Versuch 232 - Michelson Interferometer

Felix Fleischle

29.11.2021

Einleitung

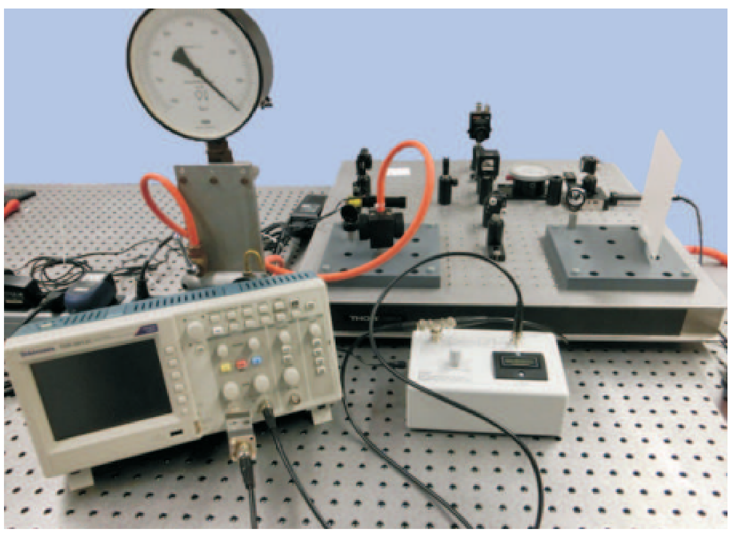


Abbildung 1: Bild des Versuchsaufbaus aus der Praktikumsanleitung

Bei diesem Versuch ist es das Ziel, mithilfe des Michelson-Interferometers die Wellenlänge des grünen Lasers, den Brechungsindex von Luft, sowie die Kohärenzlänge einer Leuchtdiode zu bestimmen.

Grundlagen

Das Michelson-Interferometer ist ein Versuchsaufbau gemäß Abbildung 2:

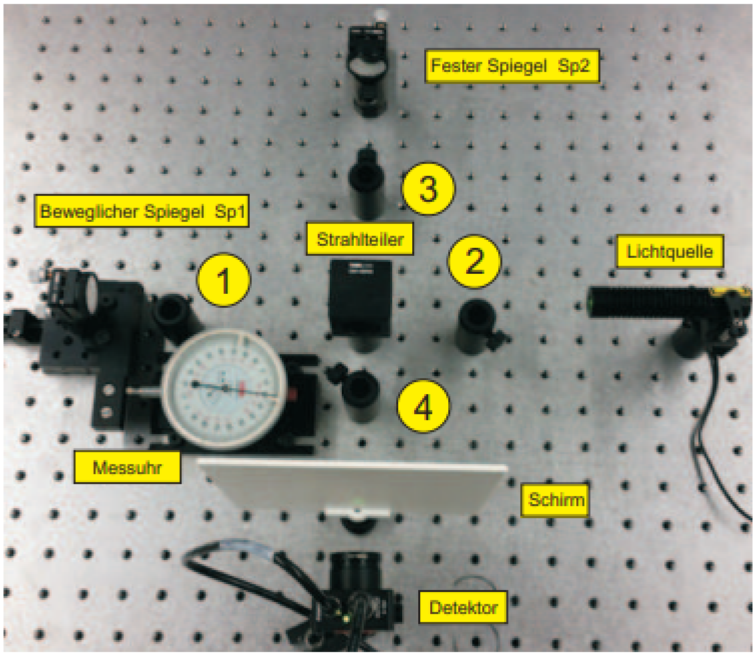


Abbildung 2: Aufbau des Interferometers

Wir haben eine Lichtquelle, entweder Laser oder Leuchtdiode. Das Licht trifft auf einen Strahlenteiler, der das Licht entweder nach oben auf den festen Spiegel schickt, oder durchlässt zum beweglichen Spiegel. Die Spiegel schicken die Strahlen zurück durch den Strahlenteiler auf den Detektor bzw. Schirm. Der bewegliche Spiegel kann mit einem Motor gesteuert werden, und die Position mit einer Messuhr abgelesen werden. Außerdem kann eine Glasküvette in Position 3 montiert werden, welche später zur Bestimmung des Brechungsindex von Luft benötigt wird.
Als erstes wollen wir die Wellenlänge des grünen Lasers bestimmen. Dazu müssen wir die Interferenzmuster auf dem Schirm verstehen. Es treten zwei arten von Interferenz auf: Wenn wir den beweglichen Spiegel verschieben verändert sich die Weglänge für den einen Strahl und es tritt Interferenz gleicher Neigung auf, wenn man beide Spiegel zusammen betrachtet:

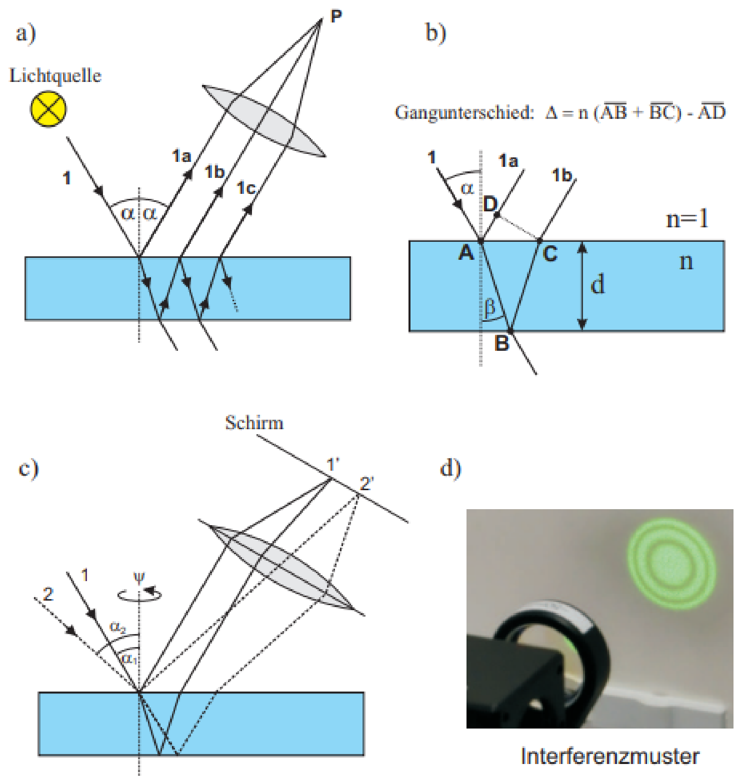


Abbildung 3: Interferenz gleicher Neigung

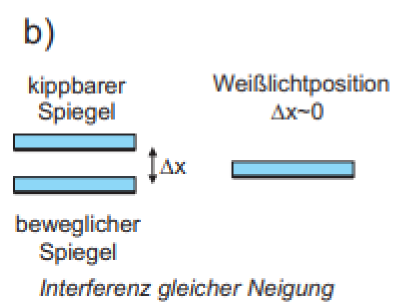


Abbildung 4: Interferenz gleicher Neigung durch Betrachtung beider Spiegel

Man kann also ein Ringmuster auf dem Schirm beobachten, bei dem bei erhöhtem/verringertem Gangunterschied neue Maxima und Minima im Zentrum auftauchen. Wenn man nun den einen Spiegel um einen Winkel ϵ kippt, erhält man, wenn man wieder beide Spiegel zusammen betrachtet, Inteferenz gleicher Dicke:

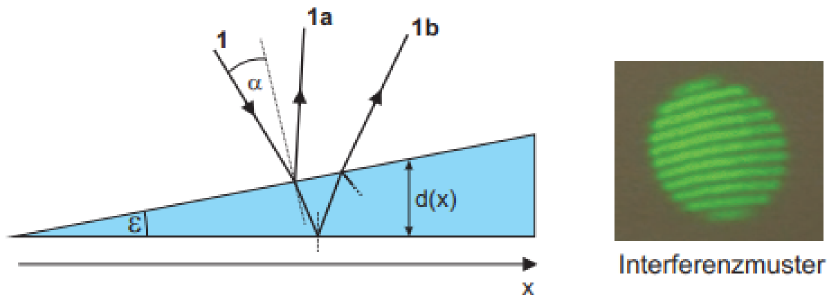


Abbildung 5: Interferenz gleicher Dicke

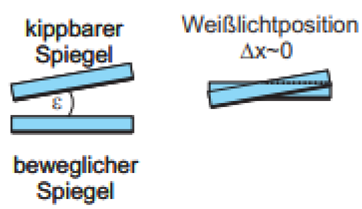


Abbildung 6: Interferenz gleicher Dicke durch Betrachtung beider Spiegel

Hier kann man nun also ein Streifenmuster beobachten, bei dem wie bei dem Ringmuster neue Maxima und Minima entstehen beim Variieren des Gangunterschieds.
Wenn man nun die Anzahl der vorbeiziehenden Streifen zählt, bei der Verschiebung des Spiegels um Δx, kann man die Wellenlänge des Lichts berechnen, da jeder Strich einer Änderung im Gangunterschied von $\lambda/2$ entspricht:

$$\lambda = 2\frac{\Delta x}{\Delta m} \tag{1}$$

wobei Δm der Zahl der Interferenzstreifen entspricht. Wenn man den in Abbildung 3 gezeigten Gangunterschied betrachtet, zusammen mit dem Snellius'schen Brechungsgesetz, kann man den Gangunterschied in Abhängigkeit vom Einfallswinkel α, der Dicke d, sowie der Brechungszahl n bestimmen zu

$$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha} - \frac{\lambda}{2} \tag{2}$$

Wenn wir $\alpha = 0$ und $n = 1$, sowie $d = \Delta x$ dem Spiegelabstand, da wir die beiden Spiegel als ein System betrachten, erhalten wir

$$\Delta = 2\Delta x - \frac{\lambda}{2} \tag{3}$$

was einen Gangunteschied von $\lambda/2$ bedeutet für eine Verschiebung von $\lambda/2$, genau wie in Gleichung (1). Darüber können wir also die Wellenlänge des Lichts mit einem Zähler bestimmen, der die vorbeigezogenen Striche misst.
Den Brechungsindex können wir ähnlich bestimmen: Wenn wir die Küvette vor den festen Spiegel setzen, ändert sich der Gangunterschied um

$$\Delta = 2a\Delta n \tag{4}$$

mit der Länge a der Küvette. Mit $\Delta = \lambda\Delta m$ folgt

$$\Delta n = \frac{\lambda}{2a}\Delta m \tag{5}$$

Wir können also den Druck in der Küvette von $n = n_{Luft}$ bis $n = 1$ variieren und erhalten

$$n_{Luft} - 1 = \frac{\lambda}{2a}\Delta m(b) \tag{6}$$

mit dem Luftdruck b.
Als letzten Teil des Versuches wollen wir die Kohärenzlänge einer Leuchtdiode bestimmen. Dazu müssen wir wissen was Kohärenz und spektrale Bandbreite sind: Damit Interferenzerscheinungen sichtbar sind, müssen wir mit kohärentem Licht arbeiten, das heißt die Lichtquellen müssen eine konstante Phasenbeziehung aufweisen. Dies schafft man am besten, indem man eine einzige Lichtquelle verwendet, wie bei uns der Laser oder die Leuchtdiode, und den Gangunterschied durch einen Doppelspalt, oder bei uns einen Strahlenteiler mit unterschiedlichen Weglängen erzeugt.
Außerdem darf der Gangunterschied nicht unendlich lang sein, sondern muss stets kleiner als die Kohärenzlänge sein, damit Interferenz beobachtbar ist. Dies kommt daher, dass die Wellen eine konstante Phasenbeziehung aufweisen müssen, was aber eigentlich nur bei monochromatischem Licht möglich ist,

welches nicht aus unterschiedlichen Frequenzen zusammengesetzt ist. Monochromatische Lichtquellen existieren jedoch nicht, sondern jede Lichtquelle hat eine Bandbreite $\Delta\omega$:

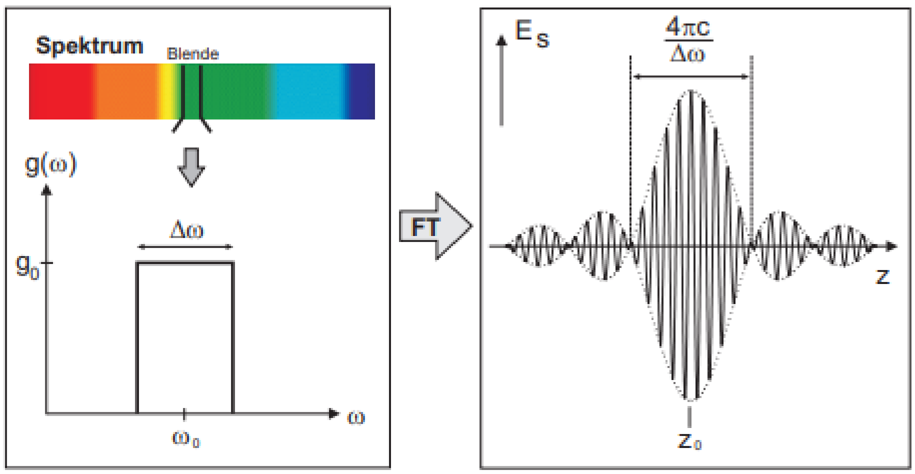


Abbildung 7: Spektrale Bandbreite, mit zugehöriger Wellenform

Die Breite des Hauptmaximus ist $\frac{4\pi C}{\Delta\omega}$. Wenn sich nun zwei solcher Wellen überlagern, mit einer relativen Verschiebung von $\Delta z = 2\pi c/\Delta\omega$, dann fällt das Hauptmaximum der einen Welle auf die Nullstelle der zweiten. Man kann also eine Kohärenzlänge definieren als

$$L = \frac{2\pi c}{\Delta\omega} = \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda} \tag{7}$$

Durchführung

Justierung des Interferometers

Zu Beginn des Versuchs müssen wir das Interferometer justieren. Wir legen die Arbeitshöhe durch eine Irisblende fest, welche wir zunächst vor den verschiebbaren Spiegel stecken (Position 1 Abbildung 2). Wir platzieren den Laser in die Halterung und justieren diesen so, dass er zentrisch auf die Blende trifft. Anschließend stecken wir die Irisblende vor den Laser in Position 2, und blenden den vertikalen Strahl aus, indem wir den Schirm vor den festen Spiegel in Position 3 stecken. Nun justieren wir den beweglichen Spiegel so, dass der reflektierte

Strahl zentrisch auf die Irisblende des Detektors trifft. Dann stecken wir den Schirm in Position 1, um den horizontalen Strahl auszublenden, und justieren den festen Spiegel analog. Zum Schluss entfernen wir die Irisblende und stecken den Schirm vor den Detektor. Wir montieren die -50mm-Linse in den Halter vor dem Schirm, wodurch Interferenzen beobachtbar werden als Streifenmuster. Um ein Ringsystem beobachten zu können montieren wir die +200mm-Linse vor dem Laser.

Messung der Wellenlänge

Vor dem Start der Messung stellen wir noch das Oszilloskop ein. Wir schalten das Oszilloskop ein und verändern die Einstellungen grob zu den hier gezeigten:

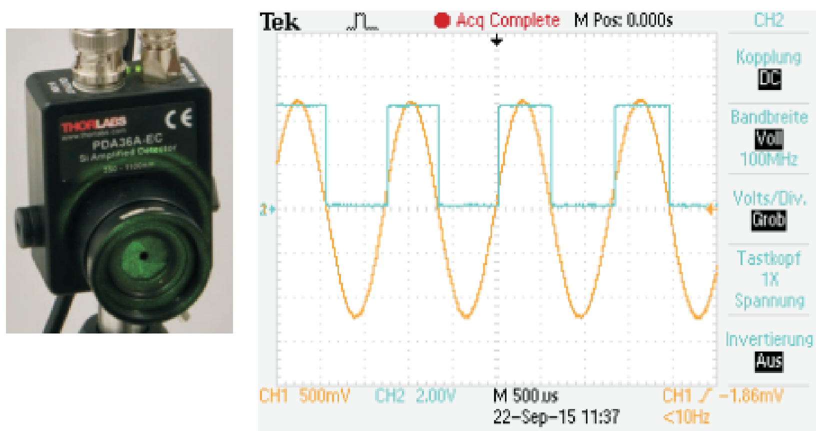


Abbildung 8: Messung der Signale mit einem Oszilloskop

An Kanal 1 ist das Signal des Detektors angeschlossen, und an Kanal 2 das Signal des Diskriminators, welcher das Signal verstärkt und in einen Rechtecksignal umwandelt. Die Maxima werden mithilfe eines Zählers am Diskriminator gezählt.
Für die Messung der Wellenlänge fahren wir den beweglichen Spiegel auf eine Startposition s_a, und benutzen die Taste am Motor um den Spiegel um 3mm in Richtung des Strahlenteilers zu verschieben. Dabei werden alle durchlaufenen Interferenzmaxima vom Zähler gezählt. Wir notieren dann die Endposition s_e. Wir führen diese Messung insgesam fünf mal durch. Die Wellenlänge ergibt sich

dann aus

$$\lambda = 2\frac{s_a - s_e}{m} \tag{8}$$

Messung des Brechungsindex von Luft

Wir platzieren nun den Schrim vor dem Detektor, und die Glasküvette vor den festen Spiegel. Auf dem Schrim sollten 2-3 Interferenzringe beobachtbar sein. Wir schließen das Nadelventil, stellen die Vakuumpumpe an und öffnen den Absperrhebel so lange, bis sich der Druck in der Küvette nicht mehr ändert. Dann stellen wir die Vakuumpumpe aus und öffnen das Nadelventil um immer wieder etwas Luft in die Küvette einströmen zu lassen. Dabei kommen neue Interferenzmaxima aus dem Zentrum hervor. Wir messen nach je 5 Interferenzmaxima den Druck am Manometer ab, bis wieder Luftdruck erreicht ist. Diese Messung führen wir drei mal durch und notieren die Zimmertemperatur.

Messung der Kohärenzlänge einer Leuchtdiode

Wir entfernen die Küvette aus dem Strahlengang und verfahren den beweglichen Spiegel ins Weißlichtposition. Wir stellen den festen Spiegel so ein, dass wir möglichst nur einen großen Interferenzring sehen. Wir entfernen die -50mm Linse und richten die Leuchtdiode so aus, dass wir den Schatten des Strahlenteilers zentrisch auf dem Detektor sehen. Wir schalten das Oszilloskop in den Single-Modus und stellen das Trigger-Level knapp über das Rauschen, sodass das Oszilloskop gerade nicht auslöst. Nun verfahren wir den beweglichen Spiegel in richtung Weißlichtposition, bis das Oszilloskop auslöst und das Signal speichert. Wir wiederholen das ganze mit gegebenenfalls erhöhrem Trigger-Level, bis das ganze Signal auf dem Oszilloskop sichtbar ist. Wir speichern das Bild ab. Es sollte ungefähr ein solches Bild entstehen:

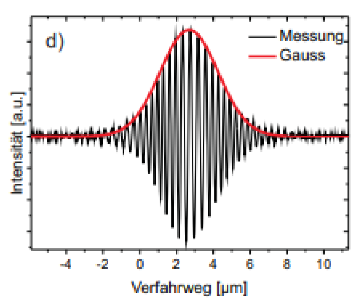


Abbildung 9: Interferogramm der Leuchtdiode

Messprotokoll - Michelson Interferometer

29.11.21

Furkan Cetin, Felix Fleischle, Laura Scholl

Gruppe 2, nachmittags

Geräte:

- Michelson Interferometer
- Leuchtdiode, Laser
- Thermometer
- Vakuumpumpe

Tabelle 1: Messung der Wellenlänge

Messung	s_a [mm]	s_e [mm]	m [counts]
1	0,600	3,572	11175
2	0,609	3,580	11174
3	0,620	3,591	11175
4	1,200	4,173	11177
5	1,000	3,970	11174

$\Delta s\,(sys) = 9\,nm$

$T = (23{,}8 \pm 0{,}1)\,°C$

Tabelle 2: Messung des Brechungsindex von Luft

p [Torr]	1	2	3
p_0	695	715	695
p_5	630	640	620
p_{10}	540	565	554
p_{15}	465	495	470
p_{20}	390	420	395
p_{25}	315	340	320
p_{30}	240	265	240
p_{35}	165	190	165
p_{40}	90	115	90
p_{45}	15	40	15

$\Delta p = 5$ Torr

29.11.21

Auswertung

Die Berechnungen wurden mit Python durchgeführt, der Code ist am Ende des Dokuments zu finden.

Bestimmung der Wellenlänge des Lasers

Unser erstes Ziel war es, die Wellenlänge des grünen Lasers zu bestimmen. Dazu haben wir aus unseren gemessenen Anfangs- und Endpositionen des Speigels die Mittelwerte gebildet und die Differenz der beiden Werte gebildet:

$$\Delta s = s_e - s_a = 0,0029714 \pm 0,0000005 \text{ m} \tag{9}$$

Mit dem systematischen Fehler $\Delta s_{sys} = \sqrt{(9nm)^2 + (9nm)^2} = 1,2 \cdot 10^{-8}$m und dem statistischen Fehler $\Delta s_{std} = 5 \cdot 10^{-7}$m welche zusammen den gesamten Fehler ergeben. Aus diesen Werten konnten wir nun die Wellenlänge berechnen:

$$\lambda = 2\frac{\Delta s}{m} = 531,79 \pm 0,08 \text{ nm} \tag{10}$$

mit der Anzahl der gezählten Maxima $m = 11175,0 \pm 0,5$. Der Fehler der Wellenlänge wurde dabei aus Fehlerfortpflanzung bestimmt:

$$\Delta\lambda = \sqrt{\left(\frac{2\Delta s_{err}}{m}\right)^2 + \left(\frac{2\Delta s \Delta m}{m^2}\right)^2} \tag{11}$$

Der Literaturwert der Wellenlänge beträgt $\lambda_{lit} = 532,0 \pm 1,0$nm, und damit die Abweichung

$$\sigma_\lambda = \frac{\lambda_{lit} - \lambda}{\sqrt{\Delta\lambda_{lit}^2 + \Delta\lambda^2}} = 0,2 \tag{12}$$

Die Werte stimmen also sehr gut überein.

Bestimmung des Brechungsindex von Luft

Wir haben drei Messreihen durchgeführt, und tragen nun die Anzahl der vorbeigezogenen Maxima in Abhängigkeit des Drucks auf:

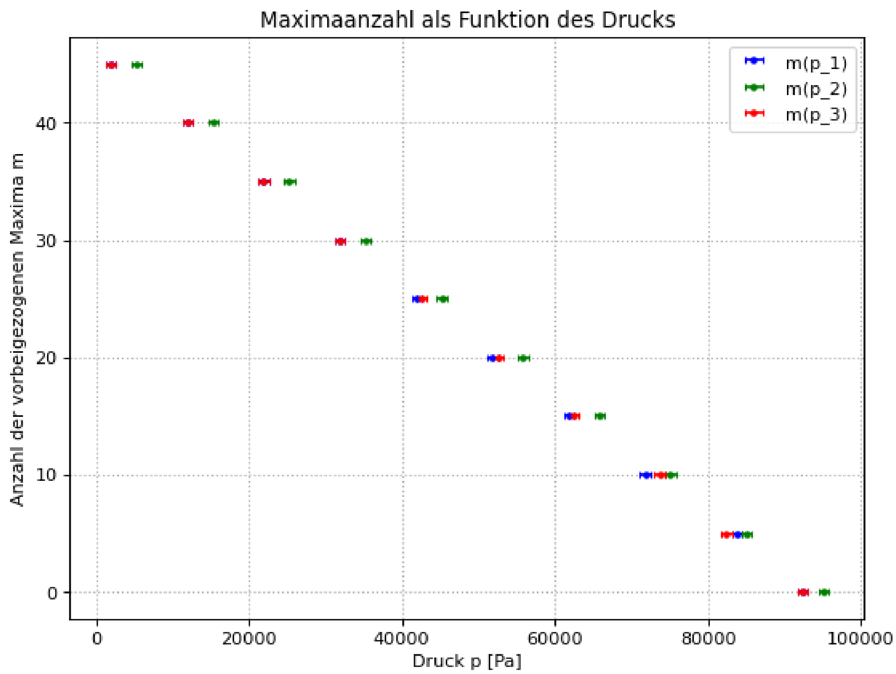


Abbildung 10: Anzahl der vorbeigezogenen Maxima als Funktion des Drucks

Wir haben dann mit Python einen fit durchgeführt mit der linearen Funktion $m = s \cdot p + b$. Für die drei Messreihen haben wir folgende Steigungen erhalten:

Messreihe	Steigung s [1/Pa]
p_1	$-0,000495 \pm 0,000003$
p_2	$-0.0005004 \pm 0,0000016$
p_3	$-0.0004946 \pm 0,0000024$

Tabelle 1: Steigungen der verschiedenen Graphen der drei Messreihen

Wir haben die Geraden mit diesen Steigungen in das Diagramm geplottet:

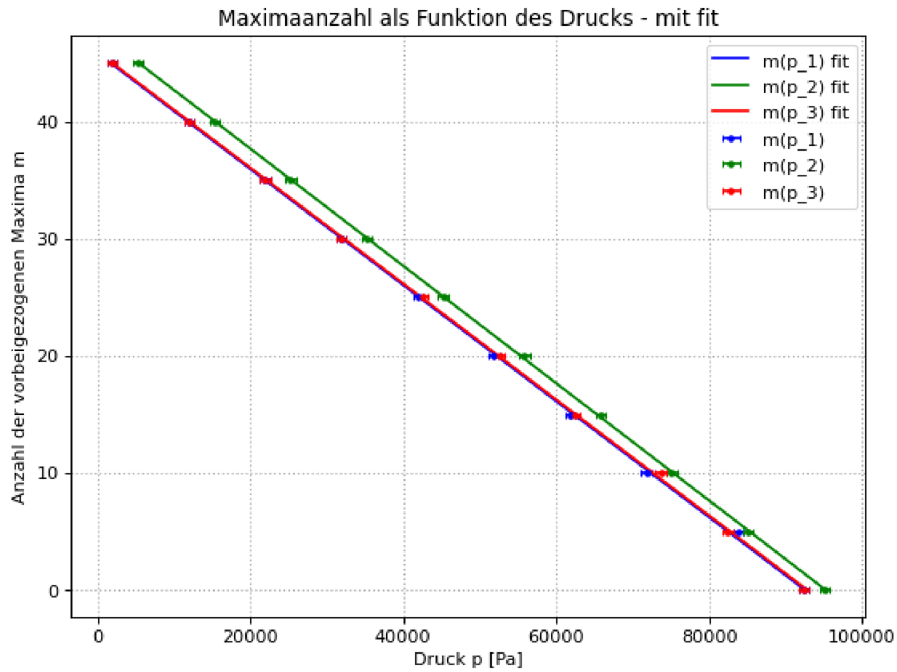


Abbildung 11: Anzahl der vorbeigezogenen Maxima als Funktion des Drucks mit fit

Wir haben dann für die Berechnung des Brechungsindex aus der Steigung den Mittelwert der Steigung berechnet, und dessen Betrag:

$$s = 0,0004966 \pm 0,0000028 \frac{1}{\mathrm{Pa}} \tag{13}$$

Mit den Werten aus Protokoll und Anleitung für T, T_0, p_0 und a und deren Fehlern ergibt sich dann der Brechungsindex zu

$$n_0 = \frac{s\lambda p_0 T}{2aT_0} + 1 = 1,000 \pm 0,006 \tag{14}$$

Der Fehler von oben berechnet man aus

$$\Delta n_0 = \sqrt{\left(\frac{\Delta T}{T}\right)^2 + \left(\frac{\Delta a}{a}\right)^2 + \left(\frac{\Delta s}{s}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \lambda}{\lambda}\right)^2} \cdot n_0 \tag{15}$$

Der Literaturwert des Brechungsindex beträgt $n_{lit} = 1,00028$ und damit die

Abweichung

$$\sigma_n = \frac{n_{lit} - n_0}{\Delta n} = 0,0019 \tag{16}$$

Auch diese Werte stimmen also sehr gut überein.

Messung der Kohärenzlänge der Leuchtdiode

Wir haben die Messdaten unserer Kurve auf dem Oszilloskop in Python importiert, und diese dargestellt:

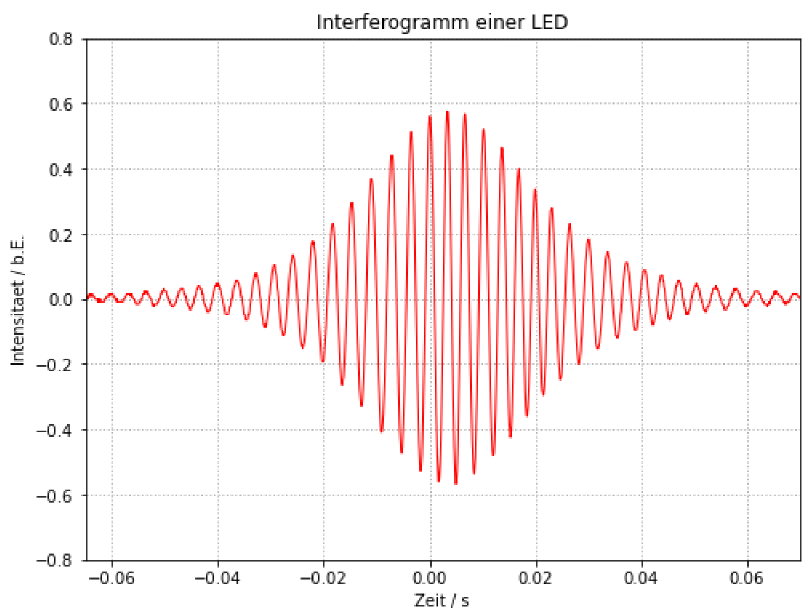


Abbildung 12: Interferogramm der Leuchtdiode

Wir haben dann mit Scipy die Peaks der Funktion gefunden und diese in den Plot eingefügt:

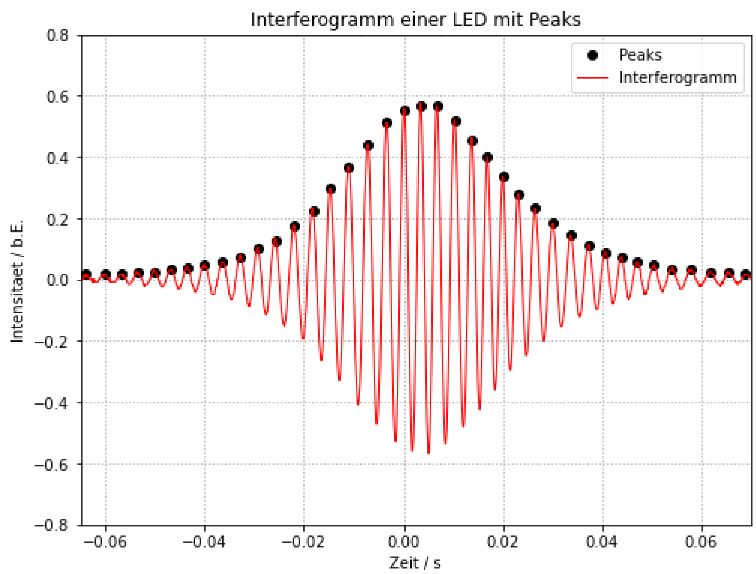


Abbildung 13: Interferogramm der Leuchtdiode mit Peaks

Als nächstes haben wir eine Gaußfunktion gefittet und ins Diagramm eingefügt:

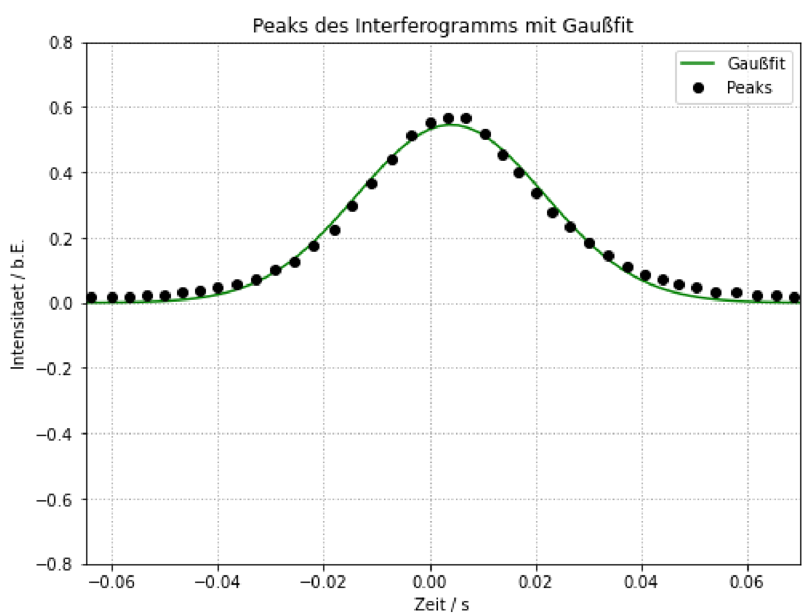


Abbildung 14: Peaks mit Gauß-fit

Die Breite der Gaußverteilung wurde bestimmt zu $\sigma = 0,01772 \pm 0,00024$ s, woraus wir die Halbwertsbreite bestimmen konnten:

$$\mathrm{FWHM} = 2\sqrt{2\ln 2}\cdot\sigma = 0,0417 \pm 0,0006 \text{ s} \tag{17}$$

Mit der Verfahrgeschwindigkeit des Spiegels $v = 0,1\,\frac{\mathrm{mm}}{\mathrm{s}}$ können wir die Kohärenzlänge abschätzen:

$$L = v\cdot\mathrm{FWHM} = (4,17 \pm 0,06)\cdot 10^{-6} \text{ m} \tag{18}$$

Diese ist wie erwartet sehr klein, da man nur in einem sehr kleinen Bereich des Gangunterschieds ein Interferenzmuster beobachten konnte.

Zusammenfassung und Diskussion

Die Ziele des Versuches waren es, mithilfe des Michelson-Interferometers die Wellenlänge des grünen Lasers, den Brechungsindex von Luft, sowie die Kohärenzlänge einer Leuchtdiode zu bestimmen.
Als erstes haben wir aus den Positionen der Spiegel und der Zahl der vorbeigezogenen Maxima die Wellenlänge des grünen Lasers bestimmt. Unser Ergebnis war

$$\lambda = 531,79 \pm 0,08 \text{ nm}$$

Die Abweichung zum Literaturwert $\lambda_{lit} = 532,0 \pm 1,0$nm haben wir ebenfalls berechnet:

$$\sigma_\lambda = 0,2$$

Die Werte stimmen also sehr gut innerhalb der Fehlergrenzen überein.
Als nächstes haben wir aus der Anzahl der vorbeigezogenen Maxima in Abhängigkeit des gemessenen Drucks in der Küvette bestimmt. Dazu haben wir einen fit durchgeführt mit einer linearen Funktion und aus der Steigung den Brechungsindex bestimmt:

$$n_0 = 1,000 \pm 0,006$$

Mit dem Literaturwert $n_{lit} = 1,00028$ ergibt sich die Abweichung

$$\sigma_n = 0,0019$$

Auch diese Werte stimmen also sehr gut innerhalb der Fehlergrenzen überein.
Zum Schluss haben wir die Kohärenzlänge einer Leuchtdiode aus der Halbwertsbreite der Gaußverteilung des Interferogramms bestimmt. Unser Ergebnis war

$$L = (4,17 \pm 0,06) \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

Die Kohärenzlänge ist wie erwartet sehr klein, da man nur in einem sehr kleinen Bereich der Verschiebung des Spiegels ein Interferenzmuster beobachten konnte.
Abweichungen oder große Fehler gab es bei dem Versuch also kaum. Nur bei der Bestimmung der Kohärenzlänge hat der Gauß-fit einen negativen Wert für σ ergeben. Mit dem Betrag des Wertes kommt zwar ein relativ sinnvolles Ergebnis heraus, jedoch war es mir nicht möglich, den Grund für den negativen Wert zu finden.

Versuch 232 Michelson-Interferometer - Auswertung

Felix Fleischle - 29.11.2021

In [1]:
```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy.optimize import curve_fit
```

Berechnung der Wellenlänge

In [2]:
```
# Unsere Messdaten
s_a = np.array([0.6 , 0.609 , 0.620 , 1.2 , 1]) * 10**(-3) #m
s_e = np.array([3.572 , 3.580 , 3.591 , 4.173 , 3.970]) * 10**(-3) #m
m = np.array([11175 , 11174 , 11175 , 11177 , 11174])
s_err_sys = 9 * 10**(-9) #m

# Mittelwerte und statistische Fehler:
delta_s = s_e - s_a
delta_s_mean = np.mean(delta_s)
delta_s_err_std = np.std(delta_s)/np.sqrt(5)
delta_s_err_sys = np.sqrt(s_err_sys**2 + s_err_sys**2)
delta_s_err = np.sqrt(delta_s_err_std**2 + delta_s_err_sys**2)

print("Delta s =",delta_s_mean,"+-",delta_s_err,"[m]")
print("Std Delta s:",delta_s_err_std,"[m]")
print("Sys Delta s:", delta_s_err_sys,"[m]")

m_mean = np.mean(m)
m_mean_err = np.std(m)/np.sqrt(5)
print("m =",m_mean,"+-",m_mean_err)
```

```
Delta s = 0.0029714000000000003 +- 4.562477397204663e-07 [m]
Std Delta s: 4.560701700396929e-07 [m]
Sys Delta s: 1.2727922061357857e-08 [m]
m = 11175.0 +- 0.48989794855663554
```

In [3]:
```
# Berechung von Lambda:
lmbda = 2 * delta_s_mean / m_mean
lmbda_err = np.sqrt((2*delta_s_err / m_mean)**2 + (2*delta_s_mean * m_mean_err/ (m_mean)**2)**2)
print("lambda=", lmbda, "+-", lmbda_err, "[m]")
```

```
lambda= 5.317941834451903e-07 +- 8.4917938396663e-11 [m]
```

In [4]:
```
# Abweichung vom Literaturwert
lmbda_lit = 532 * 10**(-9) #m
lmbda_lit_err = 1 * 10**(-9)
sigma_lmbda = (lmbda_lit - lmbda)/(np.sqrt(lmbda_err**2 + lmbda_lit_err**2))
print("Sigma Abweichung Wellenlänge:", sigma_lmbda)
```

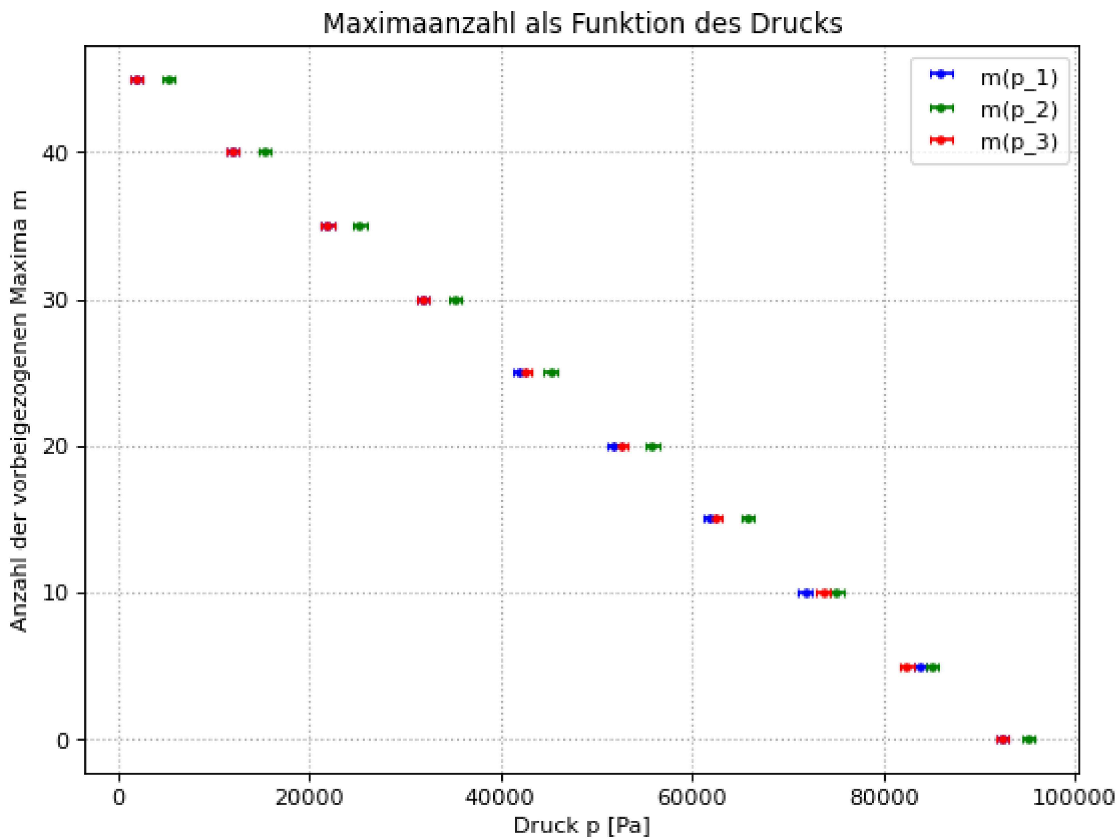
```
Sigma Abweichung Wellenlänge: 0.20507846683693318
```

Bestimmung des Brechungsindex von Luft

In [5]:
```
delta_m = np.linspace(0,45,10)
p1 = np.array([695, 630, 540, 465, 390, 315, 240, 165, 90, 15]) *133 #Pa
p2 = np.array([715, 640, 565, 495, 420, 340, 265, 190, 115, 40]) *133
p3 = np.array([695, 620, 554, 470, 395, 320, 240, 165, 90, 15]) *133
p_err = 5 *133
```

In [6]:
```
plt.figure(figsize=(8, 6), dpi=80)
plt.title('Maximaanzahl als Funktion des Drucks')
plt.errorbar(p1, delta_m, linestyle="None", marker = ".",color="blue", xerr = p_err , capsize = 2, label="m(p_1)")
plt.errorbar(p2, delta_m, linestyle="None", marker = ".",color="green", xerr = p_err , capsize = 2, label="m(p_2)")
plt.errorbar(p3, delta_m, linestyle="None", marker = ".",color="red", xerr = p_err , capsize = 2, label="m(p_3)")
plt.grid(linestyle=":", linewidth=1)
plt.legend()
plt.xlabel("Druck p [Pa]")
plt.ylabel("Anzahl der vorbeigezogenen Maxima m")
```

Out[6]:
```
Text(0, 0.5, 'Anzahl der vorbeigezogenen Maxima m')
```



In [7]:

```
def linear(x,s,b):
    return x*s + b
popt1, pcov1 = curve_fit(linear, p1, delta_m)
popt2, pcov2 = curve_fit(linear, p2, delta_m)
popt3, pcov3 = curve_fit(linear, p3, delta_m)

s1 = popt1[0]
s2 = popt2[0]
s3 = popt3[0]
s1_err = np.sqrt(pcov1[0,0])
s2_err = np.sqrt(pcov2[0,0])
s3_err = np.sqrt(pcov3[0,0])

b1 = popt1[1]
b2 = popt2[1]
b3 = popt3[1]
```

```python
print("Steigung 1:", s1, "+-", s1_err, "[1/Pa]")
print("Steigung 2:", s2, "+-", s2_err, "[1/Pa]")
print("Steigung 3:", s3, "+-", s3_err, "[1/Pa]")
```

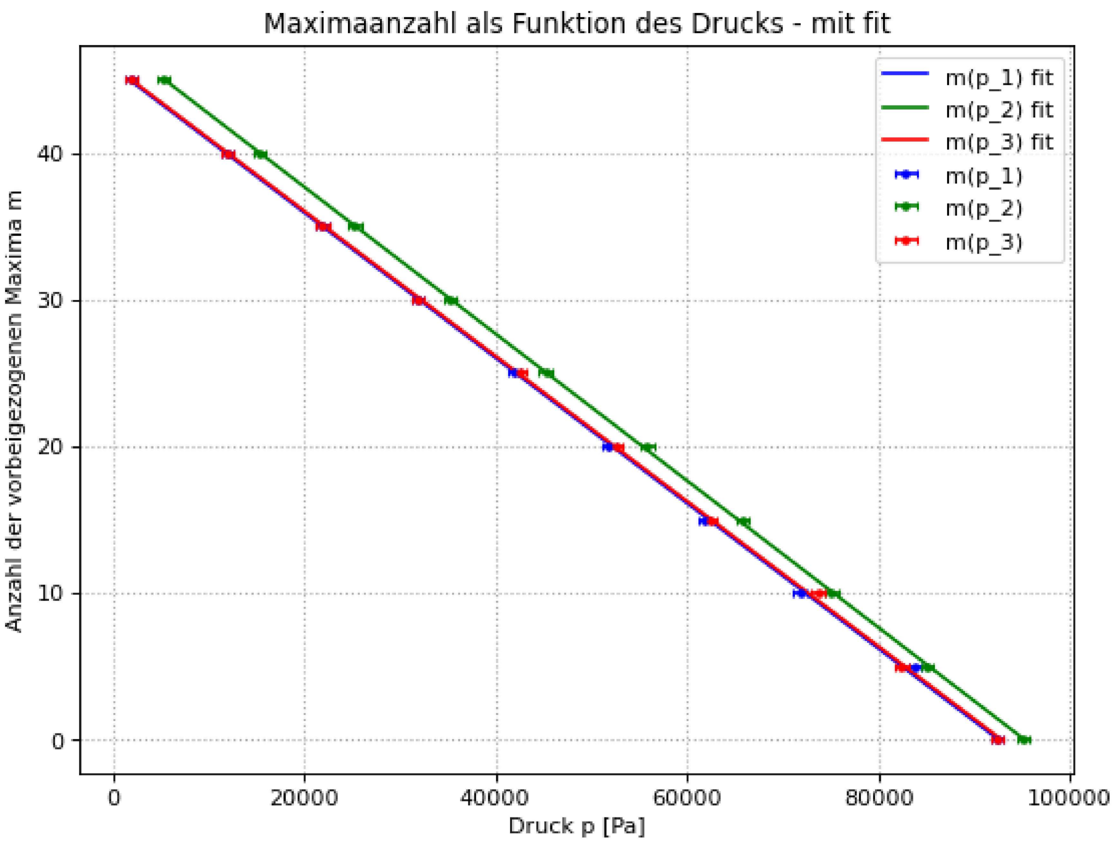
```
Steigung 1: -0.0004951023996589482 +- 3.023397371456243e-06 [1/Pa]
Steigung 2: -0.0005004026434622228 +- 1.6148532249321207e-06 [1/Pa]
Steigung 3: -0.0004945680244824356 +- 2.3544926815812354e-06 [1/Pa]
```

In [8]:

```python
plt.figure(figsize=(8, 6), dpi=80)
plt.title('Maximaanzahl als Funktion des Drucks - mit fit')
plt.errorbar(p1, delta_m, linestyle="None", marker = ".",color="blue", xerr = p_err , capsize = 2, label="m(p_1)")
plt.plot(p1, linear(p1,s1,b1),label="m(p_1) fit",color="blue")
plt.errorbar(p2, delta_m, linestyle="None", marker = ".",color="green", xerr = p_err , capsize = 2, label="m(p_2)")
plt.plot(p2, linear(p2,s2,b2),label="m(p_2) fit",color="green")
plt.errorbar(p3, delta_m, linestyle="None", marker = ".",color="red", xerr = p_err , capsize = 2, label="m(p_3)")
plt.plot(p3, linear(p3,s3,b3),label="m(p_3) fit",color="red")
plt.grid(linestyle=":", linewidth=1)
plt.legend()
plt.xlabel("Druck p [Pa]")
plt.ylabel("Anzahl der vorbeigezogenen Maxima m")
```

Out[8]:

```
Text(0, 0.5, 'Anzahl der vorbeigezogenen Maxima m')
```



In [9]:
```
s_mean = abs(np.mean(np.array([s1, s2, s3])))
s_mean_err_sys = np.mean(np.array([s1_err, s2_err, s3_err]))
s_mean_err_std = np.std(np.array([s1, s2, s3]))/np.sqrt(3)
s_mean_err = np.sqrt(s_mean_err_sys**2 + s_mean_err_std**2)

print("Mittlere Steigung:", s_mean, "+-", s_mean_err, "[1/Pa]")

p_0 = 101325
T_0 = 273.15
T = 23.8 + 273.15
T_err = 0.1
a = 0.05 #m
a_err = 0.00005 #m

n_0 = (s_mean * lmbda * p_0 * T) / (2 * a * T_0) + 1
```

```
def errorFrac(x, x_err, p):
    return (x_err * p)/x

T_errfrac = errorFrac(T,T_err,1)
a_errfrac = errorFrac(a,a_err,1)
s_mean_errfrac = errorFrac(s_mean, s_mean_err,1)
lmbda_errfrac = errorFrac(lmbda, lmbda_err, 1)

n_0_err = np.sqrt(T_errfrac**2 + a_errfrac**2 + s_mean_errfrac**2 + lmbda_errfrac**2) * n_0

print("Brechungsindex:", n_0, "+-", n_0_err)

n_0_lit = 1.00028
sigma_n_0 = (n_0 - n_0_lit)/(n_0_err)

print("Sigma-Abweichung n:", sigma_n_0)
```

```
Mittlere Steigung: 0.0004966910225345355 +- 2.7829926304947837e-06 [1/Pa]
Brechungsindex: 1.00029095687961 +- 0.005705452449007161
Sigma-Abweichung n: 0.0019204225620603488
```

Messung der Kohärenzlänge der Leuchtdiode

In [10]:

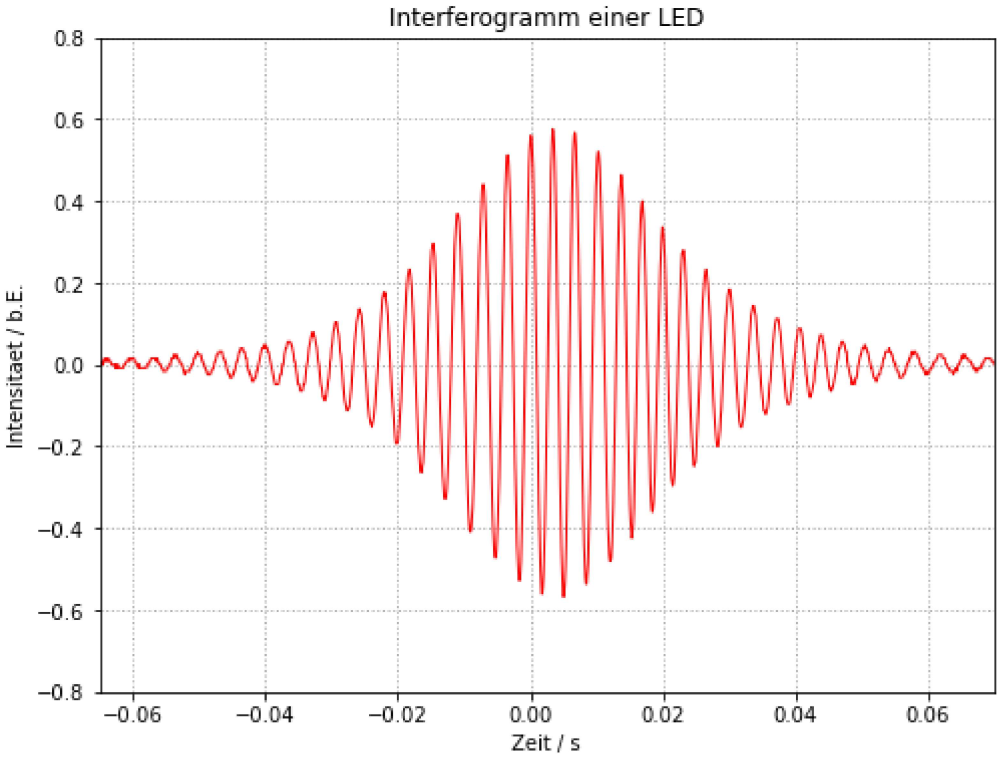
```
data=np.genfromtxt('C:/Users/fexfl/Documents/.Keine Programme Docs/Studium/PAP2/232/TEK0000.CSV',delimiter=",",skip_header=18)
print(data)

t=data[:,3:4] # 4. Spalte ausschneiden
t=t[:, 0] # in 1D array wandeln
U=data[:,4:5] # 5. Spalte ausschneiden
U=U[:, 0] # in 1D array wandeln
```

```
[[    nan     nan     nan -0.1242  0.          nan]
 [    nan     nan     nan -0.1241  0.          nan]
 [    nan     nan     nan -0.124   0.          nan]
 ...
 [    nan     nan     nan  0.1237  0.          nan]
 [    nan     nan     nan  0.1238  0.          nan]
 [    nan     nan     nan  0.1239  0.          nan]]
```

In [11]:

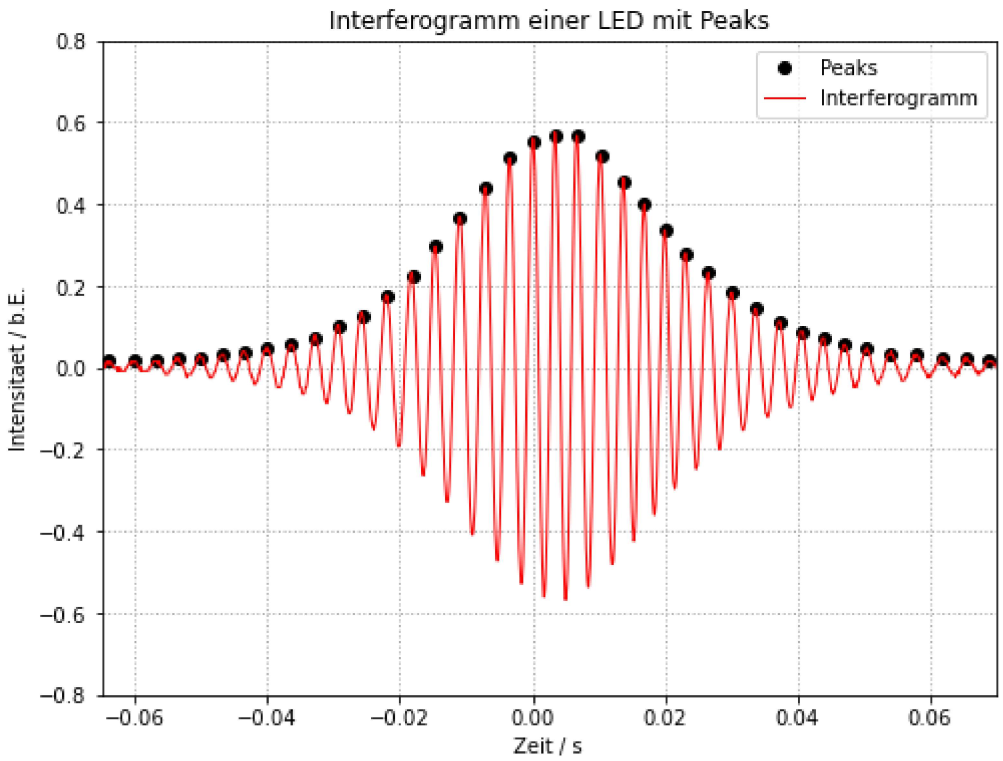
```
plt.figure(figsize=(8,6))
plt.plot(t,U, color='red', linewidth=1)
plt.xlabel('Zeit / s')
plt.ylabel('Intensitaet / b.E.')
plt.title('Interferogramm einer LED')
```

```
plt.axis([-0.065, 0.07, -0.8, 0.8])
plt.grid(linestyle=":", linewidth=1)
```



In [12]:
```
from scipy import signal
peakind = signal.find_peaks_cwt(U, np.arange(1,30),noise_perc=14)
```

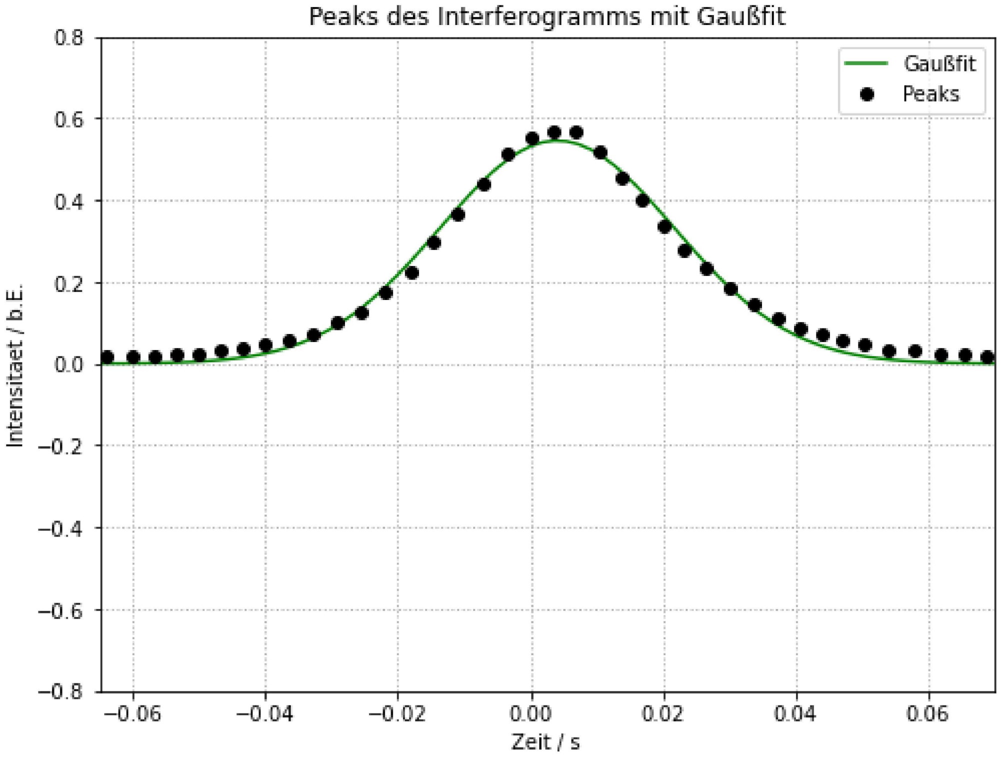
In [13]:
```
plt.figure(figsize=(8,6))
plt.plot(t[peakind], U[peakind],marker='o',linewidth=0, label="Peaks", color="Black")
plt.plot(t,U, color='red', linewidth=1, label="Interferogramm")
plt.xlabel('Zeit / s')
plt.ylabel('Intensitaet / b.E.')
plt.title('Interferogramm einer LED mit Peaks')
plt.axis([-0.065, 0.07, -0.8, 0.8])
plt.legend()
plt.grid(linestyle=":", linewidth=1)
```



In [14]:

```
#Fitfunktion Gauss
def fitFunc(t, a, mu, sig):
    return a/np.sqrt(2*np.pi)/sig*np.exp(-(t-mu)**2/(2*sig**2))

popt4, pcov4= curve_fit(fitFunc, t[peakind], U[peakind])
print("Sigma-Breite:", abs(popt4[2]), "+-", np.sqrt(pcov4[2,2]), "[s]")

x=np.linspace(-0.08,0.1,100) #x-Werte fuer die Fitfunktion

plt.figure(figsize=(8,6))
plt.plot(x, fitFunc(x, *popt4), color="green",label="Gaußfit")
plt.plot(t[peakind], U[peakind],marker='o', linewidth=0, color="Black", label="Peaks")
plt.xlabel('Zeit / s')
plt.ylabel('Intensitaet / b.E.')
plt.title('Peaks des Interferogramms mit Gaußfit')
plt.axis([-0.065, 0.07, -0.8, 0.8])
#plt.savefig('interferogramm_3.pdf',format='pdf')
plt.legend()
plt.grid(linestyle=":", linewidth=1)
```

```
Sigma-Breite: 0.017722396188723073 +- 0.00024766188209357764 [s]
```



In [15]:

```python
v = 0.0001 #m/s

sigma_k = abs(popt4[2])
sigma_k_err = np.sqrt(pcov4[2,2])

halbwertsbreite = 2 * np.sqrt(2*np.log(2))*sigma_k
halbwertsbreite_err = 2 * np.sqrt(2*np.log(2)) * sigma_k_err

print("Halbwertsbreite:", halbwertsbreite, "+-",halbwertsbreite_err, "[s]")

l_k = halbwertsbreite * v
l_k_err = halbwertsbreite_err * v

print("Kohärenzlänge:", l_k, "+-", l_k_err, "[m]")
```

```
Halbwertsbreite: 0.04173305379118519 +- 0.0005831991643440482 [s]
Kohärenzlänge: 4.17330537911852e-06 +- 5.83199164344048 26e-08 [m]
```

In [ ]: