

1. Versuchsprotokoll PL268-I

Berlin den 24.04.2000

Messung der Lichtgeschwindigkeit mit Hilfe des Foucaultschen Drehspiegelversuches

Der Versuch wurde aufgebaut und durchgeführt in Zusammenarbeit von
Fabian Fleischer, Inkje Döring, Daniel Guyot, René Könecke, Ramin Torabi,
Heinrich Südmeyer und Diana Bednarczyk,
der Gruppe **268**
mit **Cornelia Sing** als Tutorin.

INHALTSVERZEICHNIS

Inhalt	Seitenzahl
Deckblatt	1
Inhaltsverzeichnis	2
Abstract & Einleitung	2
Theorie	3
Versuchsaufbau	3-5
Abb1: Prinzipskizze	4
Abb2: Schaltplan	4
Durchführung & Beobachtung	5
Auswertung	6
Meßreihe	
graphische Auswertung	6
Fehlerbetrachtung	7
Resümee & Tips	7-8

ABSTRACT

In diesem Versuch trifft der Laserstrahl auf einen Drehspiegel, wird dort abgelenkt und überwindet eine längere Strecke, um von deren Ende wieder reflektiert zu werden. Dadurch findet er den Weg zurück auf den Drehspiegel, der sich in der Zeit, die das Licht für die Wegstrecke benötigte, bereits weitergedreht hat. Also trifft der Strahl unter einem anderen Winkel auf den Schirm, so daß aus der Ablenkung desselben und der Drehgeschwindigkeit des Spiegels die Lichtgeschwindigkeit im Medium Luft bestimmt werden kann.

(endliche Lichtgeschwindigkeit vorausgesetzt, da Ergebnis bekannt)

Dies gelang nach genauem Justieren bei über 60% Leistung des Drehspiegels mäßig bis befriedigend.

EINLEITUNG

Als erster Versuch im Projektlabor wurde die Messung der Lichtgeschwindigkeit mit Hilfe des Foucaultschen Drehspiegels, einer sehr geschichtsträchtigen Methode, erwogen und durchgeführt. Dies bot sich an, da dieser Versuch schon recht häufig von unseren Vorgängern durchgeführt wurde und in sehr vielen fachbezogenen Büchern etwas zu der nicht extrem ausgedehnten Theorie zu finden ist. Außerdem ist die Lichtgeschwindigkeit (c) eine Naturkonstante, die sich durch das Medium Luft kaum beeinflussen läßt und dadurch gut mit der literarischen Lichtgeschwindigkeit, meist im Vakuum (c_0), zu vergleichen ist.

THEORIE

Herleitung:

Die Lichtgeschwindigkeit errechnet sich aus: $c = s/t$

$$t = \alpha T/2\pi$$

Hier wird die Zeit mit der Frequenz des Drehspiegels in Relation gesetzt und ergibt sich aus dem Zusammenhang: $t/\alpha = T/2\pi$

$$\alpha = \frac{1}{2} \varphi$$

α ist der Drehwinkel des Spiegels, φ der gemessene Winkel am Schirm. Dies wird klar, wenn man bedenkt, daß sich bei der Rotation des Spiegels der Ausfallswinkel im gleichen Maße verändert wie der Einfallswinkel.

$$\text{also: } t = \frac{1}{2} \varphi T/2\pi$$

$$\varphi = x/r$$

Dies ist eine Näherung, aber für kleine Werte (bis zu etwa 5°) von φ erlaubt.

$$\text{also: } t = \frac{1}{2} x/r T/2\pi$$

$$r = f$$

Aufgrund der Positionierung der Sammellinse in unserem Versuch gilt dieser Zusammenhang.

Die Position der Linse errechnet sich aus dem Linsengesetz:

$1/f = 1/b + 1/g$ (wobei f die Brennweite, b die Bildweite und g die Gegenstandsweite ist)

$$\text{also: } t = \frac{1}{2} x/f T/2\pi$$

$$s = 2l$$

Die Strecke die zurückgelegt werden muß entspricht dem Doppelten der Länge l unseres Versuchsaufbaus

$$c = s/t = (2l) / (\frac{1}{2} x/f T/2\pi)$$

$$\text{also: } \boxed{c = (8 l f \pi) / (x T)}$$

VERSUCHSAUFBAU

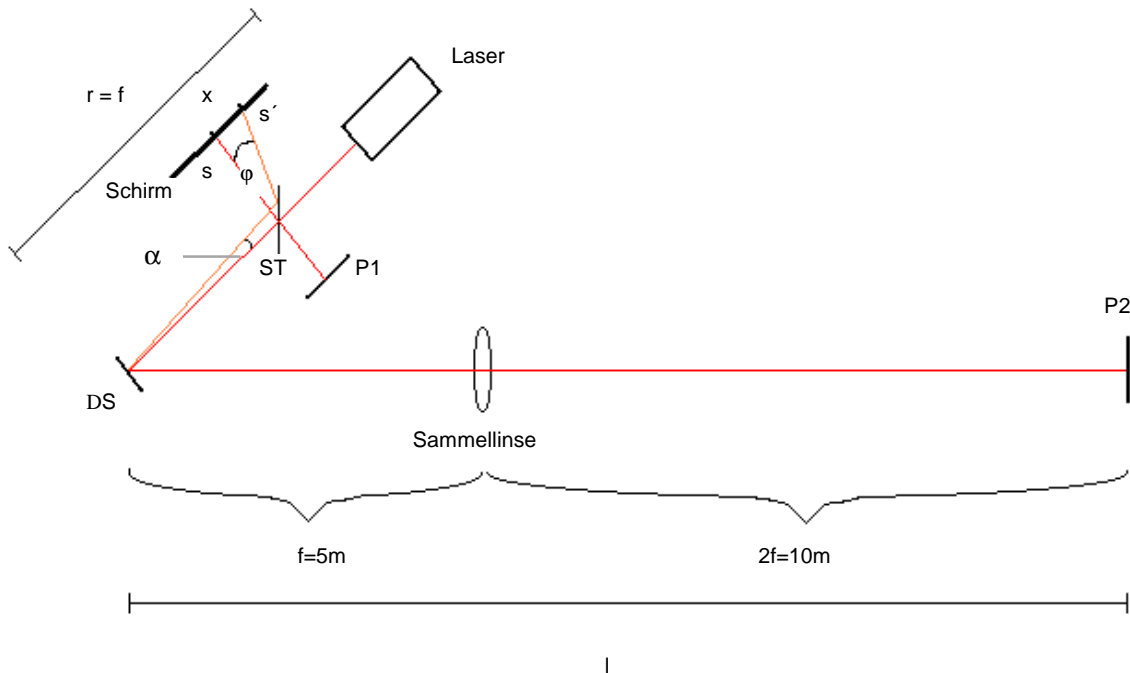
Hierzu wurde folgende Ausrüstung benötigt:

ein Laser (**737b**), eine Sammellinse mit $f=5m$ (**723e**), eine Drehspiegelkonstruktion (**714c**), ein Transformator (**46b**), ein Strahlenteiler (**727b**), zwei Planspiegel, ein Oszilloskop (**24b**), ein Phototransistor mit Vorwiderstand 1-100k Ω , ein Schirm und verschiedene Schienen sowie Reiter

Abb1 :

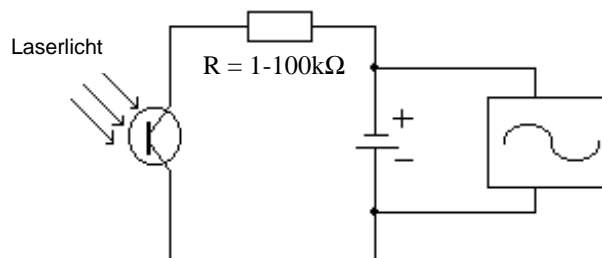
Legende :

DS = Drehspiegel
P1 = 1. Planspiegel
P2 = 2. Planspiegel



Schaltplan der Transistorschaltung:

Abb 2 :



Der Versuch hatte eine Gesamtlänge von ca. 20m, der vierfachen Brennweite der hier verwendeten Sammellinse. Da der Laserstrahl bei einem einmaligen Durchlaufen der Gesamtstrecke die vierfache Brennweite (f) der Linse zurücklegt, heißt diese Messung auch 4-f-Methode (siehe Zeichnung). Er erstreckte sich über den PL-Flur sowie einen der Räume in Bodenhöhe.

Der Laser wurde auf zwei Reitern so justiert, daß der Strahl in etwa parallel zum Grund verlief. Danach kam der Drehspiegel (DS) in 5m ($=f$) Entfernung zum Laserausgang in Position, so daß der Stahl den Spiegel relativ zentral traf.

Da der Spiegelteil des Drehspiegelapparates sehr klein, etwas eingelassen und der Laserstrahl durch die Schutzbrillen schlecht zu erkennen war, stellte sich das Justieren zu diesem Zeitpunkt, wie auch später, als sehr schwierig und zeitaufwendig heraus und war für eine Einzelperson eine nahezu unlösbare Aufgabe.

Zwischen Laser und DS wurde der Strahlenteiler (ST) in ca. 1m Entfernung vom Laserausgang in Stellung, und auf dessen Höhe der Schirm, auf dem später Ursprungspunkt (s) und der Bildpunkt mit zeitlicher Abweichung (s') aufgefangen und auf angebrachtem Millimeterpapier abgelesen werden konnten, parallel zum Strahlengang angebracht. Hierbei ist zu beachten, daß der Abstand zwischen ST und

Schirm ebenfalls 1m betrug, damit in jede Richtung eine komplette Brennweite der hier gebrauchten Linse vollständig war und damit die höchstmögliche Schärfe der Punkte s und s' erreicht wurde. Dem Schirm parallel gegenüber stand ein Planspiegel (P_1), der einen Teil des Strahls durch ST zurück auf den Schirm warf. Dies diente der besseren Abstimmung und zur Verstärkung von s und lieferte später bei Drehung von DS den Vergleichspunkt zu s' .

In 5m Entfernung vom DS wurde die eingesetzte Linse, und noch 10m ($=2f$) weiter dahinter der zweite Planspiegel (P_2) angebracht.

Der Laserstrahl wurde in Kleinstarbeit so justiert, daß er von der Mitte des DS durch die Mitte der Linse relativ zentral auf P_2 traf und in etwa den selben Weg zurücklief.

Damit entstand zwischen dem Laser und P_2 über DS ein spitzer Winkel.

Der Motor des DS wurde über einen regelbaren Transformator betrieben, der per stufenlosem Drehregler von 0 bis 100% Leistung erbringen konnte. Allerdings gestalteten sich die Ablesungen bei niedrigen Frequenzen des DS auf dem Schirm und bei hohen Frequenzen auf dem am Phototransistor auf Höhe von P_2 hängenden Oszillographen schwierig und wurden sehr ungenau.

Die Konstruktion von Phototransistor direkt im Strahl und angeschlossenem Oszillographen diente zur Messung der Drehfrequenz des DS. Hierbei hatte der Phototransistor seinen Platz unmittelbar vor P_2 und nicht weit davon entfernt war auch das daran angeschlossene Oszilloskop aufgestellt. Dieser Standort erwies sich als sehr viel geeigneter als der vorherige (nahe bei DS), da der Oszillograph anfangs heftigen Störungen unterworfen war.

Auf den Spalt, der im Basisversuch enthalten ist, wurde hier ob der Qualität der gebrauchten Lichtquelle verzichtet.

DURCHFÜHRUNG

Nachdem der Laserstrahl, wie beschrieben, ausjustiert war, wurde der Ursprungspunkt s (Laserabbildung auf dem Schirm bei Stillstand des DS) farbig auf dem Millimeterpapier am Schirm markiert. Dann wurde der Transformator auf eine Anfangsleistung von 30% gefahren und der DS, der erst bei 15-20% der Leistung des Trafos reagierte, setzte sich in Bewegung.

Der Laserpunkt auf dem Schirm wanderte bis zu einer bestimmten Position. Nach relativem Stillstand des Bildpunktes s' wurden der Abstand (x) zwischen s und s' und die Drehfrequenz (T) des DS am Oszillographen mit geeignet feiner Einstellung der Zeit (in ms) abgelesen. Diese Werte dienten als Rechengrundlagen zur Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit in Luft. Es wurden Wiederholungen für verschiedene Leistungsstufen des Trafos von 30 bis 100% in Zehnerstufen, mit den oben genannten Schwierigkeiten, durchgeführt.

Dieser letzte Teil ging im Vergleich zum Aufbau doch überraschend zügig vonstatten.

BEOBACHTUNG

Die meisten Beobachtungen wurden in Aufbau und Durchführung bereits beschrieben, da sie dort gleich im jeweiligen Zusammenhang stehen.

Ansonsten gab es noch ein sehr auffälliges Produkt dieses Versuches, das hier festgehalten werden sollte. Durch Brechung im Strahlenteiler war auf dem Schirm nicht nur ein Punkt zu erkennen, sondern es gab einen Punkt maximaler Leuchtkraft und daneben noch zwei weitere sichtbare Punkte, die mit wachsender Entfernung zum Maximum an Leuchtkraft abnahmen.

AUSWERTUNG

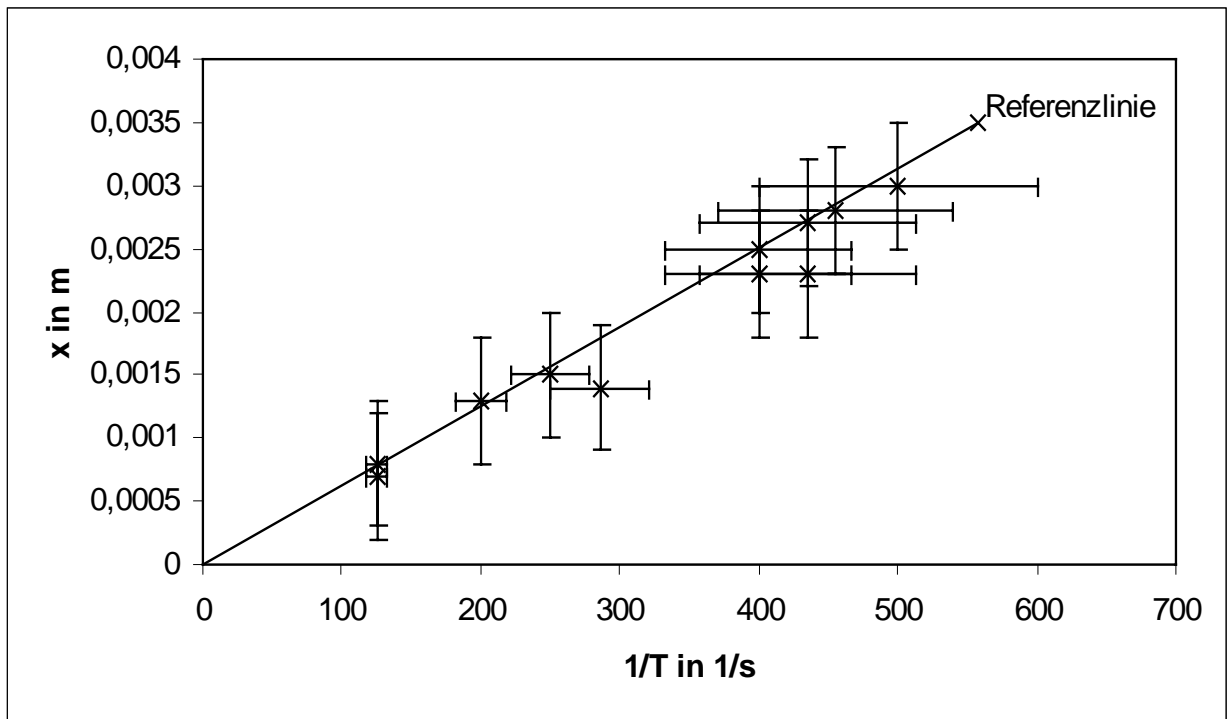
Meßreihe:

Leistung Trafo	T in ms	x in mm	c in 10e8 m/s
30%	8,0	0,7	3,4
30%	8,0	0,8	2,9
40%	5,0	1,4	2,9
50%	3,5	1,4	3,8
50%	4,0	1,5	3,1
60%	2,3	2,3	3,6
60%	2,5	2,3	3,3
70%	2,5	2,5	3,0
80%	2,3	2,7	3,0
90%	2,2	2,8	3,1
100%	2,0	3,0	3,1

Der Mittelwert der Messungen liegt bei $3,2 \text{ E}+8 \text{ m/s}$.
Die Standardabweichung beträgt $2,9 \text{ E}+7 \text{ m/s}$.

Der Literaturwert liegt bei $299\,792\,458 \text{ m/s}$. (Gerthsen 20. Auflage) und wird durch die Referenzlinie dargestellt.

Graphische Auswertung:



FEHLERBETRACHTUNG

Das Metallmaßband ließ eine größere Genauigkeit als $\pm 0,1\text{m}$ nicht zu. Das entspricht bei einer Meßstrecke von 30m einem relativen Fehler von 0,3%.

Die durch den Drehspiegel bedingte Abweichung des Laserstrahls auf dem Schirm ließ sich mit einer Genauigkeit von 0,5mm ablesen. Hier schwankt der relative Fehler zwischen 15% bei den höheren Drehfrequenzen und 80% bei den niedrigeren Drehfrequenzen.

Die Ablesegenauigkeit bei der Bestimmung der Drehfrequenz des Spiegels am Oszilloskop liegt bei $\pm 0,5\text{ms}$. Das entspricht einem relativen Fehler von 25% bei den höheren Drehfrequenzen und 10% bei den niedrigeren Drehfrequenzen.

Durch die riesigen Fehler bei der Bestimmung der Laserabweichung und der Drehfrequenz läßt sich der Meßfehler bei der Bestimmung der Meßstrecke vernachlässigen. Unglücklicherweise erzeugt die Messung der Laserabweichung den größeren Fehler bei niedrigeren Frequenzen, die Messung der Drehfrequenz aber bei höheren Frequenzen. Dieser Konflikt läßt die Messung im mittleren und höherfrequenten Bereich der Meßreihe am genauesten werden.

RESÜMEE

Nachdem der Versuchsaufbau durch die ständigen Justierungsarbeiten an den vielen, voneinander abhängigen Komponenten schier endlos war, erledigte sich die eigentliche Messung praktisch von selbst (teilweise mit Unterstützung außerhalb der Gruppe).

Die große Fläche, die der Versuch einnahm, und die großen Abstände zwischen den Komponenten machte die Abstimmung aller Teile aufeinander, besonders die genaue Justierung des Laserstrahles doch erheblich schwer. Auch das Suchen der einzelnen Teile war, sicherlich aus Gründen der fehlenden Praxis, der fehlenden Koordination und Absprache, eine wirre Angelegenheit. Allerdings sind die Schwierigkeiten bei der Suche nicht nur auf die Unerfahrenheit der PL-Mitglieder zurückzuführen, da viele Geräte leicht defekt waren oder nicht in genügender Anzahl zur Verfügung standen. Dies war gerade in diesem Versuch ein ausgeprägter Problemfaktor, da zwei sehr ähnliche Versuche nebeneinander liefen. Also mußten behelfsmäßige Schaltungen zusammengebastelt und viel geteilt werden, was die Versuche insgesamt sehr in die Länge zog.

Ein großer Störfaktor war auch das ständige nicht abstellbare Licht, das gerade bei optischen Versuchen extrem störend wirkt.

(Das zeigte sich im besonderen im Versuch der anderen Teilgruppe, da diese mit einem sehr schwachen Laser arbeiten mußten.)

Insgesamt sind die psychischen Belastungen und die Mißerfolge bei Unstimmigkeiten eine gute Erfahrung für spätere Versuche, bei denen das Ergebnis nicht schon im vornherein vorliegt.

Letztenendes wiegt ein zufriedenstellendes Ergebnis, das bei uns gegeben war, die ganze Arbeit auf (sollte es zumindest ☺).

TIPS:

Wer schneller zu einem Ergebnis kommen möchte, sollte sich auf jeden Fall vor dem ersten Versuch mit der Bestandsliste und den dazugehörigen Räumen auseinandersetzen, sich also im vornherein einen groben Überblick verschaffen. Ebenso sollte die Beleuchtungsregelung in den PL-Fluren nicht erst beim Aufbau geklärt werden.

Die Abstände zwischen den einzelnen Komponenten des Versuches sollten so markiert werden, daß der restliche Aufbau nach Verschieben einer solchen

ohne weitere zeitraubende Abmessungen angeglichen werden kann.