

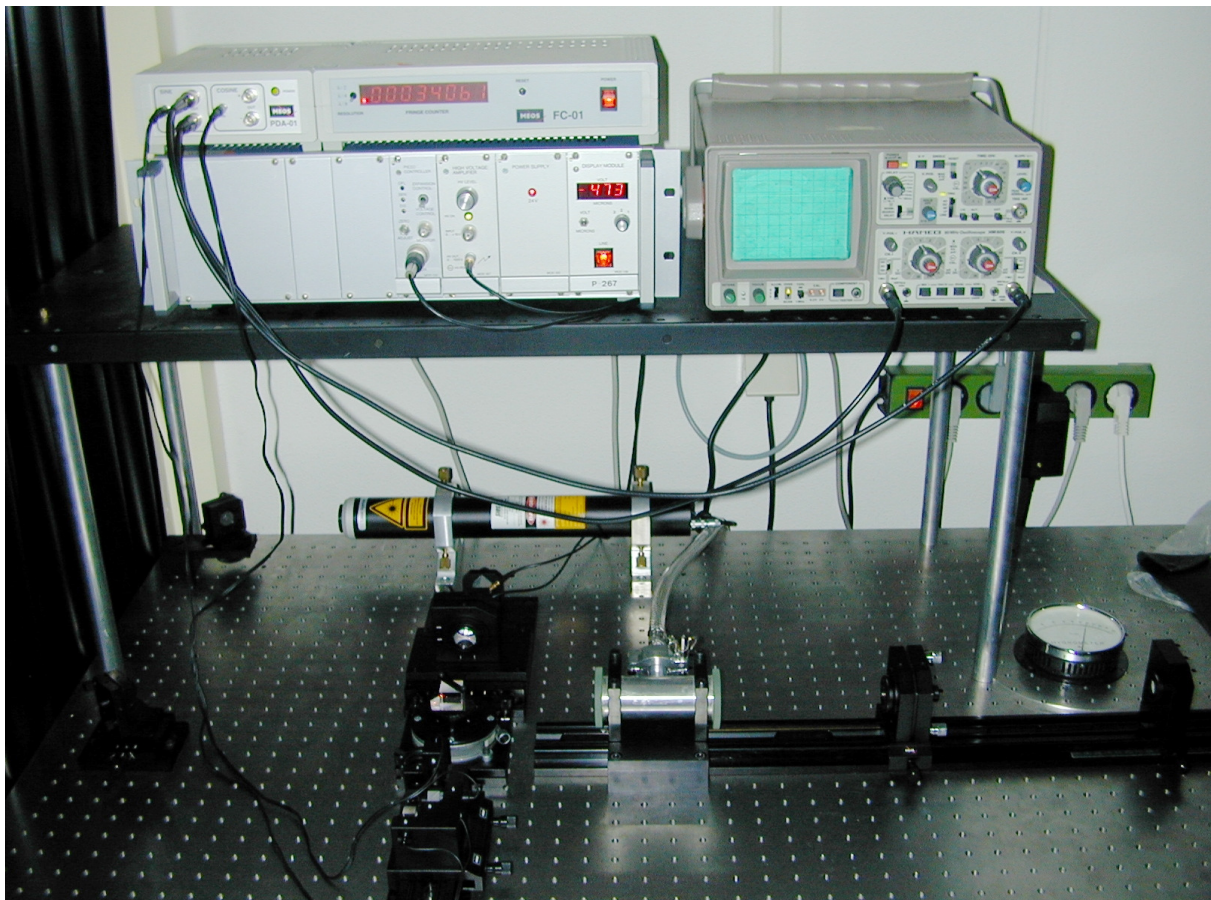
# *Labor für Lasertechnik*

Fachhochschule Frankfurt am Main  
Fachbereich Informatik und Ingenieurwissenschaften

## **Laserinterferometer**

### **I. Lernziele:**

Interferenz von elektromagnetischen Wellen; Messung von Wellenlängen; Messung von Brechungsindizes von Gasen.



## II. Vorbericht

Beschreiben Sie den Aufbau und die Funktionsweise eines Tripelspiegels.

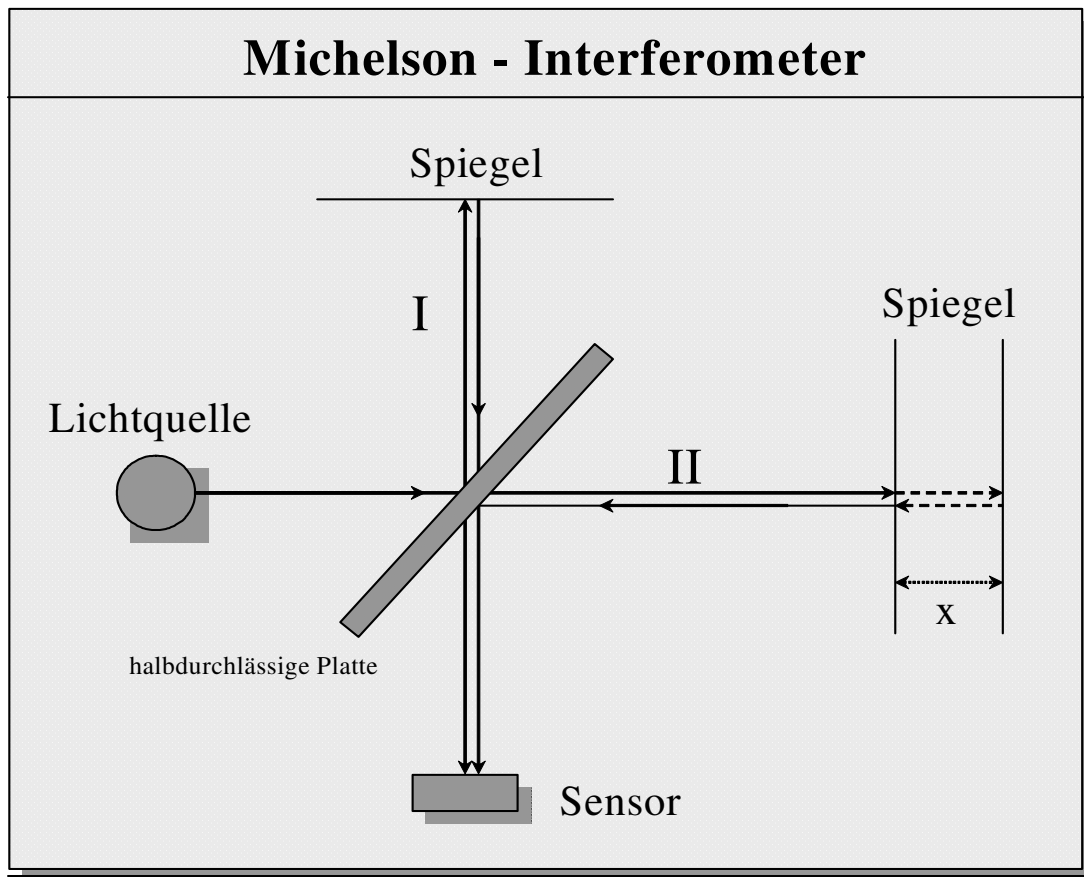


Abb.1 Prinzip des Michelson - Interferometers

Die Abbildung 1 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  $2\pi$  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:

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

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

$k_0$  : Wellenzahl im Vakuum.  $\Gamma$  : 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.

### Aufgabe 1:

Bauen Sie das Michelson – Interferometer auf, und führen Sie die Justierungen laut der angefügten Anleitung durch.

Führen Sie fünf Messungen von  $x$  und  $N$  durch, und bestimmen Sie daraus die Laserwellenlänge in Luft  $\lambda$  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  $U = -50$  V und setzen Sie den Zähler auf Null. Die Piezospannung in 50 V Schritten bis auf  $U = -950$  V verringert und die jeweilige Zählerstellung notiert. Die zweite Messreihe wird in der entgegengesetzten Richtung durchgeführt.

Stellen Sie die Messwerte in einem Diagramm dar und kommentieren Sie das Ergebnis.

### Bestimmung des Brechungsindex von Luft:

Zur Bestimmung des Brechungsindex von Luft wird eine Küvette der Länge  $l = 10 \text{ cm}$  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 anzeigen.

Aus Gl. (2) und (1) folgt:

$$\Delta\varphi = k_0 \Gamma = k_0 (n \cdot 2l - 1 \cdot 2l) \quad \text{und} \quad m \cdot 2\pi = \frac{N}{T} 2\pi = \frac{2\pi}{\lambda_0} (n \cdot 2l - 2l) \quad \text{mit } T=4$$

Löst man die letzte Gleichung nach  $n$  auf, so erhält man mit  $\lambda_0 = \lambda \cdot n$ :

$$n = \frac{8l}{8l - N\lambda} \quad (4)$$

### 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  $632,991399 \text{ nm}$ .

### 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.

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

$$\Delta p = p_0 - 1013,25 \text{ hPa}$$

$$\Delta T = T - 20^\circ\text{C}$$

$$\Delta p_F = p_F - 13,3 \text{ hPa}$$

$$p_F = 0,0721 \text{ hPa} \cdot e^{0,057627 \cdot T / ^\circ\text{C}} \cdot \text{RF}$$

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

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

1 bar =  $10^5 \text{ Pa}$  = 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:

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

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  $0^\circ\text{C}$ , der zweite Term im Zähler korrigiert die Länge des Maßstabs auf seine Länge bei  $20^\circ\text{C}$ . Lesen Sie  $p$ ,  $T$  und RF ab und bestimmen Sie mit den obigen Gleichungen  $n$ . Vergleichen Sie das Ergebnis mit dem experimentell ermittelten Wert.

## Justierung des Interferometers

In dem 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 2 dargestellt, alle Bedienelemente des Lasers.

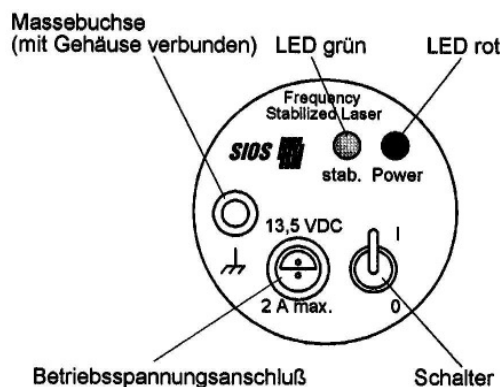


Abb. 2 Bedienelemente am Laser

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. Durch Betätigen des Shutters kann der Laserstrahl freigegeben oder unterbrochen werden. Ein ständiges Ein- und Ausschalten der Gasentladung sollte vermieden 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.

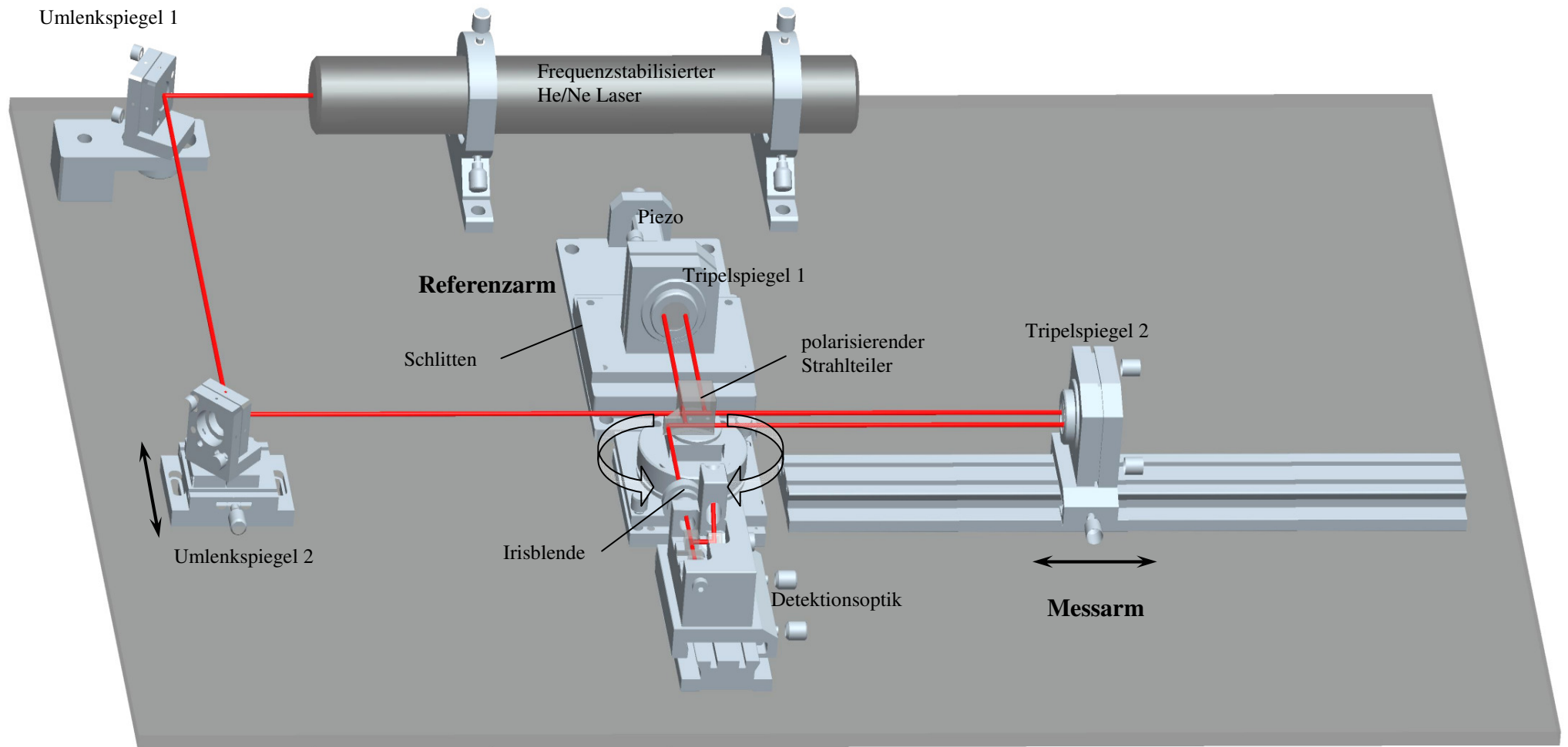


Abb. 3 Schematischer Aufbau des Interferometers

Den schematischen Aufbau des Interferometers zeigt Abbildung 3. 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.

Bevor mit der Justierung des Interferometers begonnen wird, müssen der polarisierende Strahlteiler und die zwei Tripelspiegel aus dem Strahlengang entfernt werden. Der Strahlteiler wird mit dem Halter durch Lösen der seitlichen Klemmschrauben von der Justiereinrichtung entfernt. Der Tripelspiegel 1 wird durch Ziehen an der Rändelung aus dem Halter entfernt. Tripelspiegel 2 wird mit dem Halter von der Schiene genommen.

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

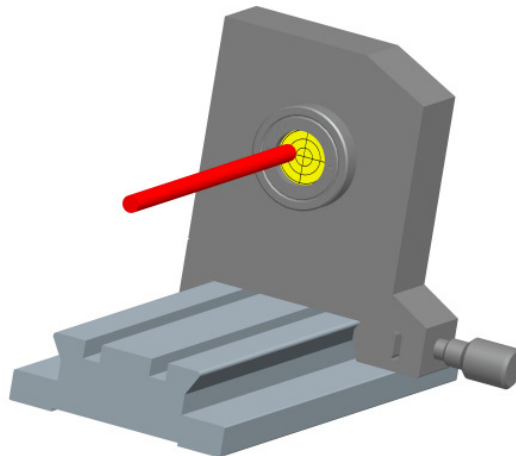


Abb. 4 Justierung des Umlenkspiegels 2

Nun wird der Strahlteiler wieder in den Strahlengang eingebracht, mit den Klemmschrauben fixiert und das Zielkreuz in den Halter von Tripelspiegel 1 gesetzt. Durch Verdrehen und Kippen des Teilerwürfels wird der Laserstrahl so einjustiert, dass er das Zielkreuz an den Schienenendpositionen, wie in Abbildung 5 gezeigt, immer an der gleichen Stelle trifft.



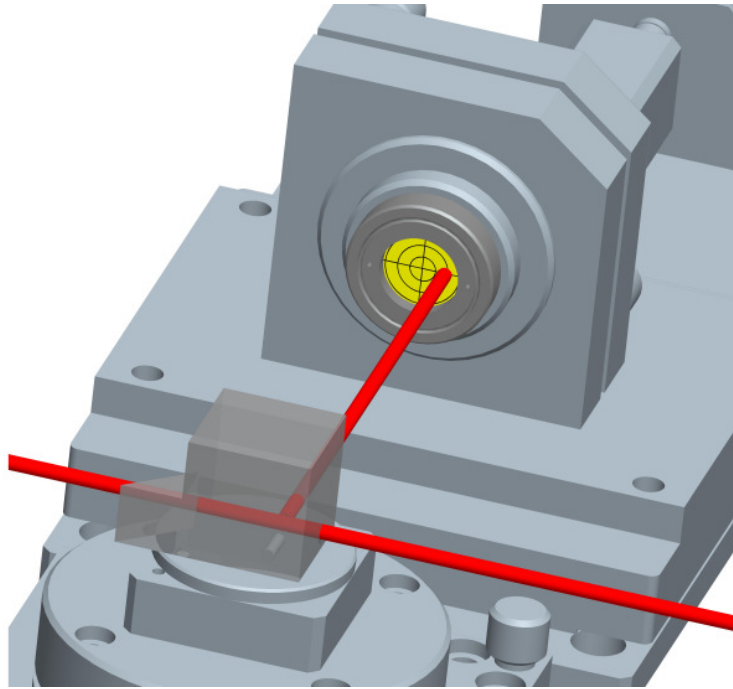


Abb. 5 Justierung des Teilerwürfels

Im Anschluss an diese Vorjustierung wird der Aufbau durch den Tripelspiegel 1 und die Detektionsoptik ergänzt. Die an der Stirnseite der Detektionsoptik befindliche Irisblende sollte ungefähr auf den Strahldurchmesser eingestellt werden. Zur Feinjustierung wird der Teilerwürfel nun so verdreht und gekippt, dass der Laserstrahl mittig durch die Irisblende läuft und die Detektoren der Detektionsoptik zentrisch trifft. Nun wird der Tripelspiegel 2 ungefähr im gleichen Abstand vom Teilerwürfel wie Tripelspiegel 1 auf die Schiene gesetzt. Durch abwechselndes Ausblenden der Laserstrahlung (Pappe vor den Tripelspiegel stellen) des Mess- bzw. Referenzarms und Justierung des Teilerwürfels wird nun versucht, beide Teilstrahlen mittig durch die Irisblende und zentrisch auf die Detektoren zu bekommen. Gegebenenfalls muss der Umlenkspiegel 2 geringfügig nachjustiert werden.

Zur Verarbeitung der Ausgangssignale der Detektoren müssen diese mit dem Vorverstärker verbunden werden. Dazu werden die Klinkenstecker der Signalkabel mit den Buchsen an der Frontseite des Vorverstärkers verbunden. Die Zuordnung, welches Kabel mit dem Sinus- bzw. Kosinuseingang verbunden wird, ist dabei wahlfrei. Zur Endjustierung des Interferometers werden die Ausgänge des Sinus- oder Kosinussignals des Vorverstärkers über BNC Kabel mit dem Kanal 1 und 2 eines Oszilloskops verbunden.

Beim Verschieben von Tripelspiegel 2 sollten nun auf dem Oszilloskop zwei, um  $180^\circ$  phasenverschobene sinusförmige Signale dargestellt werden. Durch weiteres Justieren des

Interferometers werden die Amplituden der Signale auf ein Maximum eingestellt. Sollten die Signalfanken 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 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.