



BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL

BERGISCHE UNIVERSITÄT WUPPERTAL

FORTGESCHRITTENEN PRAKTIKUM

Michelson Interferometrie

Verfasser:

Henrik JÜRGENS

Frederik STROTHMANN

Tutor:

Friedhelm OLSCHESKI

Abstract:

Fourierspektroskopie mit einem Michelson Interferometer. Ziel des Versuches ist die Untersuchung der Interferogramme von mono- als auch polychromatischer Infrarotstrahlung.

Bereich	max. %	+/-	erreicht %
Einleitung & Theorie	15		
Durchführung	70		
Auswertung			
phys. Diskussion			
Zusammenfassung			
Formales	15		
Note			

7. Oktober 2015

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	2
2	Theorie	2
2.1	Michelson Interferometer	2
2.2	Strahlungsintensität	4
2.3	Schwebung	4
2.4	Pyroelektrischer Detektor	5
3	Aufbau	5
3.1	Versuchsdurchführung	6
3.2	Verwendete Formeln	6
3.3	Messergebnisse	6
3.4	Auswertung	6
3.5	Diskussion	6
4	Fazit	6

1 Einleitung

Mit einem Michelson Interferometer soll das Infrarotstrahlungsspektrum eines He-Ne-Lasers und eines Muffelofens, welcher als Schwarzkörperstrahler verwendet wird, untersucht werden. Unter Eingrenzung des polychromatischen Spektrums des Muffelofens mithilfe von Interferenzfiltern kann monochromatische Strahlung erzeugt werden, deren Wellenlänge ($3.31\text{ }\mu\text{m}$) dicht neben der des He-Ne-Lasers ($3.39\text{ }\mu\text{m}$) liegt. Durch Superposition beider Strahlungsquellen entsteht das Interferenzmuster einer Schwebung, welches in diesem Versuch ebenfalls analysiert werden soll.

2 Theorie

Die wichtigsten theoretischen Grundlagen für den Versuch sollen zusammengefasst werden.

2.1 Michelson Interferometer

Der schematische Aufbau für die Verwendung des Michelson Interferometers ist in Abbildung 1 dargestellt.

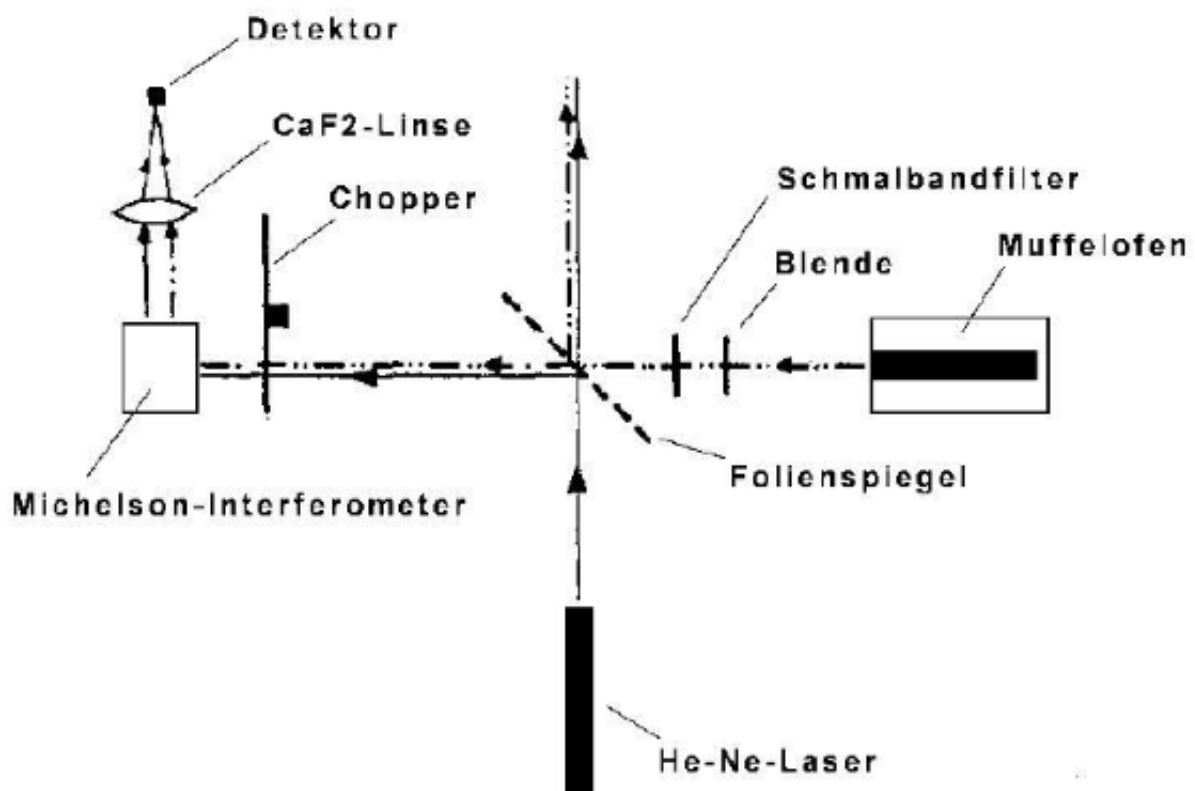


Abbildung 1: Aufbau des Experimentes [1]

Der Strahlengang im Michelson Interferometer ist in Abbildung 2 zu sehen.

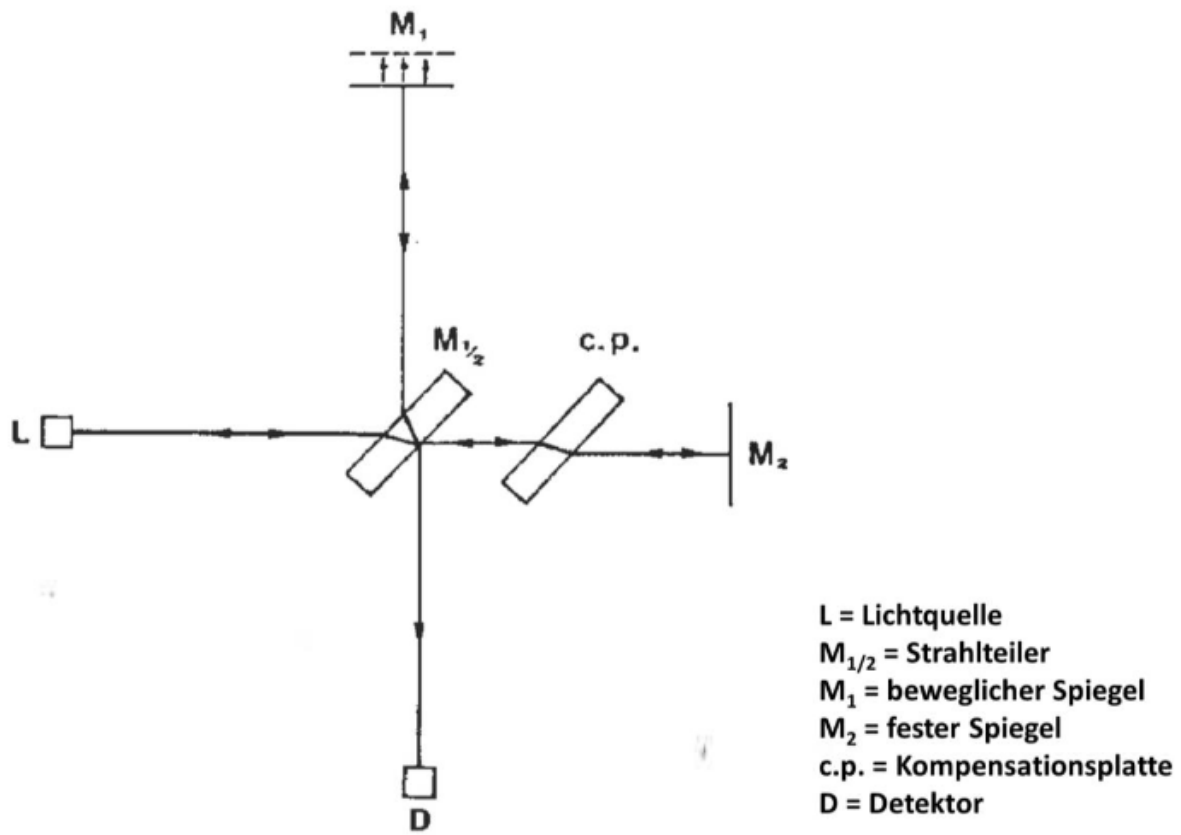


Abbildung 2: Strahlengang im Michelson Interferometer [1]

„Innerhalb des Interferometers wird die einfallende Strahlung an der Rückseite des ZnSe-Strahlteilers auf den beweglichen Spiegel reflektiert, der über einen Hebelmechanismus von einem Getriebemotor angetrieben wird. Der Hebelmechanismus ist mit einer Mikrometerschraube versehen und überträgt den Vorschub des Antriebssystems in einem Verhältnis von ca. 5:1 auf den Spiegel. Mikrometerschraube und Getriebemotor sind über eine Achse miteinander verbunden, auf der ein Drehgeber befestigt ist, der die Messwertaufnahme des verwendeten LabView-Programms steuert. Die zum festen Interferometerspiegel durch die ZnSe-Strahlteilerplatte und eine ZnSe-Kompensationsplatte transmittierte Strahlung interferiert nach Reflexion am Spiegel an der strahlteilenden Schicht mit dem vom beweglichen Spiegel reflektierten Strahlungsanteil und wird mit einer CaF₂-Linse auf einen pyroelektrischen Detektor fokussiert.“ (Zitat [1] Seite 2, Kapitel 4 Messaufbau Zeile 8ff.) Die Bedingung für konstruktive bzw. destruktive Interferenz ergibt sich aus dem Gangunterschied, welcher durch die Verschiebung des beweglichen Spiegels eingestellt werden kann. Das Licht durchläuft den Gangunterschied δ_l zweimal, sodass sich die

Beziehungen 1 und 2 für konstruktive bzw. destruktive Interferenz ergeben.

$$n\lambda = 2\delta_l, \quad n \in \mathbb{N}_0 \quad (1)$$

$$\left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda = 2\delta_l, \quad n \in \mathbb{N}_0 \quad (2)$$

Bei der Bestimmung von δ_l muss die Übersetzung der Mikrometerschraube beachtet werden.

2.2 Strahlungsintensität

Der Zusammenhang zwischen der Intensität I und δ_l kann [2] entnommen werden. Für monochromatische Strahlung ergibt sich Gleichung 3.

$$I(\delta_l) = \frac{I(1/\lambda)}{2} \left(1 + \cos\left(\frac{2\pi\delta_l}{\lambda}\right)\right) \quad (3)$$

Unter Vernachlässigung des konstanten Offsets, sowie unter Berücksichtigung von Strahlungsverlusten erhält man daraus Gleichung 4.

$$I(\delta_l) = B(1/\lambda) \cos\left(\frac{2\pi\delta_l}{\lambda}\right) \quad (4)$$

Nach Integration über alle Wellenzahlen ($1/\lambda$) (Gleichung 5) erhält man die Intensität von polychromatischem Licht I_{poly} in Abhängigkeit des Gangunterschiedes.

$$I(\delta_l)_{poly} = \int_0^\infty d(1/\lambda) B(1/\lambda) \cos\left(\frac{2\pi\delta_l}{\lambda}\right) \quad (5)$$

Aus der Fourierrücktransformation kann die Spektralverteilung $B(1/\lambda)$ nach Gleichung 6 bestimmt werden.

$$B(1/\lambda) = 2 \int_0^\infty d\delta_l I(\delta_l)_{poly} \cos\left(\frac{2\pi\delta_l}{\lambda}\right) \quad (6)$$

Als Ansatz für die spätere Analyse des Interferogramms mit Schmalbandfilter kann für $B(1/\lambda)$ eine Gaussfunktion verwendet werden. Für I wird dabei eine modulierte Gaussfunktion angenommen. Es ergibt sich die in Gleichung 7 beschriebene Beziehung, wobei $b = 1/\lambda_{max}$ die Wellenzahl (bis hierhin immer in Einheiten von 2π) maximaler Transmission ist und $4/a$ die $1/e$ -Breite des Filters ist.

$$B(1/\lambda) = \frac{a}{2\sqrt{\pi}} \exp\left(-\frac{(a2\pi(b - 1/\lambda))^2}{4}\right) \quad (7)$$

2.3 Schwebung

Der Begriff 'Schwebung' bezeichnet die Überlagerung zweier Schwingungen, sodass eine einhüllende niedrigfrequente Schwingung der Wellenlänge λ_+ und eine hochfrequente Schwingung

der Wellenlänge λ_- sich herausbilden. Besonders gut kann dies an Schwingungen beobachtet werden, deren Wellenlängen nahe beieinander liegen und deren Amplitude gleich groß ist. Als Schwebungsfrequenz wird die Frequenz der einhüllenden Schwingung bezeichnet. Allgemein ist dies eine Charakterisierung der Additionstheoreme für Sinus und Cosinus. Der Zusammenhang ist in Gleichung 8 dargestellt, wobei k_i in diesem Fall die Wellenzahl $2\pi/\lambda_i$ bezeichnet.

$$\cos(k_1x + a) + \cos(k_2x + b) = 2 \cos\left(\frac{k_1 + k_2}{2}x + \frac{a + b}{2}\right) \cos\left(\frac{k_1 - k_2}{2}x + \frac{a - b}{2}\right) \quad (8)$$

Die beiden Wellenlängen λ_+ und λ_- , die sich daraus ergeben, sind in Gleichung 9 und 10 angegeben.

$$\lambda_+ = \frac{2\lambda_1\lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2} \quad (9)$$

$$\lambda_- = \frac{2\lambda_1\lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2} \quad (10)$$

Die Spektralverteilung $B(1/\lambda)$ erhält man wieder aus der Annahme einer (schwebungs-)modulierten Gaussfunktion für I. Es ergeben sich zwei Gaußfunktionen, welche in Gleichung 11 angegeben sind. (vgl. [2])

$$B(1/\lambda) = \frac{a}{4\sqrt{\pi}} \left[\exp\left(-\frac{[a2\pi(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_+} - \frac{1}{\lambda_-})]^2}{4}\right) + \exp\left(-\frac{[a2\pi(\frac{1}{\lambda} + \frac{1}{\lambda_+} - \frac{1}{\lambda_-})]^2}{4}\right) \right] \quad (11)$$

2.4 Pyroelektrischer Detektor

3 Aufbau

Es wird der Aufbau des Michelson-Interferometer beschrieben, ein Skizze des Aufbaus ist in Abbildung ?? zu sehen. Das Michelson-Interferometer besteht aus einem Strahlteiler, der den eintreffenden Strahl in zwei Teilstrahlen teilt. Die Teilstrahlen werden jeweils von einem Spiegel reflektiert. Einer der beiden Spiegel kann über einen Hebelmechanismus, durch einen Elektromotor mit nahezu konstanter Geschwindigkeit bewegt werden. Der reflektierte Strahl wird durch eine CaF_2 -Sammellinse auf einen pyroelektrischen Detektor geworfen. Der Detektor wandelt den Strahl in eine Spannung proportional zur Intensität des Strahls um. Die Spannung wird mit einem Lock-In-Verstärker bearbeitet und über eine AD-Box an den Computer weitergeleitet. Am Computer wird aus dem Signal mit der Software Lab-View ein Interferogramm erstellt. Das Übersetzungsverhältnis k des Hebelmechanismus, für den Gangunterschied liegt bei ca. 5 (Quelle:??). Da der Teilstrahl, der auf den bewegten Spiegel trifft das Medium des Strahlteilers dreimal durchqueren muss, wird zwischen dem Strahlteiler und dem festem Spiegel noch ein Kompensationsplättchen angebracht. Als Strahlenquelle wird ein HeNe-Laser und ein Muffelofen verwendet. Der Laser hat eine Wellenlänge von $3.39 \mu\text{m}$, der Muffelofen und der Laser können über den Folienspiegel gekoppelt werden. Zwischen dem Muffelofen und dem Folienspiegel ist noch ein Chopper, zum Filtern bestimmter Wellenlängen eingebaut. Der Chopper zwischen

0-70 Hz filtern. Durch den Chopper registriert der Detektor immer die Temperatur- und Strahlungsänderung (Untergrund) und die zu messende Strahlung (mit Untergrund) abwechselnd. Die Trennung der beiden Signal wird mittels eines phasenempfindlichen Log-In-Verstärker und eines anhand Referenzsignals vorgenommen. Der Muffelofen kann bis 900°C erhitzt werden, die dabei emittierte Strahlung durch eine Blende kollimiert. Es kann ein Schmalbandfilter verwendet werden, um die Wellenlänge der Strahlung aus dem Muffelofen auf ca. $3.31\text{ }\mu\text{m}$ zu begrenzen.

3.1 Versuchsdurchführung

3.2 Verwendete Formeln

3.3 Messergebnisse

3.4 Auswertung

3.5 Diskussion

4 Fazit

Literatur

- [1] *Aufbau des Experimentes*. URL: https://moodle2.uni-wuppertal.de/pluginfile.php/231744/mod_resource/content/1/Michelson-Anleitung_2015-7.pdf (besucht am 06.10.2015).
- [2] *Aufbau eines Michelson-Interferometer-Versuchs*. URL: https://moodle2.uni-wuppertal.de/pluginfile.php/223735/mod_resource/content/1/fpII_6_se.pdf (besucht am 06.10.2015).