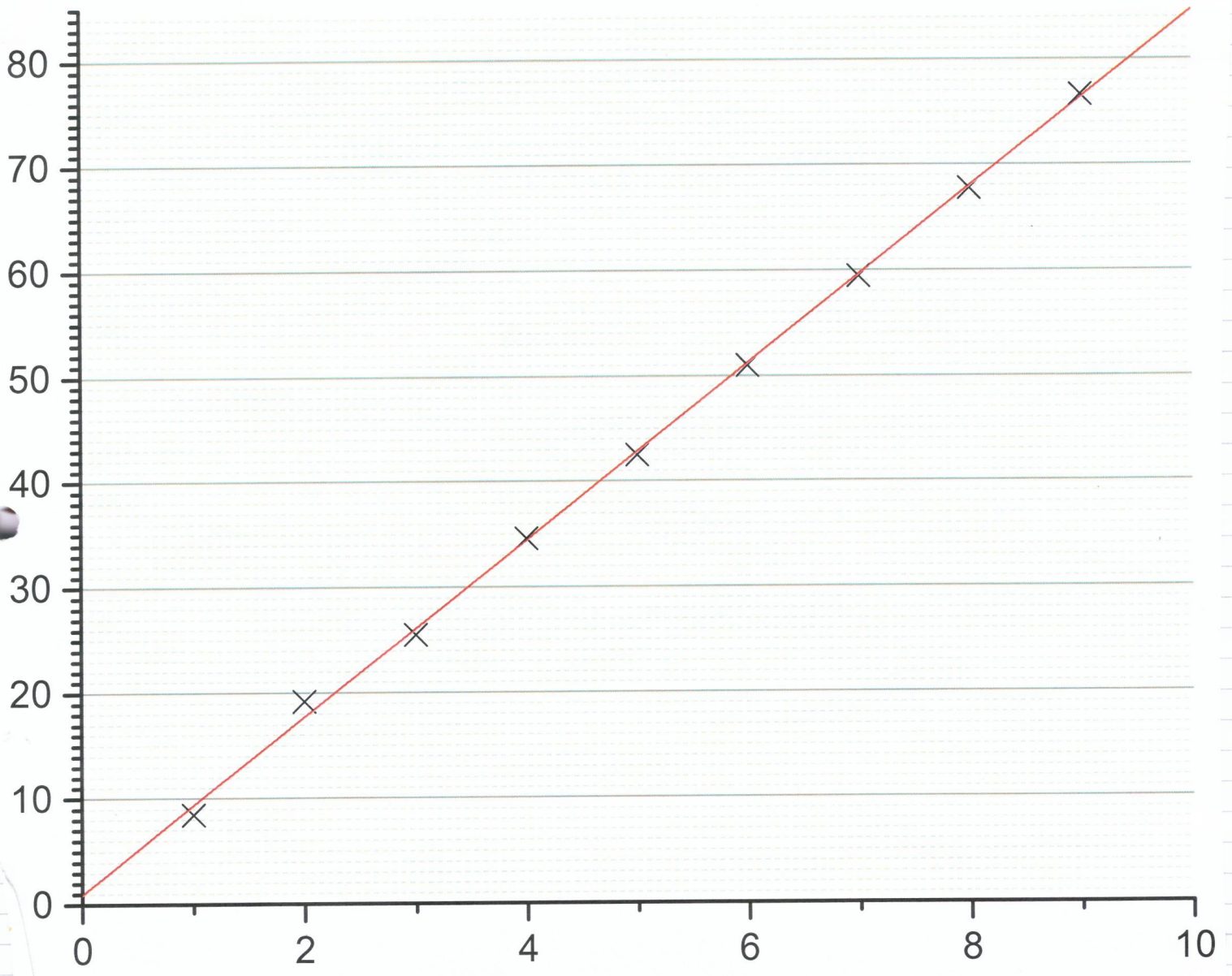
Schnittpunkt mit der Y-Achse	$0,38806 \pm 0,27028$
Steigung	$8,51283 \pm 0,04803$
X0	49,5 cm



Phasen übereinstimmungen [n]

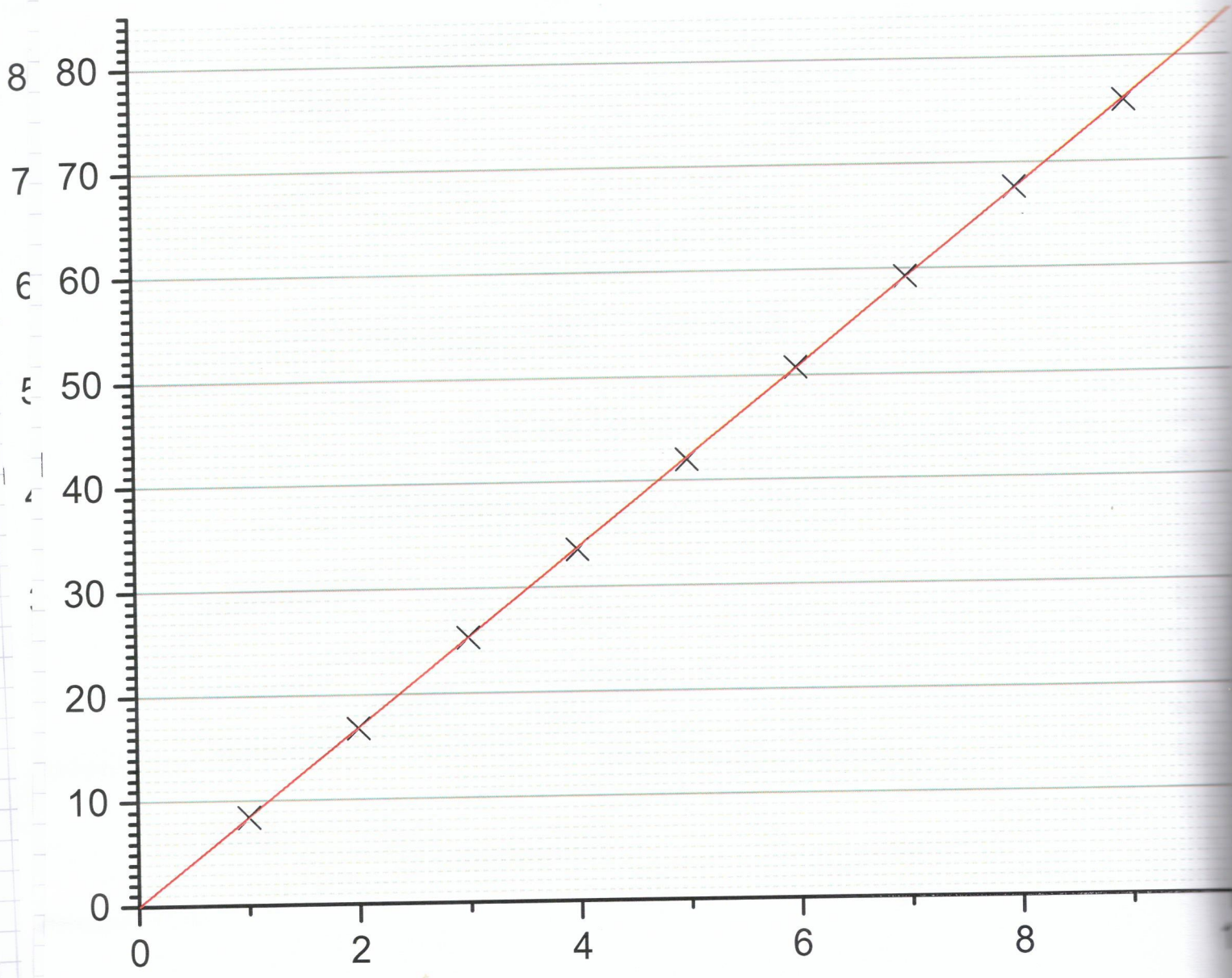
(Faint handwritten notes in red ink, possibly indicating a value or calculation related to the data.)

Schnittpunkt mit der Y-Achse	$0,91833 \pm 0,52529$
Steigung	$8,37833 \pm 0,09335$
X0	22,4cm



Phasen übereinstimmungen [n]

Schnittpunkt mit der Y-Achse	$-0,05444 \pm 0,09265$
Steigung	$8,45267 \pm 0,01647$
X0	39,4 cm



Phasen übereinstimmungen [m]

3.3 Ultraschall, Messung der Laufzeit

3. Messreihe						
l Strecke [cm]	Genauere Strecke [cm]	Verzögerung [ms]		Fehler [ms]		
43,2	43,278	8	2	0,24	0,06	
49,1	49,169	9,8	2,45	0,294	0,075	
55,2	55,261	10,4	2,6	0,312	0,078	
58,5	58,558	10,6	2,65	0,318	0,08	
62,2	62,254	12,2	3,05	0,366	0,09	

Sender und Empfänger waren in einem Abstand von 5,2 cm angebracht die „Genauere Strecke“ wurde anhand des Pythagoras berechnet und ~~ist~~ auch nur die halbe Strecke **dann doppelte in Tabelle!** **FORMEL!**
 Die lin. Regression **FORMELN!** wurde mit gewichteten Fehler durchgeführt und brachte uns einen Wert der Steigung von $383,51 \frac{m}{s}$ und einen Fehler auf diese von $6,26 \frac{m}{s}$

$$\Rightarrow c_L = (383,51 \pm 6,26) \frac{m}{s}$$

Die Fehler in x-Richtung sind durch die 3% Unsicherheit des Oszilloskops gegeben. Die Fehler in y-Richtung sind sehr klein, und liegen in einer Größenordnung von $0,1 \text{ cm}^*$ in Luft, bei 23°C hat der Schall eine theoretische Geschwindigkeit von $345,17 \frac{m}{s}$

$$c_{\text{Luft}} = 331 \cdot \sqrt{\frac{T}{273,15}} \approx (331 + 0,6 \cdot \frac{\Delta T}{K}) \frac{m}{s} = 345,17 \frac{m}{s}$$

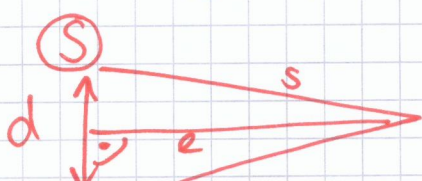
$23 \Rightarrow 344,8 \frac{m}{s}$

Der Relative Fehler beträgt 1,6%

* mit folgender Formel berechnet worden: $s_d = 0,1 = s_e$ [cm]

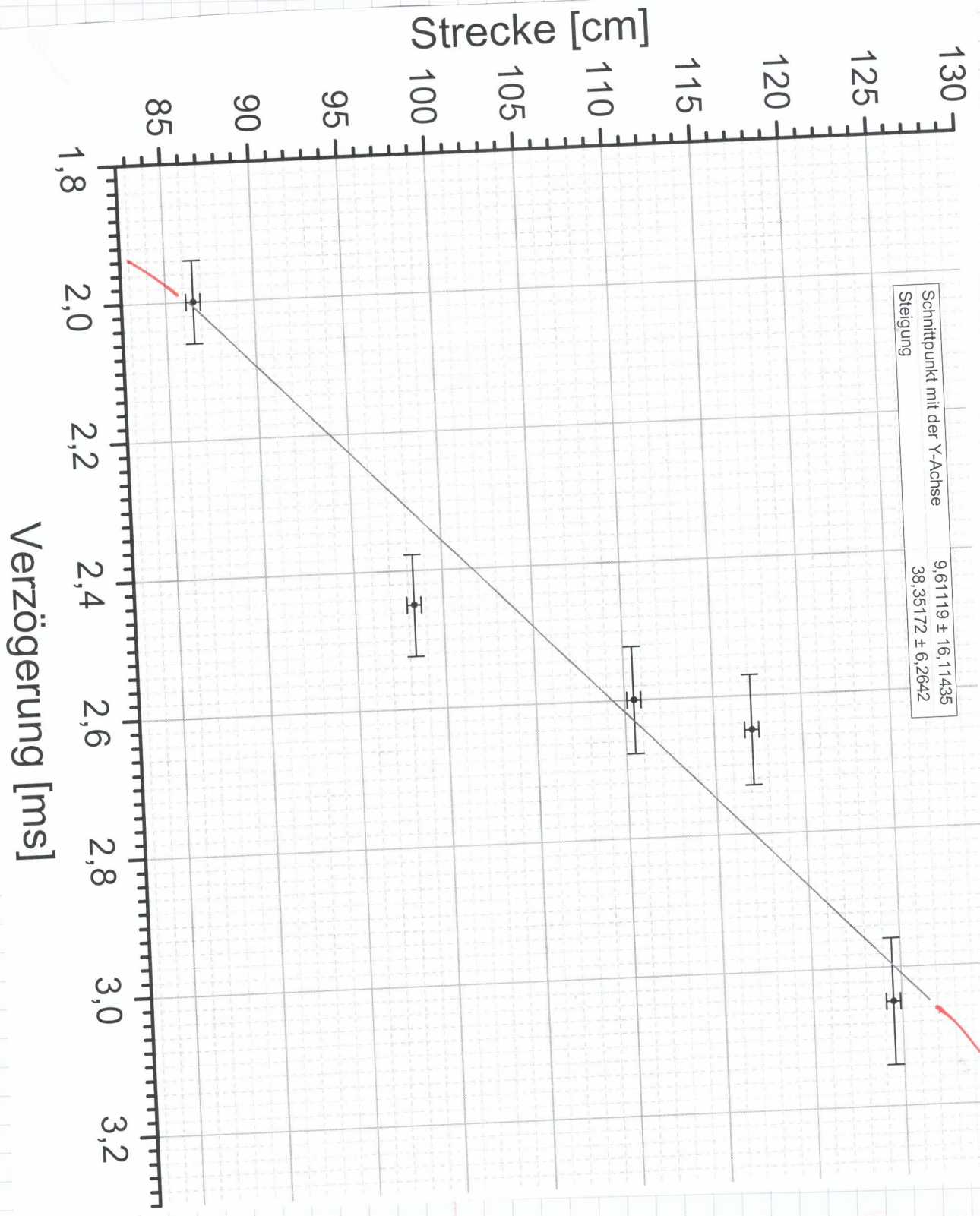
$$s_x = \sqrt{\left(s_d \cdot 4d \frac{1}{\sqrt{d^2+l^2}}\right)^2 + \left(s_e \cdot 4l \frac{1}{\sqrt{d^2+l^2}}\right)^2} = 4s \sqrt{d^2 \frac{1}{d^2+l^2} + l^2 \frac{1}{d^2+l^2}}$$

$$= 4s = 0,4 \text{ cm}$$



FORMEL Genauere Strecke = $\sqrt{d^2 + l^2}$?

kommutativ
 nur
 Konsistenz d.
 Fehlerhalten
 4
 Bedeutsamkeit
 d. lin. Regr.



Handwritten notes at the bottom of the page, including a diagram of a coordinate system with axes labeled x and y , and some faint text that appears to be a formula or calculation.

4 Zusammenfassung und Diskussion

Zuerst möchten wir unsere indendrei Messreihen ermittelten Schallgeschwindigkeiten auflisten:

Versuchsreihe 1: $c_1 = (341,25 \pm 8,26) \frac{m}{s}$

Versuchsreihe 2: $c_2 = (338,82 \pm 1,97) \frac{m}{s}$

Versuchsreihe 3: $c_3 = (383,51 \pm 6,26) \frac{m}{s}$

Unser theoretisch errechneter Wert bei $23^\circ C$ Raumtemperatur beträgt $345,17 \frac{m}{s}$. ✓

Vergleicht man den Wert aus der ersten Versuchsreihe ~~stelt~~ mit dem theoretisch errechneten Wert stimmen diese innerhalb einer Standardabweichung überein. Hier wurde der Wert für $3k Hz$ allerdings nicht mit in die Auswertung einbezogen, da dieser Wert zu weit von einem realistischen Ergebnis abweicht. Da wie die in dieser Messreihe ermittelten Messwerte zu erwarten können

~~keine Abgabe zu dem Punkt~~

wir diese große Abweichung nicht begründen. (Aber auch Gedanken machen was passiert ist...)

Der relative Fehler beträgt 2% ~~aber~~ und ist damit größer als der Fehler relative Fehler von Messreihe 2, welcher mit nur $0,5\%$ einen hervorragenden Wert liefert. Wir vermuten, dass der zweite Versuchsaufbau daher der genaueste ist.

Wir können diese Vermutung darauf zurückführen, da wir mit dem Oszilloskop auf eine dauerhafte Frequenz keine Fehler haben und die Schlittenposition mit einer Micrometerschraube **+ viele Messpkt.** einstellen könnten. **Beobachtung! wäre drin gewesen...**

Allerdings ist unser Ergebnis nur in 4 Standardabweichungen mit dem theoretisch errechneten Wert übereinstimmend. Das könnte zum einen daran liegen, dass während des Versuchs die Temperatur nicht konstant war oder der Versuchsaufbau nicht systematischen Schwankungen unterliegt. ?

In der dritten Messreihe haben wir die größte Abweichung vom theoretischen Wert, sowie eine große Abweichung zum Ergebnis aus Versuchsreihe 1 & 2, diese beiden vertragen sich gut bei Betrachtung der Ergebnisse.

Betrachtet man die Grafik auf Abschnitt 3.3, stellt man fest dass $\frac{2}{3}$ unsere Werte inklusive Fehlerbalken nicht auf der Geraden liegen. **Der Wert stimmt**

Der ermittelte Wert für die Schallgeschwindigkeit dieser Messreihe liegt in 6-7 Standardabweichungen mit dem theoretischen Wert. Das könnte an einer großen Abweichung am Oszilloskop

... mit hoch ... **✓**

Zusätzlich könnte ein Fehler im Aufbau vorliegen, da die Platt Reflektor- und Senderplatte eventuell nicht genau parallel zueinander standen, und dadurch die Strecke verändern. ✓ OSN-einstellung ok?

(wenig... → bisschen chaotisch auch hier)
(~~Bei~~ jeden Teil vergleichen?
Teilweise disk. in jedem Teil?
Mögl. Fehlerquellen, Vor- & Nach-
teile, Versuchsaufbau & Effizienz...)

Größtes Manko: Auswertung (Formeln & Fehlerrechnung fehlen!)

Sternstunden: Argumentation in Messreihe 3