

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Motivation</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Aufgabenstellung</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Theorie</b>	<b>3</b>
3.1	Der Mitführungskoeffizient . . . . .	3
3.2	Der Dispersionsterm . . . . .	4
3.3	Der Ringlaser . . . . .	5
<b>4</b>	<b>Versuchsaufbau</b>	<b>7</b>
<b>5</b>	<b>Auswertung</b>	<b>8</b>
5.1	Variation der Durchtrittspunktes . . . . .	8
5.2	Variation der Drehzahl . . . . .	12
5.3	Berechneter Wert von $\alpha$ . . . . .	13
<b>6</b>	<b>Fazit</b>	<b>14</b>
<b>7</b>	<b>Anhang</b>	<b>15</b>
7.1	Fehlermatrizen zur Durchtrittsvariation . . . . .	15
7.2	Messdaten . . . . .	16

# 1 Motivation

Im Rahmen dieses Versuches möchten wir den Mitführungskoeffizienten  $\alpha$  bestimmen. Dieser beschreibt den Einfluss der Bewegung eines Mediums auf die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Licht in diesem. Hierzu wird ein Ringlaser mit einer rotierenden Quarzscheibe verwendet. Dabei misst man einen Unterschied zweier gegenläufiger Lichtstrahlen.

## 2 Aufgabenstellung

Wir wollen den Mitführungskoeffizienten durch die Messung der Schwebungsfrequenz der beiden gegenläufigen Strahlen bestimmen.

- Zunächst variieren wir den Auftreffpunkt  $x_0$  des Laserstrahls auf die Quarzplatte. Mit Hilfe des PC-Programmes werden dann die Peaks einer Zeitperiode bestimmt.
- Als nächstes wird für ein jeweils festes  $x_0$  die Drehzahl  $T$  der Quarzplatte variiert. Wieder wird die Anzahl der Peaks aufgezeichnet, woraus sich später  $\alpha$  bestimmen lässt.

Letztlich wollen wir noch unsere experimentell bestimmten Werte von  $\alpha$  mit dem berechneten Wert vergleichen.

## 3 Theorie

### 3.1 Der Mitführungskoeffizient

Ursprünglich stammt der Mitführungskoeffizient aus der Äthertheorie und wurde erstmals von Fresnel beschrieben, daher wird er auch der Frensel'sche Mitführungskoeffizient genannt. Man ging damals davon aus, dass ein bewegter Körper mit einer Geschwindigkeit  $w$ , sich relativ zu einem ruhenden Äthermedium bewege. Womit eine Geschwindigkeitsänderung von Licht, durch mitführen der Lichtwelle im Äther, herbeiführt wird. Somit erhielt man eine Lichtgeschwindigkeit von:

$$v = \frac{c}{n} \pm \alpha w \quad (1)$$

Welche für einen ruhenden Beobachter gilt. Mittlerweile ist es möglich den Mitführungskoeffizienten  $\alpha$  aus der relativistischen Geschwindigkeitsaddition herzuleiten. Ausgehend von einer Lorentz-Transformation ergibt sich:

$$v = \frac{v' \pm w}{1 \pm \frac{v' \cdot w}{c^2}} \quad (2)$$

Mit  $v'$  als Lichtgeschwindigkeit im bewegten System und  $c$  als Lichtgeschwindigkeit im Vakuum, siehe hierzu Abb. 1. Weiter gilt:

$$v' = \frac{c}{n} \quad (3)$$

Setzt man dies nun in Gl.(2) ein und verwendet die Näherung  $\frac{1}{1+x} \approx (1-x)$  unter der Annahme  $w \ll c$  erhält man:

$$v \approx \frac{c}{n} \pm \left(1 - \frac{1}{n^2}\right) w \quad (4)$$

Wenn man dies nun mit Gl.(1) vergleicht, erkennt man den Zusammenhang

$$\alpha = 1 - \frac{1}{n^2} \quad (5)$$

welcher bereits von Frensel als Ansatz für den Mitführungskoeffizienten bestimmt wurde.

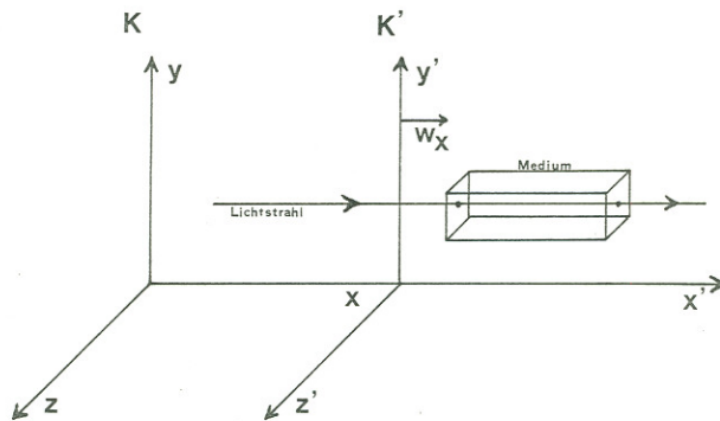


Abbildung 1: Lichtstrahl in bewegtem Medium  
(Quelle: [1])

### 3.2 Der Dispersionsterm

Der Frensel'sche Mitführungskoeffizient wurde Anfang des 20. Jahrhundert durch einen weiteren Term, welcher zusätzlich zur Brechung auch den Dopplereffekt berücksichtigt, ergänzt. Dies war der sogenannte Dispersionsterm. Der Brechungsindex  $n$  eines Mediums ist immer abhängig von der Frequenz des einfallenden Lichts, also gilt im Allgemeinen  $n(v')$ . Das Medium bewege sich nun mit einer Geschwindigkeit  $w_i$ , weswegen man für die Frequenz im bewegtem Medium den Dopplereffekt berücksichtigt. Man erhält:

$$v' = v \frac{c \mp w_i}{c} = v \left(1 \mp \frac{w_i}{c}\right) \quad (6)$$

Durch Umformung und Näherungen (die Herleitung kann in der Arbeit von Ippendorf (Quelle: [1]) nachvollzogen werden) ergibt sich letztlich für die Geschwindigkeit:

$$v = \frac{c}{n} \pm w_r \left(1 - \frac{1}{n^2} + \frac{w_i}{w_r} \frac{v}{n^2} \frac{dn}{dv}\right) \quad (7)$$

oder, bezogen auf die Wellenlänge:

$$v = \frac{c}{n} \pm w_r \left( 1 - \frac{1}{n^2} - \frac{w_i}{w_r} \frac{\lambda}{n^2} \frac{dn}{d\lambda} \right) \quad (8)$$

Da wir in diesem Fall eine rotierende Quarzscheibe verwenden gilt die Relation:  $\frac{w_i}{w_r} = n$ , woraus sich schließlich als Grenzwert für die allgemein gültige Formel 8, folgende Gleichung ergibt:

$$v = \frac{c}{n} \pm w_r \left( 1 - \frac{1}{n^2} - \frac{\lambda}{n} \frac{dn}{d\lambda} \right) \quad (9)$$

### 3.3 Der Ringlaser

Prinzipiell besteht ein Laser aus drei Komponenten: einem aktiven Medium, einem optischen Resonator und einer Energiepumpe. In diesem Fall ist besteht das aktive Medium aus einem Helium-Neon Gasgemisch, das Term-Schema ist in Abb.(2) zu sehen. Gewünscht wird der Übergang  $\lambda = 632,8nm$ . Da der Übergang  $\lambda = 3391$  jedoch wahrscheinlicher ist, werden vier Permanentmagnete genutzt um den infraroten Übergang zu Schwächen. Zwar wird auch der sichtbare Übergang abgeschwächt, jedoch erhält man letztendlich eine Verstärkung der 632,8-Linie.

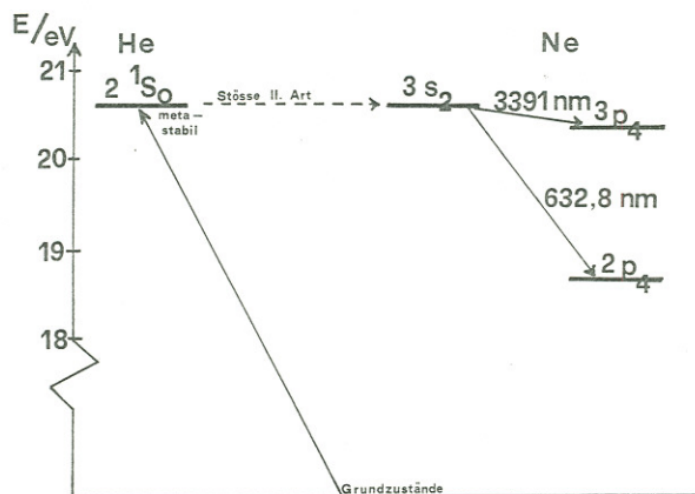


Abbildung 2: Term-Schema von He-Ne  
(Quelle: [1])

Bei einem Ringlaser bilden sich im allgemeinen zwei entgegengesetzt laufende Wellen aus, eine links- und eine rechts herum laufende. Bei gleichem optischen Weg  $L$  (siehe 3.3.1) der beiden wird eine stehende Welle ausgebildet. Wird nun ein sich bewegendes Gegenstand (Quarzscheibe), mit der Geschwindigkeit  $w_r$ , in den Strahlengang gebracht, so folgt durch den Mitführungseffekt eine Änderung der optischen Wege. Nun existiert keine stehende Welle mehr, die Differenz der beiden Frequenzen kann nun als Schwebungsfrequenz gemessen werden.

### 3.3.1 Frequenzdifferenz im Ringlaser

Wie bereits erwähnt werden in einem Ringlaser zwei entgegenlaufende Wellen ausgebildet. Bilden sich die Wellen innerhalb des Resonators aus, so gilt die Randbedingung:

$$L = N \cdot \lambda \quad N \in \mathbb{N} \quad (10)$$

Wobei  $L$  die optische Weglänge des Resonators beschreibt,  $N$  ist die Anzahl der Moden und  $\lambda$  steht für die entsprechende Wellenlänge. Durch die rotierende Quarzscheibe wird nun eine geringe Weglängenänderung erzeugt. Im allgemeinen gilt für kleine Differenzen:

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{\Delta \lambda}{\lambda} = \frac{-\Delta v}{v} \quad (11)$$

Durch die sich drehende Quarzscheibe wird zwischen den beiden gegen laufenden Strahlen eine Geschwindigkeitsdifferenz erzeugt, welche eine Differenz der optischen Wege zur Folge hat. Mit  $(l \cdot n)$  als optischen Weg der Strahlen gilt:

$$\frac{\Delta(l \cdot n)}{l \cdot n} = \frac{v(\omega_r \neq 0) - v(\omega_r = 0)}{v(\omega_r = 0)} \quad (12)$$

$$= \frac{c/n \pm \alpha \omega_r - c/n}{c/n} \quad (13)$$

$$= \pm \frac{n \alpha \omega_r}{c} \quad (14)$$

Wenn nun der optische Weg im Medium geändert, ändert sich auch die optische Länge. Es gilt:

$$\Delta L = \Delta(l \cdot n) \quad (15)$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta L}{L} = \frac{1}{L} \Delta(l \cdot n) = \pm \frac{n^2 \alpha l \omega_r}{Lc} = -\frac{\Delta v}{v} \quad (16)$$

Da die Differenz der beiden gegeneinander laufenden Strahlen gerade  $\Delta v' = 2 \cdot \Delta v$  beträgt, gilt die Relation:

$$\Delta v' = \frac{2n^2 \alpha l \omega_r v}{Lc} = \frac{2n^2 \alpha l \omega_r}{\lambda L} \quad (17)$$

Umgeformt nach dem Mitführungskoeffizienten  $\alpha$  ergibt sich:

$$\alpha = \frac{L \lambda \Delta v'}{2n \omega d x_0} \quad (18)$$

## 4 Versuchsaufbau

Wir verwenden bei diesem Versuch einen Ringlaser, wie er in folgender Abbildung dargestellt ist.

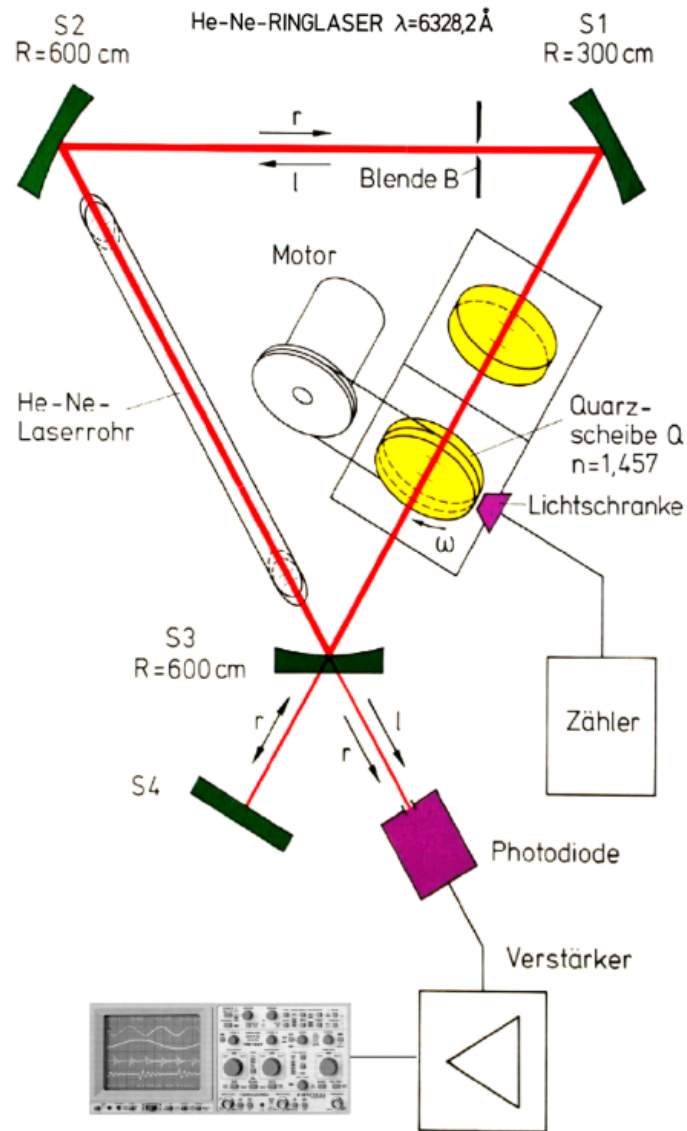


Abbildung 3: Schematischer Versuchsaufbau  
(Quelle: [2])

In der Abbildung erkennt man das der Ringlaser vorrangig aus vier Spiegeln und einem He-Ne-Laserrohr besteht. Wie bereits in (3.3) erwähnt erzeugt der Laser zwei entgegengerichtete Wellen. Für unseren Versuch bringen wir zwei Quarzscheiben in den Lichtweg. Eine davon ist mit einem Motor verbunden und lässt sich dadurch drehen, womit der optische Wegunterschied erzeugt

wird. Mit Hilfe der Fotodiode wird ein sichtbares Signal für das Oszilloskop erzeugt, welches zunächst noch einen Verstärker durchläuft. Die Blende sorgt bei fast vollkommener Schließung für ein möglichst deutliches Signal am Oszilloskop.

## 5 Auswertung

### 5.1 Variation der Durchtrittspunktes

#### Bestimmung von des Offsets $x_0$

Zu Beginn des Experiments führten wir 4 Messreihen mit konstant eingestellter Frequenz durch. Aus diesen Messungen konnten wir zunächst durch die Kontrolle der Frequenz über längere Zeit einen Fehler für diese durch die Bestimmung der Varianz der notierten Werte abschätzen. Des weiteren konnten wir auch alle Messung in die Bestimmung unseres Offsets  $x_0$  einfließen lassen. Die errechnete Drehfrequenz für unsere Messungen 1-4 betrug  $\omega = (87,1 \pm 0,9)Hz$ . Wir trugen für alle 4 Messungen die Differenzfrequenz  $\Delta v_{exp}$  gegen den Durchtrittspunkt  $x$  auf und fitteten die Daten linear. Die Durchtrittspunkte konnten wir direkt messen, während wir für die Differenzfrequenz die Anzahl  $N$  der Schwebungsperioden in einem Zeitintervall  $\Delta t$  bestimmten. Für Differenzfrequenz gilt dann:

$$\Delta v_{exp} = \frac{N}{\Delta t} \quad (19)$$

Der Fehler ergibt sich durch:

$$s_{\Delta v_{exp}} = \left| \Delta v_{exp} \frac{s_{\Delta t}}{\delta t} \right| \quad (20)$$

Die Ergebnisse dieser 4 Messreihen sind in Abb. 4-7 zu finden.

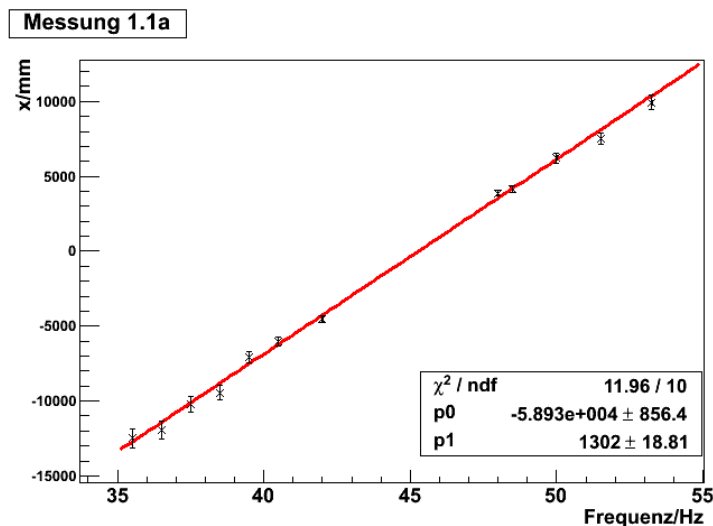


Abbildung 4: Variation des Durchtrittspunkt Messung 1

Messung 1.1b

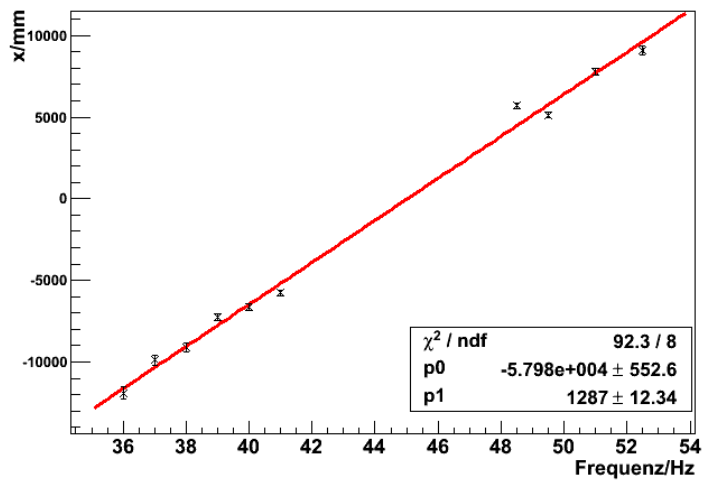


Abbildung 5: Variation des Durchtrittspunkt Messung 2

Messung 1.1c

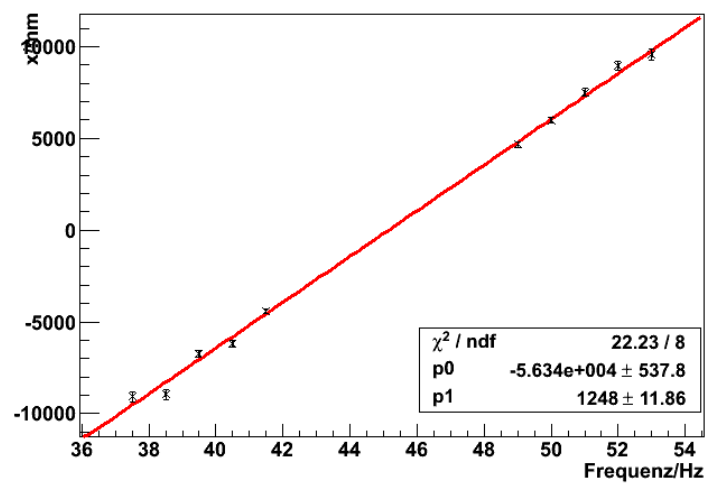


Abbildung 6: Variation des Durchtrittspunkt Messung 3



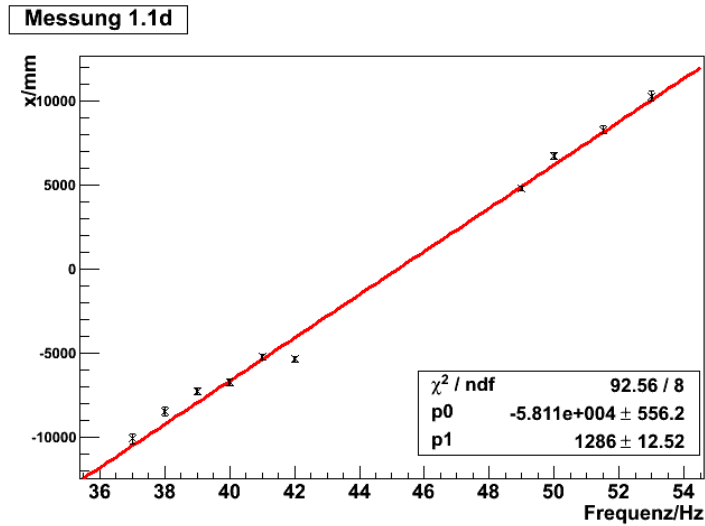


Abbildung 7: Variation des Durchtrittspunkt Messung 4

Anschließend führten wir 2 weitere Messungen durch mit zwei unterschiedlichen Frequenzen. Die Ergebnisse hierfür sind in Abb. 8 zu finden. In dieser Abbildung ist zum Vergleich die Messung aus Abb. 4 eingezeichnet.

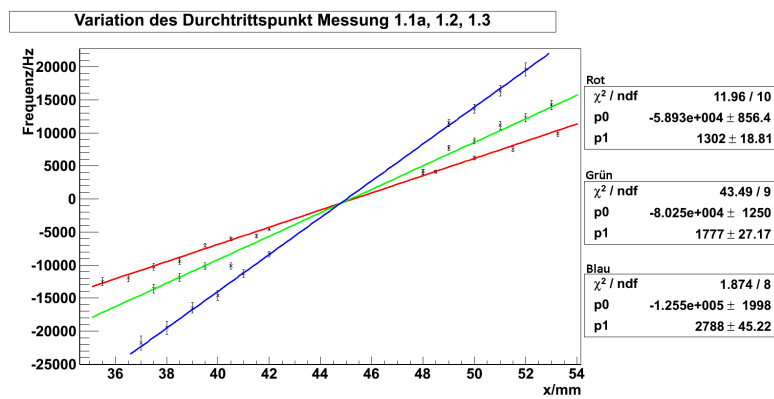


Abbildung 8: Variation des Durchtrittspunkt Messung 1,5 und 6

Aus diesen Messungen bestimmen wir nun zuerst das Offset unseres Durchtrittspunktes, durch Bestimmung des der Nullstelle unserer Fits, durch:

$$x_{0_i} = \frac{-b_i}{a_i} \quad (21)$$

Anschließend berechneten wir das gewichtete Mittel unserer Einzelergebnisse:

$$x_0 = \frac{\sum x_{0i} \frac{1}{\sigma_{x_{0i}}^2}}{\sum \frac{1}{\sigma_{x_{0i}}^2}}, \quad (22)$$

Für die Berechnung des Fehlers ist folgendes zu beachten:

Zunächst müssen wir die Fehler unserer Einzelergebnisse bestimmen, wobei hier zu beachten ist, dass unsere Fehler für unsere Steigung  $b$  und unser Achsenabschnitt  $a$  korrelieren. Dies erkennt man ebenfalls bei der Betrachtung der Fehlermatrix, siehe Matrizen 7.1 im Anhang. Unser Fehler für  $x_{0i}$  ergibt sich nun zunächst durch:

$$\sigma_{x_{0i}} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{a_i}}{b_i}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{b_i}}{b_i^2}\right)^2 - 2\text{cor}(a_i, b_i) \frac{a_i}{b_i^3}} \quad (23)$$

Der Fehler für das gewichtete Mittel ergibt sich dann aus:

$$\sigma_{x_0} = \frac{1}{\sum \frac{1}{\sigma_{x_{0i}}}}. \quad (24)$$

Wir berechneten  $x_0 = (45,12 \pm 0,02)mm$ .

#### Bestimmung des Mitführungskoeffizienten $\alpha$

Zur Berechnung des Mitführungskoeffizienten benutzen wir folgende Beziehung:

$$\alpha = b \frac{L\lambda}{2nd\omega} \quad (25)$$

Hierfür verwendeten wir die angegebenen Werte für  $L = (214,9 \pm 0,5)cm$ ,  $\lambda = 632,8nm$ ,  $n = 1,457$  und  $d = 1,27cm$ .  $\omega$  bestimmten wir mit der abgelesenen Rotationsperiode  $T$  über die Beziehung:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (26)$$

Der Fehler ergibt sich nach Fehlerfortpflanzung durch:

$$\sigma_\alpha = \alpha \sqrt{\left(\frac{\sigma_L}{L}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_\omega}{\omega}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_b}{b}\right)^2}. \quad (27)$$

Die Ergebnisse der  $\alpha$ -Werte sind in Tabelle 1 zu finden.

Auch hier berechneten wir als Endergebnis das gewichtete Mittel inklusive Fehler zu  $\alpha = (0,538 \pm 0,004)$ .

Messung	$\alpha$	$\sigma_\alpha$
1	0,546	0,015
2	0,525	0,011
3	0,545	0,008
4	0,527	0,007
5	0,543	0,008
6	0,549	0,010

Tabelle 1: Variation des Durchtrittspunktes

## 5.2 Variation der Drehzahl

Im zweiten Versuchsteil wurde statt des Durchtrittspunktes  $x_0$ , die Drehzahl  $T$  verändert. Diese Messung wurde mit drei verschiedenen Einstellungen von  $x_0$  durchgeführt.

Zur Bestimmung von  $\alpha$  wird die bereits bekannte Formel verwendet:

$$\alpha = \frac{\Delta v}{\Delta \omega} \frac{L \lambda \Delta}{2 n d x_0} \quad (28)$$

Wobei  $\Delta v / \Delta \omega$  in diesem Fall die Steigung unserer Geraden in Abb.(9), darstellt. Dort sind die Messungen 4,5 und 6 grafisch dargestellt, auf die Messung 1-3 wurde hier verzichtet, da diese fast deckungsgleich mit der vierten Messung waren. Dennoch wurden mit allen Messreihen der Wert  $\alpha$  bestimmt, siehe Tabelle 2.

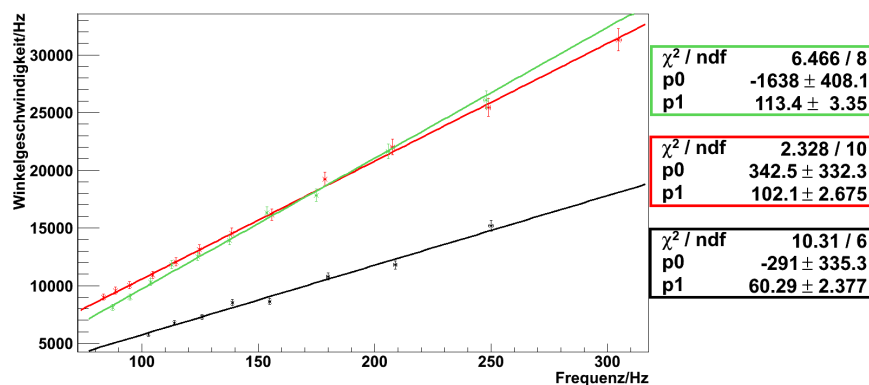


Abbildung 9: Variation der Drehzahl  $T$ ; Messung 4,5 und 6

Die Fehler  $\sigma_\alpha$  ergab sich aus folgender Formel:

$$\sigma_\alpha = \alpha \sqrt{\left(\frac{\sigma_L}{L}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{x_0}}{x_0}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{(\Delta v / \Delta \omega)}}{\Delta v / \Delta \omega}\right)^2} \quad (29)$$

Für das gewichtete Mittel erhielten wir einen Wert für  $\alpha$  von:  $\alpha = (0,529 \pm 0,006)$ .

Messung	$\alpha$	$\sigma_\alpha$
1	0,539	0,014
2	0,536	0,014
3	0,527	0,014
4	0,512	0,014
5	0,454	0,018
6	0,606	0,018

Tabelle 2: Variation der Drehzahl

### 5.3 Berechneter Wert von $\alpha$

Zuletzt wollen wir noch unsere experimentell ermittelten Werte mit dem durch den Brechungsindex errechneten Wert vergleichen.

$$\alpha = 1 - \frac{1}{n^2} - \frac{\lambda \Delta n}{n \Delta \lambda} \quad (30)$$

Die Angaben <sup>1</sup> für Quarzglas bei 632,8nm betragen:

$$n = 1,457 \quad (31)$$

$$\frac{\Delta n}{\Delta \lambda} = -300 \text{cm}^{-1} \quad (32)$$

$$(33)$$

$$\Rightarrow \alpha = 0,542 \quad (34)$$

Wobei der Dispersionsterm mit einem Wert von

$$\frac{\lambda}{n} \frac{dn}{d\lambda} = 0,013 \quad (35)$$

mit eingeht und somit ca. 2,4% des  $\alpha$ -Wertes beträgt.

Unsere experimentell bestimmten Werte für  $\alpha$  waren:

$$\alpha_1 = (0,538 \pm 0,004) \quad (36)$$

$$\alpha_2 = (0,529 \pm 0,006) \quad (37)$$

Verglichen mit unserem berechneten Wert zeigt sich, dass  $\alpha_1$  innerhalb einer Standardabweichung auf unserem theoretischen Wert liegt. Bei  $\alpha_2$  beträgt die Abweichung zwei Sigma.

---

<sup>1</sup>Aus Versuchsanleitung [2]

## 6 Fazit

Bei der Variation des Aufteffpunktes  $x_0$  erhielten wir für den Ort der Drehachse

$$x_0 = (45,12 \pm 0,02)nm \quad (38)$$

und für den Mitführungskoeffizienten

$$\alpha = (0,538 \pm 0,004) \quad (39)$$

Aus der Messung in der wir die Drehzahl  $T$  variierten, erhielten wir

$$\alpha = (0,529 \pm 0,006) \quad (40)$$

Somit liegt der theoretischen Wert  $\alpha = 0,542$  im Bereich von einem  $\sigma$  von unserem 1. Ergebnis, und auch der zweite Ergebnis liefert keinen Widerspruch, hier liegt die Übereinstimmung in einem Bereich von  $2\sigma$ . Somit können wir in unserem Experiment diesen bestätigen. Da beide Werte leicht unterhalb liegen, könnte noch ein leichter systematischer Fehler in unserem Experiment vorliegen. Um dies zu bestätigen müssten wir allerdings weitere Messungen durchführen.

## 7 Anhang

### 7.1 Fehlermatrizen zur Durchtrittsvariation

$$C_1 = \begin{pmatrix} 7,33 \cdot 10^5 & -1,60 \cdot 10^4 \\ -1,60 \cdot 10^4 & 353,9 \end{pmatrix}$$

$$C_2 = \begin{pmatrix} 3,05 \cdot 10^5 & -6,77 \cdot 10^3 \\ -6,77 \cdot 10^3 & 152,3 \end{pmatrix}$$

$$C_3 = \begin{pmatrix} 2,89 \cdot 10^5 & -6,34 \cdot 10^3 \\ -6,34 \cdot 10^3 & 140,6 \end{pmatrix}$$

$$C_4 = \begin{pmatrix} 3,09 \cdot 10^5 & -6,92 \cdot 10^3 \\ -6,92 \cdot 10^3 & 156,8 \end{pmatrix}$$

$$C_5 = \begin{pmatrix} 1,56 \cdot 10^6 & -3,38 \cdot 10^4 \\ -3,38 \cdot 10^4 & 738,4 \end{pmatrix}$$

$$C_6 = \begin{pmatrix} 3,99 \cdot 10^6 & -8,99 \cdot 10^7 \\ -8,99 \cdot 10^7 & 2045 \end{pmatrix}$$

## 7.2 Messdaten

Messung 1

Time/div = 200  $\mu$ s

$\bar{t} = 71,8 \text{ ms}$   
 $S_x = 0,005 \text{ ms}$

Sat = 0,005 ms

x/mm	Peaks	dt/ms
53,25	14	1,410
51,5	10	1,323
50,0	8	1,287
48,5	5	1,204
48	4	1,030
42	7	1,557
40,5	10	1,654
39,5	10	1,414
38,5	14	1,484
37,5	16	1,564
36,5	13	1,086
35,5	13	1,040
36	13	1,093
37	12	1,213
38	11	1,206
38	11	1,514
40	9	1,361
41	5	0,867
48,5	7	1,228
49,5	7	1,365
51	14	1,801
52,5	16	1,763

$T_{\text{tot}} = 72,4 \text{ ms}$

X/mm	Peaks	dt / ms	
58	17	1,775	$\bar{T} = 71,8 \text{ ms}$
52	16	1,787	
51	9	1,199	
50	7	1,166	
49	8	1,718	
41,5	5	1,133	
40,5	7	1,128	
38,5	9	1,336	
38,5	12	1,338	
37,5	11	1,211	
37	12	1,130	$T = 72,6 \text{ ms}$
38	13	1,533	
39	13	1,791	
40	12	1,780	
41	6	1,150	
42	4	0,747	
49	5	1,043	
50	11	1,633	
51,5	14	1,680	
53	18	1,753	
			$T = 72,2 \text{ ms}$



Messung 2

I	T/ms	Peaks	dt/ms
	77,0	14	1,657
	70,0	14	1,470
	65,0	12	1,170
	60,4	13	1,162
	55,3	12	0,946
	50,0	17	1,279
	45,3	12	0,751
	<del>40,0</del>	17	1,016
	35,0	14	0,726
	29,9	15	0,687
	25,0	13	0,522
	20,9	20	0,624

$x_0 / \text{mm} = 38$   
 $S_T = 0,1 \text{ ms}$   
 $S_x = 0,005 \text{ mm}$   
 $S_{dt} = 0,005 \text{ ms}$

II	T/ms	Peaks	dt/ms
	20,1	21	0,602
	25,0	17	0,676
	30,0	18	0,839
	35,0	15	0,805
	40,2	15	0,962
	45,2	18	1,073
	50,0	15	1,132
	55,4	13	1,033
	60,2	12	1,123
	65,4	14	1,294
	70,9	14	1,429
	76,1	14	1,668

III	T/ms	Peaks	dt/ms
	76,0	14	1,559
	70,7	14	1,472
	66,1	15	1,498
	59,7	16	1,467
	54,8	16	1,334
	50,1	18	1,372
	45,2	17	1,171
	40,2	16	0,995
	35,1	14	0,730
	30,2	21	0,953
	25,2	18	0,708
	20,6	19	0,607
IV			
	20,6	16	0,515
	25,0	16	0,652
	29,9	14	0,640
	35,3	14	0,744
	40,9	13	0,822
	46,1	15	1,045
	50,9	15	1,090
	55,9	16	1,327
	60,4	15	1,372
	65,4	15	1,422
	71,3	14	1,438
	75,6	13	1,515

V	T/ms	Peaks	dt/ms	$X_0 = 50$ mm
	60,8	7	1,211	
	55,1	7	1,036	
	50,0	10	1,374	
	45,1	10	1,173	
	40,5	14	1,620	
	34,9	13	1,116	
	30,0	11	0,936	
	25,1	9	0,592	
VI				$X_0 = 52$ mm
	25,3	13	0,729	
	30,5	14	0,649	
	36,0	13	1,069	
	40,8	16	0,981	
	45,6	18	1,298	
	50,5	19	1,516	
	55,5	17	1,446	
	60,5	16	1,557	
	66,1	13	1,448*	
	<del>71,6</del>	12	1,484	

Messung 1

$T = 50,4 \text{ ms}$

$\nabla$	$x / \text{mm}$	Peak	$dt / \text{ms}$
	53	17	1,134
	52	15	1,218
	51	13	1,165
	50	14	1,597
	49	12	1,550
	48	7	1,621
	41,5	9	1,611
	40,5	18	1,777
	39,5	15	1,472
	38,5	16	1,349
	37,5	17	1,253
$T = 50,7$			
$T = 33,4$			
<u>VI</u>			
	37	21	0,964
	38	22	1,128
	39	21	1,237
	40	20	1,370
	42	12	1,438
	41	16	1,417
	49	14	1,216
	50	18	1,317
	51	20	1,218
	52	20	1,099
$T = 33,6$			

W.W.

## Literatur

- [1] Axel Ippendorf. Messung des Mitführungskoeffizienten von Licht mit einem Ringlaser. Master's thesis, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 1979.
- [2] M.Kohli. Versuchsanleitung. <http://wwwhep.physik.uni-freiburg.de>, 2011.