

# Versuch 232: Michelson-Interferometer

Yago Obispo Gerster

1. März 2024

## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung und Motivation</b>	<b>1</b>
1.1 Physikalische Grundlagen . . . . .	1
1.1.1 Grundlagen der Interferenz . . . . .	1
1.1.2 Voraussetzungen für Interferenz . . . . .	2
1.1.3 Bandbreite . . . . .	3
1.1.4 Interferenz gleicher Neigung . . . . .	3
1.1.5 Interferenz gleicher Dicke . . . . .	4
1.1.6 Michelson-Interferometer . . . . .	5
<b>2 Messprotokoll</b>	<b>6</b>
<b>3 Auswertung</b>	<b>9</b>
3.1 Fehlerbetrachtung . . . . .	9
3.2 Wellenlängenbestimmung grüner Laser . . . . .	9
3.3 Brechungsindex von Luft für Normalbedingungen . . . . .	9
3.4 Kohärenzlänge einer LED . . . . .	12
<b>4 Zusammenfassung und Diskussion</b>	<b>14</b>
4.1 Diskussion . . . . .	14
<b>5 Quellen und Python-Code</b>	<b>16</b>

## 1 Einleitung und Motivation

Das Ziel des Versuches ist die Messung der Wellenlänge eines grünen Lasers, die Bestimmung des Brechungsindex von Luft und der Kohärenzlänge einer LED.

### 1.1 Physikalische Grundlagen

#### 1.1.1 Grundlagen der Interferenz

In diesem Versuch werden wir uns mit der Interferenz von Licht befassen, d.h. der Überlagerung von unterschiedlichen Lichtwellen.

Dabei spielt die Phasenbeziehung von den interferierenden Wellen eine entscheidende Rolle. Seien zwei ebene, monochromatische Wellen mit Phasen  $\phi_1$  und  $\phi_2$  gegeben. Dann besitzen diese einen Phasenunterschied  $\Phi = \phi_1 - \phi_2$ .

- Wenn  $\Phi = 2\pi m$  für  $m \in \mathbb{Z}$  dann ist die Intensität maximal
- Wenn  $\Phi = (2m + 1)\pi$  dann ist die Intensität minimal

Oft kommt die Phasenverschiebung dadurch zustande, dass beide Wellen unterschiedlich lange Wege durchlaufen müssen und somit einen Gangunterschied  $\Delta = s_1 - s_2$ , wobei  $s_1$  und  $s_2$  die beiden durchlauften Strecken sind, aufweisen. Eine Phasenverschiebung von  $2\pi$  entspricht einer Wellenlängenverschiebung, weshalb zwischen Phasenverschiebung und Gangunterschied der Zusammenhang

$$\Delta = \frac{\Phi}{2\pi} \lambda \quad (1)$$

gilt. Damit lassen sich die vorherig aufgestellten Bedingungen auch umformulieren:

- Wenn  $\Delta = m\lambda$  dann ist die Intensität maximal
- Wenn  $\Delta = \frac{2m+1}{2}\lambda$  dann ist die Intensität minimal

### 1.1.2 Voraussetzungen für Interferenz

Voraussetzung für diese Interferenz ist die Kohärenz. *Kohärentes* Licht weist eine feste Phasenbeziehung zwischen zwei interferierenden Wellen auf. Ein typisches Beispiel für eine kohärente Lichtquelle ist ein Laser.

Bei inkohärentem Licht (wie z.B. bei einer Leuchtdiode) ist die Phasenbeziehung statistisch verteilt und somit kann kein Interferenzmuster am Schirm erkannt werden. Natürliches Licht ist damit inkohärent. Um jedoch auch mit natürlichem Licht Interferenzerscheinungen beobachten zu können, muss das Licht in Teilwellen aufgespalten werden. Praktisch kann man dies realisieren indem man eine einzelne Lichtquelle verwendet und deren Licht mit einer Doppelbohrblende aufspaltet (siehe Abbildung 1). Beide Öffnungen werden von der gleichen Primärwelle angeregt und nach Huygens werden Sekundärwellen emittiert, welche die gleiche Phase aufweisen. Weiterhin muss der Gangunterschied der interferierenden Wellen kleiner als die sogenannte *Kohärenzlänge*  $L$  sein, damit diese interferenzfähig sind. Die atomare Emission eines Lichtwellenzugs erfolgt in der Kohärenzzeit  $\tau$ . Daher dass sich die Lichtwellen mit der Lichtgeschwindigkeit  $c$  bewegen, gilt somit für  $L$ :

$$L = c \cdot \tau \quad (2)$$

Die Kohärenzlänge ist bei Temperaturstrahlern (wie der Sonne) sehr klein und kann bei Lichtquellen wie Lasern sogar in die Kilometergrößenordnung gehen.

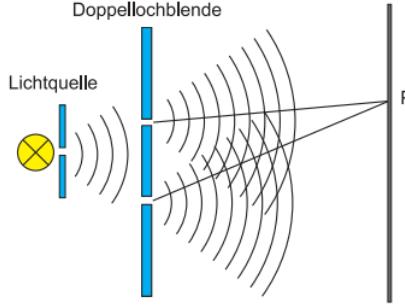


Abbildung 1: Doppellochblende (Quelle Praktikumsskript v232 s4)

### 1.1.3 Bandbreite

Weiterhin macht es überhaupt Sinn, über Kohärenz zu diskutieren, wenn wir von einer monochromatischen Lichtquelle ausgehen, d.h. einer Lichtquelle, welche nur eine Wellenlänge emittiert. In der Praxis existiert jedoch eine solche Lichtquelle nicht. Auch ein Laser macht immer ein gewissen Fehler - hat eine *Frequenzbandbreite*  $\Delta w$ , sodass nicht nur die gewollte Frequenz  $w_0$  emittiert wird, sondern im Bereich  $w_0 \pm \frac{\Delta w}{2}$ . Bei einem Wellenpaket gilt zwischen Kohärenzlänge und Bandbreite der Zusammenhang

$$L = \frac{2\pi c}{\Delta w} \quad (3)$$

Je kleiner die Bandbreite umso grösser also die Kohärenzlänge.

### 1.1.4 Interferenz gleicher Neigung

Bei der *Interferenz gleicher Neigung* treffen die Lichtbündel mit Wellenlänge  $\lambda$  auf eine transparente, planparallele Platte der Dicke  $d$  und Brechungsindex  $n$  unter einem Winkel  $\alpha$ . Dabei wird nach den Gesetzen der Optik ein Teil des Lichts reflektiert und ein Teil hineingebrochen und dann wieder reflektiert, sodass am Ende zwei parallele und verschobene Lichtstrahlen unter einem Winkel  $\alpha$  an der Oberfläche entstehen (siehe Abbildung 2). Aus geometrischen Überlegungen und mithilfe des Snelliusschen Brechungsgesetzes ergibt sich für den Gangunterschied  $\Delta$  zwischen den beiden Wellen:

$$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} - \frac{\lambda}{2} \quad (4)$$

Dabei hängt der Gangunterschied also vom Einfallswinkel ab. Ist das einfallende Licht nicht parallel, so interferieren alle Teilbündel mit dem gleichen Neigungswinkel im selben Punkt.

Betrachtet man dies für den dreidimensionalen Fall, so interferieren die Teilwellen mit gleichem Neigungswinkel innerhalb eines Kreisrings, weshalb ein konzentrisches Ringinterferenzmuster beobachtbar ist (Abbildung 3).

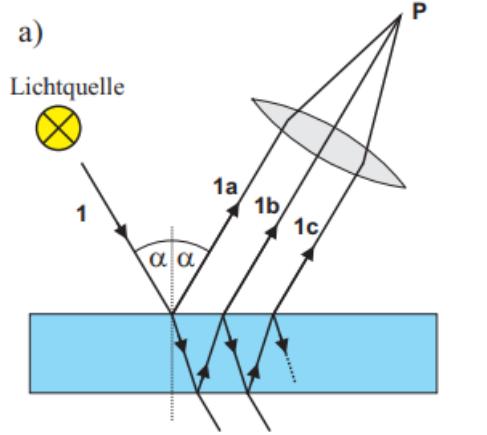


Abbildung 2: Interferenz gleicher Neigung (Quelle Praktikumsskript v232 s8)

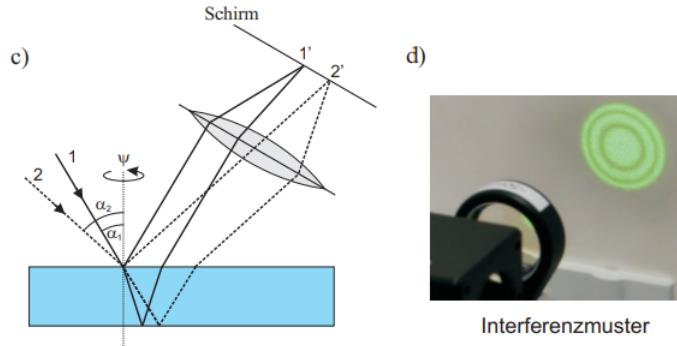


Abbildung 3: Interferenzmuster 3D (Quelle Skript v232 s8)

### 1.1.5 Interferenz gleicher Dicke

Der zweite Interferenzfall der hier betrachtet wird ist die Interferenz *gleicher Dicke*. Dabei betrachtet man paralleles Licht, welches auf eine keilförmige Platte fällt, sodass das reflektierte Licht nicht mehr parallel zueinander verläuft.

Für kleine Keilwinkel gilt für den Gangunterschied

$$\Delta \approx 2d(x)\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha} - \frac{\lambda}{2} \quad (5)$$

Für den Spezialfall von fast senkrechtem Licht:

$$\Delta \approx 2d(x)n - \frac{\lambda}{2} \quad (6)$$

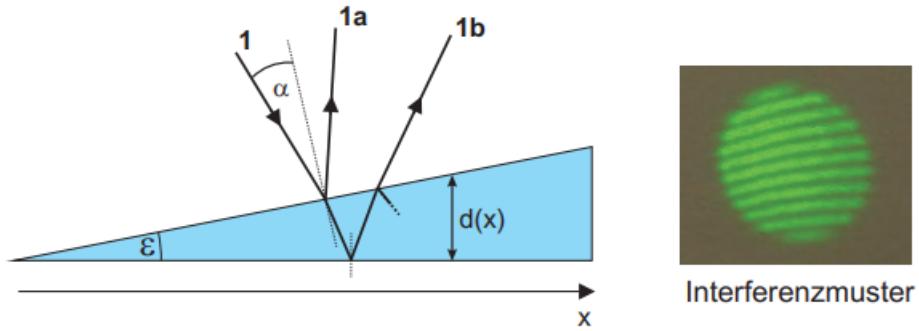


Abbildung 4: Interferenz gleicher Dicke (v232 s13)

Der Gangunterschied ist somit von der Keildicke  $d(x)$  abhängig. Wenn man von oben auf den Keil guckt, so beobachtet man ein Streifenmuster.

### 1.1.6 Michelson-Interferometer

In diesem Versuch werden wir uns mit einem Michelson Interferometer befassen: siehe Abbildung 5. Das Licht trifft auf einen Strahlteiler, welcher das

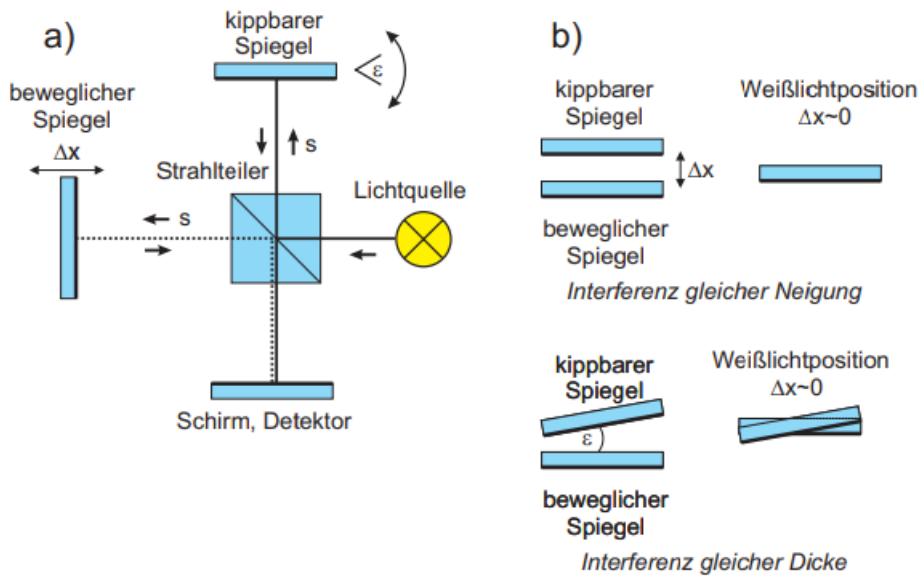


Abbildung 5: Michelson-Interferometer Aufbau (Sskript v232 s9)

Licht in zwei Teilwellen der gleichen Intensität aufteilt. Beide Durchlaufen eine Strecke  $s$ , bevor diese auf einen Spiegel treffen an dem sie wieder zurück zum

Strahlteiler reflektiert werden. Der Spiegel im linken Schenkel ist zudem um  $\Delta x$  verschiebbar und der Spiegel des oberen Schenkels ist verkippbar. Nachdem die Lichtstrahlen wieder auf den Strahlenteiler treffen, werden diese auf einen Schirm abgelenkt auf welchem die Interferenz (aufgrund der unterschiedlichen Strecken) beobachtet werden kann.

Mit diesem Aufbau lässt sich sowohl Interferenz gleicher Neigung als auch gleicher Dicke realisieren. Wird der obere Spiegel nicht verkippt, so kommt es zu Interferenz gleicher Neigung und der Gangunterschied unter Annahme von  $n = 1$  und Beschränkung auf  $\alpha = 0$  ergibt sich zu

$$\Delta|_{\alpha=0} = 2\Delta x - \frac{\lambda}{2} \quad (7)$$

Für unterschiedliche  $\Delta x$  ändert sich also auch entsprechend das Interferenzmuster auf dem Schirm.

Bei einer Neigung des kippbaren Spiegels betrachten wir den Fall von Interferenz gleicher Dicke. Bewegt man den Spiegel des linken Schenkels kontinuierlich mit einem Motor um  $\Delta x$ , so kann man beobachten wie die Interferenzstreifen sich gemeinsam in eine Richtung bewegen. Zählt man die Interferenzstreifen die dabei an einer Markierung vorbeiwandern  $\Delta m$ , so kann die Wellenlänge des Lichts bestimmt werden mit

$$\lambda = 2 \frac{\Delta x}{\Delta m} \quad (8)$$

Weiterhin werden wir in diesem Versuch den Brechungsindex von Luft experimentell bestimmen. In einem Interferometerschenkel platziert man eine Glasküvette der Länge  $a$  mit regulierbarem Druck und somit regulierbarem Brechungsindex (Änderung  $\Delta n$ ). Zählt man erneut die Interferenzstreifen am Schirm, die an einer Markierung vorbeigewandert sind  $\Delta m$ , so kann man die Brechungsin dexänderung unter Verwendung von  $\Delta = \lambda \Delta m$  berechnen

$$\Delta = 2a\Delta n \quad (9)$$

$$\Rightarrow \Delta m = 2a \frac{\Delta n}{\lambda} \quad (10)$$

$$\Rightarrow \Delta n = \frac{\lambda \Delta m}{2a} \quad (11)$$

Im Experiment verändern wir den Druck von  $p = 0$  bis  $p = b$  (wobei  $b$  Luftdruck), sodass für  $\Delta n = n_{Luft} - 1$  gilt da der Brechungsindex von Vakuum 1 ist. Einsetzen in unsere Formel liefert:

$$n_{Luft} = \frac{\lambda \Delta m(b)}{2a} + 1 \quad (12)$$

## 2 Messprotokoll

14.00-17.00 (20. Nov.  
2023)

# Messprotokoll 232: Michelson Interferometer

Yago Obiupo Gerster

Juan Bueno Fontanilla

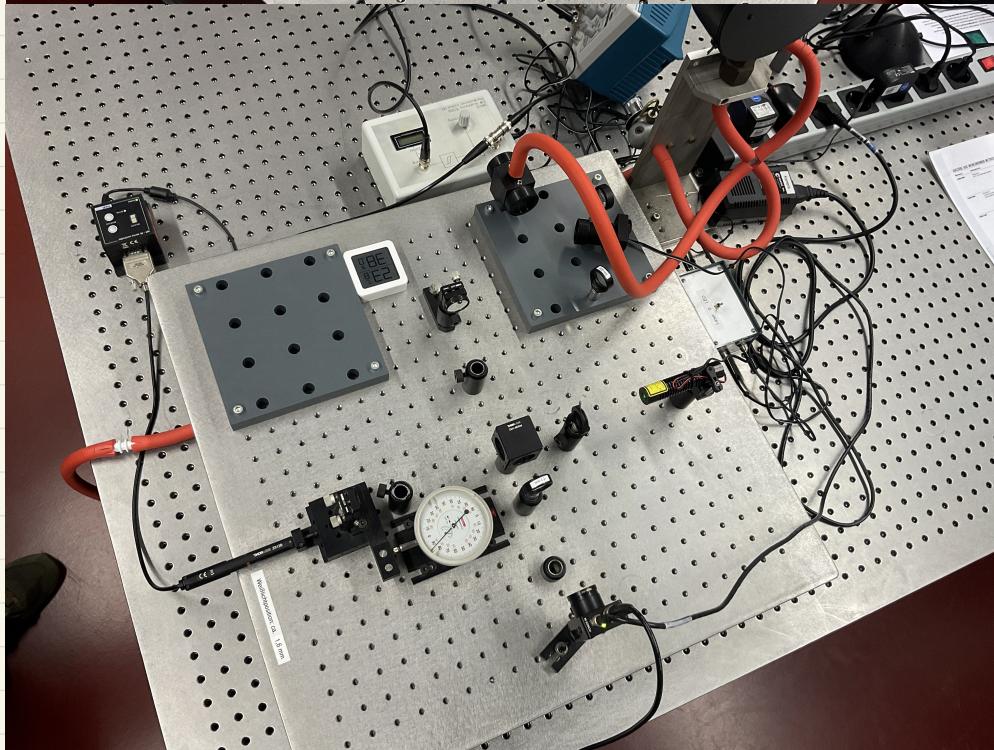
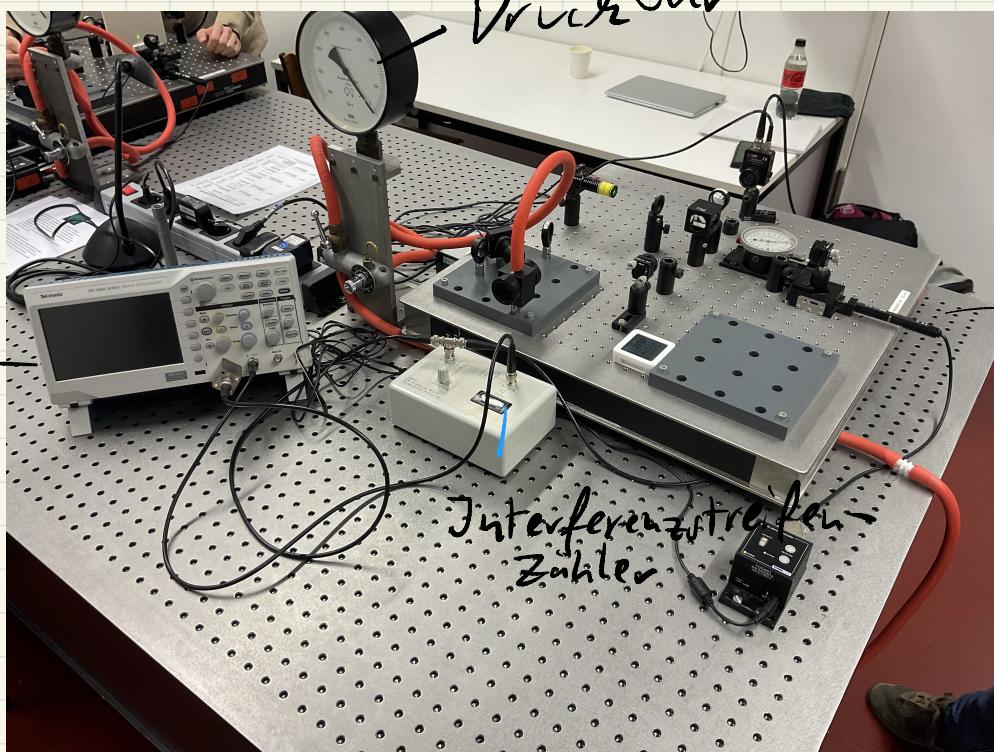


Bild 1: Versuchsaufbau

## (1) Bestimmung von $\lambda$

Messung	$\delta_a$ [nm]	$\delta_e$ [nm]	$\Delta m$ [Anzahl]
1	0,8	3,758	11123
2	0,4	3,358	11129
3	0,2	3,761	11124
4	1,6	4,659	11129
5	0,1	3,060	11123

Tabelle 2 : Messung Start- und Endpunkt und Intensitätsstreifen an Markierung  $\Delta m$

## (2) Bestimmung des Brechungsindex von Luft

Messung	Druck $p$ [Torr]	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$	$P_6$	$P_7$	$P_8$	$P_9$	$P_{10}$
1	730	660								
	720	650	575	500	425	350	270	200	145	52
2	720	647	573	500	421	348	272	200	130	51
3	720	645	570	497	420	347	272	197	127	48

Tabelle 3 : Messung Druck in Kette

$$T = (24,5 \pm 1,0)^\circ\text{C}$$

## Fehlerabschätzung:

Uhr für Motorbewegung:  $\Delta x = 0,009$  nm

20.11.2023

Vanessa Kenschner

### 3 Auswertung

#### 3.1 Fehlerbetrachtung

In der Auswertung dieses Versuches werden wir folgende systematische Fehler annehmen:

Für die Temperatur ein Fehler von  $1^{\circ}C$  aufgrund der Skalengenauigkeit.

Bei der Bewegung des Spiegels wird ein Motor verwendet. Die Strecke um welche sich der Spiegel bewegt, wird von einer Uhr gemessen. Für den systematischen Fehler des Streckenunterschieds wird  $\Delta x = 0,009\text{mm}$  verwendet.

Der Fehler bei der Druckmessung mit dem Manometer beträgt nach Praktikumsanleitung  $5\text{Torr}$ .

Für weitere Fehler wird in der Auswertung die Gaußsche Fehlerfortpflanzung verwendet.

#### 3.2 Wellenlängenbestimmung grüner Laser

Im ersten Schritt soll die Wellenlänge des grünen Lasers gemessen werden. Der feste Spiegel wird so verstellt, dass 3 Interferenzringe auf dem Detektor beobachtet werden. Mit einem Oszilloskop kann das Signal verstärkt visualisiert werden und die Maxima mit einem integrierten Zähler gezählt werden.

Nach Formel (8) aus den Grundlagen müssen wir den beweglichen Spiegel mit dem Motor um eine Strecke  $s$  verschieben und dabei die Anzahl an Interferenzmaxima  $m$  zählen die an einer Markierung vorbeikommen.

Die Messung wird fünfmal wiederholt (siehe Tabelle 2 des Messprotokolls). Der Mittelwert von jeder Grösse wird gebildet und die Wellenlänge berechnet:

$$\lambda = \frac{2s}{m} \quad (13)$$

$$\Delta\lambda = \lambda \sqrt{\left(\frac{\Delta s}{s}\right)^2 \left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2} \quad (14)$$

$$\boxed{\lambda = (536 \pm 3)\text{nm}} \quad (15)$$

In der Diskussion wird dieses Ergebnis mit den Angaben des Herstellers verglichen.

#### 3.3 Brechungsindex von Luft für Normalbedingungen

Im zweiten Versuchsschritt soll der Brechungsindex von Luft für Normalbedingungen  $n_0$  bestimmt werden. Es gilt:

$$\frac{n_0 - 1}{n(p) - 1} = \frac{p_0 T}{p T_0} \quad (16)$$

Aus der Gleichung (12) von den Grundlagen ergibt sich damit

$$n_0 - 1 = (n - 1) \frac{p_0}{p} \frac{T}{T_0} = \frac{\lambda}{2a} \frac{\Delta m}{p} \frac{p_0 T}{T_0} \quad (17)$$

wobei  $a = (50 \pm 0,05)mm$  das Innenmass der Küvette ist.

Die Temperatur wurde zu  $T = (24,5 \pm 1,0)^\circ C$  bestimmt,  $T_0 = 273,15K$  und  $p_0 = 101325Pa$ .

Um  $n_0$  zu bestimmen wird grafisch  $\Delta m$  gegen  $p$  aufgetragen und die Steigung  $\frac{\Delta m}{p}$  bestimmt um diese in die Gleichung einsetzen zu können. Dadurch erhält man:

$$\frac{\Delta m}{p} = (6711 \pm 8) \cdot 10^{-5} \frac{1}{Torr} \quad (18)$$

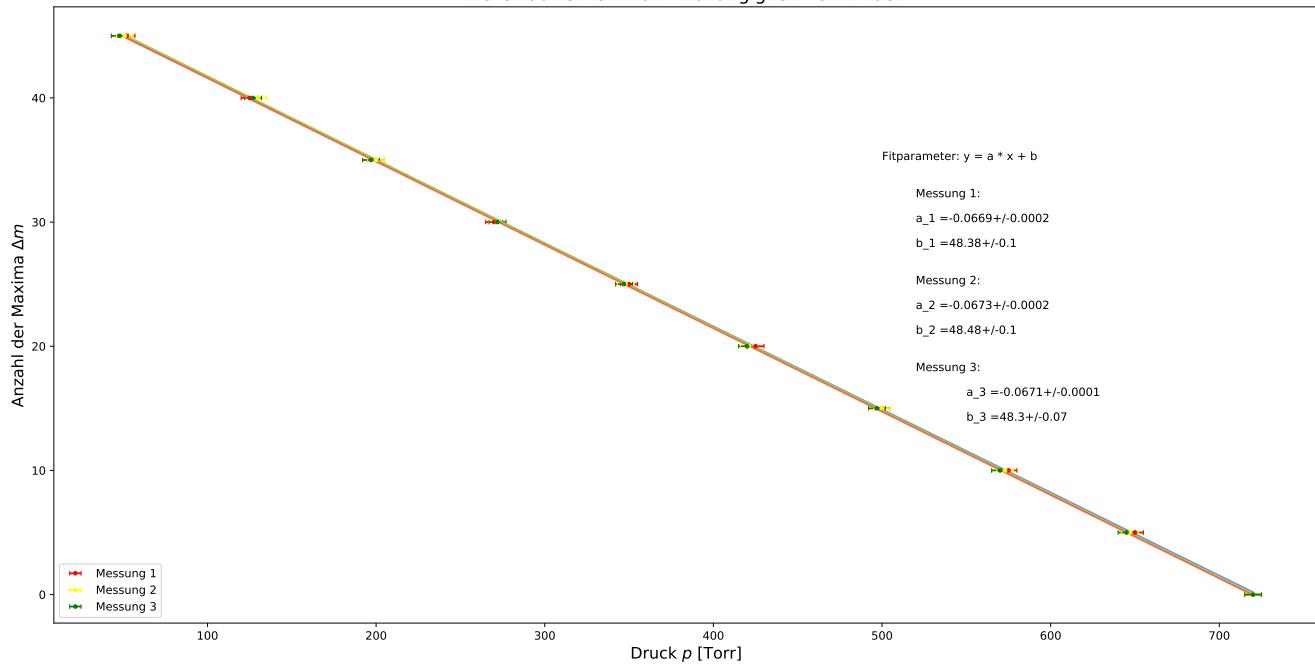
Damit kann (17) verwendet werden:

$$\Delta n_0 = n_0 \cdot \sqrt{\left(\frac{\Delta \text{Steigung}}{\text{Steigung}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \lambda}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{\Delta T}{T}\right)^2 + \left(\frac{\Delta a}{a}\right)^2} \quad (19)$$

$$n_0 = (1,000 \pm 0,007) \quad (20)$$

Dieses Ergebnis wird in der Diskussion mit dem Literaturwert verglichen.

Durchlaufte Maxima in Abhangigkeit vom Druck



### 3.4 Kohärenzlänge einer LED

Anschiessend wird die Küvette entfernt und der Laser durch eine LED ersetzt. Das Oszilloskop wird mit einem definierten Trigger betrieben, sodass dieses ein Signal bei Bewegung des Spiegels (durch die Weisslichtposition) aufnimmt. Der gemessene Signalverlauf kann mit den Daten ebenfalls in Python grafisch dargestellt werden:

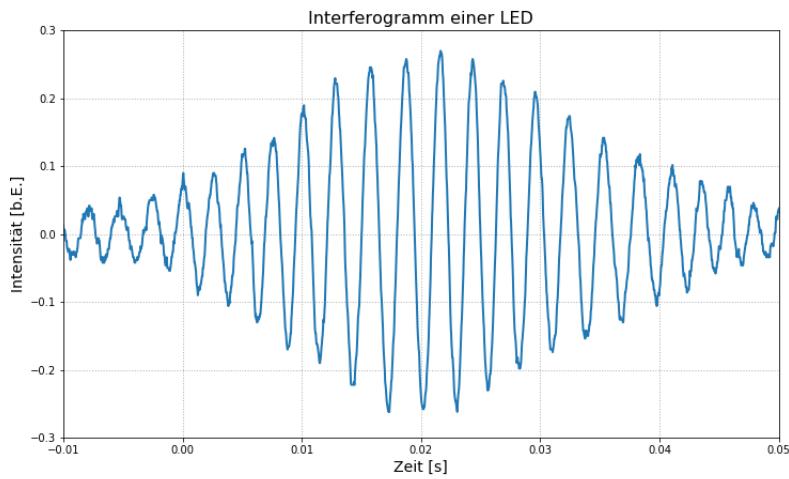


Abbildung 6: Gemessener Signalverlauf

Im Anschluss soll eine Gausskurve als Einhüllende an die Daten angelegt werden. Dafür existieren zwei mögliche Methoden. Bei der ersten wird die Gausskurve gezeichnet, indem die Parameter dafür manuell eingegeben werden und diese beim besten Fit abgelesen werden. Die zweite Möglichkeit besteht darin, die Einhüllende zu bestimmen und dann eine Gausskurve anzufitten. Ich entscheide mich für die zweite Methode, da diese vermutlich zu einem geringerem Fehler führt, da man nicht manuell die Daten eingeben muss, sondern die Software dies für einen mit hoher Präzision übernimmt.

Um die Einhüllende zu bestimmen, suchen wir zunächst nach den Maxima des Interferogramms (siehe Abbildung 7).

Anschiessend fitten wir eine Gauss-Kurve an die Maxima. Die Kohärenzlänge des Gaußschen Wellenpaket kann mit der Halbwertsbreite  $FWHM$  berechnet werden:

$$L = 2vFWHM \quad (21)$$

$$\Delta L = 2v\Delta FWHM \quad (22)$$

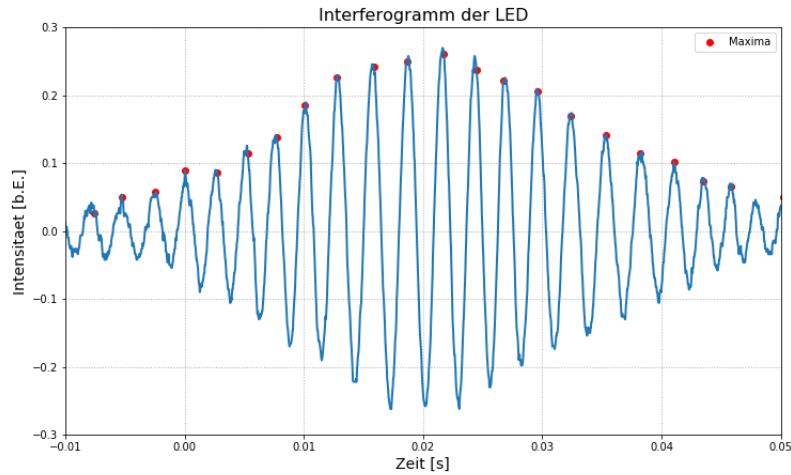


Abbildung 7: Maxima des Interferogramms

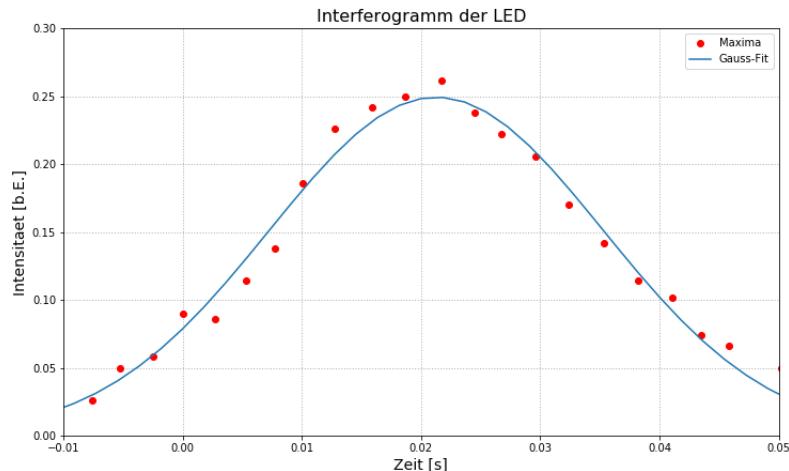


Abbildung 8: An die Maxima gefittete Gausskurve

Und die Halbwertsbreite lässt sich über

$$FWHM = 2\sqrt{2 \cdot \log(2)}\sigma \quad (23)$$

$$\Delta FWHM = 2 \cdot \sqrt{2 \cdot \log(2)}\Delta\sigma \quad (24)$$

bestimmen, wobei  $\sigma$  der Gaussverteilung entnommen werden kann.

Wir erhalten:

$$\sigma = (0,0140 \pm 0,0003) \quad (25)$$

$$\Rightarrow FWHM = (0,0330 \pm 0,0008) \quad (26)$$

Damit berechnet sich die Kohärenzlänge der LED zu

$$L = (6,60 \pm 0,15)\mu m \quad (27)$$

## 4 Zusammenfassung und Diskussion

Zusammenfassend haben wir uns in diesem Versuch mit der Interferenz von Licht beschäftigt und uns insbesondere überlegt, dass die Kohärenz des Lichtes und das Einhalten der Kohärenzlänge beides Voraussetzungen für die Interferenz sind.

Mit einem Michelson-Interferometer haben wir dann im ersten Versuchsschritt die Wellenlänge eines grünen Lasers bestimmt, indem wir einen der beiden Spiegel um eine bekannte Strecke bewegt haben und dabei die Interferenzmaxima gezählt haben die an einer Markierung vorbeiliefen. Damit sind wir auf  $\lambda = (536 \pm 3)nm$  gekommen.

Im zweiten Schritt haben wir den Brechungsindex von Luft unter Normalbedingungen zu  $n_0 = (1,000 \pm 0,007)$  bestimmt. Dazu haben wir eine druckregulierbare Glasküvette in den Strahlengang eingebaut und bei einer Variation des Drucks zwischen 0 und dem äusseren Luftdruck  $b$  die Interferenzmaxima mit demselben Verfahren gezählt.

Zuletzt haben wir mit einem Oszilloskop die Kohärenzlänge einer LED zu  $L = (6,60 \pm 0,15)\mu m$  bestimmt. Dazu wurde der Spiegel durch die Weisslichtposition bewegt um ein Signal zu triggern. Mit Python wurden die Maxima dieses Signals gesucht um die Einhüllende zu erhalten und anschliessend wurde eine Gausskurve angefittet. Aus der Halbwertsbreite der Gaussverteilung wurde die Kohärenzlänge abgeschätzt.

### 4.1 Diskussion

Zuletzt werde ich die im Versuch ermittelten Ergebnisse mit den Angaben des Herstellers, bzw. Literaturwerte vergleichen. Weiterhin werde ich mögliche Abweichungen deuten und Verbesserungsvorschläge liefern mit welchen die Ergebnisse noch genauer bestimmt werden könnten. Für die  $\sigma$ -Abweichung wird die bekannte Formel verwendet:

$$\frac{|Wert1 - Wert2|}{\sqrt{(Fehler1)^2 + (Fehler2)^2}} \quad (28)$$

Bei der Bestimmung der Wellenlänge des grünen Lasers erhielten wir:  $\lambda = (536 \pm 3)nm$ . Laut Hersteller liegt der Wert bei  $(532 \pm 1)nm$ . Somit weisen

beide Werte eine absolute Abweichung von  $3,56\text{nm}$  voneinander auf. Dies entspricht unter Beachtung der abgeschätzten Fehler einer  $1,1\sigma$ -Abweichung. Somit ist diese Abweichung nicht signifikant, da sie unter  $3\sigma$  liegt.

Der Fehler der Wellenlänge setzte sich zum einen aus einem statistischen Fehler der Messreihe zusammen und zum anderen aus dem systematischen Fehler der Messuhr. Die statistische Abweichung könnte durch eine Vergrößerung der Messreihe verkleinert werden. Anstatt nur 5 Messwerte aufzunehmen, könnte man eine Messuhr verwenden, welche direkt die Messdaten für Anfangs- und Endpunkt speichert und gleichzeitig mit dem Oszilloskop die durchlauften Maxima automatisch speichern, um somit eine deutlich grössere Menge an Messwerten aufzunehmen. Um den systematischen Fehler zu reduzieren müsste die Genauigkeit der Messuhr verbessert werden, da diese die einzige Fehlerquelle war, die hier in Betracht gezogen wurde. Für das Zählen der Interferenzmaxima wurde kein Fehler angegeben. Dies hätte unter Umständen jedoch sinnvoll sein können, da wir im Versuchraum beobachten konnten, wie Geräusche oder Berührungen des Versuchstisches dazu führen konnten, dass das Signal am Oszilloskop verzerrt wurde und instabil wurde (begann zu flackern - nicht nur zu Verstärken). Dies hätte dazu führen können, dass bei einer Verzerrung des Signals einige Maxima zu viel oder zu wenig gezählt wurden, was einen direkten Einfluss auf unsere Formel (8) hat. Um diese Fehlerquelle zu reduzieren müsste man Geräusche im Raum entfernen (z.B. dürfte nur eine Person sich im Versuchraum befinden) und die Intensität des Lichtes könnte erhöht werden, damit das Oszilloskopsignal nicht wegen den "äusseren Einflüssen" destabilisiert.

Für den Brechungsindex von Luft unter Normalbedingungen haben wir im Versuch einen Wert von  $n_0 = (1,000 \pm 0,007)$  erhalten, wobei der Literaturwert (nach Praktikumsskript Versuch 232 Seite 14) bei  $n_{0\text{Lit}} = 1,00028$  liegt. Beide Werte weisen eine absolute Abweichung von  $1,77 \cdot 10^{-5}$  voneinander auf, was in der Grössenordnung von 1 ein vernachlässigbar kleiner Wert ist. Entsprechend ist die  $\sigma$ -Abweichung von  $0,002\sigma$  auch sehr gering. Dies kann dadurch erklärt werden, dass für jeden Versuchsschritt genaue Methoden verwendet wurden. So wurde beispielsweise für die Bestimmung von  $\frac{\Delta m}{p}$  die Steigung einer Geraden berechnet, was automatisch von Python übernommen wurde und wir somit keinen Fehler berücksichtigen mussten, der aufgrund von möglichen Zeichnungen oder Nebenrechnungen entsteht. Alle drei Geraden, die jeweils einer Messreihe entsprachen und von denen die Steigung abgelesen wurde, lagen dabei sehr dicht beieinander.

Im letzten Versuchsteil haben wir die Kohärenzlänger einer LED mit der zweiten Methode errechnet, da mir diese genauer erschien. Trotz der Genauigkeit des besten Fits, welche durch die Anpassung mit Python garantiert werden kann, muss man dabei beachten, dass wir in diesem Versuchsteil nur eine Messung, d.h. ein Oszilloskopsignal aufgenommen haben. Deutlich geeigneter wäre es, viele Oszilloskopsignale aufzunehmen, und für jedes einzelne dieser Signale die Halbwertsbreite zu berechnen. Damit könnte pro Signal eine Kohärenzlänge

bestimmt und am Ende der Mittelwert gebildet werden, was die Genauigkeit unseres Ergebnisses erhöhen würde.

Insgesamt hat mir der Versuch viel Spass gemacht, da wir die Konzepte der Optik, die wir vorher aus theoretischer Sicht in der Vorlesung eingeführt hatten - wie beispielsweise die Kohärenzlänge - auch praktisch anwenden konnten, was mir die zugrundeliegenden Konzepte dahinter etwas veranschaulicht hat.

## 5 Quellen und Python-Code

- PAP 2.1 Anleitung der Universität Heidelberg

# Python-Code

January 16, 2024

## 1 Auswertung zum Versuch 232: Michelson-Interferometer

### 1.0.1 Yago Obispo Gerster | yago.obispo\_gerster@stud.uni-heidelberg.de

```
[1]: import matplotlib.pyplot as plt
      import matplotlib.mlab as mlab
      %matplotlib inline
      import numpy as np
      from numpy import exp, sqrt, log, pi
      from scipy.optimize import curve_fit
      from scipy.stats import chi2
      from scipy import signal
```

Aufgabe 1: Bestimmung der Wellenlänge eines grünen Lasers

```
[2]: #Messwerte können Tabelle 2 des Messprotokolls entnommen werden
s_a = np.array([0.8, 0.4, 0.2, 1.6, 0.1]) * 1e-3
s_e = np.array([3.758, 3.358, 3.161, 4.659, 3.060]) * 1e-3
syserr_s = 9 * 1e-9 #9nm als systematischer Fehler für die Uhr die
    ↪Motorbewegung misst
s = np.abs(s_a - s_e)
m = np.array([11123, 11129, 11124, 11129, 11123]) #Gezählte Streifen die an
    ↪Markierung vorbei

s_mean = np.mean(s) #Mittlere Verschiebung mit dem Motor
sig_std_s = 1 / sqrt(5) * np.std(s) #Standardfehler des Mittelwerts
sig_Delta_s = sqrt(sig_std_s ** 2 + syserr_s ** 2) #Gesamtfehler quadratische
    ↪Addition
m_mean = np.mean(m)
sig_std_m = 1 / sqrt(5) * np.std(m)

lambda_1 = 2 * s_mean / m_mean #Formel die in den Grundlagen hergeleitet wurde
sig_lambda_1 = 2 * sqrt( (sig_Delta_s / m_mean) ** 2 + (s_mean * sig_std_m / m_mean ** 2) ** 2)

print('lambda =', np.round(1e9 * lambda_1, 1), '+/-', np.round(1e9 * sig_lambda_1, 1), '[10^-9 m]')
```

```
lambda = 535.6 +/- 3.2 [10^-9 m]
```

Aufgabe 2: Bestimmung des Brechungsindex von Luft unter Normalbedingungen

```
[3]: #3 Messreihen mit dem Manometer
p1 = np.array([720, 650, 575, 500, 425, 350, 270, 200, 125, 52]) # in Torr
p2 = np.array([720, 647, 573, 500, 421, 348, 272, 200, 130, 51])
p3 = np.array([720, 645, 570, 497, 420, 347, 272, 197, 127, 48])
sig_p = 5 #Nach Praktiumsanleitung
Delta_m = np.array([0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45])#Nach 5
    ↪Interferenzringen wurde das Manometer abgelesen

#Erstellen des Plots: m gegen p um die Steigung zu bestimmen
def line(x, a, b):
    return a * x + b

popt_1, pcov_1 = curve_fit(line, p1, Delta_m)
popt_2, pcov_2 = curve_fit(line, p2, Delta_m)
popt_3, pcov_3 = curve_fit(line, p3, Delta_m)

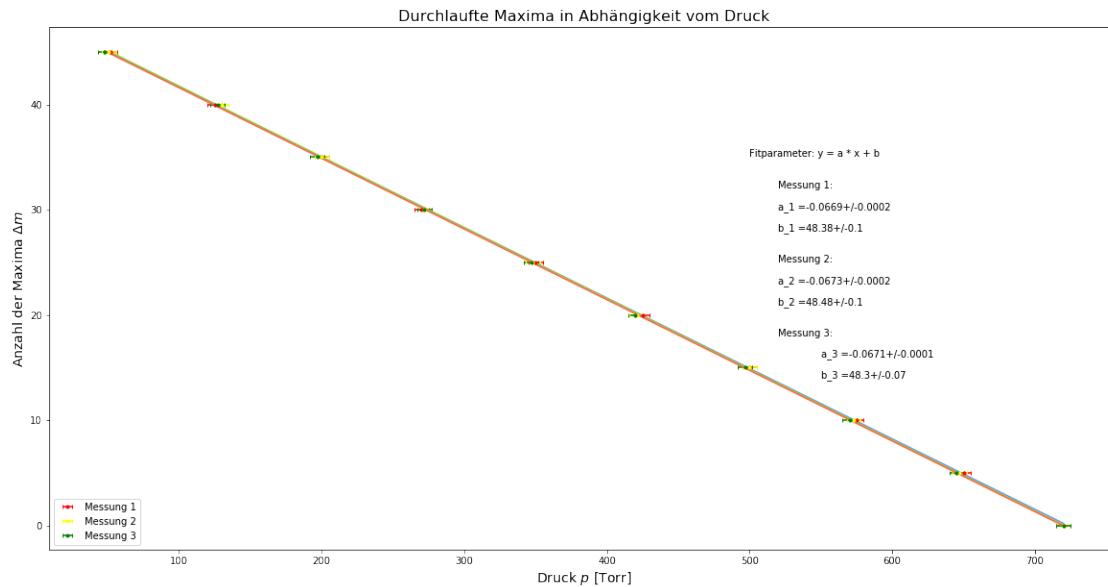
a_1 = popt_1[0] # Torr^-1
sig_a_1 = sqrt(pcov_1[0, 0])
a_2 = popt_2[0]
sig_a_2 = sqrt(pcov_2[0, 0])
a_3 = popt_3[0]
sig_a_3 = sqrt(pcov_3[0, 0])
b_1 = popt_1[1]
sig_b_1 = sqrt(pcov_1[1, 1])
b_2 = popt_2[1]
sig_b_2 = sqrt(pcov_2[1, 1])
b_3 = popt_3[1]
sig_b_3 = sqrt(pcov_3[1, 1])

plt.figure(figsize = (20, 10))
plt.errorbar(p1, Delta_m, xerr = sig_p, linestyle = 'None', fmt = '.', capsize = 2, label = 'Messung 1', color ='red')
plt.errorbar(p2, Delta_m, xerr = sig_p, linestyle = 'None', fmt = '.', capsize = 2, label = 'Messung 2', color ='yellow')
plt.errorbar(p3, Delta_m, xerr = sig_p, linestyle = 'None', fmt = '.', capsize = 2, label = 'Messung 3', color = 'green')
plt.ylabel('Anzahl der Maxima $\Delta m$', size = 14)
plt.xlabel('Druck $p$ [Torr]', size = 14)
plt.title('Durchlauft Maxima in Abhängigkeit vom Druck', size = 16)
plt.plot(p1, line(p1, *popt_1), color = 'cornflowerblue')
plt.plot(p2, line(p2, *popt_2), color = 'yellowgreen')
plt.plot(p3, line(p3, *popt_3), color = 'tomato')
plt.text(500, 35, 'Fitparameter: y = a * x + b')
plt.text(520, 32, 'Messung 1:')
```

```

plt.text(520, 30, 'a_1 =' + str(np.round(a_1, 4)) + '+/-' + str(np.
    round(sig_a_1, 4)))
plt.text(520, 28, 'b_1 =' + str(np.round(b_1, 2)) + '+/-' + str(np.
    round(sig_b_1, 2)))
plt.text(520, 25, 'Messung 2:')
plt.text(520, 23, 'a_2 =' + str(np.round(a_2, 4)) + '+/-' + str(np.
    round(sig_a_2, 4)))
plt.text(520, 21, 'b_2 =' + str(np.round(b_2, 2)) + '+/-' + str(np.
    round(sig_b_2, 2)))
plt.text(520, 18, 'Messung 3:')
plt.text(550, 16, 'a_3 =' + str(np.round(a_3, 4)) + '+/-' + str(np.
    round(sig_a_3, 4)))
plt.text(550, 14, 'b_3 =' + str(np.round(b_3, 2)) + '+/-' + str(np.
    round(sig_b_3, 2)))
plt.legend(loc = 'lower left')
plt.savefig('Steigungmgegenp.pdf')

```



```

[4]: # Brechungsindex berechnen
a = np.abs(np.mean([a_1, a_2, a_3]))
sig_a = 1 / sqrt(3) * np.std([a_1, a_2, a_3])
print('Steigung =', np.round(a, 5), '+/-', np.round(sig_a, 5))

T0 = 273.15 # K
T = 24.5 + 273.15
sig_T = 1
p0 = 760 # Torr
d = 0.05 # m

```

```

sig_d = 0.00005
n_0 = a * lambda_1 * p0 * T / (2 * d * T0) + 1
sig_n_0 = n_0 * sqrt( (sig_a / a) ** 2 + (sig_T / T) ** 2 + (sig_d / d)** 2+✉
    ↵(sig_lambda_1 / lambda_1) ** 2)
print('n_0 =', np.round(n_0, 3), '+/-', np.round(sig_n_0, 3))

```

Steigung = 0.06711 +/- 8e-05  
n\_0 = 1.0 +/- 0.007

Aufgabe 3: Messung der Kohärenzlänge einer LED

```

[5]: # Messdaten importieren
data=np.genfromtxt('TEK00000.CSV',delimiter=",",skip_header=16)
print(data)
t = data[:,0:1]
t = t[:, 0]
U = data[:,1:2]
U = U[:, 0]

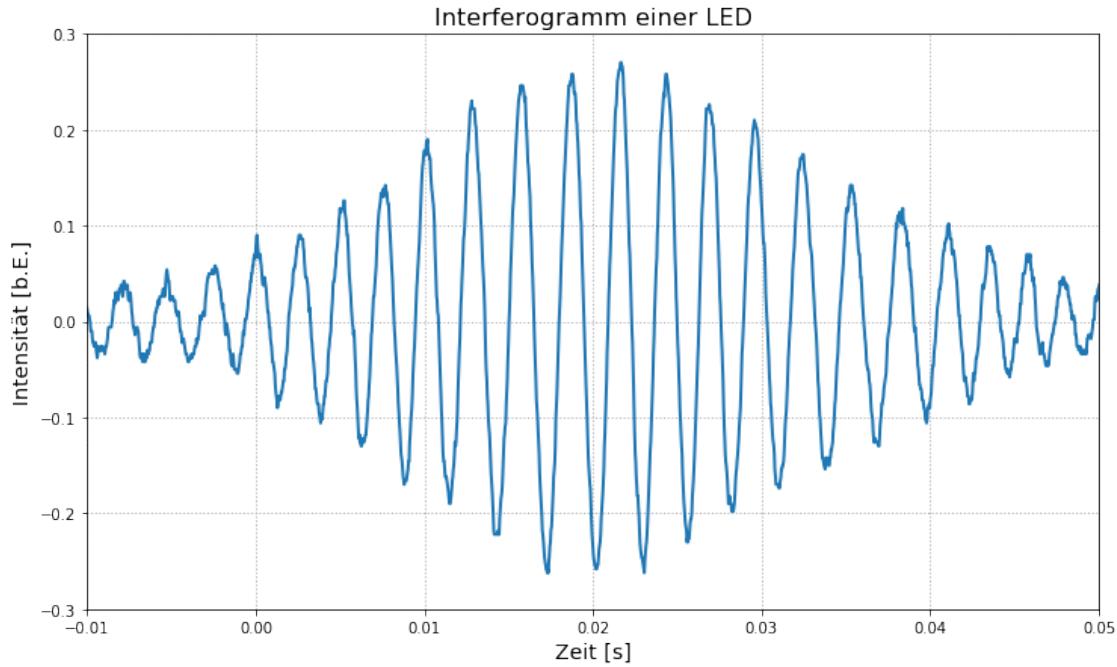
#Plot des Signalbildes
plt.figure(figsize = (12, 7))
plt.plot(t, U, linewidth = 2)
plt.axis([-0.01,0.05,-0.3,0.3])
plt.grid(linestyle = "dotted", linewidth = 1)
plt.title('Interferogramm einer LED', size = 16)
plt.ylabel('Intensität [b.E.]', size = 14)
plt.xlabel('Zeit [s]', size = 14)
plt.savefig('Oszilloskopbild.png')

```

```

[[ -0.01267  0.022  ]
 [ -0.01264  0.018  ]
 [ -0.01261  0.022  ]
 ...
 [  0.05123 -0.018  ]
 [  0.05126  0.002  ]
 [  0.0513   0.006  ]]

```



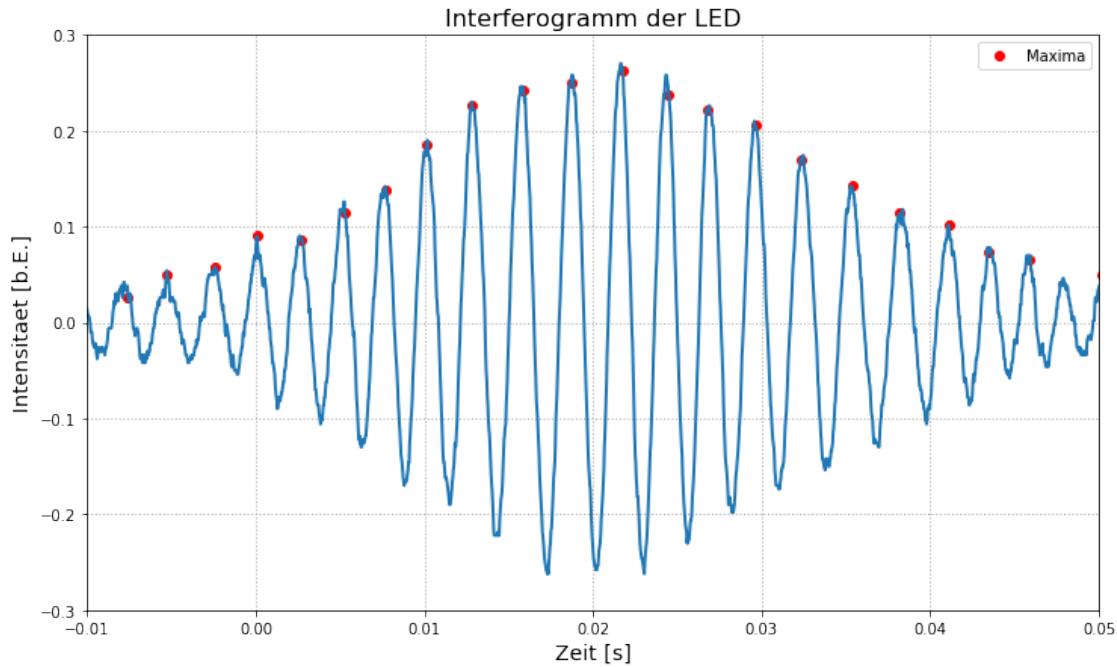
```
[6]: # Gauss Fit mit Methode 2 aus dem Praktikumsskript
peakind = signal.find_peaks_cwt(U, np.arange(1, 30), noise_perc = 100)

def gaussian(t, a, mu, sig):
    return a / sqrt(2 * pi) / sig * exp(-(t - mu) ** 2 / (2 * sig **2))

p0 = [0.0025, 0.005, 0.0125]
popt_4, pcov_4 = curve_fit(gaussian, t[peakind], U[peakind], p0)
a_4_2 = popt_4[0]
sig_a_4_2 = sqrt(pcov_4[0, 0])
mu_4_2 = popt_4[1]
sig_mu_4_2 = sqrt(pcov_4[1, 1])
sig_4_2 = popt_4[2]
sig_sig_4_2 = sqrt(pcov_4[2, 2])
x=np.linspace(-0.08,0.1,100)

plt.figure(figsize = (12, 7))
plt.plot(t[peakind], U[peakind], marker = 'o', linewidth=0, color ='red',label = 'Maxima')
plt.plot(t, U, linewidth = 2)
plt.xlabel('Zeit [s]', size = 14)
plt.ylabel('Intensitaet [b.E.]', size = 14)
plt.title('Interferogramm der LED', size = 16)
plt.axis([-0.01,0.05,-0.3,0.3])
plt.grid(linestyle = "dotted", linewidth = 1)
```

```
plt.legend(loc = 'best')
plt.savefig('SignalMitMarkiertenMaxima.png')
```



```
[7]: plt.figure(figsize = (12, 7))
plt.plot(t[peakind], U[peakind], marker = 'o', linewidth=0, color ='red',label = 'Maxima')
plt.plot(x, gaussian(x, *popt_4), label = "Gauss-Fit")
plt.text(0.06, 0.075, 'Fitparameter:')
plt.text(0.06, 0.065, 'a_4 =' + str(np.round(a_4_2, 5)) + '$\pm$' + str(np.
    round(sig_a_4_2, 5)))
plt.text(0.06, 0.055, 'mu_4 =' + str(np.round(mu_4_2, 5)) + '$\pm$' + str(np.
    round(sig_mu_4_2, 5)))
plt.text(0.06, 0.045, 'sig_4 =' + str(np.round(sig_4_2, 5)) + '$\pm$' + str(np.
    round(sig_sig_4_2, 5)))
plt.xlabel('Zeit [s]', size = 14)
plt.ylabel('Intensitaet [b.E.]', size = 14)
plt.title('Interferogramm der LED', size = 16)
plt.axis([-0.01,0.05,0,0.3])
plt.grid(linestyle = "dotted", linewidth = 1)
plt.legend(loc = 'best')
plt.savefig('Interferogramm mit Gausskurve.png')

v = 1e-4 # Verfahrengeschwindigkeit nach Praktikumsanleitung

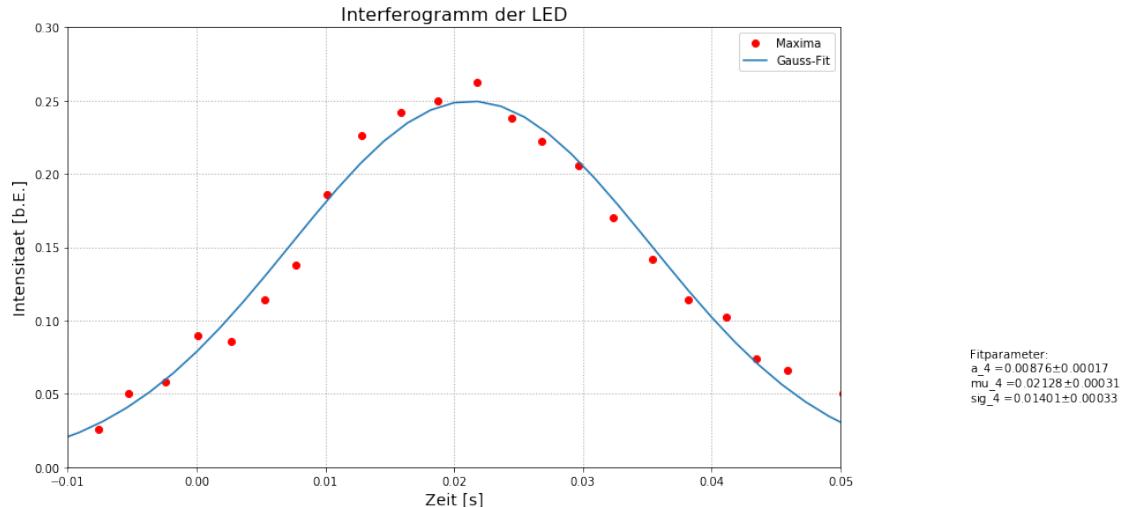
fwhm = 2 * sqrt(2 * log(2)) * sig_4_2
```

```

sig_fwhm = 2 * sqrt(2 * log(2)) * sig_sig_4_2
l_k = 2*fwhm * v
sig_l_k = 2*sig_fwhm * v
print('FWHM =', np.round(fwhm, 5), '+/-', np.round(sig_fwhm, 4), '[s]')
print('l_k =', np.round(1e6 * l_k, 3), '+/-', np.round(1e6 *sig_l_k, 2), '→ [10^-6 m]')

```

FWHM = 0.03298 +/- 0.0008 [s]  
l\_k = 6.597 +/- 0.15 [10^-6 m]



## 1.1 Diskussion der Ergebnisse

```

[8]: def literaturwert_Fehler(bezeichnung,X,X_err,X_lit,X_lit_err):
    print("Fehler für ",bezeichnung)
    print("Absolute Abweichung vom Literaturwert: ",np.abs(X-X_lit))
    print("Relativer Fehler: ",X_err/X *100)
    print("Sigma-Abweichung zum Literaturwert: ",np.abs(X-X_lit)/(np.
    →sqrt(X_err**2+X_lit_err**2)))
    print("\n")

def vergleich(bezeichnung,X,X_err,Y,Y_err):
    print("Fehler für ",bezeichnung)
    print("Absolute Abweichung voneinander: ",np.abs(X-Y))
    print("Sigma-Abweichung: ",np.abs(X-Y)/(np.sqrt(X_err**2+Y_err**2)))
    print("\n")

vergleich("Wellenlänge ",lambda_1,sig_lambda_1,532*1e-9,1*1e-9)
vergleich("Brechungsindex",n_0,sig_n_0,1.00028,0)

```

Fehler für Wellenlänge

Absolute Abweichung voneinander: 3.5576328467677197e-09  
Sigma-Abweichung: 1.0582507581584102

Fehler für Brechungsindex  
Absolute Abweichung voneinander: 1.7664852204779535e-05  
Sigma-Abweichung: 0.0025026791595344805