

Justieranleitung zum Versuch

Nachmessen der Lichtgeschwindigkeitskonstante mit kurzen
Laserpulsen

Praktikum Klassische Physik II für Lehramt

Justieranleitung

Diese Anleitung zeigt Ihnen Schritt für Schritt, wie Sie das Experiment aufbauen und justieren können. Die folgende Abbildung 1 soll einen ersten Überblick verschaffen, wie das Experiment am Ende aussehen soll.

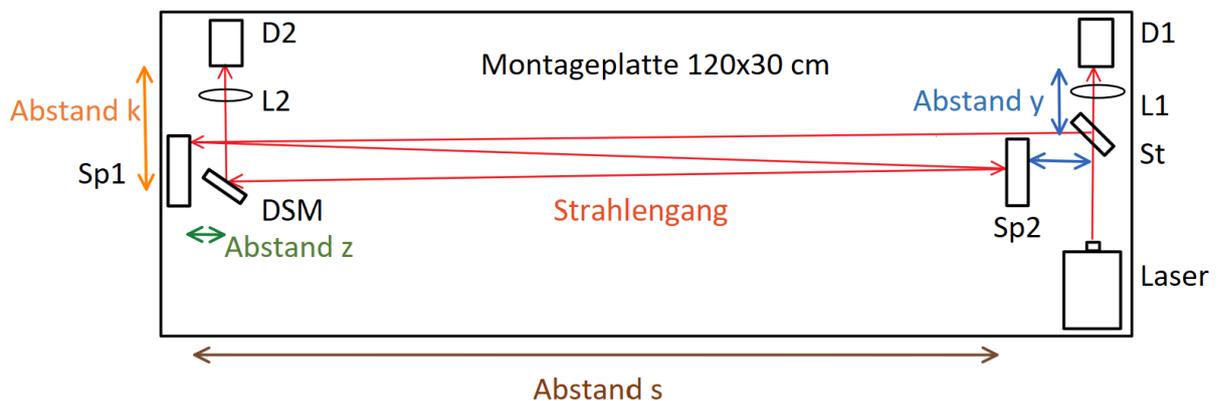
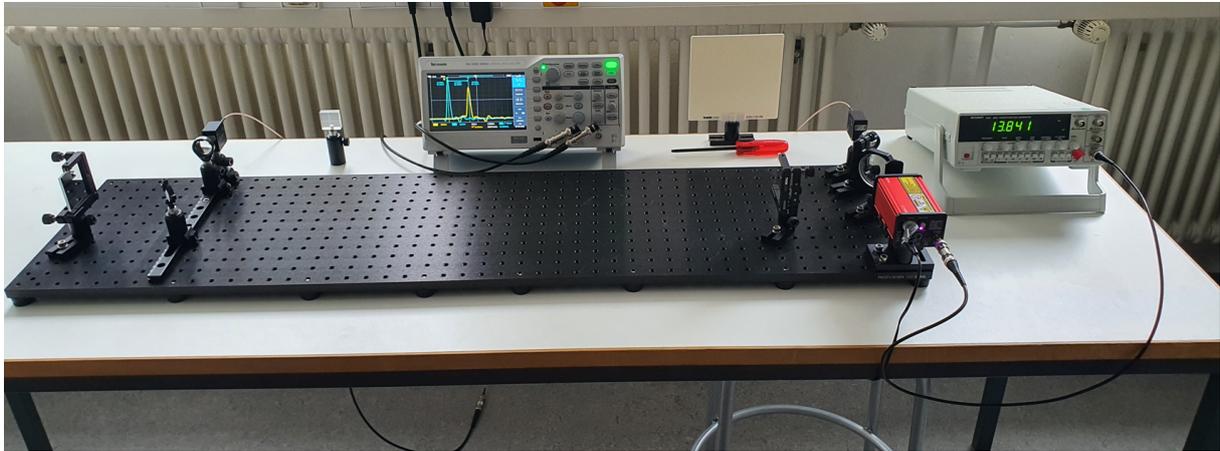


Abbildung 1: Oben ein Foto und unten eine Prinzipskizze des gesamten Versuchsaufbaus.

Schritt 1: Montage und Inbetriebnahme des Lasers

Komponenten: Laser und Lochrasterplatte, Frequenzgenerator

Bringen Sie den Laser auf der rechten äußersten Ecke der Montageplatte an. Ausrichtung wie in Abbildung 2. Der Laserstrahl muss parallel zur Platte orientiert sein (Lochraster als Hilfe verwenden).

Einschalten des Lasers:

Da der Laser über einen externen Frequenzgenerator getriggert wird, kann er unter der Laserschutzklasse 2 betrieben werden. Dies hat den Vorteil, dass der Laserbetrieb ohne Schutzbrille durchgeführt werden kann, sofern die Triggerfrequenz

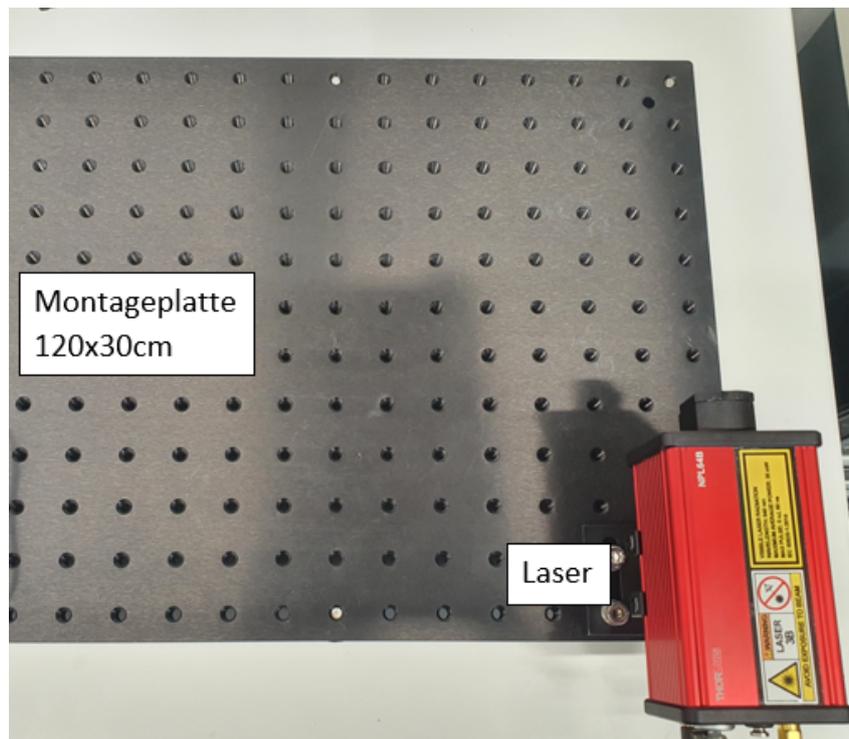


Abbildung 2: Position des Lasers auf der Lochrasterplatte.

$f_{\text{Laser}} = 20 \text{ kHz}$ nicht übersteigt.

Laser und Frequenzgenerator werden mittels eines BNC Kabels verbunden (Trigger-Eingang Laser und 'Output 50Ω ' am Frequenzgenerator).

Vorsicht, vor Betrieb des Lasers:

- Die Triggerfrequenz darf nicht höher als $f_{\text{Laser}} = 20 \text{ kHz}$ gewählt werden!
- Die Triggerspannung darf nicht über 3 Vpp betragen! Dies kann nur sichergestellt werden, wenn am Frequenzgenerator die Signaldämpfung (-20dB) gedrückt wird und der Amplitudenregler im Minimumbereich betrieben wird!
- Signalform auf Rechteckspannung wählen und Frequenz etwas unterhalb der Höchsfrequenz f_{Laser} einstellen.

Anschließend Frequenzgenerator einschalten.

Jetzt wird der Laser mittels Schlüssel eingeschaltet:

- Schlüssel auf die Position 1 drehen.
- Der Laser benötigt eine gewisse Aufwärmphase, die durch eine rot/blau blinkende LED gekennzeichnet wird. Diese Phase dauert etwa 30 s , bis die LED aufhört zu blinken und ein leiser Klickton vom Laser ertönt.

- Wenn die LED konstant leuchtet und alle Parameter am Frequenzgenerator eingestellt wurden, kann man die mechanische Schutzklappe am Ausgang des Lasers wegklappen.

Messen Sie nun an verschiedenen Abständen auf der Montageplatte die Höhe des Strahls. Der Strahl muss parallel zur Platte verlaufen. Hierbei ist es nützlich, eine Laserzielvorrichtung (Zv) oder einen weißen Schirm in den Strahlengang zu stellen (vgl. Abbildung 3). Die Höhe, die mit der Zielvorrichtung (Zv) ermittelt wurde,



Abbildung 3: Bestimmung der Laserstrahlhöhe mit einer Zielvorrichtung (Zv).

kann so in jedem weiteren Montageschritt überprüft werden, um die Parallelität des Laserstrahls gegenüber der Platte zu gewährleisten.

Um den Laser kurzfristig „auszuschalten“, kann die Klappe des Lasers verschlossen werden. Bei längeren Pausen, wird der Hauptschlüssel am Laser gedreht, um den Laser ganz auszuschalten.

Schritt 3: Aufbau Lichtweg 1 (Lichtweg Laser – Detektor 1)

Komponenten: Strahlteiler (St) (70:30; R/T), Linse 1 (L1) ($f = 50 \text{ mm}$), Detektor 1 (D1) und Oszilloskop.

Montage des Strahlteilers:

Der Strahlteiler (St) wird vor dem Laser auf der Montageplatte positioniert (vgl. Abbildung 4). Der Laserstrahl sollte die Mitte des Strahlteilers (St) treffen. Um eine transmittierte und reflektierte Komponente des Lasersignals zu erhalten, wird der Strahlteiler um 45° gegenüber dem Laserstrahl gedreht angebracht. Der transmittierte Teil des Strahls soll Detektor (D1) treffen. Der reflektierte Teil des Strahls soll genau um 90° in Richtung der Länge der Platte zeigen (an Lochraster orientieren).

Montage von Detektor 1 (D1):

Positioniere den Detektor 1 (D1) auf der gegenüberliegenden Seite des Lasers, sodass der transmittierte Strahl vom Strahlteiler (St) kommend genau in den Eingang des

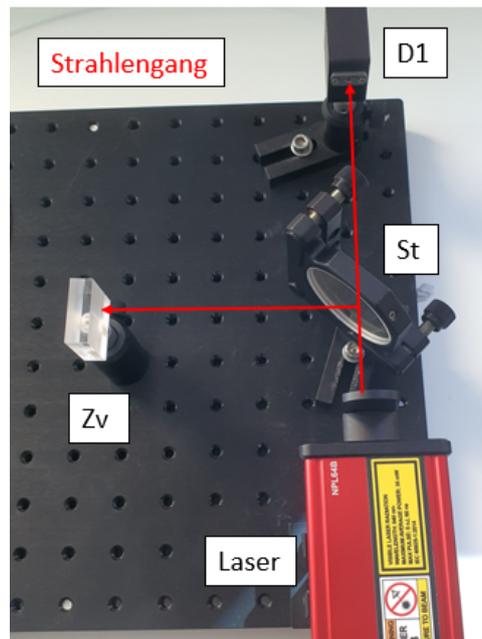


Abbildung 4: Position des Strahlteilers vor Laserausgang.

Detektors zeigt. Der Detektor muss hierbei am äußersten Rand der Platte montiert werden, um zu gewährleisten, dass im nächsten Schritt die Linse 1 (L1) dazwischen platziert werden kann.

Positionierung der Linse $f = 50 \text{ mm}$ (L1):

Stelle die Linse 1 grob zwischen Strahlteiler und Detektor 1, sodass der Laserspot auf den Eingang des Detektors zeigt, s. Abbildung 5.

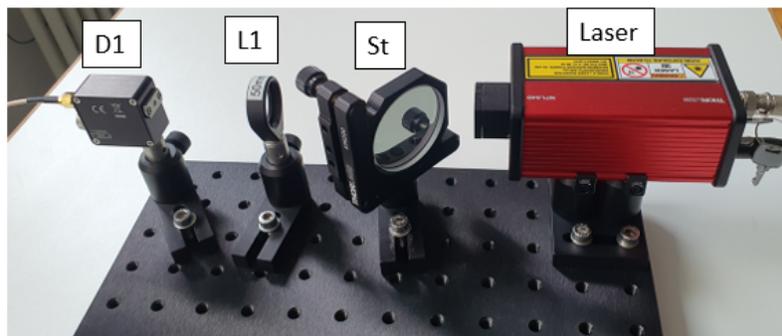


Abbildung 5: Bisheriger Versuchsaufbau des transmittierten Lichtwegs.

Vorbereitung des Oszilloskops und Justieren der Linse 1:

Detektor 1 wird mit Kanal 1 des Oszilloskops verbunden. Achtung: 50 Ohm Widerstand vor dem Oszilloskop parallel schalten.

Triggerung: über Kanal 1

Zeitachse: Zeitbereich pro Kästchen: ca. 10 ns

y-Achse: Der Voltbereich der Skala am Oszilloskop sollte zwischen 20 mV und 50 mV liegen und kann anfangs auch geringer eingestellt werden, um ein Gefühl zu erhalten, wie die Linse positioniert werden muss.

Durch die Justierung der Linse 1 genau auf den Eingang des Detektors 1 wird ein Peak am Bildschirm identifiziert (siehe Abbildung 6). Das Maximum des Peaks sollte etwa zwischen 200 – 500mV liegen.

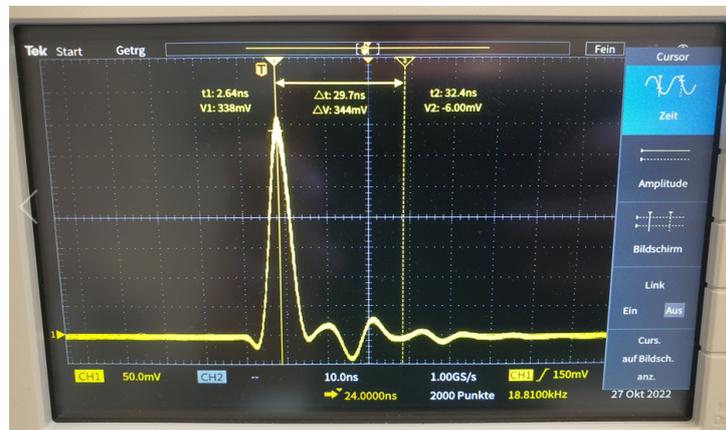


Abbildung 6: Signal am Oszilloskop von Detektor 1 (Kanal 1).

Hinweis: Die Linse darf hierbei nie genau im Abstand der Brennweite zum Detektor liegen. Dies kann zu einer Überblendung des Detektors führen, wodurch das ausgegebene Signal deformiert und zeitlich verzerrt und die Messung verfälscht wird. $\Delta t!$

Daher sollte der Abstand zwischen Detektor und Linse immer ca. ± 0.5 cm gegenüber der Brennweite f der Linse verschoben sein.

Schritt 4: Ermitteln des Offsets zwischen den beiden Detektoren

Komponenten: Detektor 2 (D2) und zweite Linse $f = 50$ mm (L1).

Da in diesem Experiment Lichtlaufzeiten im Nanosekundenbereich gemessen werden, spielen hier auch Signallaufzeiten in den Kabeln, die von den Detektoren zum Oszilloskop führen, oder geringfügige elektronisch bedingte Unterschiede in den Detektoren eine Rolle. Es muss also zunächst ermittelt werden, wie groß der Zeit-Offset Δt_{Offset} dieser Effekte zwischen den Detektoren ist. Dieser muss später bei den Messungen berücksichtigt werden. Dazu wird Detektor 2 möglichst genau im gleichen Abstand y zum Strahlteiler in die reflektierte Komponente des Laserstrahls gestellt (siehe Abbildung 7).

Stellen Sie nun eine weitere Linse L1 vor Detektor 2 und fokussieren Sie auf den Eingang des Detektors, um ein Bild am Oszilloskop zu erhalten, wie in Abbildung

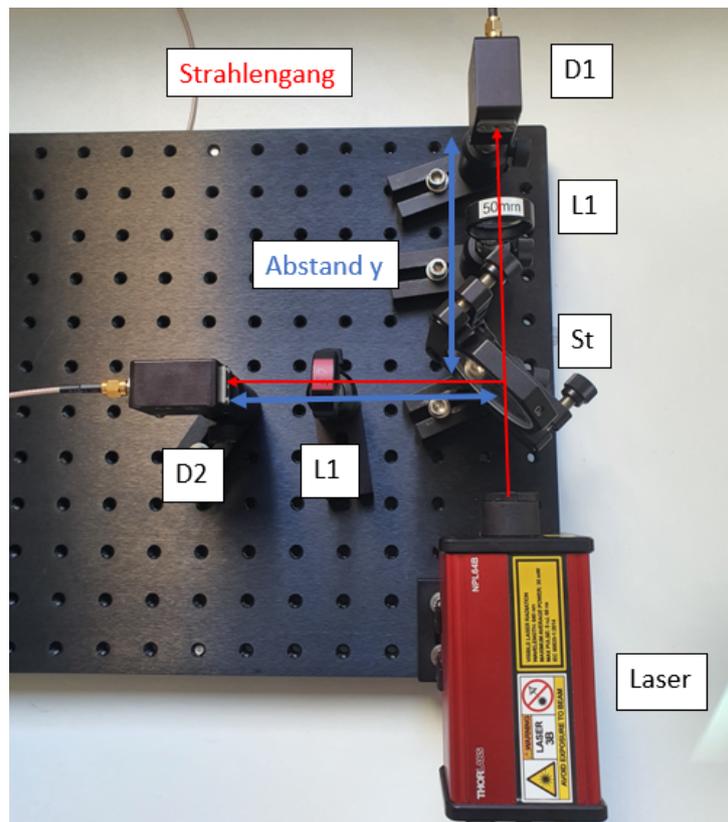


Abbildung 7: Ermitteln des Offsets der beiden Detektoren (D1 und D2).

8 zu sehen.

Hierbei muss Detektor 2 mit einem BNC Kabel an Kanal 2 des Oszilloskops angeschlossen werden. Auch im zweiten Peak sollte das Maximum etwa bei 200 – 500mV liegen.

Durch Ablesen der Zeitverschiebung des blauen und gelben Peaks kann die Zeitdifferenz Δt_{Offset} ermittelt werden.

Für die eigentlichen Messungen entfernen Sie Detektor 2 und die vorgestellte Linse (L1) wieder und fahren mit dem Messaufbau fort.

Schritt 5: Aufbau Lichtweg 2: Positionierung von Spiegel 1+2

Komponenten: Zwei 2x2 Zoll Spiegel (Sp1 und Sp2).

Um einen möglichst langen Lichtweg für die Messung zu erreichen, wird dieser über zwei 2x2 Zoll Spiegel (Sp1 und Sp2) durch mehrfache Reflexion zwischen ihnen vergrößert. Um später die größtmögliche Anzahl n_{S1} an Reflexionen an Spiegel 1 zu haben, müssen die beiden Spiegel möglichst parallel zueinander aufgebaut werden (siehe Abbildung 9). Ab hier ist eine immer konstante Höhe des Laserstrahls gegenüber der Montageplatte wichtig und sollte immer mit der Zielvorrichtung geprüft

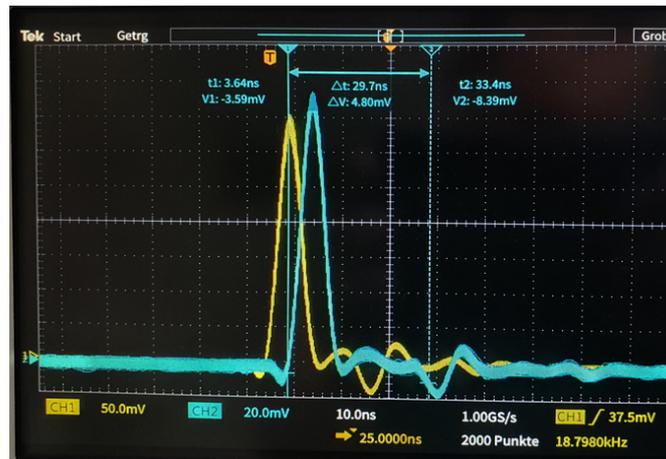


Abbildung 8: Offset (Zeitverschiebung) der beiden Detektoren (D1 und D2).

werden. Um die Mehrfachreflexion umsetzen zu können und einen großen Abstand s

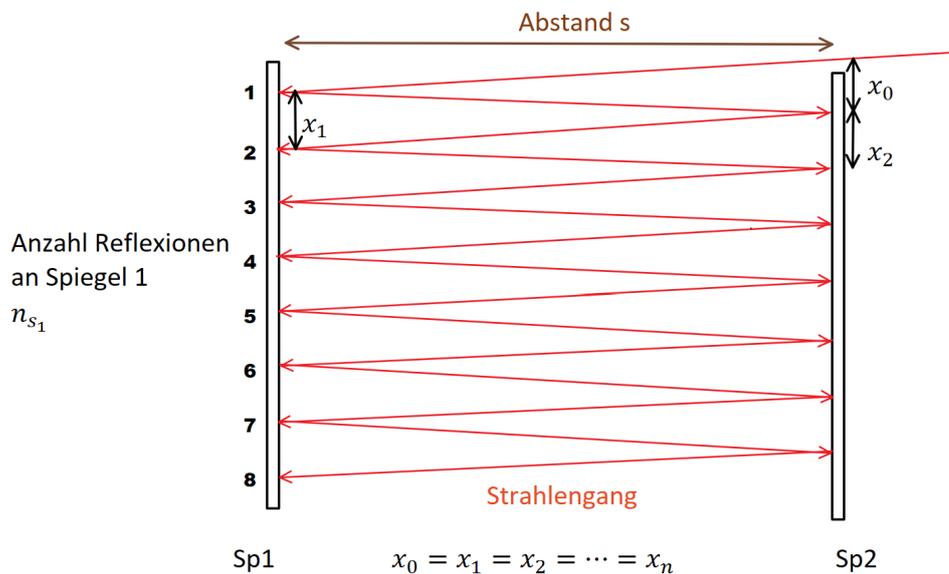


Abbildung 9: Position von Spiegel 1 und Spiegel 2.

zu erlangen, werden die beiden Spiegel soweit wie möglich auseinander gestellt (ca. 1m).

Spiegel 2 (Sp2) wird zuerst im Abstand y zum Strahlteiler montiert (vgl. Abbildung 10, links). Wichtig ist hierbei, dass der vom Strahlteiler kommende Laserstrahl knapp rechts von Spiegel 2 verläuft (siehe Abbildung 10, rechts). Die korrekte Platzierung von Spiegel 2 im Abstand y hat zum Vorteil, dass im späteren Verlauf der Messungen der Abstand s direkt zwischen Spiegel 1+2 gemessen werden kann

und daher in den Messungen später die Distanz y nicht mehr berücksichtigt werden muss.

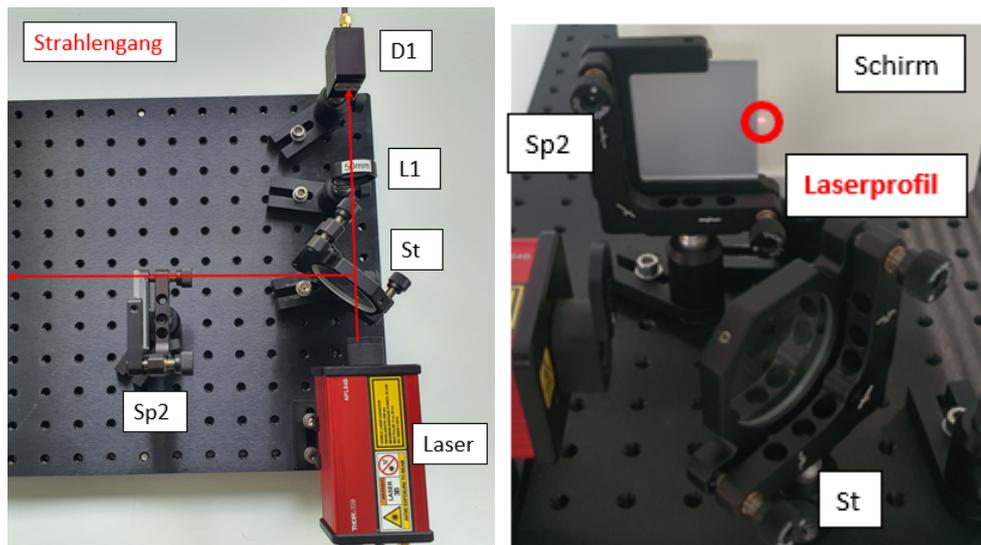


Abbildung 10: Positionsübersicht (links) und Spiegel-2-Position (rechts) direkt neben dem vom Strahlteiler reflektierten Laserstrahl.

Spiegel 1 wird am Ende der länglichen Platte am äußersten Rand positioniert. Er wird so montiert, dass der vom Strahlteiler kommende Strahl auf die äußerste rechte Kante des Spiegel 1 trifft (siehe Abbildung 11, links). Mithilfe der Justierhal-

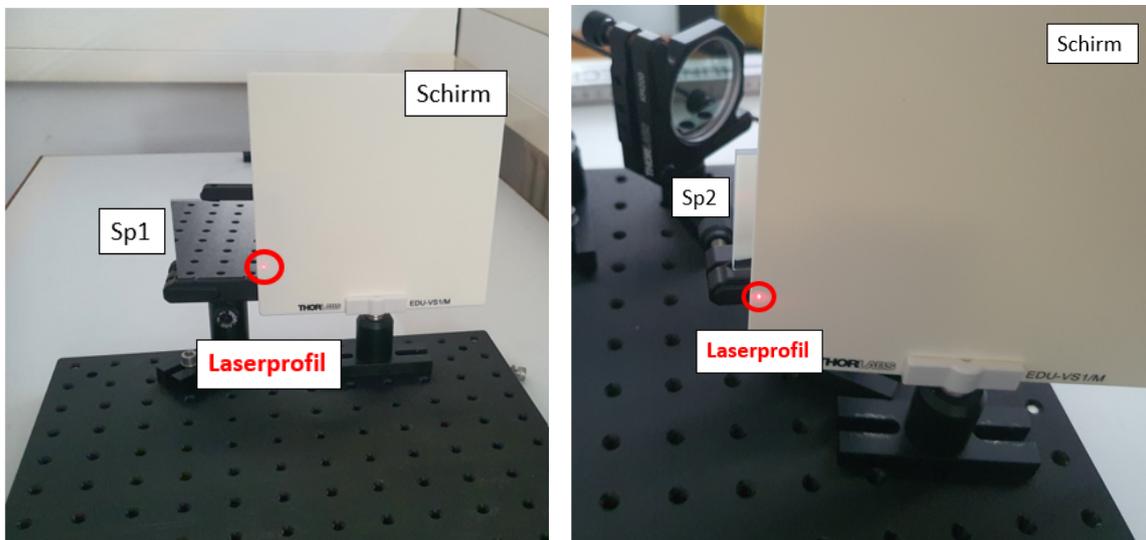


Abbildung 11: Justierung der beiden Spiegel 1+2 beim ersten Auftreffen des Laserstrahls. Links auf Spiegel 1 und rechts auf Spiegel 2.

terung von Spiegel 1 wird der vom Strahlteiler kommende Laserstrahl auf Spiegel 2 zurückreflektiert. Der dort ankommende Strahl wird soweit wie möglich auf den linken Rand des Spiegels 2 justiert (siehe Abbildung 11, rechts). Für eine Mehrfach-

reflexion, wie in Abbildung 9 gezeigt, ist es notwendig, die Abstände zwischen den Reflexionen x_n alle etwa gleich zu halten. Die Anzahl der Reflexionen (und damit die zurückgelegten Lichtlaufwege) kann dann beliebig eingestellt werden. Ab hier sollte aber dazu nur noch Spiegel 2 verändert werden (nur noch an den Stellschrauben), um die Reflexionen einzustellen.

Wenn $x_1 \approx x_0$ gewählt wird, kann die größtmögliche Anzahl von Reflexionen an Spiegel 1 erreicht werden.

Spiegel 2 kann so eingestellt werden, dass man an Spiegel 1 zwischen 8 – 11 Reflexionen erhält (Schirm zur Beobachtung verwenden) und alle auf der gleichen Höhe horizontal zur Montageplatte stehen. Die Reflexionen an Spiegel 1 werden bei einer immer größeren Anzahl ineinander übergehen. Ab einer gewissen Anzahl sind sie nicht mehr visuell voneinander zu unterscheiden. Erst beim Detektieren können die etwas ineinander liegenden Laserspots am Oszilloskop erkennbar gemacht werden.

Schritt 6: Montage der Schiene zur Erfassung der einzelnen Reflexionen

Komponenten: Schiene (30 cm, Halterungen), D-Shaped-Mirror (DSM), Linse 2 (L2) ($f = 20$ mm) und Detektor 2 (D2).

Im ersten Schritt wird die Schiene im Abstand z zu Spiegel 1 von etwa 8 cm bis 10 cm parallel zur Breite der Platte montiert (siehe Abbildung 12).

Um die einzelnen Reflexionen an Spiegel 1 detektieren zu können ohne einen davor laufenden Strahlengang zu blockieren, kommt der spezielle Spiegel ("D-Shaped Mirror") zum Einsatz. Außerdem wird die Schiene benötigt, um den Justieraufwand zu minimieren und später nur durch Verschieben des Spiegels die einzelnen Reflexionen mit Detektor 2 erfassen zu können. Durch spezielle Halterungen, die beweglich an die Schiene montiert werden können, werden Detektor 2, Linse 2 und der D-Shaped Mirror (DSM) nacheinander auf der Schiene nach Abbildung 12 angebracht.

Zuerst wird der D-Shaped Mirror um 45° zum Laserstrahl eingestellt, um die Reflexion an Spiegel 1 um 90° parallel zur Schiene abzulenken. Die Justage des D-Shaped-Mirrors und Detektor 2 erfolgt an einer der mittleren Reflexionen an Spiegel 1 ($n_{S1} = 3 - 5$), um individuelle Abweichungen zwischen den einzelnen Reflexionen zu kompensieren. Detektor 2 und Linse 2 werden montiert wie in Abbildung 12.

Im nächsten Schritt wird Detektor 2 an Kanal 2 am Oszilloskop angeschlossen. Der gesamte Aufbau sollte nun so justiert sein, dass sich ein Strahlengang wie in Abbildung 13 ergibt.

Bei korrekter Justierung sollte man am Oszilloskop Signale sehen, wie in Abbildung 14 gezeigt. Jeder Peak zeigt nun die Ankunftszeiten der Laserpulse an Detektor 1 und 2, über die beiden Cursor kann ihre Zeitdifferenz $\Delta t'$ sehr einfach abgelesen werden. Durch Verschieben des D-Shaped-Mirrors auf der Schiene können jetzt alle

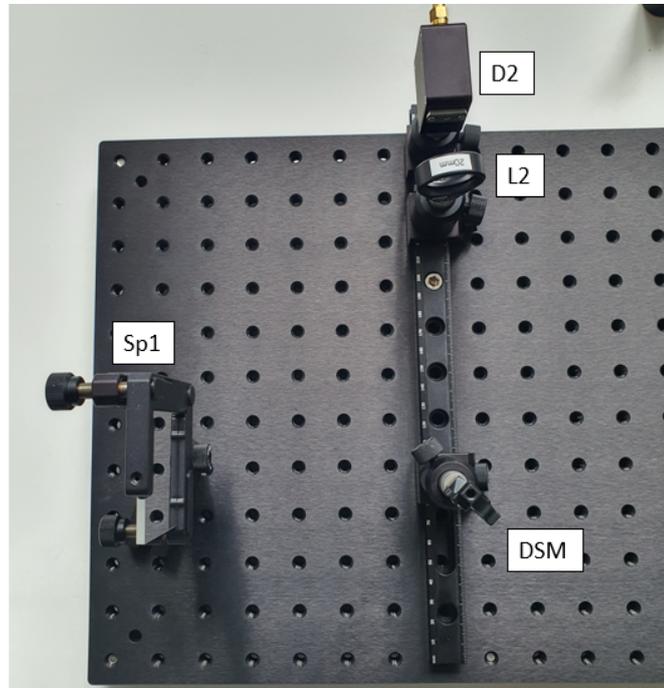
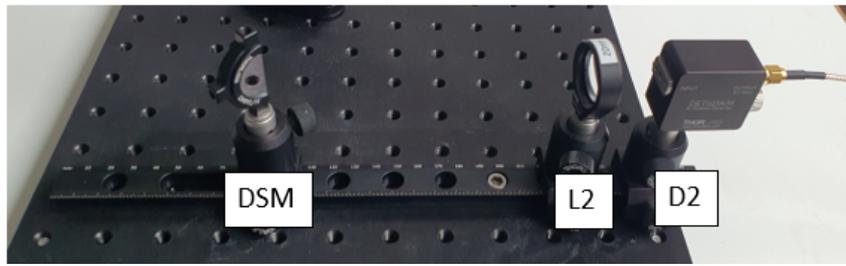


Abbildung 12: Position von 30 cm Schiene mit D-Shaped-Mirror (DSM), Linse 2 (L2) und Detektor 2 (D2).

Reflexionen, die an Spiegel 1 vorzufinden sind, nacheinander auf den Detektor 2 reflektiert und somit detektiert werden.

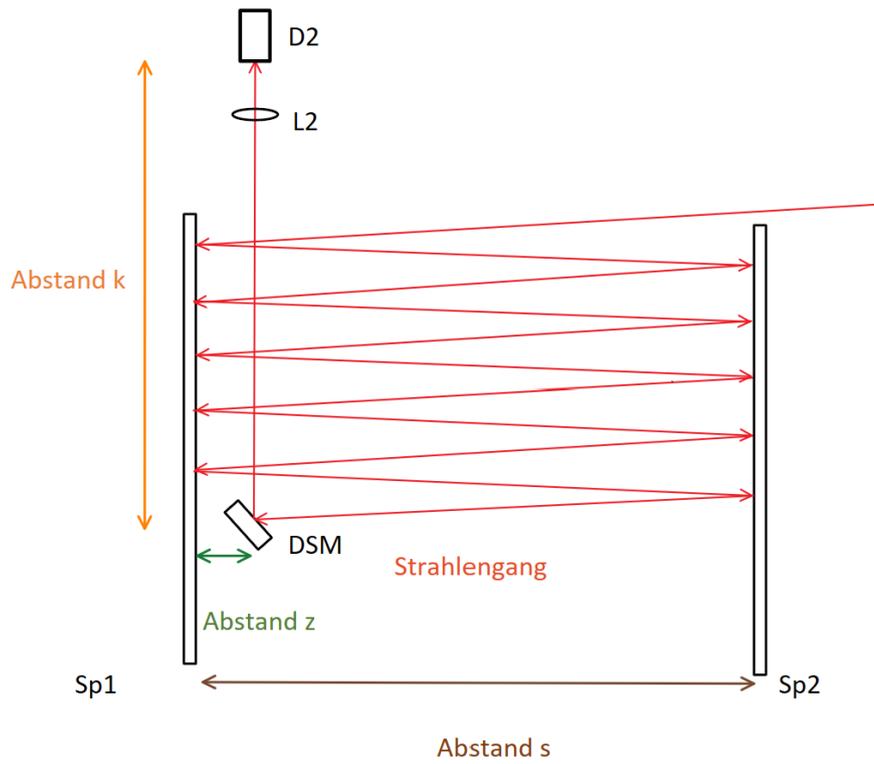


Abbildung 13: Montageaufbau der Schiene mit D-Shaped-Mirror (DSM), Linse 2 (L2) und Detektor 2 (D2).

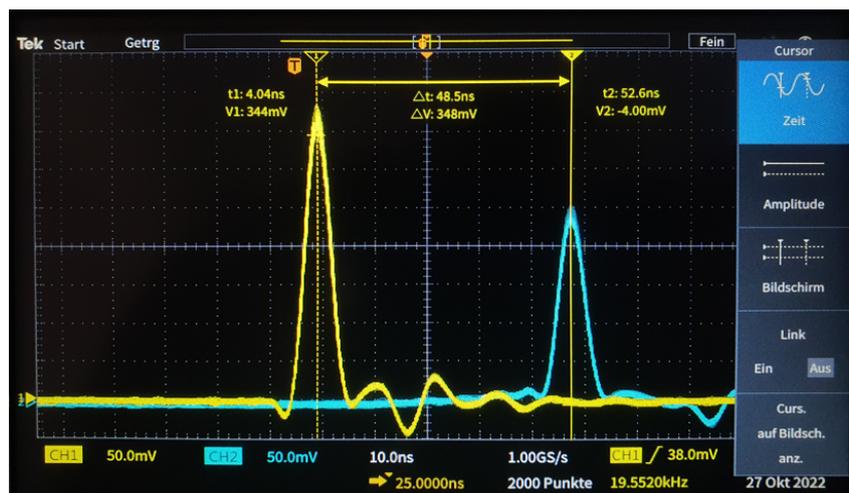


Abbildung 14: Oszilloskopaufnahme der beiden Signale von Detektor 1 und 2.