

Labor für Lasertechnik

Frankfurt University of Applied Sciences
Fachbereich Informatik und Ingenieurwissenschaften

Laserinterferometer

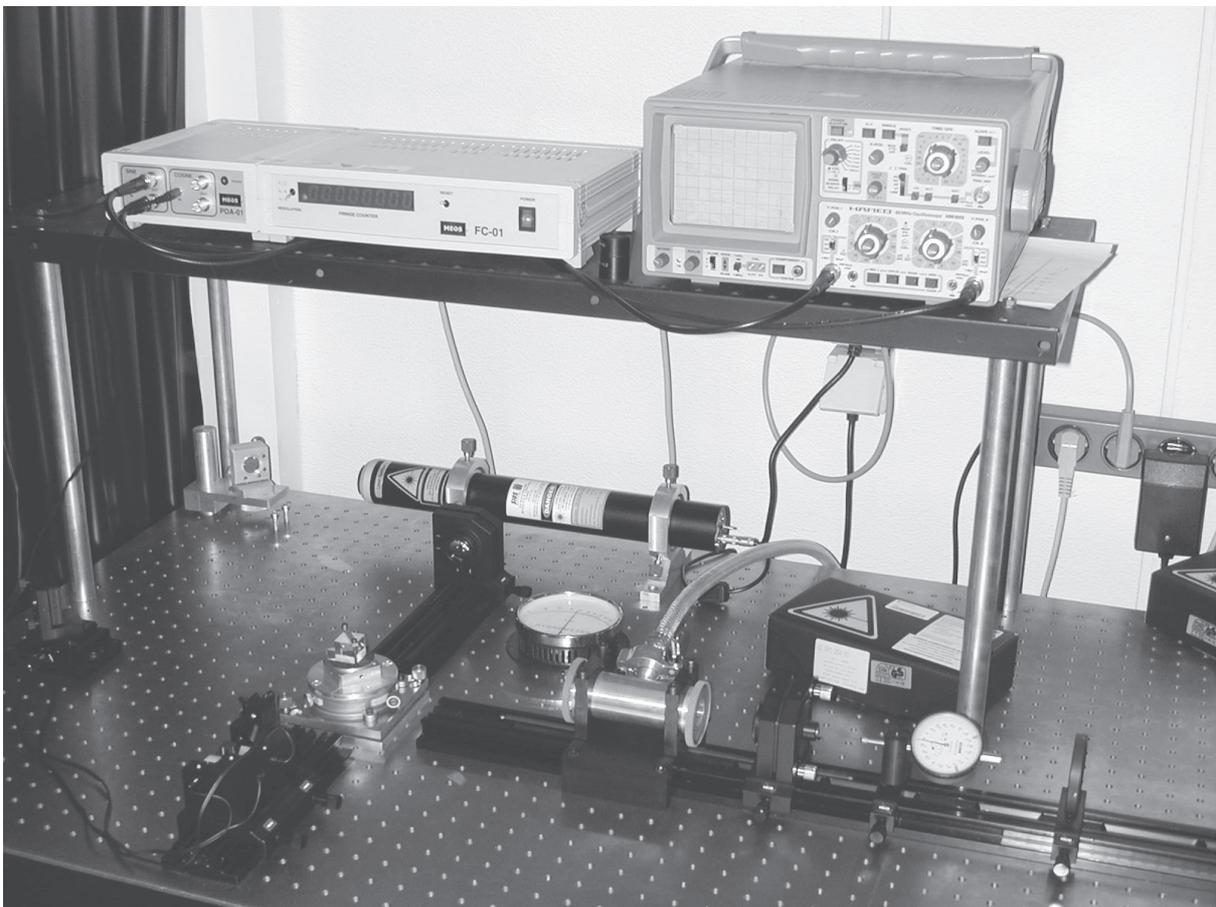


Foto des Versuchsaufbaus

I. Lernziele: Interferenz von elektromagnetischen Wellen; Messung von Wellenlängen; Messung von Brechungsindizes von Gasen.

II. Vorbericht:

a) Grundprinzip des Michelson-Interferometers ist die Zweistrahlinterferenz. Welche Bedingungen müssen die zwei Teilstrahlen erfüllen, damit überhaupt Interferenz beobachtet werden kann?

b) Für technische Anwendungen kommen in der Regel Laser als Lichtquelle zum Einsatz. Warum wird in einem Interferometer der Laserstrahl geteilt und nicht zwei identische Laser verwendet?

c) Beschreiben Sie den Aufbau und die Funktionsweise eines Tripelspiegels. Welcher Vorteil ergibt sich durch die Verwendung eines Tripelspiegels gegenüber eines planaren Spiegels?

Justierung des Interferometers

Im Versuch wird ein frequenzstabilisierter He/Ne-Laser mit einer Ausgangsleistung von ca. 2 mW eingesetzt. Der Laser sendet zwei senkrecht zueinander polarisierte Moden mit einer Differenzfrequenz von 730 MHz aus. Auf der rechten Stirnseite des Lasers befinden sich, wie in Abbildung 1 dargestellt, alle Bedienelemente des Lasers.

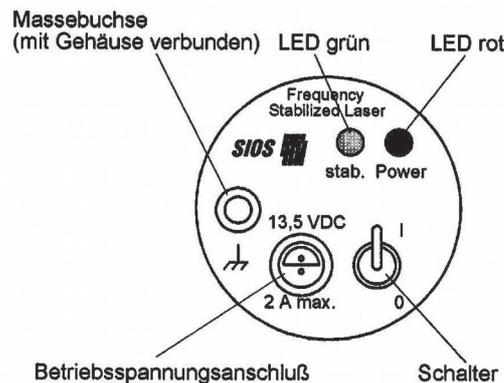


Abb.1 Bedienelemente am Laser

An der linken Stirnseite befindet sich der Strahlaustritt mit einem Shutter. Bei dem Shutter handelt es sich um eine mechanische Blende die den Laserstrahl beim Austritt blockiert. Bevor der Laser eingeschaltet wird, stellt man vor dem Laser eine Blende auf. Dadurch vermeidet man, dass der Laserstrahl bei geöffnetem Shutter und dejustiertem Versuchsaufbau unkontrolliert den Experimentierplatz verlässt. Nach dem Einschalten leuchtet die rote LED (Power) und signalisiert die Betriebsbereitschaft. Innerhalb der nächsten Sekunden erfolgt die Zündung der Gasentladung mit einsetzender Lasertätigkeit. Ein ständiges Ein- und Ausschalten der Gasentladung sollte vermieden werden. Durch Betätigen des Shutters kann der Laserstrahl freigegeben oder unterbrochen werden. Nach etwa 5 bis 15 min beginnt die grüne LED (stab.) zu leuchten. Da diese den stabilisierten Zustand des Lasers signalisiert, muss sie permanent leuchten. Ein kurzes oder längeres Verlöschen der grünen LED während des Betriebes zeigt an, dass der Laser die stabilisierte Betriebsart verlassen hat. Hierfür gibt es verschiedene Ursachen:

- zu starke Rückreflexe durch angekoppelte optische Systeme in den Resonator,
- störende mechanische Schwingungen oder Erschütterungen,
- Über- oder Unterschreiten des zulässigen Umgebungstemperaturbereichs.

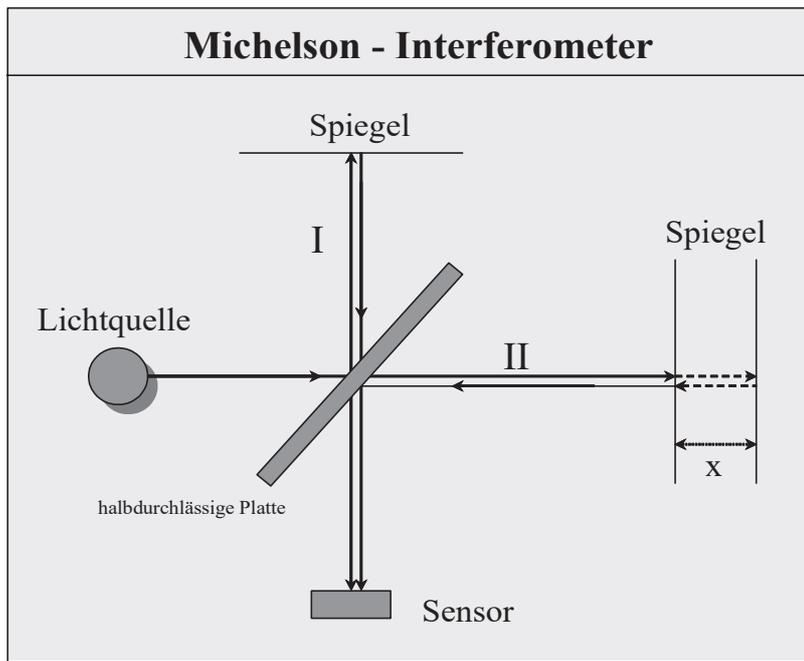


Abb.2 Prinzip des Michelson - Interferometers

Die Abbildung 2 zeigt das Prinzip des Michelson – Interferometers. Bei diesem Interferometer interferieren zwei Teilstrahlen mit gleicher Ausbreitungsrichtung. Je nach Phasendifferenz der Teilstrahlen kann konstruktive Interferenz (maximale Helligkeit) oder destruktive Interferenz (Auslöschung) auftreten. Konstruktive Interferenz tritt auf, wenn die Phasendifferenz ein ganzzahlig Vielfaches von 2π ist.

Angenommen der Spiegel steht so, dass konstruktive Interferenz auftritt. Schiebt man den rechten Spiegel in der Abbildung dann soweit nach hinten bis wieder konstruktive Interferenz auftritt, dann hat man den Spiegel um ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge $\lambda/2$ verschoben. Bei einer Verschiebungsstrecke x beträgt die Wegänderung des Teilstrahls II, $2x$. Die Bedingung für einen Wechsel Hell/Hell beim Michelson – Interferometer lautet also:

$$\Delta\varphi = m 2\pi \quad \text{bzw.} \quad 2x = m \lambda, \quad \text{mit } m = 1,2,3, \dots \quad (1)$$

Es gilt immer: $\Delta\varphi = k_0 \Gamma \quad (2)$

k_0 : Wellenzahl im Vakuum. Γ : optischer Wegunterschied.

Wird die Periode der Welle durch den eingesetzten Zähler T-fach unterteilt (T=1, 2, 4 bei Schalterstellung $\lambda/2$, $\lambda/4$ bzw. $\lambda/8$), so erhält man mit Gl. (1) für die am Zähler angezeigte Anzahl Zählimpulse

$$N = m \cdot T = \frac{2x}{\lambda} T \quad \text{bzw.} \quad \lambda = \frac{2x \cdot T}{N} \quad (3)$$

Bestimmt man x und N, so kann man die Wellenlänge des Lichts in Luft berechnen.

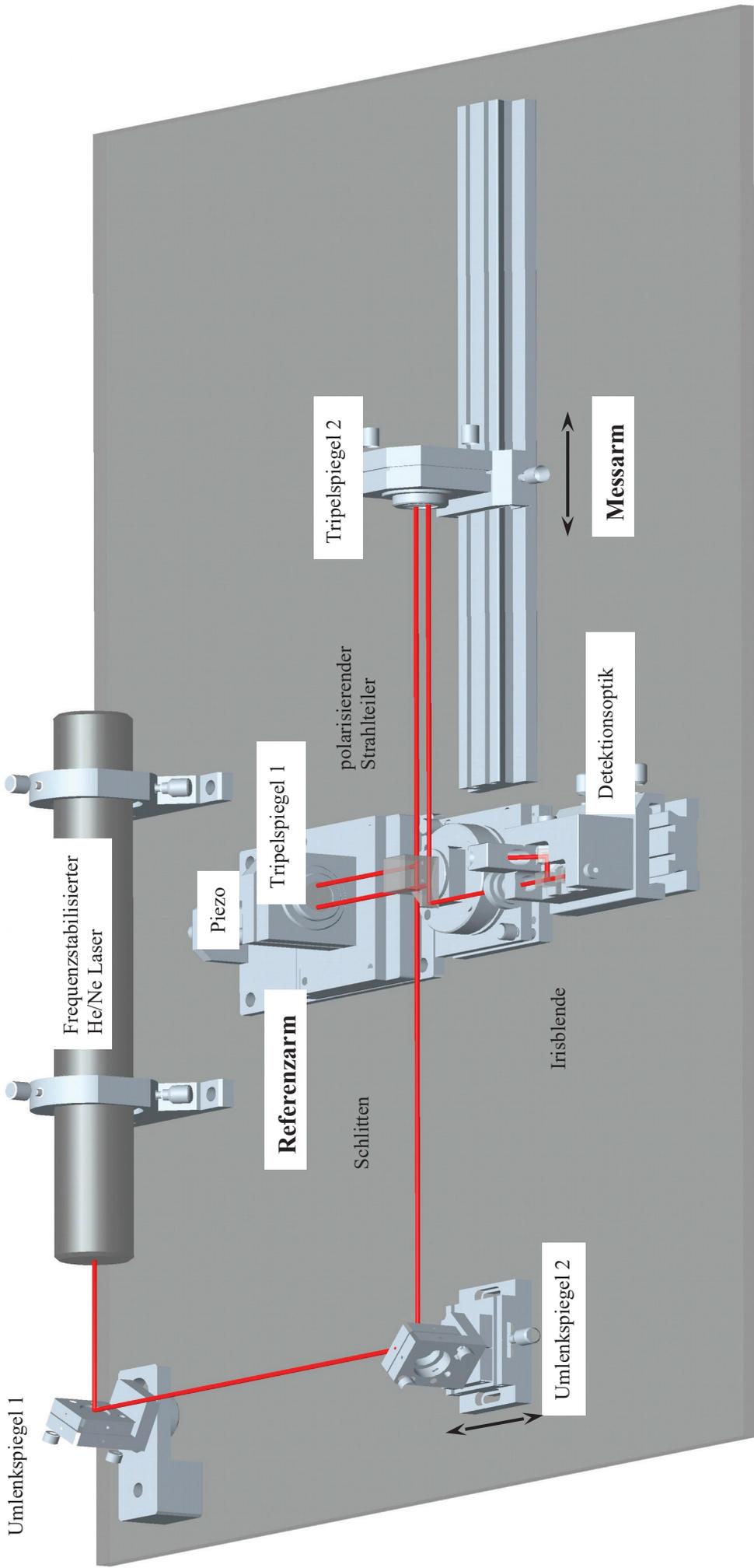


Abb. 3 Schematischer Aufbau des Interferometers

An der Justierung des Lasers und des Umlenkspiegels 1 sollte nichts verändert werden.

Besonders ist darauf zu achten, dass der Laser in seinem Halter nicht verdreht wird. Eine Verdrehung der Laserröhre bewirkt eine Änderung der Polarisationssebene der Laserstrahlung bezüglich des polarisierenden Strahlteilers. Dies beeinträchtigt die Funktion des Interferometers.

Der Tripelspiegel 2 wird durch Ziehen an der Rändelung aus dem Halter entfernt.

Jetzt wird der Halter mit dem Zielkreuz auf die Schiene des Messarms gesetzt. Durch Kippen und Drehen von Umlenkspiegel 2 mit Hilfe der Justierschrauben wird der Laserstrahl so justiert, dass er am Schienenanfang und –ende das Zielkreuz immer in der in Abbildung 4 gezeigten Position trifft.

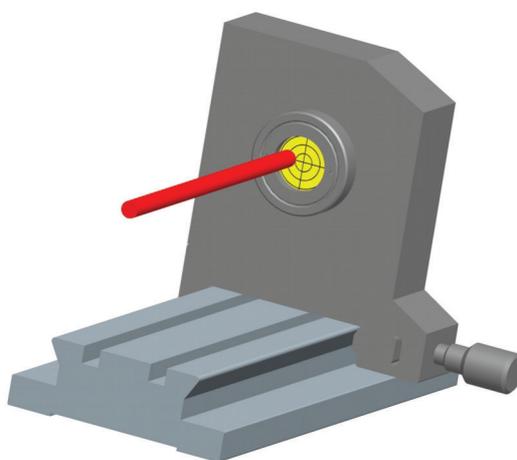


Abb.4 Justierung auf die Zielscheibe

Nun wird der Strahlteiler wieder in den Strahlengang eingebracht und mit den Klemmschrauben fixiert. Durch Verdrehen und Kippen des Strahlteilers wird der Teilstrahl zu Tripelspiegel 1 so justiert, dass die beiden Signale auf dem Oszilloskop bei Verschieben des Tripelspiegels 2 maximale Signalstärke aufweisen. Tripelspiegel 2 wird dabei mit Hilfe der zweiten Rändelschraube möglichst kontinuierlich hin- und herbewegt. Gegebenenfalls müssen die beiden Signale durch **vorsichtiges** Nachjustieren des Umlenkspiegels 2 auf gleiche Stärke (= Signalamplitude) eingestellt werden.

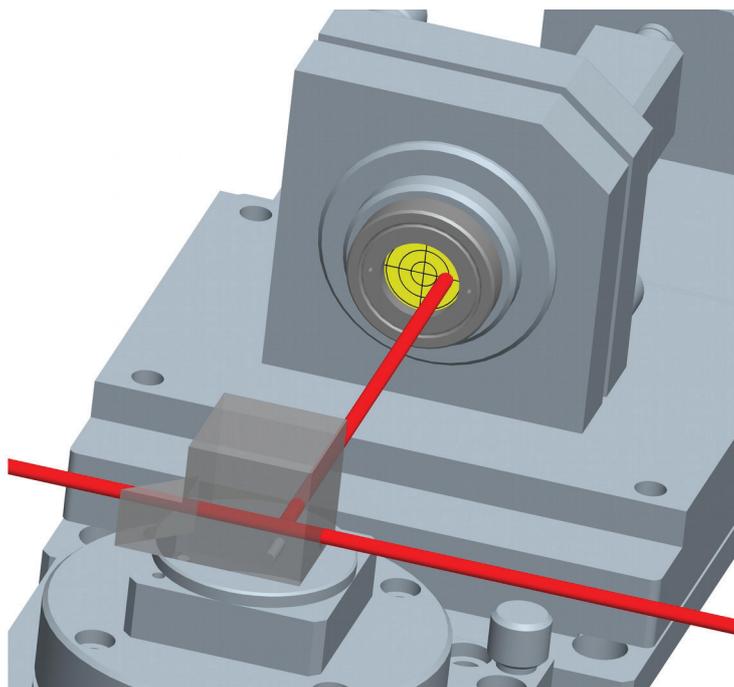


Abb. 5 Justierung des Teilerwürfels auf den Tripelspiegel 1

Sollten die Signalflanken abgehackt dargestellt werden, bedeutet dies eine Übersteuerung des Vorverstärkers wegen zu hoher Intensität auf den Detektoren. Die Intensität auf den Detektoren kann durch Verkleinern des Durchmessers der Irisblende an der Detektionsoptik verringert und somit ein Übersteuern vermieden werden.

Sind die beiden Ausgänge auf der Rückseite des Vorverstärkers mit den Eingängen auf der Rückseite des Zählers verbunden, werden beim Verschieben des Tripelspiegels die Zählimpulse angezeigt. Bitte beachten Sie, dass der Zähler keine negative Werte anzeigen kann.

Bestimmung des Brechungsindex von Luft:

Zur Bestimmung des Brechungsindex von Luft wird eine Küvette der Länge $l = 10$ cm in den Messarm des Interferometers gestellt und evakuiert. Der Zähler wird auf $\lambda/8$ gestellt, um eine möglichst große Genauigkeit zu erhalten.

Die Küvette ist evakuiert, wenn sich die Signale von den Photodioden am Oszilloskope nicht mehr ändern. Der Zähler wird auf Null gesetzt und die Küvette langsam durch Öffnen des Ventils an der Pumpe wieder mit Luft gefüllt. Der Zähler sollte nun eine Anzeige von über 300 Zählimpulsen anzeigen.

Aus den Gleichungen (1) und (2) folgt:

$$\Delta\varphi = k_0 \Gamma = k_0 (n \cdot 2l - 1 \cdot 2l) \quad \text{und}$$

$$m \cdot 2\pi = \frac{N}{T} 2\pi = \frac{2\pi}{\lambda_0} (n \cdot 2l - 2l) \quad \text{mit } T = 4$$

Löst man die letzte Gleichung nach n auf, so erhält man:

$$n = 1 + \frac{N\lambda_0}{8l} \quad (4)$$

Vergleich des gemessenen Brechungsindex mit dem Literaturwert:

In der Literatur findet man den Brechungsindex von Luft als Funktion des Luftdrucks, der Temperatur und der Feuchte.

$$n = 1,000271274 + \left(27 \frac{1}{\text{hPa}} \Delta p - 92 \frac{1}{^\circ\text{C}} \Delta T - 4,2 \frac{1}{\text{hPa}} \Delta p_F \right) \cdot 10^{-8} \quad , \text{ mit}$$

$$\begin{aligned} \Delta p &= p_0 - 1013,25 \text{ hPa} \\ \Delta T &= T - 20^\circ\text{C} \\ \Delta p_F &= p_F - 13,3 \text{ hPa} \\ p_F &= 0,0721 \text{ hPa} \cdot e^{0,057627 \cdot T / ^\circ\text{C}} \cdot \text{RF} \end{aligned}$$

p_0 : Luftdruck; T: Temperatur; p_F : Partialdruck des Wasserdampfes; RF: relative Feuchte.

Bei 20°C und 59 % relativer Luftfeuchte ist $p_F = 13,3 \text{ hPa}$.

1 bar = 10^5 Pa = 750,06 Torr. 1 hPa = 100 Pa.

Der am Quecksilberbarometer abgelesene Wert für den Druck muss korrigiert werden, um den tatsächlichen Luftdruck zu erhalten, da die Länge der Quecksilbersäule und die Länge des Maßstabs von der Temperatur abhängen.

Die Korrekturgleichung lautet:

$$p_0 = p \cdot \left(1 - \frac{1,816 \cdot 10^{-4} T / ^\circ C - 2,4 \cdot 10^{-5} (T / ^\circ C - 20)}{1 + 1,816 \cdot 10^{-4} T / ^\circ C} \right)$$

Darin ist p der abgelesene Wert für den Luftdruck, p_0 ist der korrigierte Wert. Der erste Term im Zähler und der Nenner korrigieren die Länge der Quecksilbersäule auf ihre Länge bei 0 °C, der zweite Term im Zähler korrigiert die Länge des Maßstabs auf seine Länge bei 20 °C. Lesen Sie p , T und RF ab und bestimmen Sie mit den obigen Gleichungen n . Vergleichen Sie das Ergebnis mit dem experimentell ermittelten Wert.

Aufgabe 1:

Justieren Sie das Michelson – Interferometer gemäß der Anleitung.

Führen Sie fünf Messungen von x und N durch, und bestimmen Sie daraus die Laserwellenlänge mit einer Fehlerangabe.

Aufgabe 2:

Messung der Hysterese eines Piezos.

Für den folgenden Versuch wird am Zähler eine Genauigkeit von $\lambda/8$ eingestellt. Stellen Sie nun die Piezospannung am Steuergerät auf $U = 0,5$ V und setzen Sie den Zähler auf Null. Die Piezospannung wird schrittweise um 0,5 V bis auf $U = 10$ V erhöht und die jeweilige Zählerstellung notiert. Die zweite Messreihe wird in der entgegengesetzten Richtung durchgeführt. Der Zähler wird während der ganzen Messung nicht mehr auf Null zurückgesetzt!

Stellen Sie die Messwerte in einem Diagramm dar und kommentieren Sie das Ergebnis. Das Diagramm sollte die ganze Seite ausfüllen.

Aufgabe 3:

Führen Sie die Bestimmung des Brechungsindex von Luft fünfmal durch.

Berechnen Sie die **Vakuumwellenlänge** des Lasers und vergleichen Sie das Ergebnis mit dem Literaturwert 632,991399 nm.