

SOWAS-Projekt 2015

Abstandsmessung durch Laserlaufzeitmessung

Linus Glanemann, Alexander Kiel, Jan Reher, Meike Küßner

Projektleiter: Frederik Schulz

Motivation:

Wer nachts in den Himmel blickt, ist schnell fasziniert von den riesigen Distanzen und Größen, die dort herrschen. Schnell stellt sich die Frage: Wie kann man solche riesigen Strecken messen? Damit sollte sich unser SOWAS – Projekt auseinandersetzen, zunächst am Beispiel des Erdmondes.
Eine gängige Methode, den Abstand des Mondes zu vermessen, nutzt die Endlichkeit der Lichtgeschwindigkeit aus. Legt ein elektromagnetischer Puls, sei es sichtbares Licht oder z.B. ein Radiosignal, eine große Entfernung zurück, ergibt sich dadurch natürlich eine deutlich messbare zeitliche Verzögerung des Signals.
Zur konkreten Umsetzung gibt es prinzipiell zwei Möglichkeiten:

Lasermethode:

Im Zuge der Apollo-Missionen haben Astronauten der NASA auf dem Mond mehrere Retroreflektorspiegel hinterlassen, die wir für die Reflexion der Laserpulse genutzt hätten

Radiomethode:

Verwendet man anstelle des Lasers intensive Radiosignale, kann die Mondoberfläche selbst als „Spiegel“ dienen, das Signal wird also auch ohne Spiegel reflektiert und kann nach kurzer Verzögerung wieder empfangen werden.

Probleme im Vorfeld:

Es stellte sich schnell heraus, dass ein Anvisieren der Spiegel der NASA für uns keine Option darstellt, da zwischen Erdoberfläche und Mond zum einen natürlich sehr viel Intensität verloren geht, und zum anderen dafür ein sehr starker Laser nötig gewesen wäre.
Uns wurde ein Laser mit einer maximalen Leistung von 1mW zur Verfügung gestellt. Damit wäre es nicht einmal möglich gewesen ein einzelnes Photon zu detektieren.

Zur Umsetzung der Entfernungsbestimmung mithilfe von Radiopulsen planten wir eine Kooperation mit der Bochumer Sternwarte, und die dortige große Parabolantenne zu nutzen. Im Verlauf der Planung ergab sich aber, dass die Vorbereitungszeit für die Sternwarte deutlich größer ist, als es unser Projektrahmen zulässt.
Somit blieb uns nur noch übrig, die Messung mit einem 1mW-Laser durchzuführen und uns auf deutlich geringere Distanzen zu beschränken – vom Mond zum Flur auf NB04.

Physikalische Grundlagen:

Die physikalischen Hintergründe sind leicht zu erklären. Wir senden Lichtpulse aus und lassen diese eine Strecke D durchlaufen, anschließend messen wir die zeitliche Verzögerung Δt , mit der der Puls zurückkehrt.

Damit gilt mit der Lichtgeschwindigkeit in Luft $c \approx 299.700 \text{ km/s}$: $D = c \cdot \Delta t$

Da wir aus messtechnischen Gründen die Zeit für die zweifache Messstrecke D (Hin- und Rückweg) messen gilt also für die letztendlich gesuchte Entfernung:

$$d = \frac{c \cdot \Delta t}{2}$$

Aufbau:

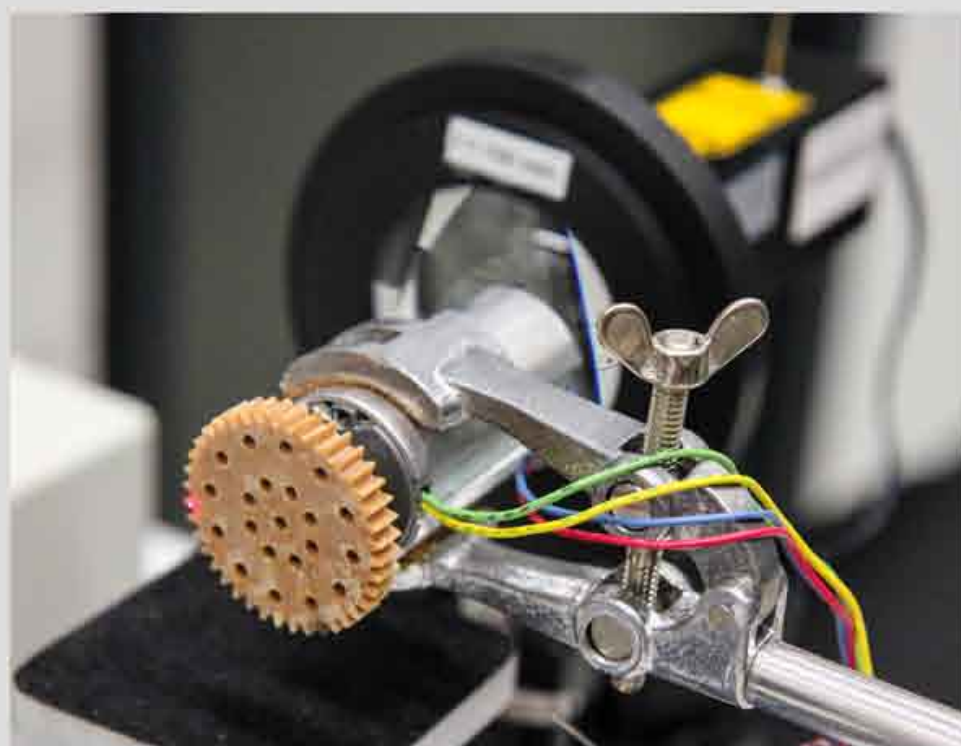


Abb.1: Photodiode erster Aufbau

Abb.2: Pulsmechanismus erster Aufbau

Der erste Versuchsaufbau:

Als Lichtquelle wird ein einfacher 1mW Praktikumlaser mit einer Wellenlänge von 650nm verwendet. Der Laser ist für die Messstrecke nicht gut fokussiert, außerdem schwankt die Leistung merklich.

Zum Pulsen des Lasers wird ein schnell rotierendes Zahnrad verwendet. Rotiert wird das Rad mittels eines kleinen Elektromotors. Damit ist es möglich den Strahl 10.000 Mal in der Minute zu unterbrechen.

Der Laserstrahl wird mit einer Linse gebündelt. Im Brennpunkt wird der Strahl mittels des Zahnradspalt gepulst, und von einer weiteren Linse wieder parallel gelenkt. Es folgt ein Strahlteiler der einen Teil des Strahls auf die Referenzfotodiode lenkt. Nach einer Messstrecke von 10 Metern reflektiert ein Spiegel den Strahl zurück auf die zweite Fotodiode, wo der Strahl erneut fokussiert wird. Genutzt werden die Fotodioden BPY 47. Um ein besseres Licht Ausbeute zu erreichen wird das Plexiglasgehäuse entfernt.

Zur Messung der Daten wird das Agilent U 1604 B verwendet. Es ist einfach zu bedienen, bietet aber kaum Möglichkeiten zur Auswertung.



Abb.3: verbesserter Versuchsaufbau

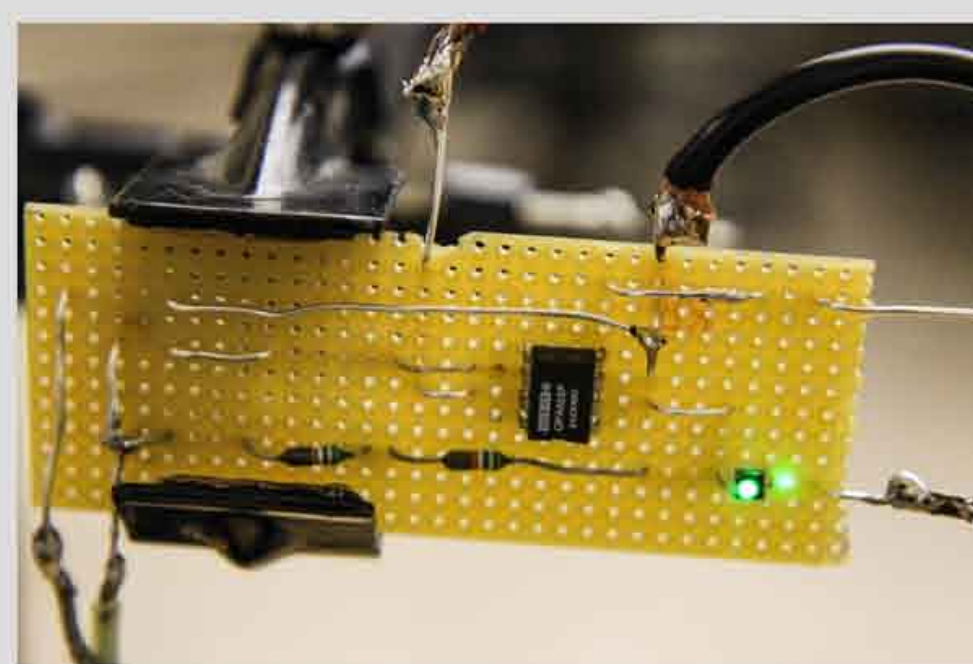


Abb.4: verbesserte Diode (rechts grün ausgeleuchtet) mit Messverstärker

Verbesserter Versuchsaufbau:

Ausgehend vom ursprünglichen Aufbau haben wir die Versuchsanordnung während des Experimentes immer weiter verbessert. Der gesamte Aufbau steht auf fahrbaren Tischen, gemessen wird auf dem Flur auf NB 04.

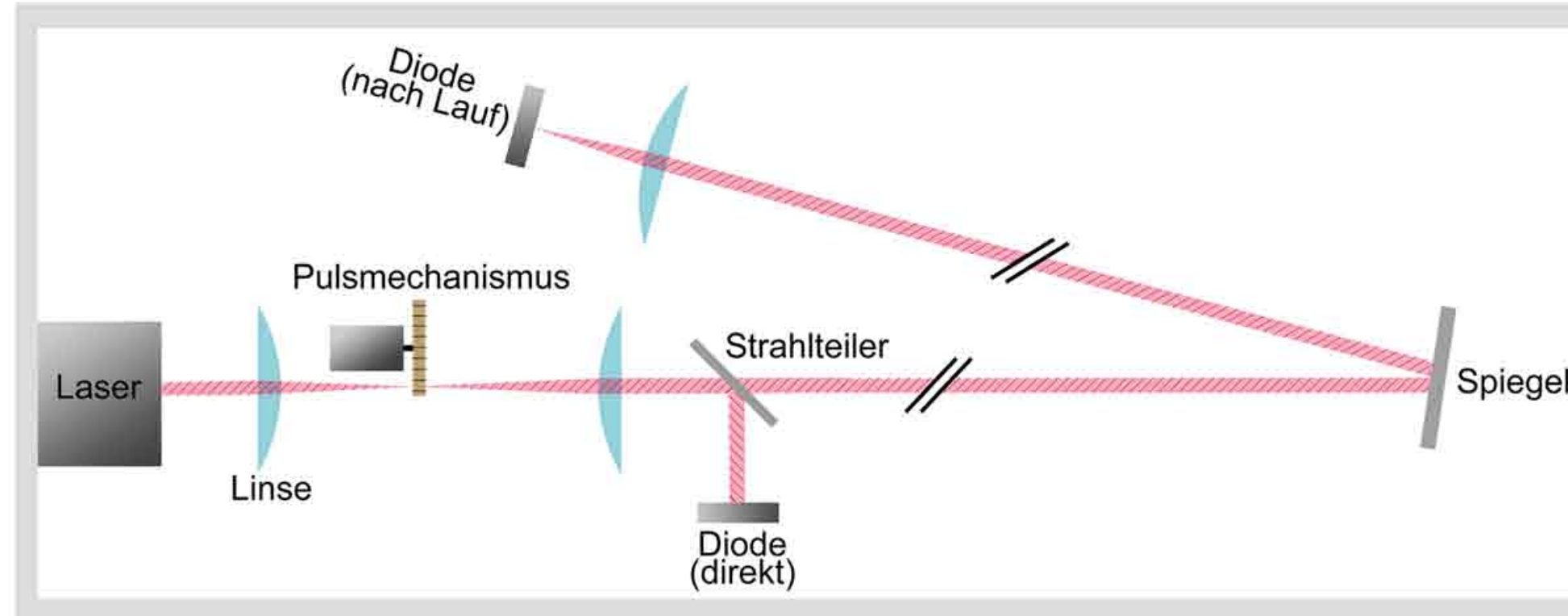
Als Lichtquelle wird ein regelbarer Laser mit 532 nm Wellenlänge eingesetzt. Die Intensität und Fokussierung des Lasers reicht aus um über eine Entfernung von 300 Metern zu messen.

Zum Pulsen des Lasers wird ein Chopperrad verwendet, dessen Drehzahl einstellbar ist. Außerdem verfügt das Rad über eine eingebaute Lichtschranke, über die wir ein externes Triggersignal empfangen. Die so erzeugte Pulslänge liegt in der Größenordnung von 0,5ms.

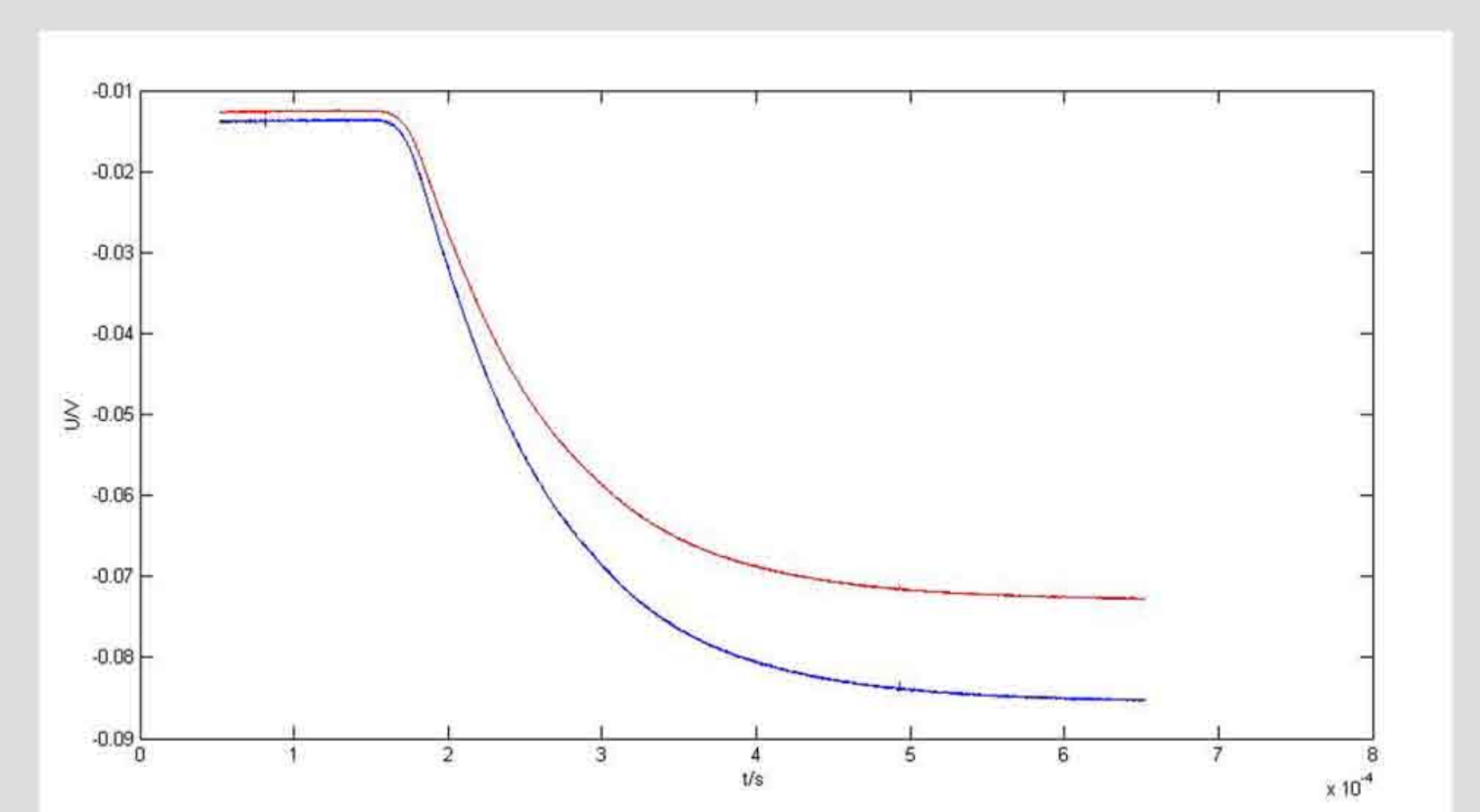
Der Laserstrahl wird auf einen genau justierbaren Spiegel gelenkt, so ist eine genaue Einstellung des Strahls möglich, ohne den Laser selbst zu verstellen. Anschließend lenkt ein Strahlteiler einen Teil des Strahls direkt auf die erste Fotodiode. Nach einer Messstrecke von 150 Metern trifft der Strahl auf einen weiteren Spiegel und wird zurückgeworfen auf die zweite Fotodiode.

Die im ersten Versuchsaufbau genutzten Fotodioden BPY 47 sind mit einer Anstiegs- und Abfallzeit von 23µs viel zu träge für die angestrebten Messungen. Gemessen wird im verbesserten Aufbau mit BPW 34 PIN Dioden (Osram). Diese haben eine Anstiegs-/Abfallzeit von 20ns und sind deutlich empfindlicher. Die Dioden sind auf eine Platine gelötet und wurden in zwei Varianten betrieben. Zum Einen mit verbautem Messverstärker und zum Anderen ohne

Verwendet wird das Oszilloskop HMO722 von Rohde und Schwarz. Die Daten werden vor dem Export direkt mit dem Oszilloskop gemittelt.



Ergebnisse:

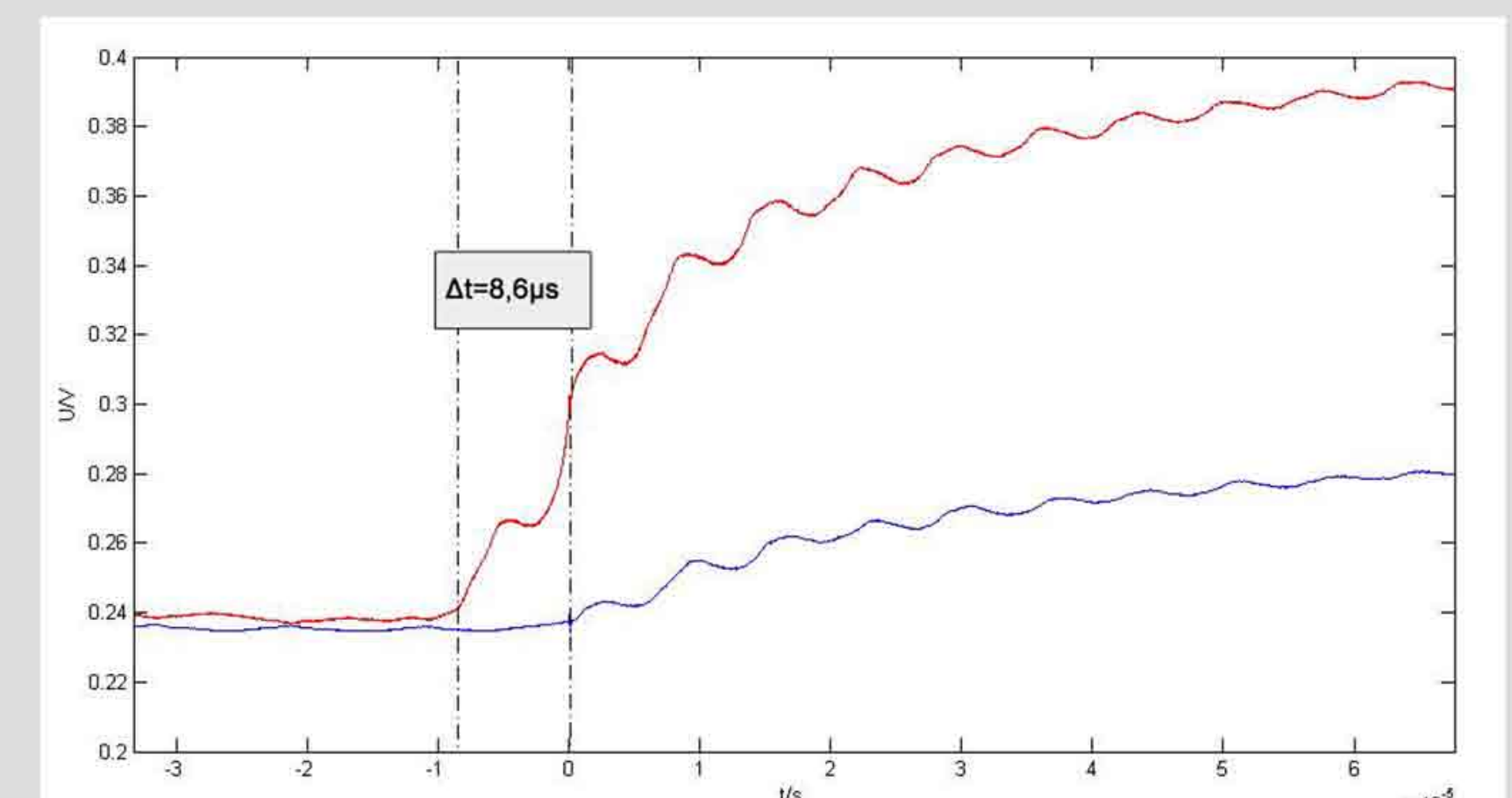


Erster Aufbau:

Wie man der obenstehenden Abbildungen entnehmen kann, waren die zuerst verwendeten Dioden schlicht zu langsam für die sehr kurzen zeitlichen Signale, die wir messen wollten. Außer unterschiedlichen Anstiegs- und Abfallzeiten, war keine zeitliche Verschiebung zu erkennen. Aus diesen Messwerten konnten daher keine weiteren Informationen entnommen werden.

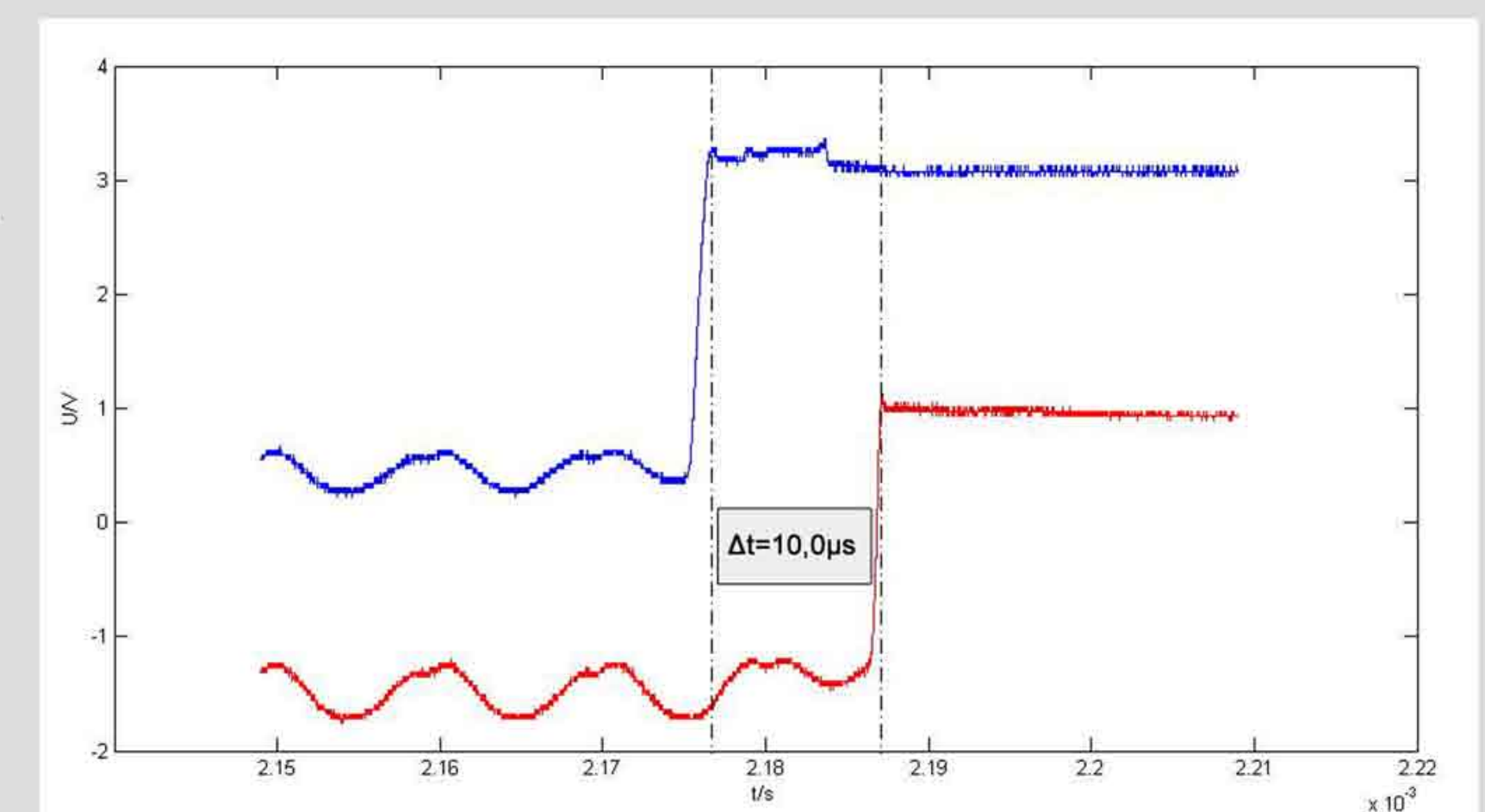
Ohne Messverstärker:

Die Dioden werden ohne Messverstärker betrieben und auf das Anlegen einer Spannung wird verzichtet. Das Ausgangssignal liegt im Bereich von 200 mV.



Mit Messverstärker:

Das Signal der Fotodioden wird mit Hilfe eines Operationsverstärkers verstärkt. Der Schaltkreis wird auf die Platine gelötet, wobei zu beachten ist, dass die Schaltung empfindlich und sehr anfällig für Störungen von außen ist. Deshalb mussten die nicht abgeschirmten Verbindungen so kurz wie möglich gehalten werden. Das Ausgangssignal beträgt maximal 5V.



Sowohl die Messungen mit, als auch ohne Verstärker lieferten verwertbare Ergebnisse. Ohne Messverstärker ist eine deutliche unerwünschte Schwingung in den Messungen zu erkennen außerdem steigen und fallen die Kurven langsam und unterschiedlich steil. Der Anstieg und Abfall der Kurven ist mit Messverstärker deutlich steiler und damit leichter zu messen, allerdings ist hier nur der Abfall auswertbar, der Anstieg liefert falsche Werte. Abhängig von der Intensität, die auf die Dioden fällt, ergibt sich auch ohne Laufwegdifferenz eine scheinbare Verschiebung. Das macht es schwer, die tatsächliche Laufzeitdifferenz zu bestimmen. Die gemessenen Laufzeitunterschiede sind um einen Faktor 10 zu groß, stimmen aber ansonsten mit dem Erwarteten überein.

Fazit:

Das Projekt war trotz der abweichenden Ergebnisse sehr erfolgreich!

Von einem sehr primitiven Aufbau, der uns zu Anfang zur Verfügung gestellt wurde, haben wir uns zu einem präzisen Aufbau weiterentwickelt. Mit ein paar Tagen mehr Zeit wäre wahrscheinlich eine weitere Präzisierung möglich gewesen, die uns nun aus zeitlichen und technischen Gründen nicht mehr möglich war. Durch die Vielzahl der verwendeten Oszilloskope, Dioden und anderen Bauteile, wurde auch unser Wissen über die Eigenschaften dieser Geräte deutlich verbessert. Wir haben gemerkt, dass man einen hohen Aufwand betreiben muss, um einen Aufbau zu entwickeln, der den sehr kleinen zeitlichen Dimensionen gewachsen ist. Unter diesen Hinblicken war der Versuch also ein voller Erfolg.

Wir bedanken uns herzlichst bei:

Herrn Prof. Wieck
Herrn Kalthoff
Herrn Dr. Reicherz

Fakultät für Physik und Astronomie

