

Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit durch Messung des Laufzeitunterschiedes von Lichtimpulsen

Auf der Basis der direkten Messung der Laufzeit von Lichtimpulsen haben wir es nach einem leider gescheiterten Ansatz doch noch geschafft, mit unserer gepulsten Leuchtdiode als Sender und einer schnellen Photodiode als Empfänger verwertbare Meßwerte auf das Oszilloskop zu bekommen. Zur Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit waren so zwar mehrere Messungen sowie Längenvariationen nötig, außerdem mußte die "Reaktionszeit" der Elektronik beachtet werden; aber trotzdem wurde unser Ergebnis recht genau.

Die PG 268-I unter Leitung von Cornelia Sing

Bednarczyk,	Diana	196230
Döring,	Inkje	197382
Fleischer,	Fabian	197376
Guyot,	Daniel	194649
Könnecke,	Rene	197367
Südmeyer,	Heinrich	197655
Torabi,	Ramin	197364

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Titelblatt	1
Inhaltsverzeichnis	2
1 Einleitung	
1.1 Die Bedeutung der Lichtgeschwindigkeit für die Physik	3
1.2 Die Messung der Lichtgeschwindigkeit in der Historie	3
1.3 Die Intention unserer Projektgruppe	3
2 Theorie	4
3 Aufbau	4
3.1 Geräteliste	4
3.2 Versuchsaufbau	5
4 Durchführung	5
5 Auswertung und Diskussion	6
6 Resümee	7

1. Einleitung

1.1 Die Bedeutung der Lichtgeschwindigkeit für die Physik

Früher eher als interessante Tatsache betrachtet, ist die Lichtgeschwindigkeit in der heutigen Physik nicht mehr wegzudenken. Damals konnte sie wegen ihrer Größenordnung oft problemlos als unendlich angesehen werden. Aber schon bei frühen Ansätzen der Astrophysik war die Lichtgeschwindigkeit von großer Bedeutung. Das Lichtjahr und der Meter sind heute über die Lichtgeschwindigkeit definiert, und spätestens seit Einstein ist sie auch aus anderen Teilgebieten der Physik nicht mehr wegzudenken (oder zu vernachlässigen).

1.2 Die Messung der Lichtgeschwindigkeit in der Historie

Schon Galilei konnte sich nicht vorstellen, daß die Lichtgeschwindigkeit unendlich ist. Seine recht naive Methode lieferte jedoch keine verwertbaren Meßwerte, da die Lichtgeschwindigkeit aus einer Fülle von Meßfehlern und Ungenauigkeiten im Sekundenbereich nicht bestimmbar ist.

Der erste verwertbare Meßwert wurde von Ole Römer aus Beobachtungen des Jupitermondes Io 1675/76 berechnet. Für damalige Verhältnisse war sein Ergebnisse erstaunlich genau, so daß erst 1849 Fizeau mit seiner "Zahnradmethode" ein genaueres Ergebnis bestimmen konnte. Fizeau hatte aber genau wie Foucault mit seiner "Drehspiegelmethode" (und Galilei) das Problem, daß sich bei geringsten Meßungenauigkeiten durch die Größenordnung der Lichtgeschwindigkeit größere Fehler entwickelten, daher mußten die Versuche mit höchster Präzision durchgeführt werden.

Michelson versuchte mit seinem "Interferometer" den Äther zu "beweisen" bzw. "bestimmen". Sein Versuch schlug zwar fehl, aber der Aufbau seines "Interferometers" ist zur Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit sehr geeignet.

Im letzten Jahrhundert wurde die Lichtgeschwindigkeit größtenteils nur noch elektronisch gemessen. Heutige Messungen wurden durch die Entwicklungen der Kerr-Zelle, elektrische Hohlraumresonatoren oder Mikrowelleninterferometern recht genau.

Der 1974 errechnete Wert der Vakuumlichtgeschwindigkeit beträgt:

$$c=299\,792\,458\text{ m/s} \quad (\pm 1,2\text{m/s})$$

1.3 Die Intention unserer Projektgruppe

Da in unserer Gruppe sprudelnder Ideenreichtum herrschte, haben wir zwei Versuche durchgeführt. Unsere Teilgruppe hatte ursprünglich die Absicht, aus einer leichten Abwandlung des Michelson-Interferometers die Lichtgeschwindigkeit zu bestimmen. Die andere Teilgruppe versuchte sich am Foucault'schen Drehspiegel.

Leider mußten wir das Interferometer aufgeben, da die verwendete gepulste Leuchtdiode keine ausreichende Lichtintensität hatte und stark streute. Als Alternative wählten wir einen Versuch, bei dem wir die bereits getesteten elektronischen Schaltungen übernehmen konnten und nur die Optik ersetzen mußten.

2. Theorie (unseres Alternativversuches)

Da Licht sich gradlinig ausbreitet und keine Beschleunigung erfährt, kann man seine Geschwindigkeit mit der Formel:

$$c = v = s / t$$

berechnen.

Probleme ergeben durch die Zeitmessung, da sie bei den zur Verfügung stehenden Strecken konventionell nicht mehr meßbar ist.

Deswegen benutzten wir eine gepulste Leuchtdiode, deren Signal das Triggersignal für unser Oszilloskop darstellt. Durch die Laufzeitverzögerung des "optischen Aufbaus" erscheint auf dem Kanal der Photodiode kurze Zeit nach dem Triggersignal ein Impuls. Idealisiert läßt sich daraus die Lichtgeschwindigkeit nach oben genannter Formel berechnen, da die Zeit auf dem Oszilloskop und Strecke des Lichtstrahles meßbar sind. Die Elektronik arbeitet aber nicht mit unendlicher Geschwindigkeit, sondern in der Größenordnung der Lichtgeschwindigkeit, daher sind mehrere Messungen nötig, um die Zeit, die die Elektronik "verursacht", berechnen bzw. ignorieren zu können.

3. Aufbau

3.1 Geräteliste

PL-Inventarnummer:

1.	Speicheroszilloskop (Gould DSO 405)	010b
2.	Leuchtdiode (PL-Selbstbau) *	737b
3.	Photodiode (PL-Selbstbau) *	737b
4.	2 Linsen (f=15cm)	723c
5.	Oberflächenspiegel (plan)	723b
6.	Gleichspannungsnetzgerät (15V)	
7.	2 BNC Kabel	
8.	div. Stromkabel, Verlängerungskabel	
9.	serielles Kabel (und den PL-Rechner)	501a

* Die genaue Funktion ist unter

<http://pl.physik.tu-berlin.de/pl25anz/retzlaff/lichtgeschw.html> ausführlich erklärt.

3.2 Versuchsaufbau

Klassisch ist das Oszilloskop eine Braunsche Röhre, bei der ein Kanal die Ablenkung über die in y-Richtung ausgerichteten Kondensatorplatten und ein anderer Kanal die in x-Richtung bestimmt. Aus der der Stromstärke entsprechenden Ablenkung auf dem Leuchtschirm sind dann die Meßwerte abzulesen. Das Speicheroszilloskop ist ungleich komplizierter aufgebaut, simuliert aber ein klassisches Oszilloskop, nur eben daß die weitere Datenverarbeitung erheblich erleichtert wird.

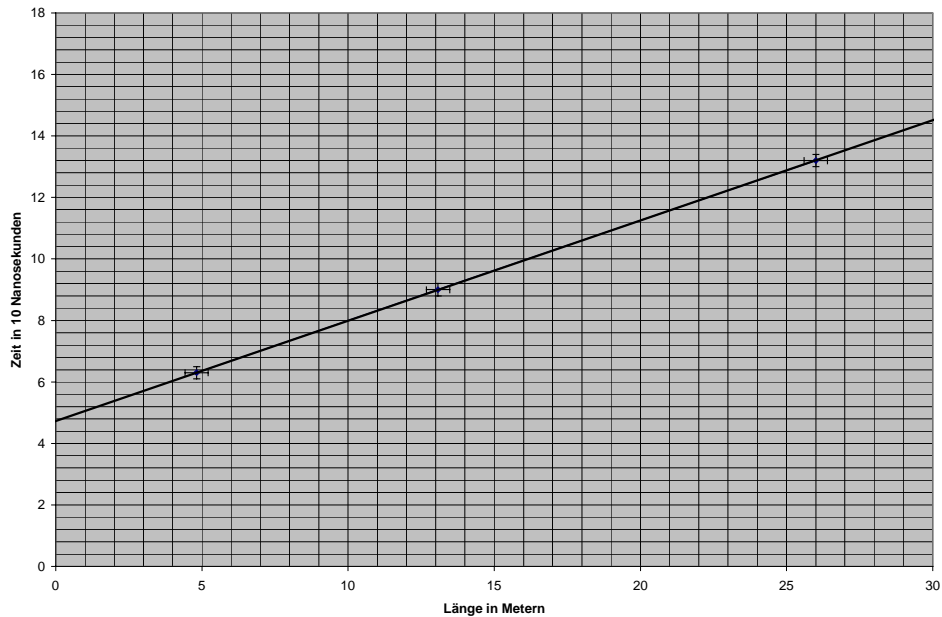
4. Durchführung

Zuerst haben wir die Elektronik getestet. Wegen der geringen Intensität und Streuung der gepulsten Leuchtdiode und da wir für unseren Versuch unbedingt eine gepulste Leuchtdiode benötigen, haben wir unseren Interferometer-Aufbau recht schnell verworfen. Für den dann durchgeführten Aufbau (siehe Versuchsaufbau) brauchten wir Dunkelheit, um unsere Optik korrekt aufzustellen. Um dies zu gewährleisten, haben wir uns auf den Flur des Projektlabors zurückgezogen, überall das Licht ausgeschaltet und auf dem Flur vor dem PL die Leuchtröhren raus gedreht. Wir haben den Versuch erst einmal so aufgebaut, daß wir ein Ergebnis erhielten, und dann den Aufbau vermessen. Das Aufbauen selbst gestaltete sich am kompliziertesten, da wir den Strahlengang nicht immer erkennen konnten, weil es entweder zu hell war, oder unser "Lichtstrahl" nicht korrekt fokussiert war. Große Strecken haben wir mit dem Maßband gemessen, kleine Abstände wie z.B. zwischen Leuchtdiode und Photodiode mit einem Geodreieck. Die Zeit konnten wir recht genau festhalten, da wir das Speicheroszilloskop mit einem seriellen Kabel mit dem PL-Rechner verbunden haben und so sämtliche Meßwerte auf dem Computer hatten.

5. Auswertung

Grundlage unserer Rechnung sind die Meßwerte, die in nachstehender Tabelle zusammengetragen sind. Zu beachten ist dabei, daß das Licht die Länge (l/2) zweimal durchläuft, bevor es auf die Photodiode fällt.

Länge/2 (m)	2,41	6,54	13,00
Zeit (10 ns)	6,3	9,0	13,2



Die Reaktionszeit der Elektronik ist aus obigem Graphen an der Stelle $x=0$ zu erkennen sie beträgt rund 4,7ns. Die systematischen Fehler, die in diesem Diagramm angegeben werden, werden weiter unten erläutert. Die Lichtgeschwindigkeit ist der reziproke Wert der Steigung des Graphen. Um die Reaktionszeit der Elektronik nicht beachten zu müssen, nehmen wir die Differenzen der einzelnen Meßwerte. Die Reaktionszeit sollte bei jeder Messung identisch sein, fällt auf diesem Wege also hinaus.

Längendifferenzen (m)	8,26	12,92	21,18
Zeitdifferenzen (10 ns)	2,7	4,2	6,9
Geschwindigkeit (m/10 ns)	3,06	3,08	3,07

Als Mittelwert ergibt sich $\bar{c} = 3,06 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$.

Die Abweichung vom Literaturwert (s.o.) beträgt 2 %

Als Standardvarianz von c ergibt sich $\tilde{c} = 9 \cdot 10^6 \frac{m}{s}$,

woraus sich $c = \bar{c} \pm \tilde{c} = \underline{\underline{(3,06 \pm 0,09) \cdot 10^8 \frac{m}{s}}}$ ergibt.

Der relative Fehler beträgt: 0,3 %.

Kleinere systematische Fehler sind auch bei uns aufgetreten. Ich würde sie wie folgt veranschlagen:

$$l \pm 4\text{cm}$$

$$t \pm 2\text{ ns}$$

Sie werden allerdings aufgrund ihrer Größe vernachlässigt. Auch den Winkel in dem das Licht auf den Planspiegel fällt haben wir vernachlässigt.

6. Resümee

Alles in allem dürfte es uns hiermit recht gut gelungen sein, die Lichtgeschwindigkeit zu bestimmen. Leider ist jeder unserer Meßwerte größer als der Literaturwert, was wiederum dafür spricht, daß unsere systematischen Fehler in eine Richtung gehen. Verbesserungen wie größere Zeit, durch größere Längen sind zwar denkbar, doch mit der schwachen Leuchtdiode extrem kompliziert. Das Verwenden mehrerer Spiegel ist sicherlich auch möglich, da aber der Strahlengang nicht immer sonderlich gut erkennbar ist, wird der Aufbau recht langwierig.