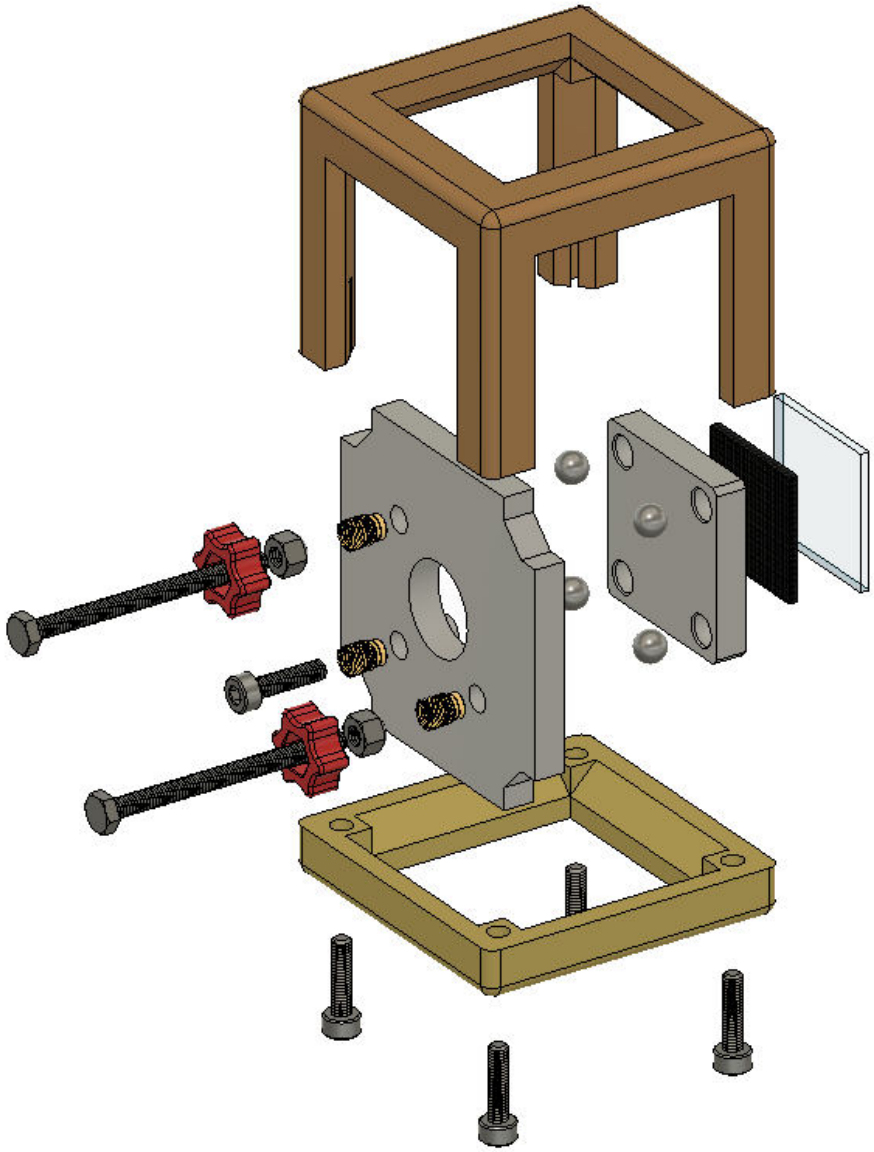
Institut für Didaktik der Physik

Open3 Quantum
Zusammenbau der Optikmodule



Nils Haverkamp, Maike Gude & Alexander Pusch | Institut für Didaktik der Physik - Universität Münster | O3Q.de | 2025

Version: 04/25

Vorwort

Die Optikmodule des Projekts Open3 Quantum (O3Q) bieten Lehrenden und Lernenden die Möglichkeit einfach und günstig Experimente zur Wellenoptik durchzuführen. Die Module wurden am Institut für Didaktik der Physik an der Universität Münster auf Basis des modularen Optiksystems aus dem Projekt UC2 entwickelt, um Optikexperimente aus dem Physikunterricht der Sekundarstufe II durchzuführen. Durch die Kombination aus 3D-Druck-Technologie, modularen Komponenten und didaktischem Fokus bieten sie Lehrkräften eine flexible Grundlage, um Experimente in den Unterricht zu integrieren.

Ein besonderer Vorteil der O3Q-Module ist ihre Vielseitigkeit: Die Bauteile sind so konzipiert, dass sie sich leicht an verschiedene experimentelle Anforderungen anpassen lassen. Gleichzeitig ermöglicht der modulare Aufbau die Erweiterung bestehender Experimentiersets.

Die Entwicklung dieser Module steht im Einklang mit den Zielen eines modernen Physikunterrichts: Wissenschaftliche Erkenntnisse sollen nicht nur vermittelt, sondern auch selbstständig entdeckt werden können. Durch den Einsatz ressourcenschonender 3D-Druck-Technologien und die Integration interaktiver Elemente bietet das O3Q-Projekt eine zukunftsorientierte Plattform für die Bildung im MINT-Bereich.

Die vorliegende Anleitung soll Lehrkräfte und Lernende dabei unterstützen, die O3Q-Module eigenständig zusammenzubauen. Dazu sind zu jedem Modul Teilelisten und das benötigte Werkzeug aufgeführt. Darüber hinaus sind Explosionsansichten, Schaltpläne und Schritt-für-Schritt Anleitungen zu finden. Eine vollständige Liste aller Bauteile inklusive Verlinkung zu Online-shops finden Sie hier: o3q.de/anleitungen-dateien/

Falls Sie Fehler oder schwer verständliche Passagen in der Anleitung entdecken, freuen wir uns über Ihr Feedback unter info@o3q.de. Wir bemühen uns stetig die Dokumentation zu verbessern.

Weitere Informationen finden Sie unter www.O3Q.de.

Inhalt

1 Werkzeug 1
2 Grundplatte 4x6 5
3 90°-Spiegel 8
4 45°-Spiegel 12
5 Strahlteiler 16
6 Linse 20
7 Laser-Modul 23
8 LED-Modul 30
9 Batteriekasten 36
10 Polfilter-Modul 42
11 Piezo-Spiegel-Modul 47
12 Gitterhalter 53
13 Schirme & Co. 56
14 Polfilter BB84 59
15 Koppelpolfilter BB84 63
16 Taster 67
17 Lichtsensor 71

Werkzeug

Abb. 1: Werkzeuge zum Zusammenbau der O3Q-Module

Einleitung

Für den Aufbau und die Montage der O3Q-Experimentierwürfel wird nur eine begrenzte Auswahl an Werkzeugen benötigt. Die nachfolgende Übersicht enthält sowohl obligatorische als auch optionale Werkzeuge, ergänzt durch Hinweise zur Handhabung und konkreten Beispielen aus dem Zusammenbau der O3Q-Würfel.

I. 2,5mm Inbus-Schlüssel o.Ä.

Zum Verbinden der O3Q-Würfel werden standardisierte 2,5-mm-Inbusschrauben verwendet und sind essentiell. Für einen komfortablen und stabilen Zusammenbau empfiehlt sich ein ergonomisch geformter Schraubendreher (Abbildung 2) und/ oder ein Akkuschrauber mit 2,5-mm-Inbusaufsatz (Abbildung 3). Vom Einsatz einfacher L-förmiger Schlüssel wird aufgrund der eingeschränkten Handhabung eher abgeraten.

Abb. 2: Schraubenschlüssel

Abb. 3: Akkuschrauber (links) mit 2,5 mm-Aufsatz (rechts)

II. Abisolierwerkzeug

Abb. 4: Abisolierwerkzeug

Das Abisolierwerkzeug (Abbildung 4) dient dem Entfernen der Isolierung von Kabelenden zur Vorbereitung von Lötverbindungen.

III. Feuerzeug

Abb. 5: Feuerzeug

Ein handelsübliches Feuerzeug (Abbildung 5) wird zum Schrumpfen von Schrumpfschläuchen verwendet, die zur elektrischen Isolation gelöteter Verbindungen dienen.

IV. Grundplattenwerkzeug

Abb. 6: Grundplattenwerkzeug

Das Grundplattenwerkzeug wird zum Zusammenbau der Grundplatten benötigt, um zwei Grundplatten zu verbinden.

V. Heissklebepistole

Abb. 7: Heißklebepistole

Die Heißklebepistole (Abbildung 7) wird beim Zusammenbau des Laser-Moduls benötigt, um die Laserdiode in die Zugentlastung zu kleben.

VI. Linsenwerkzeug

Abb. 8: Linsenwerkzeug

Das Linsenwerkzeug (Abbildung 8) kann zum Einsetzen der Linse in den entsprechenden Einsatz hilfreich sein.

VII. Messer

Abb. 9: Messer

Ein Bastelmesser (Abbildung 9) wird für präzise Schneidearbeiten benötigt, bspw. zum Entfernen der Ecken an der frisch gedruckten Grundplatte.

VIII. Lötkolben

Abb. 10: Lötkolben

Abb. 11: Lötspitze (links) und Spitze zum Einschmelzen der Gewindeeinsätze (rechts)

Der Lötkolben (Abbildung 10) wird zum Löten gebraucht. Um Kabel zusammenzulöten wird die Lötspitze verwendet, zum Einschmelzen der Gewindeeinsätze benötigen Sie die Spitze zum Einschmelzen der Gewindeeinsätze (Abbildung 11).

IX. Pinzette

Abb. 12: Pinzette

Mit einer Pinzette (Abbildung 12) lassen sich empfindliche oder kleine Bauteile handhaben. Sie kann z.B. dabei helfen die Schutzfolien der optischen Komponenten, wie etwa dem Strahlteiler, zu entfernen.

X. Ratsche

Abb. 13: Ratsche (links) mit Steckschlüsselaufsatz (rechts)

Eine Ratsche mit passendem Steckschlüsselaufsatz (Abbildung 13) kann alternativ für den Zusammenbau der Stellschrauben genutzt werden.

XI. Platinenhalter

Abb. 14: Platinenhalter

Der Platinenhalter (Abbildung 14) dient der Fixierung der Komponenten beim Löten.

XII. Rohrzange

Abb. 15: Rohrzange

Die Rohrzange (Abbildung 15) wird benötigt, um Magnetkugeln in entsprechende Komponenten einzudrücken. Die Magnetkugeln müssen dabei so ausgerichtet werden, dass der Nord- oder Südpol senkrecht aus der Platte heraus schaut, damit die Kugeln später gut auf den Stellschrauben halten. Im Idealfall ergibt sich dies automatisch, wenn Sie die Kugeln mit einer ferromagnetischen Rohrzange eindrücken (Abbildung 16).

Abb. 16: Magnetkugel haftet an einer ferromagnetischen Zange

XIII. Schere

Abb. 17: Schere

Die Schere (Abbildung 17) wird etwa zum Zurechtschneiden der Polfilterfolie und des Klebeetiketts für das Polfilter-Modul benötigt.

XIV. Seitenschneider

Abb. 18: Seitenschneider

Der Seitenschneider (Abbildung 18) wird verwendet, um Kabel auf die passende Länge zu kürzen.

XV. Zange

Abb. 19: Zange

Die Zange (Abbildung 19) kann zum Halten von Bauteilen verwendet werden, z.B. beim Herstellen der Stellschrauben.

Grundplatte 4x6

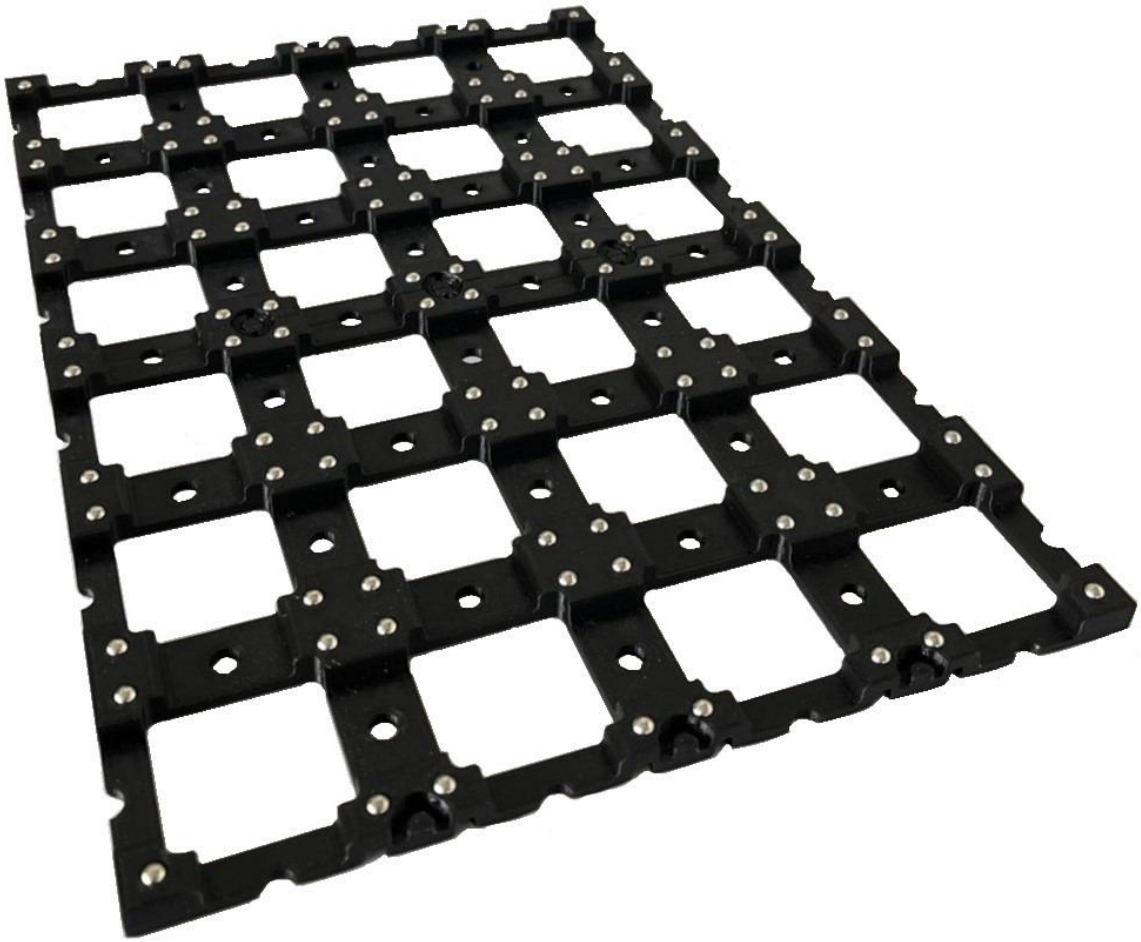


Abb. 1: Grundplatte 4x6

Einleitung

In dieser Anleitung erstellen Sie die Grundplatte, die als Basis und magnetische Halterung für den Modulbaukasten dient. Sie ermöglicht die Justage verschiedener Experimente und kann je nach Bedarf in unterschiedlichen Größen gedruckt werden. Mithilfe von Verbindern lassen sich mehrere Grundplatten miteinander verbinden.

Experimente

- Michelson-Interferometer - 1 St.
- Michelson-Interferometer mit Piezoelement - 1 St.
- Mach-Zehnder-Interferometer - 1 St.
- Gitter & Spalte - 1 St.
- Polarisation - 1 St.
- BB84-Modellexperiment - 1 St.

Material & Werkzeug

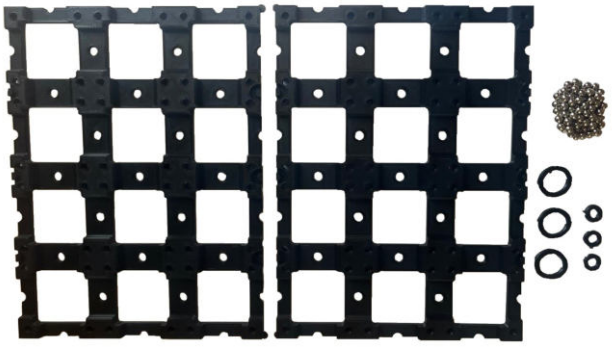


Abb. 2: Benötigtes Material

3D-Druck

1x 00A_Bl_V*_baseplate 4x6

oder

2x 00B_Bl_V*_baseplate_con. 4x3

3x 00B_Bl_V*_connector_basepl.

1x XX1_TOOL_connect_baseplates (Abbildung 3)

Weitere Komponenten

96x Magnetkugeln, ø=5mm

Benötigtes Werkzeug

- ▷ Rohrzange
- ▷ Messer
- ▷ Grundplatten Werkzeug (s. 3D-Druck)

Abb. 3: Werkzeug zur Montage der Verbinder in den Grundplatten

Explosionsansicht

Abb. 4: Explosionsansicht der Grundplatte

I. Einsetzen der Kugeln

Material

1x 00A_Bl_V*_baseplate 4x6

oder

2x 00B_Bl_V*_baseplate_con. 4x3

96x Magnetkugeln

(1) Nehmen Sie sich ein entsprechendes Messer und entfernen Sie von den Ecken der 00A_Bl_V*_baseplate 4x6 oder den 00B_Bl_V*_baseplate_con. 4x3 die Druckreste (Abbildung 5).

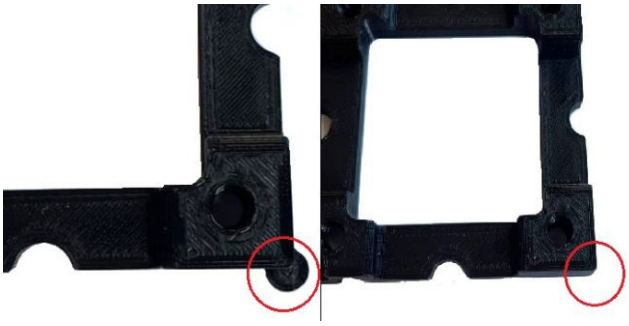


Abb. 5: Ecke der Grundplatte links vor, rechts nach dem Entfernen der Druckreste; die roten Kreise markieren die entsprechenden Stellen

(2) Drücken Sie die Magnetkugeln, ø=5mm in die Grundplatte (Abbildung 6).

Abb. 6: Eindrücken der Kugeln mithilfe einer Rohrzange

Achtung: *Die Magnetkugeln müssen dabei so ausgerichtet werden, dass der Nord- oder Südpol senkrecht aus der Platte heraus schauen, damit die Schrauben später gut auf den Kugeln halten. Im Idealfall ergibt sich das automatisch, wenn Sie die Kugeln mit einer ferromagnetischen Rohrzange eindrücken (Abbildung 7).*

Abb. 7: Die Kugel haftet in der gewünschten Ausrichtung an der Rohrzange aufgrund ihrer ferromagnetischen Eigenschaften.

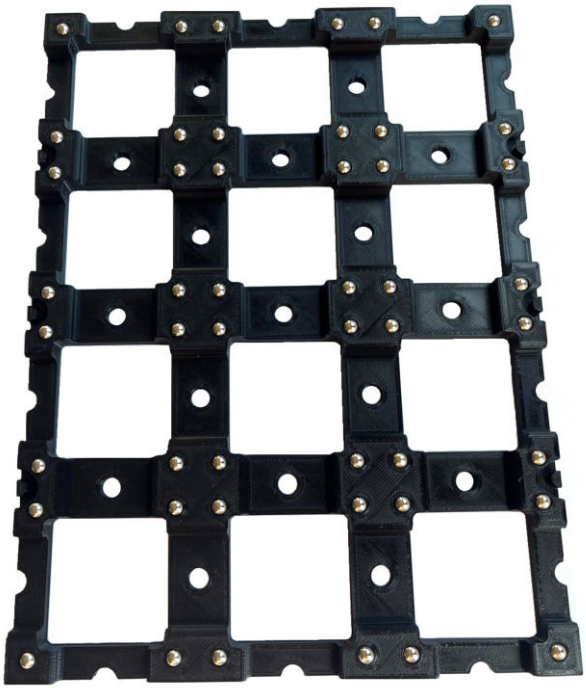


Abb. 8: Fertige Grundplatte

II. Optional: Zusammensetzen der beiden 4x3 Grundplatten

Material

2x 00B_Bl_V*_baseplate_con. 4x3

3x 00B_Bl_V*_connector_basepl.

▷ XX1_TOOL_connect_baseplates

(1) Drehen Sie die beiden 00B_Bl_V*_baseplate_con. 4x3 um und legen Sie diese entsprechend nebeneinander (Abbildung 9).

Abb. 9: Korrekt platzierte 4x3 Grundplatten

(2) Drücken Sie die 00B_Bl_V*_connector_basepl. auseinander, sodass sie 3 große und 3 kleine Verbinder haben.

(3) Legen Sie die 3 großen Verbinder in die dafür vorgesehenen Öffnungen (Abbildung 10).

Abb. 10: Einsetzen der Verbinder

(4) Drehen Sie diese mit Hilfe des XX1_TOOL_connect_baseplates um 90°, sodass diese die Grundplatten fest aneinanderhalten.

(5) Drehen Sie die nun zusammengesetzte 4x6 große Grundplatte um und wiederholen Sie den vorherigen Schritt mit den 3 kleinen Verbindern (Abbildung 11)

Abb. 11: Einsetzen der Verbinder

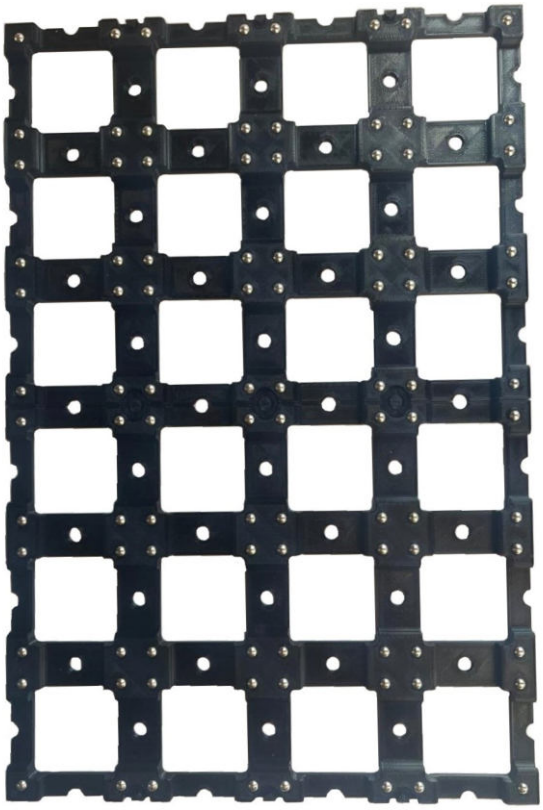


Abb. 12: Fertige 4x6 Grundplatte

90°-Spiegel

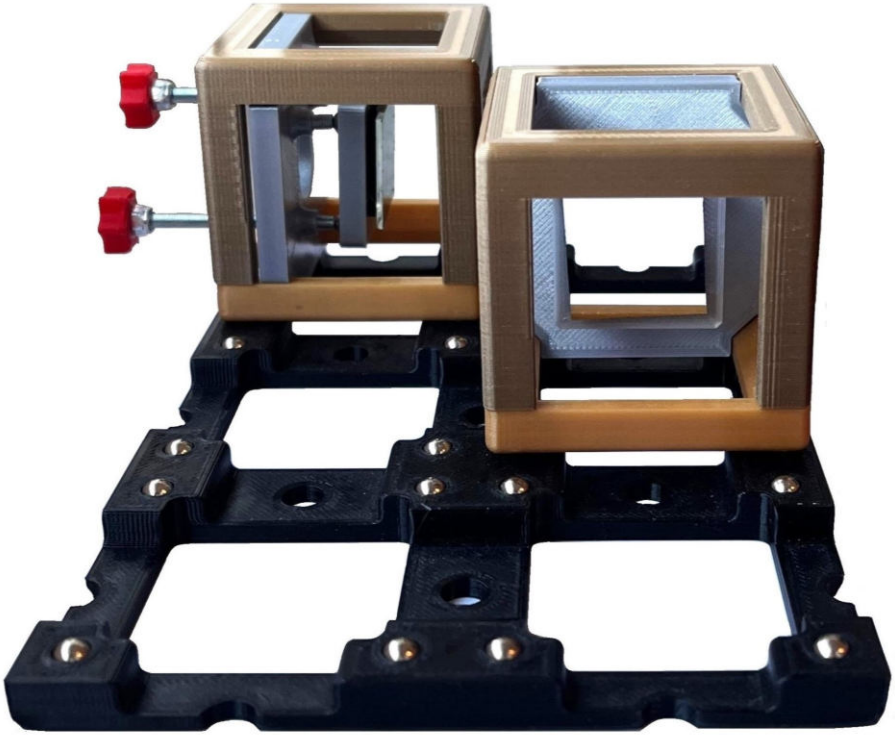


Abb. 1: Justierbarer Spiegelwürfel - 90°

Einleitung

Im 90°-Spiegel-Modul wird ein Spiegel etwa senkrecht und im 90°-Winkel zum Gitter gehalten (Abbildung 1). Durch die beiden Schrauben mit den roten Griffen lassen sich Neigung und Winkel des Spiegels einstellen. Dies ist bspw. für die Justage des Michelson-Interferometers notwendig.

Experimente

- ▷ Michelson-Interferometer - 2 St.
- ▷ Michelson-Interferometer mit Piezoelement - 1 St.

Material & Werkzeug

Abb. 2: Benötigtes Material

3D-Druck

1x 01A_Go_V*_cube_base 1x1
1x 02A_Br_V*_cube_cover 1x1
1x 10A_Si_V*_insert 90°
1x 11C_Si_V*_mirror_plate
2x 03A_Re_V*_adjusting_screw_head

Weitere Komponenten

1x Klebepad (20mm x 20mm)
1x Vorderflächenspiegel (22mm x 22mm)
4x Magnetkugeln, ø=5mm
3x Gewindeeinsatz, M3
5x Inbus-Zylinderkopfschraube, M3x12
2x Mutter, selbstsichernd, M3
2x Außensechskantschraube, M3x40

Benötigtes Werkzeug

- ▷ Inbusschlüssel - 2,5 mm
- ▷ Lötkolben (+ Spitze für Gewindeeinsätze)
- ▷ (Rohr-)Zange
- ▷ (Ratsche + Steckschlüsselaufsatz 12 mm)
- ▷ (Pinzette)

Explosionsansicht

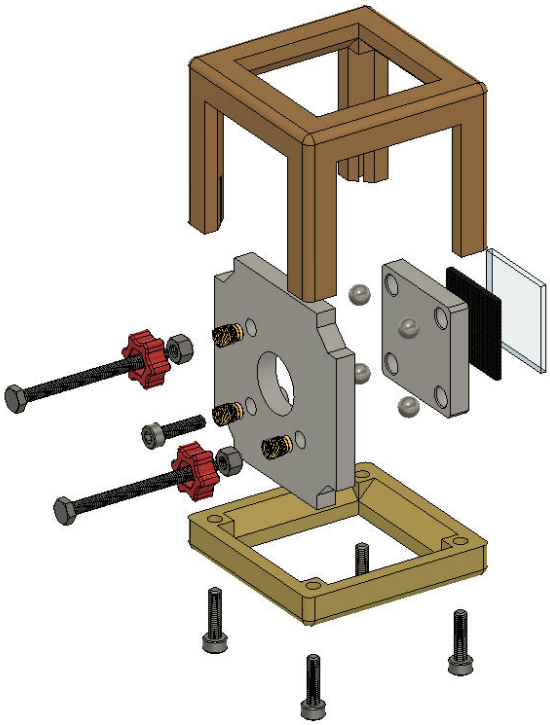


Abb. 3: Explosionsansicht des 90°-Spiegelwürfels

I. Stellschraube (2x)

Material

2x 03A_Re_V*_adjusting_screw_head
2x Außensechskantschraube, M3x40
2x Mutter, selbstsichernd, M3

(1) Schieben Sie den 03A_Re_V*_adjusting_screw_head mit der hexagonalen Öffnung zuerst auf eine Aussensechskant-schraube, M3x40 .

(2) Drehen Sie dann die Mutter, selbstsichernd, M3 auf die Schraube, sodass sie den roten Schraubenkopf festhält (Abbildung 4).

Hinweis: *Auf den roten Schraubenkopf passen 12mm-Steckschlüsselaufsätze, sodass sich die Mutter auch mit einem Akkuschrauber oder einer Ratsche festziehen lässt.*

(3) Wiederholen Sie diese Schritte für die zweite Stellschraube (Abbildung 4).

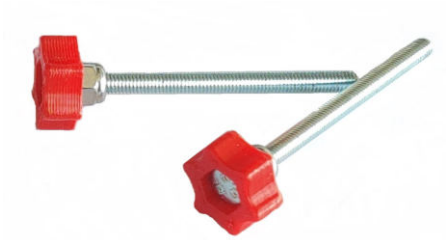


Abb. 4: Fertig zusammengesetzte Schraube

II. Justageplatte

Material

2x Fertige Stellschraube
1x 10A_Si_V*_insert 90°
3x Gewindeeinsatz, M3
1x Inbus-Zylinderkopfschraube, M3x12

(4) Montieren Sie ggf. die Spitze zum Einschmelzen der Gewindeeinsätze am Lötkolben und heizen Sie den Lötkolben auf 220°C.

(5) Platzieren Sie die Gewindeeinsätze, M3 in den vorgesehenen Öffnungen des 10A_Si_V*_insert 90° (Abbildung 5).

(6) Schmelzen Sie die Gewindeeinsätze mit dem Lötkolben vorsichtig in den 90°-Einsatz, sodass die Einsätze bündig mit der Oberfläche sind. Achten Sie darauf die Einsätze möglichst senkrecht einzuschmelzen (Abbildung 5).

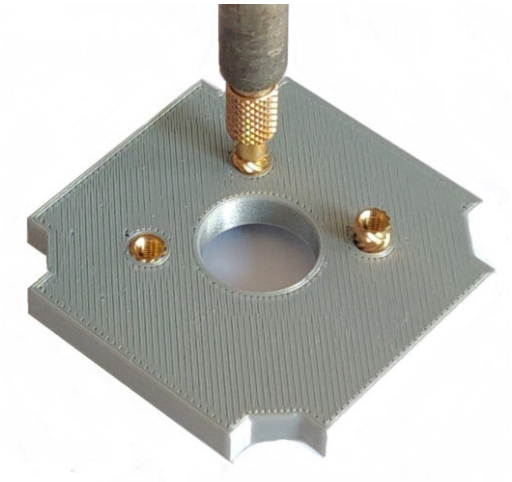


Abb. 5: Einschmelzen der Gewindeeinsätze

(7) Schrauben Sie die Inbus-Zylinderkopfschraube, M3x12 vollständig in den mittleren der drei Gewindeeinsätze (Abbildung 6).

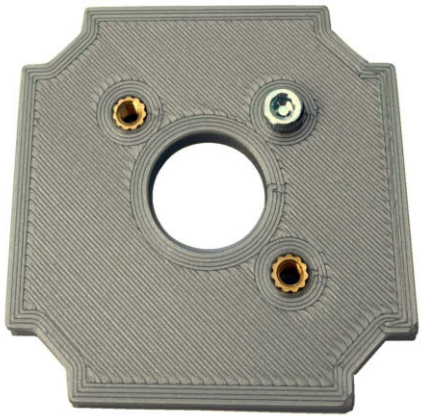


Abb. 6: Inbus-Schraube in der Justageplatte

(8) Schrauben Sie die beiden fertigen Stellschrauben in die anderen beiden Gewindeeinsätze, sodass Sie auf der ande-

ren Seite etwa soweit wie die Inbusschraube herausragen (Abbildung 7).

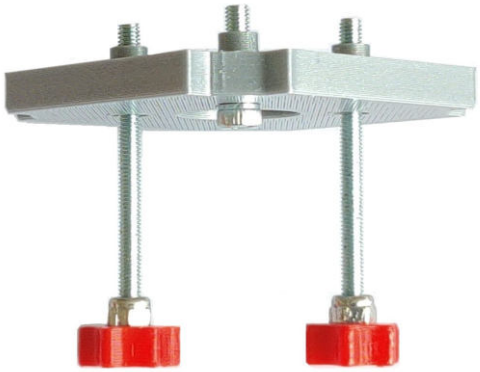


Abb. 7: Fertige Justageplatte

III. Spiegelplatte

Material

1x 11C_Si_V*_mirror_plate
4x Magnetkugeln, ø=5mm
1x Klebepad (20mm x 20mm)
1x Vorderflächenspiegel (22mm x 22mm)

(9) Drücken Sie die vier Magnetkugeln, ø=5mm in die Öffnungen der 11C_Si_V*_mirror_plate . Nutzen Sie dafür bei Bedarf eine (Rohr-)Zange.

Achtung: *Die Magnetkugeln müssen dabei so ausgerichtet werden, dass der Nord- oder Südpol senkrecht aus der Platte heraus schaut, damit die Kugeln später gut auf den Stellschrauben halten. Im Idealfall ergibt sich dies automatisch, wenn Sie die Kugeln mit einer ferromagnetischen Rohrzange eindrücken.*

Abb. 8: Mit einer weiteren Magnetkugel lässt sich der passende Sitz überprüfen: Die linke Kugel ist gut ausgerichtet. Die rechte Kugel sollte noch etwas gedreht werden.

(10) Kleben Sie das Klebepad (20mm x 20mm) auf der gegenüberliegenden Seite mittig auf die Spiegelplatte (Abbildung 9).

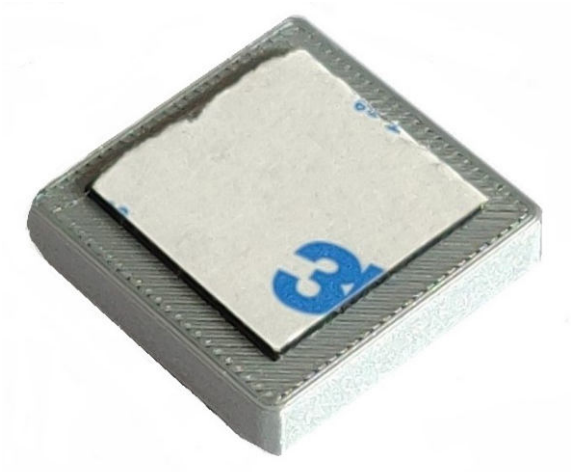


Abb. 9: Klebepad auf Spiegelplatte

(11) Kleben Sie den Vorderflächenspiegel (22mm x 22mm) mittig auf das Klebepad, sodass die Seite mit der blauen Folie nach oben zeigt (Abbildung 10).
Hinweis: *Bei den neueren Chargen des Spiegels, sind beide Schutzfolien (vorne und hinten) farblos, deshalb muss die Vorderseite anders identifiziert werden. Bei genauem Hinschauen ist gut erkennbar, dass nur auf einer Seite der Glasscheibe eine reflektierende Schicht aufgebracht ist. Die Seite mit dieser Schicht ist die Vorderseite und muss nach oben schauen.*

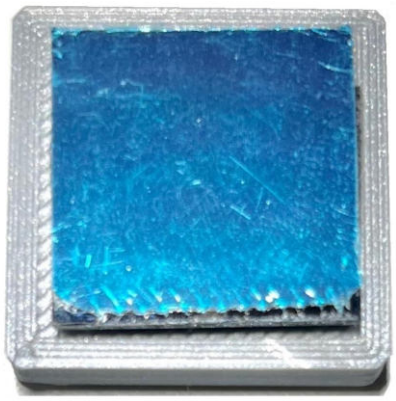


Abb. 10: Fertige Spiegelplatte

(12) Entfernen Sie (ggf. mit Hilfe einer Pinzette) die blaue Schutzfolie vom Spiegel.

IV. Letzte Schritte

Material

1x Fertige Spiegelplatte
1x Fertiger Justageeinsatz
1x 01A_Go_V*_cube_base 1x1
1x 02A_Br_V*_cube_cover 1x1
4x Inbus-Zylinderkopfschraube, M3x12

(13) Setzen Sie den 02A_Br_V*_cube_cover 1x1 und den fertigen Justageeinsatz zusammen (Abbildung 11). Achten Sie auf die Ausrichtung, damit später alle Justagemechanismen gleich ausgerichtet sind.

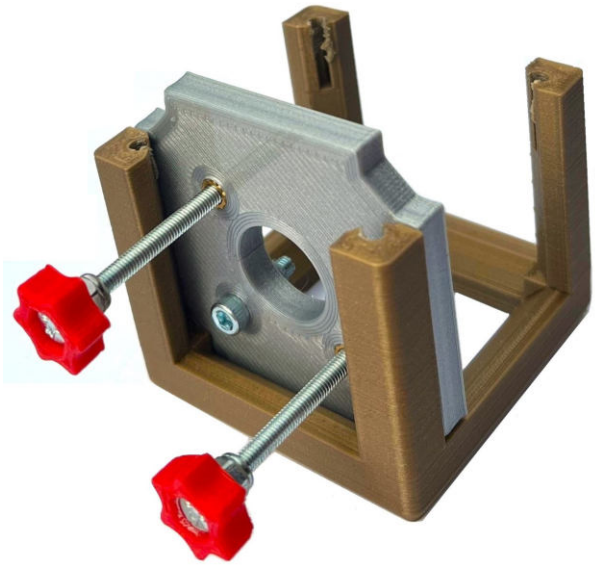


Abb. 11: Justageeinsatz im Würfeldeckel

(14) Setzen Sie den 01A_Go_V*_cube_base 1x1 obenauf und befestigen Sie diesen mit den Inbus-Zylinderkopfschrauben, M3x12 (Abbildung 12).

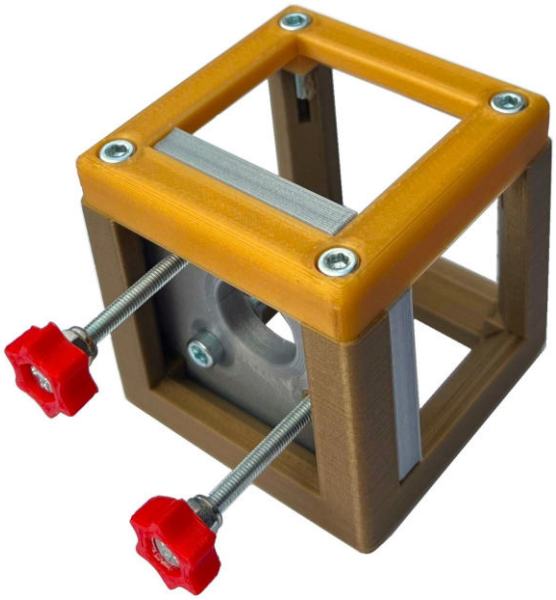


Abb. 12: Zusammengeschraubter Würfel

(15) Setzen Sie die fertige Spiegelplatte vorsichtig mit den Magneten auf die 3 Schrauben im Würfel (Abbildung 13).

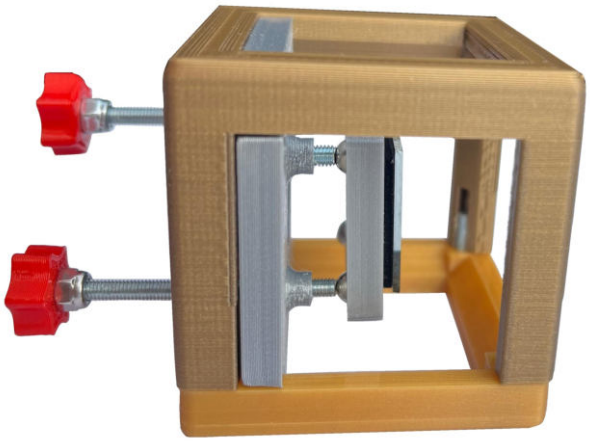


Abb. 13: Fertiger Würfel

45°-Spiegel

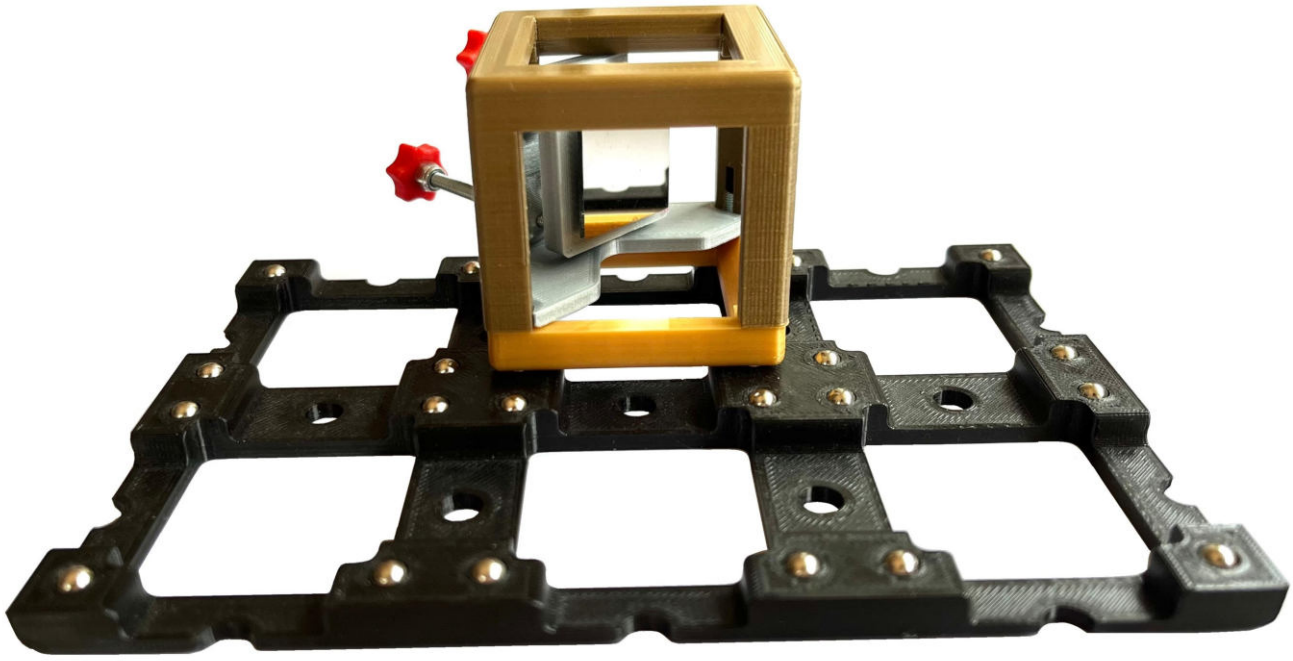


Abb. 1: Justierbarer Spiegelwürfel - 45°

Einleitung

Im 45°-Spiegel-Modul wird ein Spiegel etwa senkrecht und im 45°-Winkel zum Würfel gehalten (Abbildung 1).
Durch die beiden Schrauben mit den roten Griffen lassen sich Neigung und Winkel des Spiegels einstellen. Dies ist bspw. für die Justage des Mach-Zehnder-Interferometers notwendig.

Experimente

- ▷ Mach-Zehnder-Interferometer - 2 St./ 3 St.
- ▷ Sagnac-Interferomter - 3 St.
- ▷ Quantenradierer-Modellexperiment - 2 St./ 3 St.
- ▷ BB84-Modellexperiment - 1 St.

Material & Werkzeug

Abb. 2: Benötigtes Material

3D-Druck

1x 01A_Go_V*_cube_base 1x1
1x 02A_Br_V*_cube_cover 1x1
1x 10B_Si_V*_insert 45°
1x 11C_Si_V*_mirror_plate
2x 03A_Re_V*_adjusting_screw_head

Weitere Komponenten

1x Klebepad (20mm x 20mm)
1x Vorderflächenspiegel (22mm x 22mm)
4x Magnetkugeln, ∅=5mm
3x Gewindeeinsatz, M3
5x Inbus-Zylinderkopfschraube, M3x12
2x Mutter, selbstsichernd, M3
2x Außensechskantschraube, M3x40

Werkzeug

- ▷ Inbusschlüssel - 2,5 mm
- ▷ Lötkolben (+ Spitze für Gewindeeinsätze)
- ▷ (Rohr-)Zange
- ▷ (Ratsche + Steckschlüsselaufsatz 12 mm)
- ▷ (Pinzette)

Explosionsansicht

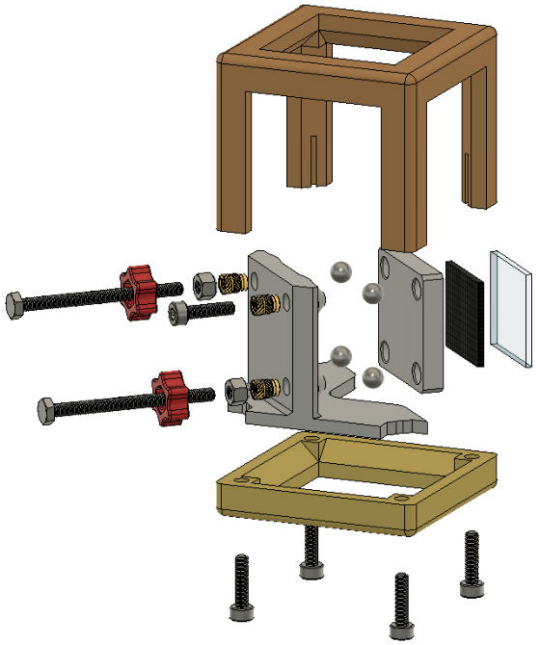


Abb. 3: Explosionsansicht des 45° Spiegelwürfels

I. Stellschraube (2x)

Material

2x 03A_Re_V*_adjusting_screw_head
2x Außensechskantschraube, M3x40
2x Mutter, selbstsichernd, M3

(1) Schieben Sie den 03A_Re_V*_adjusting_screw_head mit der hexagonalen Öffnung zuerst auf eine Aussensechskant-schraube, M3x40 .

(2) Drehen Sie dann die Mutter, selbstsichernd, M3 auf die Schraube, sodass sie den roten Schraubenkopf festhält (Abbildung 4).

Hinweis: *Auf den roten Schraubenkopf passen 12mm-Steckschlüssel-aufsätze, sodass sich die Mutter auch mit einem Akkuschrauber oder einer Ratsche festziehen lässt.*

(3) Wiederholen Sie diese Schritte für die zweite Stellschraube (Abbildung 4).

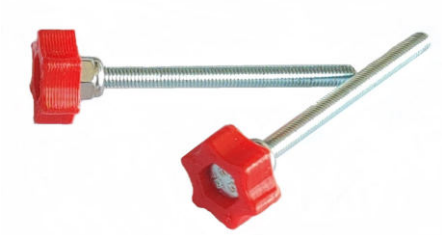


Abb. 4: Fertig zusammengesetzte Schraube

II. Justageplatte

Material

1x 10B_Si_V*_insert 45°
3x Gewindeeinsatz, M3
1x Inbus-Zylinderkopfschraube, M3x12
2x Fertige Stellschraube

(4) Montieren Sie ggf. die Spitze zum Einschmelzen der Gewindeeinsätze am Lötkolben und heizen Sie den Lötkolben auf 220°C.

(5) Platzieren Sie die Gewindeeinsätze, M3 in den vorgesehenen Öffnungen des 10B_Si_V*_insert 45° (Abbildung 5).

(6) Schmelzen Sie die Gewindeeinsätze mit dem Lötkolben vorsichtig in den 45°-Einsatz, sodass die Einsätze bündig mit der Oberfläche sind. Achten Sie darauf die Einsätze möglichst senkrecht einzuschmelzen (Abbildung 5).

Abb. 5: Eingeschmolzene Gewindeeinsätze

(7) Schrauben Sie die Inbus-Zylinderkopfschraube, M3x12 vollständig in den mittleren der drei Gewindeeinsätze (Abbildung 6).

(8) Schrauben Sie die beiden fertigen Stellschrauben in die anderen beiden Gewindeeinsätze, sodass Sie auf der ande-

ren Seite etwa soweit wie die Inbusschraube herausragen (Abbildung 6).

Abb. 6: Fertige Justageplatte

III. Spiegelplatte

Material

1x 11C_Si_V*_mirror_plate
4x Magnetkugeln, ø=5mm
1x Klebepad (20mm x 20mm)
1x Vorderflächenspiegel (22mm x 22mm)

(9) Drücken Sie die vier Magnetkugeln, ø=5mm in die Öffnungen der 11C_Si_V*_mirror_plate .

Achtung: *Die Magnetkugeln müssen dabei so ausgerichtet werden, dass der Nord- oder Südpol senkrecht aus der Platte heraus schaut, damit die Stellschrauben später gut auf den Kugeln halten. Im Idealfall ergibt sich dies automatisch, wenn Sie die Kugeln mit einer ferromagnetischen Rohrzange eindrücken.*

Abb. 7: Mit einer weiteren Magnetkugel lässt sich der passende Sitz überprüfen: Die linke Kugel ist gut ausgerichtet. Die rechte Kugel sollte noch etwas gedreht werden.

(10) Kleben Sie das Klebepad (20mm x 20mm) auf der gegenüberliegenden Seite mittig auf die Spiegelplatte (Abbildung 8).
Hinweis: *Bei den neueren Chargen des Spiegels, sind beide Schutzfolien (vorne und hinten) farblos, deshalb muss die Vorderseite anders identifiziert werden. Bei genauem Hinschauen ist gut erkennbar, dass nur auf einer Seite der Glasscheibe eine reflektierende Schicht aufgebracht ist. Die Seite mit dieser Schicht ist die Vorderseite und muss nach oben schauen.*

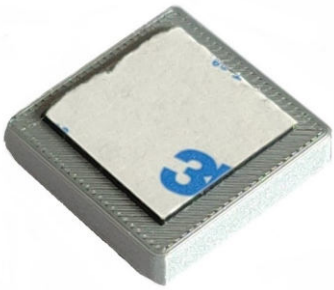


Abb. 8: Klebepad auf Spiegelplatte

(11) Kleben Sie den Vorderflächenspiegel (22mm x 22mm) mittig auf das Klebepad, sodass die blaue Folie nach oben schaut (Abbildung 9).

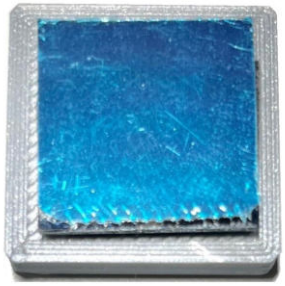


Abb. 9: Fertige Spiegelplatte

(12) Entfernen Sie (ggf. mit Hilfe einer Pinzette) die (blaue) Schutzfolie vom Spiegel.

Hinweis: *Bei dem Spiegel handelt es sich um einen Vorderflächenspiegel. Die reflektierende Fläche befindet sich also vor der Glasscheibe und nicht wie bei Haushaltsspiegeln üblich hinter der Glasplatte. Die Glasplatte ist dazu mit einer metallischen Schicht und darüber mit einer dünnen Schutzschicht bedampft. Trotz der Schutzschicht lassen sich die Spiegel nicht so gut reinigen wie gewöhnliche Haushaltsspiegel.*

IV. Letzte Schritte

Material

1x Fertige Spiegelplatte
1x Fertiger Justageeinsatz
1x 01A_Go_V*_cube_base 1x1
1x 02A_Br_V*_cube_cover 1x1
4x Inbus-Zylinderkopfschraube, M3x12

(13) Setzen Sie den 01A_Go_V*_cube_base 1x1 , den 02A_Br_V*_cube_cover 1x1 und den fertigen Justageeinsatz zusammen (Abbildung 10).

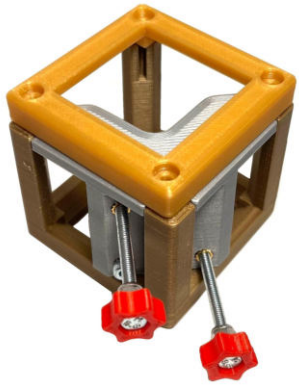


Abb. 10: Zusammengesetzter Würfel

(14) Befestigen Sie den Würfel mit den Inbus-Zylinderkopf-schrauben, M3x12 .

(15) Setzen Sie die fertige Spiegelplatte vorsichtig mit den Magneten auf die 3 Schrauben im Würfel (Abbildung 11).

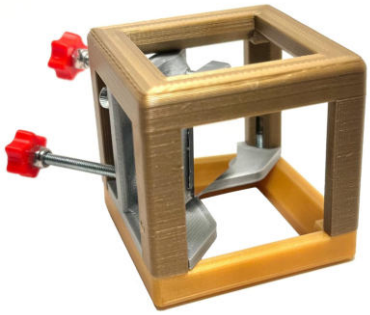


Abb. 11: Fertiger Würfel

Strahlteiler

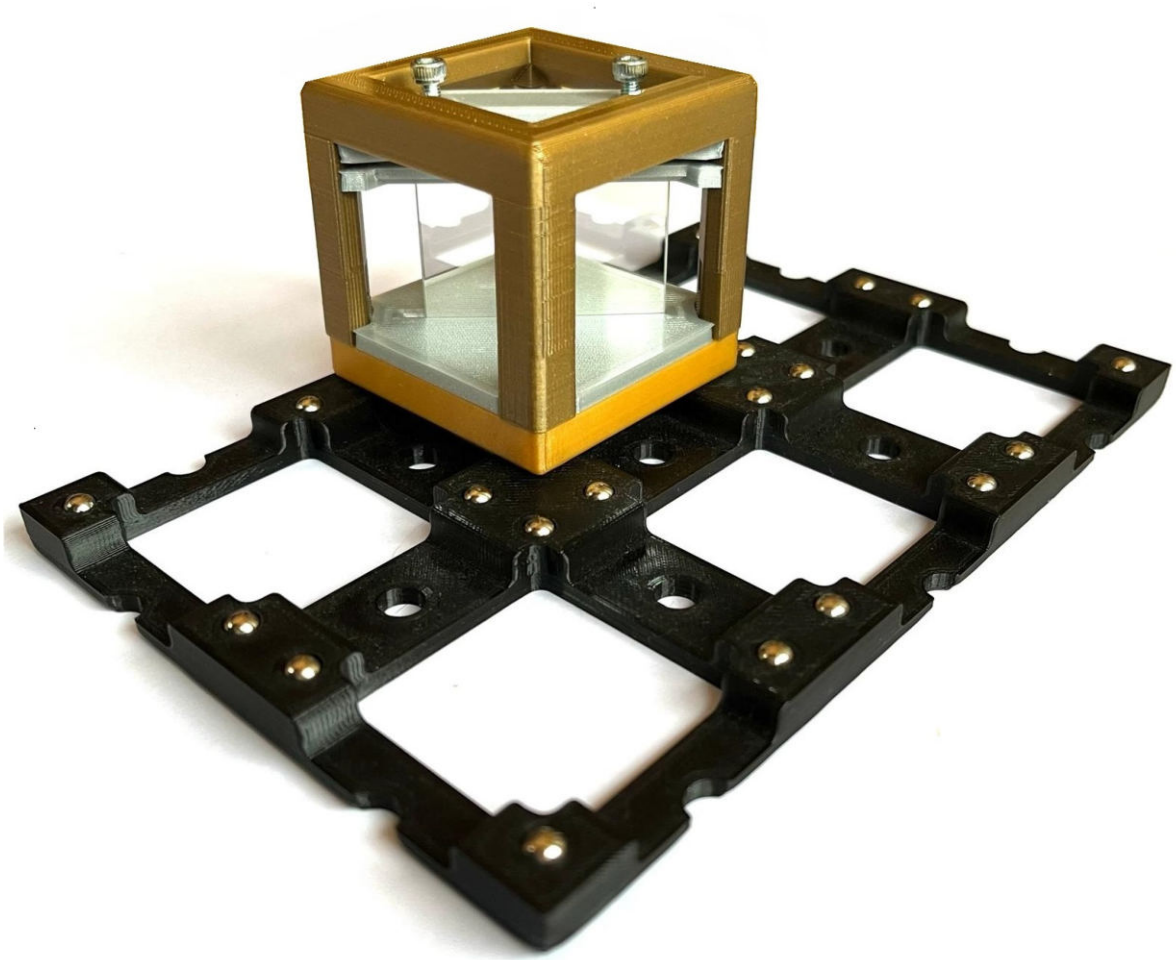


Abb. 1: Strahlteiler

Einleitung

Im Strahlteiler-Modul wird ein bedampfter Spiegel etwa im 90°-Winkel zum Gitter und 45°-Winkel zum Würfel gehalten (Abbildung 1). Der bedampfte Spiegel reflektiert und transmittiert jeweils ungefähr die Hälfte des einfallenden Lichtes und fungiert so als Strahlteiler.

Experimente

- Michelson-Interferometer - 1 St.
- Michelson-Interferometer mit Piezoelement - 1 St.
- Mach-Zehnder-Interferometer - 2 St.
- Quantenradierer - 2 St.
- BB84-Modellexperiment - 1 St.

Material & Werkzeug

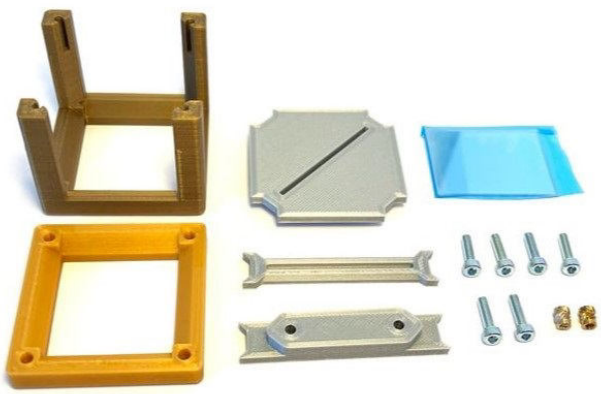


Abb. 2: Benötigtes Material

3D-Druck

1x 01A_Go_V*_cube_base 1x1
1x 02A_Br_V*_cube_cover 1x1
1x 12A_Si_V*_beamsplitter_clamp
1x 12A_Si_V*_beamsplitter_top
2x 12A_Si_V*_beamsplitter_bottom

Weitere Komponenten

1x Teildurchlässiger Vorderflächenspiegel (40mm x 30mm)
2x Gewindeeinsatz, M3
6x Inbus-Zylinderkopfschraube, M3x12

Benötigtes Werkzeug

▷ Inbusschlüssel - 2,5 mm
▷ Lötkolben (+ Spitze für Gewindeeinsätze)
▷ (Rohr-)Zange
▷ (Pinzette)

Explosionsansicht

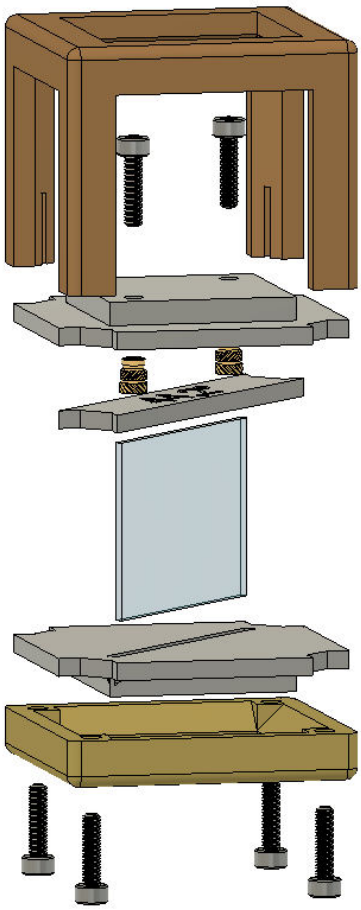


Abb. 3: Explosionsansicht des Strahlteiler-Würfels

I. Gewindeeinsätze einschmelzen

Material

1x 12A_Si_V*_beamsplitter_top
2x Gewindeeinsatz, M3

(1) Montieren Sie ggf. die Spitze zum Einschmelzen der Gewindeeinsätze am Lötkolben und heizen Sie den Lötkolben auf 220°C.

(2) Platzieren Sie die beiden Gewindeeinsätze, M3 in den vorgesehenen Öffnungen des 12A_Si_V*_beamsplitter_top (Abbildung 4).

Abb. 4: Korrekt positionierte Gewindeeinsätze

(3) Schmelzen Sie die Gewindeeinsätze mit dem Lötkolben vorsichtig in den Einsatz, sodass die Einsätze bündig mit der Oberfläche sind.

Hinweis: *Achten Sie darauf die Einsätze möglichst senkrecht einzuschmelzen (Abbildung 5).*

Abb. 5: Vollständig eingeschmolzene Gewindeeinsätze

II. Strahlteiler einsetzen

Material

1x Strahlteiler-Einsatz mit Gewindeeinsätzen
1x 02A_Br_V*_cube_cover 1x1
1x 12A_Si_V*_beamsplitter_clamp
1x 12A_Si_V*_beamsplitter_bottom
1x Teildurchlässiger Vorderflächenspiegel (40mm x 30mm)

(4) Setzen Sie den Strahlteiler-Einsatz mit Gewindeeinsätzen in den 02A_Br_V*_cube_cover 1x1 , so dass die Gewindeeinsätze nach oben zeigen (Abbildung 6).

Abb. 6: Korrekt eingesetztes Oberteil

(5) Setzen Sie die 12A_Si_V*_beamsplitter_clamp mit dem Schlitz nach oben über den Strahlteiler-Einsatz in den Würfeldeckel, sodass die beiden Gewindeeinsätze verdeckt werden (Abbildung 7).

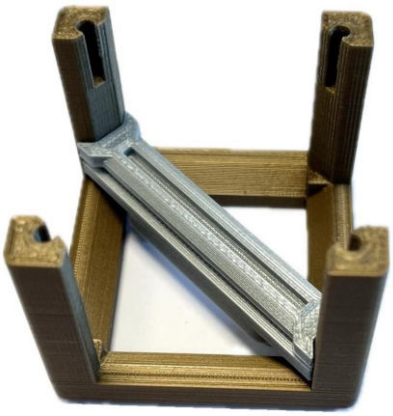


Abb. 7: Eingesetzte Strahlteiler-Klemme

(6) Entfernen Sie (ggf. mit einer Pinzette) vorsichtig die Schutzfolien auf beiden Seiten des Teildurchlässigen Vorderflächenspiegel (40mm x 30mm) .

Achtung: *Achten Sie ab jetzt darauf keine Fingerabdrücke auf den reflektierenden Flächen zu hinterlassen!*

(7) Setzen Sie den teildurchlässigen Vorderflächenspiegel mit einer der langen Kanten in den Schlitz (Abbildung 8).

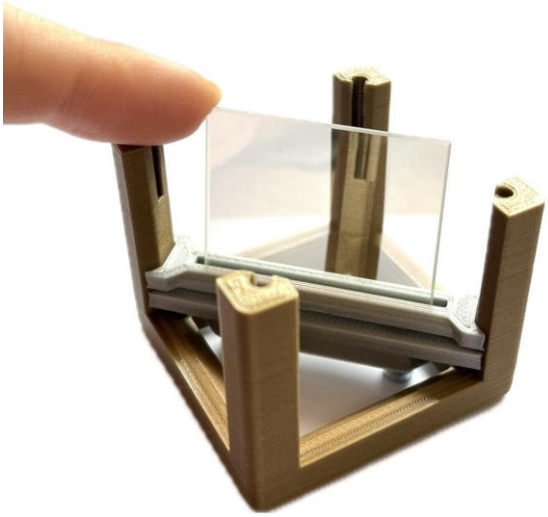


Abb. 8: Vorderflächenspiegel an der richtigen Position

(8) Setzen Sie nun vorsichtig den 12A_Si_V*_beamsplitter_bottom mit dem Schlitz nach unten in den Deckel, sodass der teildurchlässige Vorderflächenspiegel in den beiden Schlitzen gehalten wird. Dazu muss dieser evtl. etwas in die richtige Position gekippt werden (Abbildung 9).

Abb. 9: Vorderflächenspiegel zwischen den beiden Bauteilen eingeklemmt

III. Letzte Schritte

Material

1x 01A_Go_V*_cube_base 1x1

6x Inbus-Zylinderkopfschraube, M3x12

(9) Setzen Sie den 01A_Go_V*_cube_base 1x1 auf den Würfel wie in Abbildung 10 gezeigt.

Abb. 10: Zusammengesetzter Würfel

(10) Befestigen Sie den Würfel mit vier Inbus-Zylinderkopfschraube, M3x12 (Abbildung 11).

Abb. 11: Zusammengeschraubter Strahlteiler

(11) Drehen Sie nun den Würfel um (Abbildung 12).

Abb. 12: Zusammengesetzter Strahlteiler ohne Befestigungsschrauben

(12) Schrauben Sie vorsichtig von oben in die Gewindeeinsätze zwei Inbus-Zylinderkopfschraube, M3x12 bis die Klemme fest auf dem Vorderflächenspiegel sitzt. Achten Sie darauf den Vorderflächenspiegel nicht zu beschädigen (Abbildung 13).

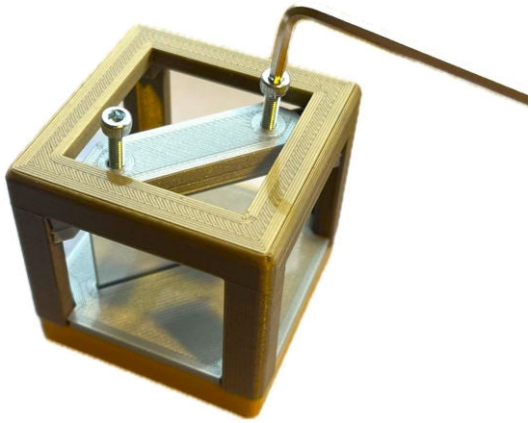


Abb. 13: Befestigen des teildurchlässigen Vorderflächenspiegels

Linse

Abb. 1: Linsenwürfel

Einleitung

Im Linsen-Modul wird eine Linse etwa senkrecht zum Gitter gehalten (Abbildung 1).

Experimente

- ▷ Michelson-Interferometer - 1 St. (f=15 mm)
- ▷ Michelson-Interferometer mit Piezoelement - 1 St. (f=15 mm)
- ▷ Mach-Zehnder-Interferometer - 1 St. (f=26,5 mm)
- ▷ Polarisation - 1 St. (f=65 mm)
- ▷ BB84 - 1 St. (f=65 mm)

Material & Werkzeug

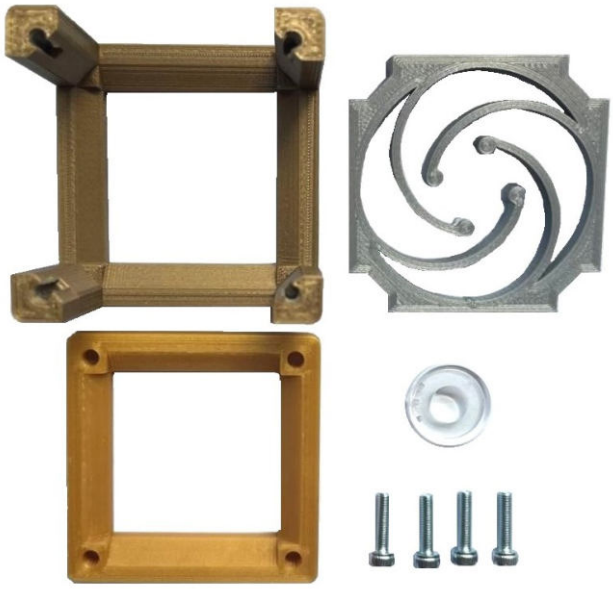


Abb. 2: Benötigtes Material

3D-Druck

1x 01A_Go_V*_cube_base 1x1

1x 02A_Br_V*_cube_cover 1x1

1x 13A_Si_V*_lens_holder *oder*
13B_Si_V*_lens_holder_f=15mm *oder*
13C_Si_V*_lens_holder_f=26,5mm *oder*
13D_Si_V*_lens_holder_f=65mm

Weitere Komponenten

1x Linse, f=15 mm, ø=16,5mm *oder*
Linse, f=26,5 mm, ø=15mm *oder*
Linse, f=65 mm, ø=16,5mm

4x Inbus-Zylinderkopfschraube, M3x12

Benötigtes Werkzeug

▷ Inbusschlüssel - 2,5 mm

▷ (3D-Druckwerkzeug zum Linsen einsetzen (Abbildung 3))

Abb. 3: Linsenwerkzeug

Explosionsansicht

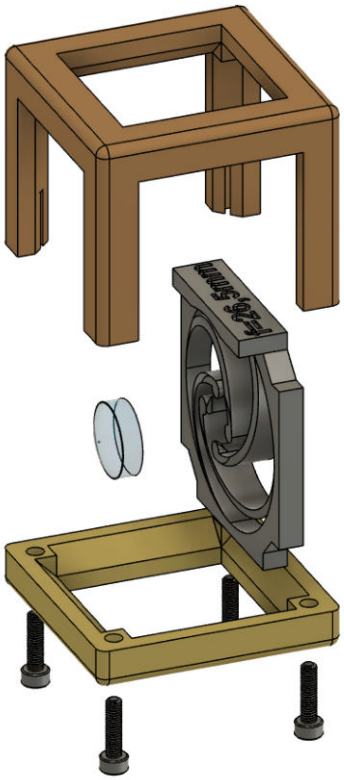


Abb. 4: Explosionsansicht des Linsen-Würfels

I. Zusammenbau

Material

1x 13A_Si_V*_lens_holder *oder*
13B_Si_V*_lens_holder_f=15mm *oder*
13C_Si_V*_lens_holder_f=26,5mm *oder*
13D_Si_V*_lens_holder_f=65mm

1x Linse, f=15 mm, ø=16,5mm *oder*
Linse, f=26,5 mm, ø=15mm *oder*
Linse, f=65 mm, ø=16,5mm

1x 01A_Go_V*_cube_base 1x1

1x 02A_Br_V*_cube_cover 1x1

4x Inbus-Zylinderkopfschraube, M3x12

(1) Setzen Sie bspw. die `Linse, f=15 mm, ø=16,5mm` in den `13B_Si_V*_lens_holder_f=15mm` (Abbildung 5).

Tipp: *Sie können das Linsenwerkzeug verwenden, um die Arme auseinander zu halten.*

Abb. 5: Linse im Linsenhalter

(2) Setzen Sie den Linsenhalter mit dem Schriftzug nach unten in den `02A_Br_V*_cube_cover 1x1` (Abbildung 6).

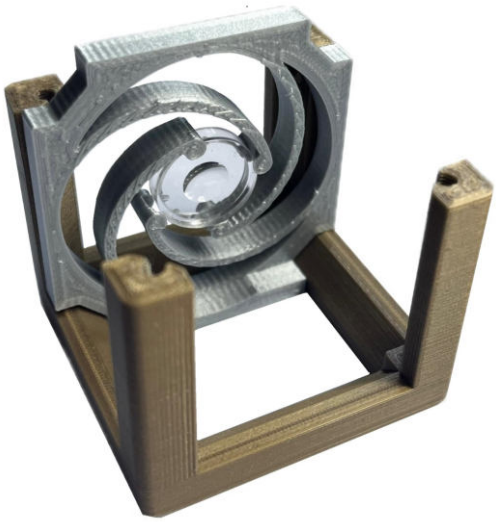


Abb. 6: Linsenhalter im Würfeldeckel

(3) Setzen Sie den 01A_Go_V*_cube_base 1x1 auf den Deckel (Abbildung 7).

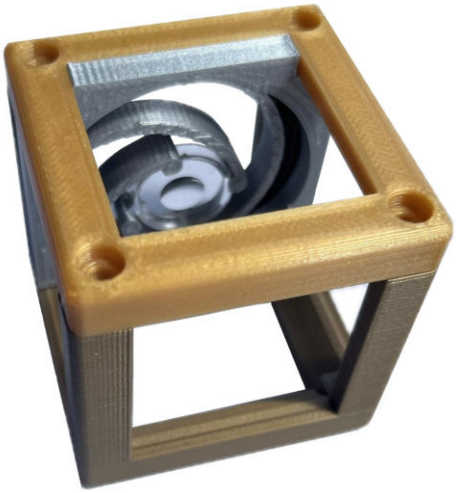


Abb. 7: Zusammengesetzter Würfel

(4) Befestigen Sie den Würfelboden mit den vier Inbus-Zylinderkopfschrauben, M3x12 am Würfeldeckel (Abbildung 8).

Abb. 8: Zusammengeschraubter Linsen-Würfel

Laser-Modul

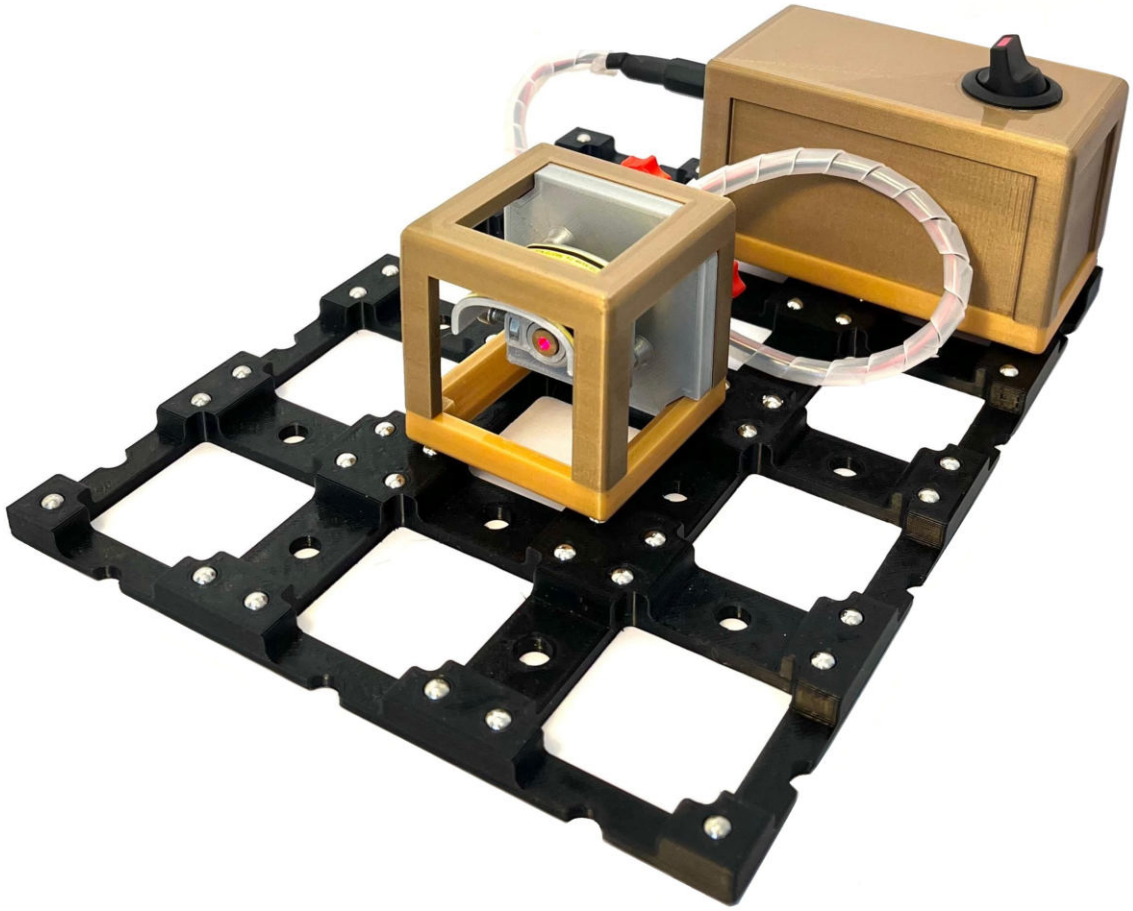


Abb. 1: Angeschlossene Laserdiode

Einleitung

Im Laser-Modul wird eine Laserdiode etwa senkrecht zum Gitter gehalten (Abbildung 1). Durch ein Kabel wird diese mit dem Batteriekasten-Modul verbunden, damit die Laserdiode an- und ausgeschaltet werden kann.

Experimente

- ▷ Michelson-Interferometer - 1 St.
- ▷ Michelson-Interferometer mit Piezoelement - 1 St.
- ▷ Mach-Zehnder-Interferometer - 1 St.
- ▷ Gitter & Spalte - 1 St.
- ▷ Polarisation - 1 St.
- ▷ BB84-Modellexperiment - 1 St.

Material & Werkzeug

Abb. 2: Benötigtes Material

3D-Druck

1x 01A_Go_V*_cube_base 1x1
1x 02A_Br_V*_cube_cover 1x1
1x 10A_Si_V*_insert 90°
1x 11A_Si_V*_laser_plate
1x 11A_Si_V*_laser_strain_relief
2x 03A_Re_V*_adjusting_screw_head

Weitere Komponenten

1x Laserdiode 3V
1x Hohlstecker
4x Gewindeeinsatz, M3
4x Magnetkugeln, ø=5mm
6x Inbus-Zylinderkopfschraube, M3x12
2x Mutter, selbstsichernd, M3
2x Außensechskantschraube, M3x40
▷ Zwillingslitze ((1 Stück, ca. 25 cm)
▷ Spiralschlauch (1 Stück, ca. 25 cm)
▷ Schrumpfschlauch
▷ Lötzinn
▷ Heißkleber

Benötigtes Werkzeug

▷ Inbusschlüssel - 2,5 mm
▷ Lötkolben (+ Spitze für Gewindeeinsätze)
▷ (Rohr-)Zange
▷ Seitenscheider
▷ Platinenhalter zum Löten
▷ Feuerzeug
▷ Abisolierwerkzeug
▷ Heißklebepistole
▷ (Ratsche + Steckschlüsselaufsatz 12 mm)

Explosionsansicht

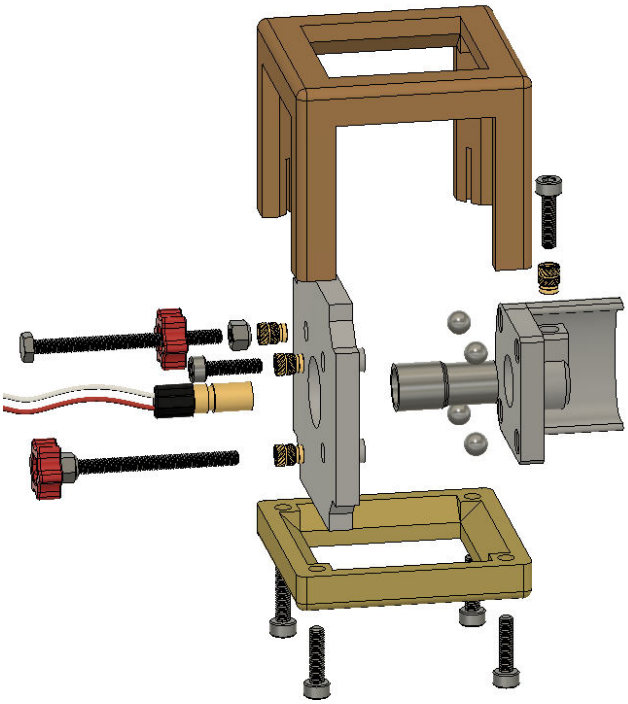


Abb. 3: Explosionsansicht des Laserdioden-Würfels

I. Stellschraube (2x)

Material

2x 03A_Re_V*_adjusting_screw_head
2x Außensechskantschraube, M3x40
2x Mutter, selbstsichernd, M3

(1) Schieben Sie den 03A_Re_V*_adjusting_screw_head mit der hexagonalen Öffnung zuerst auf die Aussensechskant-schraube, M3x40 .

(2) Drehen Sie dann die Mutter, selbstsichernd, M3 auf die Schraube, sodass sie den roten Schraubenkopf festhält (Abbildung 4).

Hinweis: *Auf den 03A_Re_V*_adjusting_screw_head passen 12mm-Steckschlüsselaufsätze, sodass sich die Mutter auch mit einem Akkuschrauber oder einer Ratsche festziehen lässt.*

(3) Wiederholen Sie diese Schritte, um eine zweite Stellschraube herzustellen (Abbildung 4).

Abb. 4: Fertig zusammengesetzte Schraube

II. Justageplatte

Material

2x Fertige Stellschraube
1x 10A_Si_V*_insert 90°
3x Gewindeeinsatz, M3
1x Inbus-Zylinderkopfschraube, M3x12

(4) Montieren Sie ggf. die Spitze zum Einschmelzen der Gewindeeinsätze am Lötkolben und heizen Sie den Lötkolben auf 220°C.

(5) Platzieren Sie die Gewindeeinsätze, M3 in den vorgesehenen Öffnungen des 10A_Si_V*_insert 90° (Abbildung 5).

(6) Schmelzen Sie die Gewindeeinsätze mit dem Lötkolben vorsichtig in den 90°-Einsatz, sodass die Gewindeeinsätze bündig mit der Oberfläche sind. Achten Sie darauf die Einsätze möglichst senkrecht einzuschmelzen (Abbildung 5).

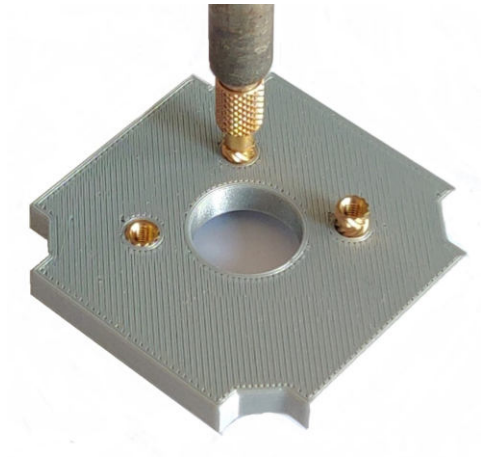


Abb. 5: Einschmelzen der Gewindeeinsätze

(7) Schrauben Sie die Inbus-Zylinderkopfschraube, M3x12 vollständig in den mittleren der drei Gewindeeinsätze (Abbildung 6).

(8) Schrauben Sie die beiden fertigen Stellschrauben in die anderen beiden Gewindeeinsätze, sodass Sie auf der anderen Seite etwa soweit wie die Inbusschraube herausragen (Abbildung 6).

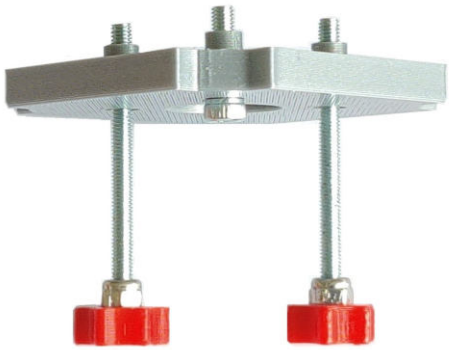


Abb. 6: Fertige Justageplatte

III. Laserplatte

Material

1x 11A_Si_V*_laser_plate
4x Magnetkugeln, ø=5mm
1x Gewindeeinsatz, M3

(9) Drücken Sie die vier Magnetkugeln, ø=5mm in die Öffnungen der 11A_Si_V*_laser_plate (Abbildung 8).

Achtung: *Die Magnetkugeln müssen dabei so ausgerichtet werden, dass der Nord- oder Südpol senkrecht aus der Platte heraus schaut, damit die Kugeln später gut auf den Stellschrauben halten. Im Idealfall ergibt sich dies automatisch, wenn Sie die Kugeln mit einer ferromagnetischen Rohrzange eindrücken (Abbildung 7).*

Abb. 7: Magnetkugel an einer ferromagnetischen Zange

Abb. 8: In die Platte eingedrückte Magnetkugeln

(10) Kleben Sie das Laserwarnschild, das der Laserdiode beiliegt, auf die obere Seite der Laserplatte (Abbildung 9).

Tipp: *Ein kleiner Tropfen Flüssigkleber verbessert die Haftfähigkeit des Laserwarnschildes auf der Laserplatte.*

Abb. 9: Auf die Laserplatte geklebtes Laserwarnschild

(11) Schmelzen Sie den Gewindeeinsatz, M3 in die Öffnung an der Seite der Laserplatte, sodass der Einsatz bündig mit der Oberfläche ist (Abbildung 10). Achten Sie darauf den Einsatz möglichst senkrecht einzuschmelzen.

Abb. 10: In die Laserplatte eingeschmolzener Gewindeeinsatz

IV. Laserdiode

Material

1x 11A_Si_V*_laser_strain_relief
1x Laserdiode 3V
1x Hohlstecker
▷ Zwillingslitze ((1 Stück, ca. 25 cm)
▷ Spiralschlauch (1 Stück, ca. 25 cm)
▷ Schrumpfschlauch
▷ Lötzinn
▷ Heißkleber

(12) Nehmen Sie sich ein Stück der Zwillingslitze (etwa 25 cm), isolieren Sie das eine Ende ab und ziehen Sie die beiden Kabel etwas auseinander.

(13) Wiederholen Sie den Vorgang mit dem Kabel an der Laserdiode 3V .

(14) Ziehen sie jeweils ein Stück Schrumpfschlauch über jedes Kabel der Laserdiode, mit welchem die Lötstelle später abgedeckt wird. (Abbildung 11).

Abb. 11: Schrumpfschläuche über den Kabeln an der Laserdiode

(15) Montieren Sie die Lötspitze am Lötkolben und heizen Sie diesen auf 350°C.

(16) Löten Sie das rote Kabel der Laserdiode an das rote Kabel der Zwillinglitze und anschließend das weiße Kabel der Laserdiode an das schwarze Kabel der Zwillingslitze (Abbildung 12).

Hinweis: *Eine Klammer zum Fixieren der Kabel kann das Löten erleichtern. Schieben Sie die Schrumpfschläuche vor dem Löten möglichst weit von der Lötstelle weg, damit sie nicht durch die entstehende Hitze ungewollt schrumpfen*

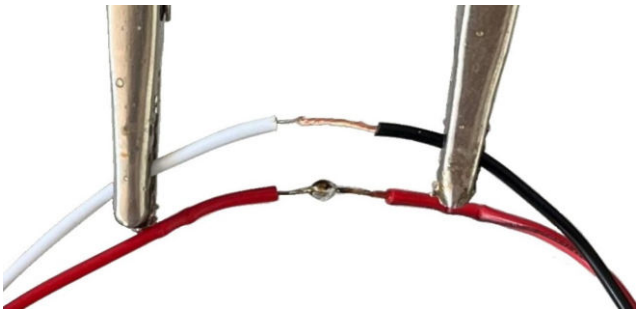


Abb. 12: Zusammenlöten der Kabel

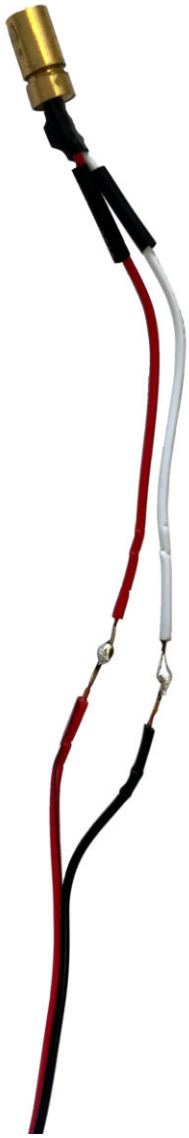


Abb. 13: Zusammengelötetes Kabel mit der Laserdiode

(17) Ziehen Sie die Schrumpfschläuche über die Lötstellen und erwärmen Sie diese vorsichtig mit einem Feuerzeug o.Ä., sodass sie zusammenschrumpfen (Abbildung 14).

Abb. 14: Schrumpfschläuche über den Lötstellen

(18) Schrauben Sie den HOHLSTECKER auf und ziehen Sie die Hülle über das noch offene Ende des Kabels. Isolieren Sie auch dieses ab und ziehen Sie die Kabel etwas auseinander.

(19) Ziehen Sie ein Stück Schrumpfschlauch über das rote Kabel. Löten Sie nun das rote Kabel an den kurzen Teil des Steckers (Abbildung 15).

Hinweis: *Eine Klammer zum Fixieren der Kabel kann das Löten erleichtern. Schieben Sie die Schrumpfschläuche vor dem Löten möglichst weit von der Lötstelle weg, damit sie nicht durch die entstehende Hitze ungewollt schrumpfen.*

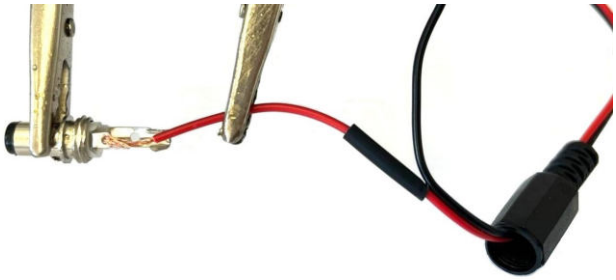


Abb. 15: Löten des Hohlsteckers an das Kabel

(20) Ziehen Sie den Schrumpfschlauch über die Lötstelle und erwärmen Sie diesen vorsichtig mit einem Feuerzeug o.Ä., sodass er zusammenschrumpft und die Lötstelle vollständig umschließt.

(21) Löten Sie das schwarze Kabel an den langen Teil des Steckers. Ziehen Sie dazu das abisolierte Stück durch das Loch und klappen Sie es etwas um, sodass sich der Lötzinn mit den Materialien verbinden kann (Abbildung 16).

Abb. 16: Löten des Steckers an das Kabel

(22) Drücken Sie die Kabel und anschließend die Halterung des Steckers vorsichtig zusammen (Abbildung 17).

Abb. 17: Fertig zusammengelöteter Stecker

(23) Ziehen Sie nun die schwarze Kappe über den Stecker und schrauben Sie diesen fest (Abbildung 18).

Abb. 18: Fertiger Stecker

(24) Drehen Sie den SPIRALSCHLAUCH um die Zwillingslitze, sodass diese vollständig ummantelt ist (Abbildung 19).

Abb. 19: Fertige Laserdiode

(25) Kleben Sie mit Hilfe von HEISSKLEBER die Laserdiode in die 11A_SI_V*_LASER_STRAIN_RELIEF . (Abbildung 20).

Hinweis: *Achten Sie darauf, die Laserdiode gerade in die Zugentlastung einzukleben, damit ihre Funktion nicht beeinträchtigt wird. Drücken Sie sie dabei so weit wie möglich in die Zugentlastung hinein. Diese schützt die am hinteren Teil der Laserdiode angelötete Treiberplatine vor dem Abbrechen.*

Abb. 20: In die Zugentlastung eingeklebte Laserdiode

V. Letzte Schritte

Material

1x Fertige Justageplatte
1x Fertige Laserplatte
1x Zusammengelötete Laserdiode
1x 01A_Go_V*_cube_base 1x1
1x 02A_Br_V*_cube_cover 1x1
5x Inbus-Zylinderkopfschraube, M3x12

(26) Schieben Sie die Zusammengelötete Laserdiode soweit wie möglich durch die Rückseite der Fertigen Laserplatte und schrauben Sie vorsichtig eine Inbus-Zylinderkopfschraube, M3x12 durch den Gewindeeinsatz, bis die Laserdiode festsitzt (Abbildung 21).

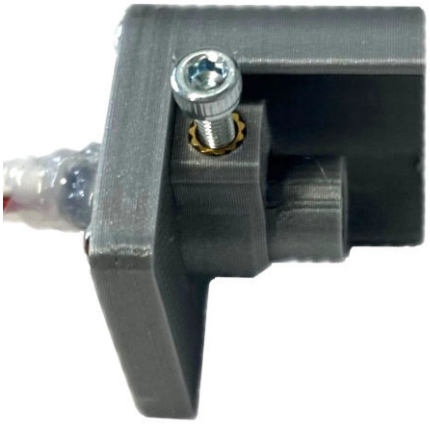


Abb. 21: In die Laserplatte eingesetzte Laserdiode

(27) Setzen Sie den 02A_Br_V*_cube_cover 1x1 und den Fertigen Justageeinsatz zusammen (Abbildung 22). Achten Sie auf die Ausrichtung, damit später alle Justagemechanismen gleich ausgerichtet sind.

Abb. 22: Zusammengesetzter Würfel

(28) Ziehen Sie das Kabel der Laserdiode von innen aus dem Würfel heraus durch das Loch der Justageplatte und befestigen Sie die Laserplatte mit den Kugeln auf den Schrauben (Abbildung 23).

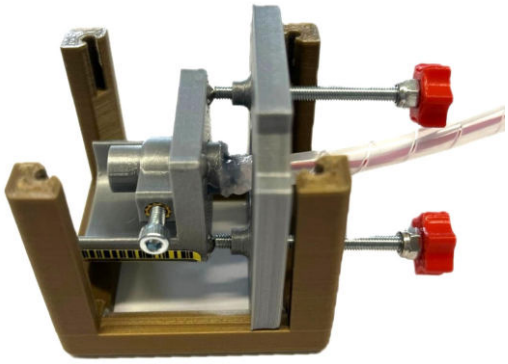


Abb. 23: In den Würfeldeckel eingesetztes Lasermodul

(29) Setzen Sie den 01A_Go_V*_cube_base 1x1 auf den Würfelboden und befestigen Sie diesen mit den vier Inbus-Zylinderkopfschraube, M3x12 (Abbildung 24).

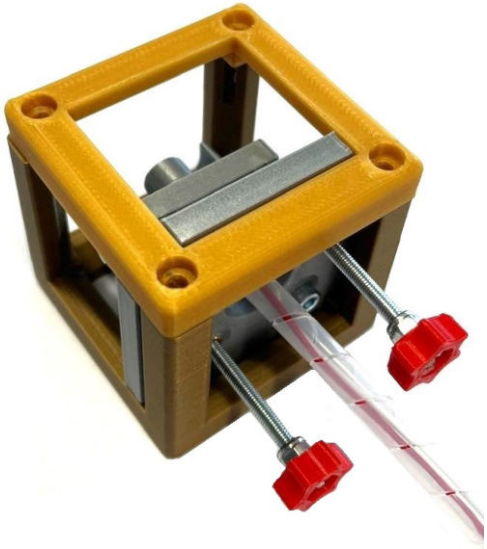


Abb. 24: Zusammengesetztes Lasermodul

VI. Laserwarnschild

Abb. 25: Laserwarnschild

Material

1x XX3_Sign_laser_warning

2x Inbus-Zylinderkopfschraube, M3x12

Abb. 26: Benötigtes Material

(30) Drehen Sie die Inbus-Zylinderkopfschrauben, M3x12 in die Rückseite des XX3_Sign_laser_warning (Abbildung 27).

Abb. 27: Fertiges Laserwarnschild

LED-Modul

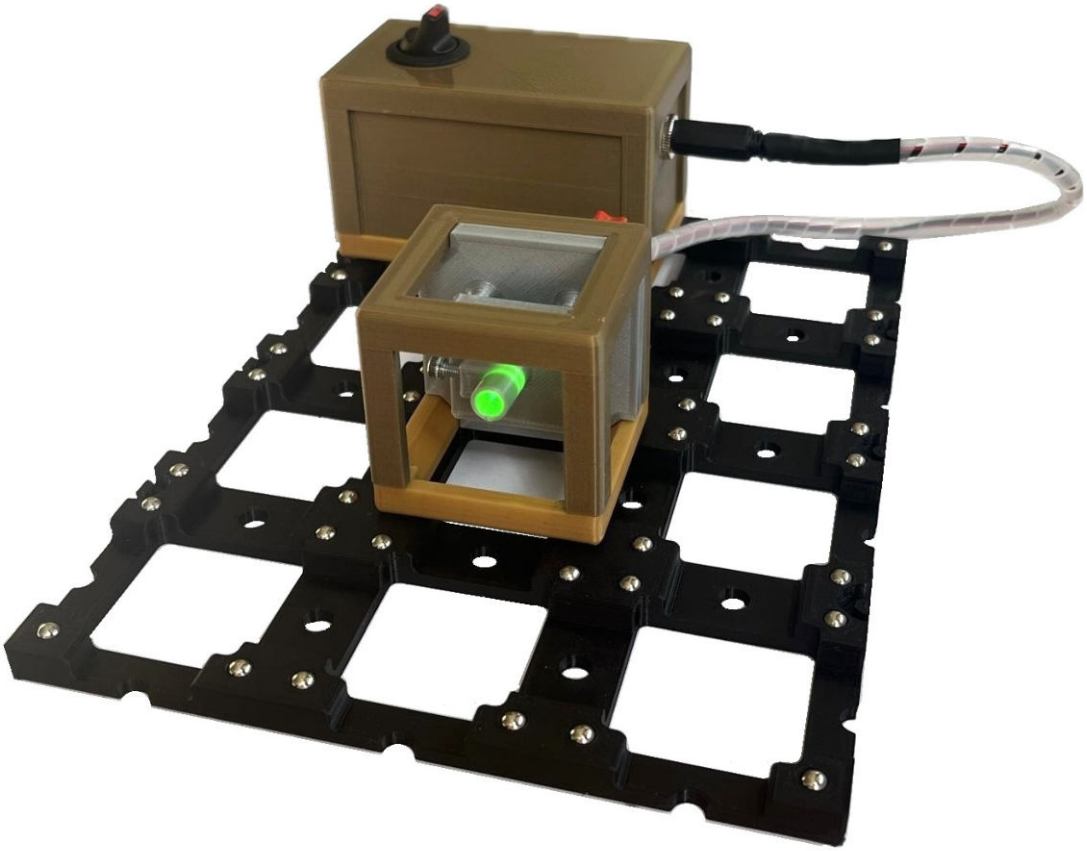


Abb. 1: Angeschlossenes LED-Modul

Einleitung

Im LED-Modul wird eine LED etwa senkrecht und im 90°-Winkel zum Gitter gehalten (Abbildung 1). Durch ein Kabel wird diese mit dem Batteriekasten-Modul verbunden, damit die LED an- und ausgeschaltet werden kann.

Experimente

- ▷ BB84-Modellexperiment - 1 St.
- ▷ Polarisation & Gitter - 1 St.

Material & Werkzeug

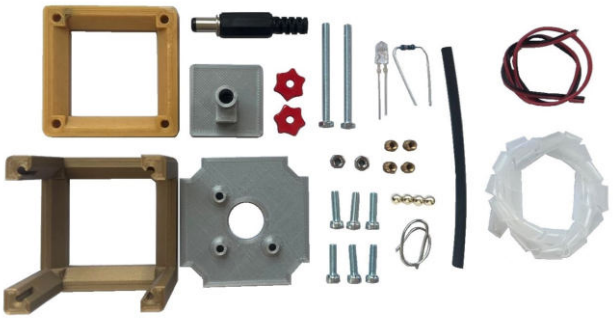


Abb. 2: Benötigtes Material

3D-Druck

1x 01A_Go_V*_cube_base 1x1
1x 02A_Br_V*_cube_cover 1x1
1x 10A_Si_V*_insert 90°
1x 11B_Si_V*_led_plate
2x 03A_Re_V*_adjusting_screw_head

Weitere Komponenten

1x LED
1x Widerstand 10 Ohm
1x Hohlstecker
4x Gewindeeinsatz, M3
4x Magnetkugeln, ø=5mm
6x Inbus-Zylinderkopfschraube, M3x12
2x Mutter, selbstsichernd, M3
2x Außensechskantschraube, M3x40
▷ Spiralschlauch
▷ Schrumpfschlauch
▷ Zwillingslitze
▷ Lötzinn

Benötigtes Werkzeug

▷ Inbusschlüssel - 2,5 mm
▷ Lötkolben (+ Spitze für Gewindeeinsätze)
▷ (Rohr-)Zange
▷ (Ratsche + Steckschlüsselaufsatz 12 mm)
▷ Seitenscheider
▷ Platinenhalter zum Löten
▷ Feuerzeug o.Ä.
▷ Abisolierwerkzeug

Explosionsansicht

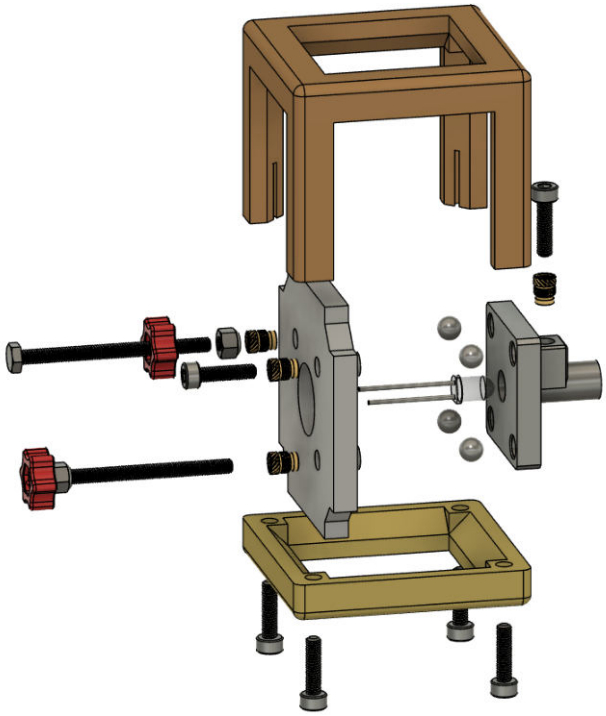


Abb. 3: Explosionsansicht des LED-Würfels

I. Stellschraube (2x)

Material

2x 03A_Re_V*_adjusting_screw_head
2x Außensechskantschraube, M3x40
2x Mutter, selbstsichernd, M3

(1) Schieben Sie den 03A_Re_V*_adjusting_screw_head mit der hexagonalen Öffnung zuerst auf die Aussensechskant-schraube, M3x40 .

(2) Drehen Sie dann die Mutter, selbstsichernd, M3 auf die Schraube, sodass sie den roten Schraubenkopf festhält (Abbildung 4).

Hinweis: *Auf den roten Schraubenkopf passen 12mm-Steckschlüsselaufsätze, sodass sich die Mutter auch mit einem Akkuschrauber oder einer Ratsche festziehen lässt.*

(3) Wiederholen Sie diese Schritte nochmal, um eine zweite Stell-schraube herzustellen (Abbildung 4).

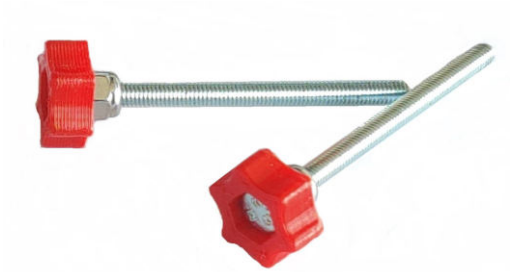


Abb. 4: Fertig zusammengesetzte Schraube

II. Justageplatte

Material

2x Fertige Stellschraube
1x 10A_Si_V*_insert 90°
3x Gewindeeinsatz M3
1x Inbus-Zylinderkopfschraube, M3x12

(4) Montieren Sie ggf. die Spitze zum Einschmelzen der Gewindeeinsätze am Lötkolben und heizen Sie den Lötkolben auf 220°C.

(5) Platzieren Sie die Gewindeeinsätze, M3 in den vorgesehenen Öffnungen des 10A_Si_V*_insert 90° (Abbildung 5).

(6) Schmelzen Sie die Gewindeeinsätze mit dem Lötkolben vorsichtig in den 90°-Einsatz, sodass die Gewindeeinsätze bündig mit der Oberfläche sind. Achten Sie darauf die Einsätze möglichst senkrecht einzuschmelzen (Abbildung 5).

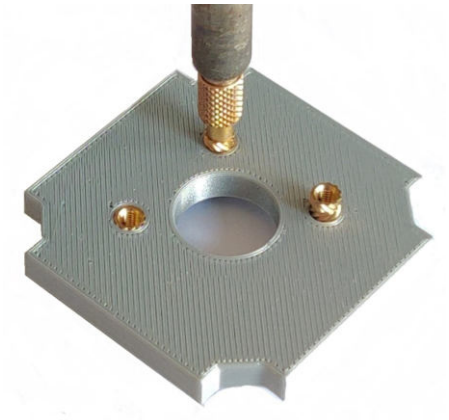


Abb. 5: Einschmelzen der Gewindeeinsätze

(7) Schrauben Sie die Inbus-Zylinderkopfschraube, M3x12 vollständig in den mittleren der drei Gewindeeinsätze (Abbildung 6).

(8) Schrauben Sie die beiden fertigen Stellschrauben in die anderen beiden Gewindeeinsätze, sodass Sie auf der anderen Seite etwa soweit wie die Inbusschraube herausragen (Abbildung 6).

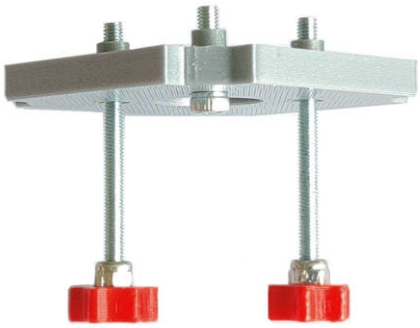


Abb. 6: Fertige Justageplatte

III. LED-Platte

Material

1x 11B_Si_V*_led_plate
4x Magnetkugeln, ø=5mm
1x Gewindeeinsatz, M3

(9) Drücken Sie die vier Magnetkugeln in die Öffnungen der 11B_Si_V*_led_plate (Abbildung 8).

Achtung: *Die Magnetkugeln müssen dabei so ausgerichtet werden, dass der Nord- oder Südpol senkrecht aus der Platte heraus schaut, damit die Kugeln später gut auf den Stellschrauben halten. Im Idealfall ergibt sich dies automatisch, wenn Sie die Kugeln mit einer ferromagnetischen Rohrzange eindrücken (Abbildung 7).*

Abb. 7: Magnetkugel an einer ferromagnetischen Zange

Abb. 8: In die Platte eingedrückte Magnetkugeln

(10) Schmelzen Sie den Gewindeeinsatz, M3 in die Öffnung an der Innenseite der LED-Platte, sodass der Einsatz bündig mit der Oberfläche ist. Achten Sie darauf den Einsatz möglichst senkrecht einzuschmelzen (Abbildung 9).

Abb. 9: In die LED-Platte eingeschmolzener Gewindeeinsatz

IV. LED Löten

Material

1x LED
1x Widerstand 10 Ohm
1x Hohlstecker
▷ Zwillingslitze
▷ Schrumpfschlauch
▷ Lötzinn

(11) Kürzen Sie den Pluspol der LED (Abbildung 10).

Abb. 10: Ungekürzte LED, die rote Markierung zeigt die entsprechende Stelle, an welcher die LED gekürzt werden soll.

(12) Kürzen Sie die eine Seite des Widerstand 10 Ohm (Abbildung 11).

Abb. 11: Gekürzter Widerstand

(13) Löten Sie das kurze Ende des Widerstands an den Pluspol der LED (Abbildung 12).

Abb. 12: An die LED gelöteter Widerstand

(14) Ziehen Sie ein Stück Schrumpfschlauch über den Widerstand zur Lötstelle und erhitzen Sie diesen vorsichtig mit einem Feuerzeug o.Ä. (Abbildung 13).

Abb. 13: Mit Widerstand zusammengelötete LED

(15) Nehmen Sie sich ein Stück der Zwillingslitze (etwa 25 cm), isolieren Sie das eine Ende ab und ziehen Sie die beiden Kabel etwas auseinander.

(16) Montieren Sie die Lötspitze am Lötkolben und heizen Sie diesen auf ca. 350°C.

(17) Ziehen Sie ein genügend langes Stück Schrumpfschlauch über das schwarze Kabel und löten Sie dieses an das andere Ende des Widerstandes (Abbildung 14).

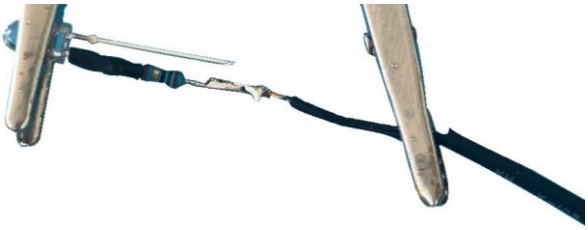


Abb. 14: An den Widerstand gelötetes schwarzes Kabel

(18) Ziehen Sie den Schrumpfschlauch über die Lötstelle und erhitzen Sie diesen vorsichtig mit einem Feuerzeug o.Ä.

(19) Ziehen Sie ein Stück Schrumpfschlauch über das rote Kabel und löten Sie dieses an den Minuspol der LED (Abbildung 15).

Abb. 15: An die LED gelötete Kabel

(20) Schrauben Sie den Hohlstecker auf und ziehen Sie die Hülle über das andere Ende der Zwillingslitze. Isolieren Sie auch dieses ab und ziehen Sie die Kabel etwas auseinander. Ziehen Sie ein Stück Schrumpfschlauch über das rote Kabel.

(21) Löten Sie das rote Kabel an das kurze Ende des Hohlsteckers (Abbildung 16)

Hinweis: *Eine Klammer zum Einspannen der Kabel kann zum Löten hilfreich sein. Achten Sie zudem darauf, den Schrumpfschlauch vor dem Löten möglichst weit von der Lötstelle wegzuschieben, sodass verhindert wird, dass dieser während des Lötens zusammenschrumpft.*

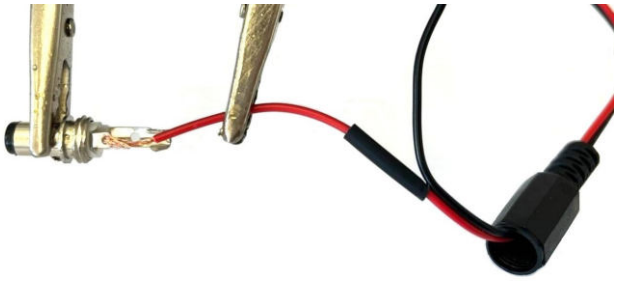


Abb. 16: An den Hohlstecker gelötete rotes Kabel

(22) Ziehen Sie den Schrumpfschlauch über die Lötstelle und erwärmen Sie diesen vorsichtig mit einem Feuerzeug o.Ä.,

sodass er zusammenschrumpft und die Lötstelle vollständig umschließt.

(23) Löten Sie das schwarze Ende des Kabels an den langen Teil des Steckers. Ziehen Sie dazu das abisolierte Stück durch das Loch und klappen Sie dieses etwas um, sodass sich der Lötzinn mit den Materialien verbinden kann (Abbildung 17).

Abb. 17: Löten des Steckers an das Kabel

(24) Drücken Sie die Kabel und anschließend die Halterung des Steckers vorsichtig etwas zusammen (Abbildung 18).

Abb. 18: Fertig zusammengelöteter Stecker

(25) Ziehen Sie nun die schwarze Kappe über den Stecker und schrauben Sie diesen fest (Abbildung 19).

Abb. 19: Fertiger Stecker

(26) Ziehen Sie nun noch ein Stück Schrumpfschlauch über die LED, sodass Widerstand und Lötstellen bedeckt sind und erhitzen Sie diesen vorsichtig mit einem Feuerzeug o.Ä. (Abbildung 20).

Abb. 20: Fertig zusammengelötetes LED-Modul

(27) Drehen Sie ein passend langes Stück Spiralschlauch um die Zwillingslitze, sodass diese vollständig ummantelt ist (Abbildung 21).

Abb. 21: Fertige LED

V. Letzte Schritte

Material

1x Fertige Justageplatte
1x Fertige LED-Platte
1x Zusammengelötete LED
1x 01A_Go_V*_cube_base 1x1
1x 02A_Br_V*_cube_cover 1x1
5x Inbus-Zylinderkopfschraube, M3x12

(28) Schieben Sie die zusammengelötete LED soweit wie möglich durch die Rückseite der fertigen LED-Platte und schrauben Sie vorsichtig eine Inbus Zylinderkopfschraube, M3x12 durch den Gewindeeinsatz, bis die LED festsitzt (Abbildung 22).

Abb. 22: In die LED-Platte eingesetzte LED

(29) Setzen Sie den 02A_Br_V*_cube_cover 1x1 und den fertigen Justageeinsatz zusammen (Abbildung 23). Achten Sie auf die Ausrichtung, damit später alle Justagemechanismen gleich ausgerichtet sind.

Abb. 23: In den Würfeldeckel eingesetzter Justageeinsatz

(30) Ziehen Sie das Kabel der LED von innen aus dem Würfel heraus durch das vorgesehene Loch und befestigen Sie die LED-Platte mit den Kugeln auf den Schrauben (Abbildung 24).

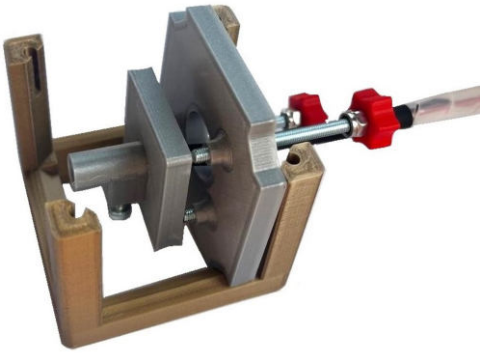


Abb. 24: In den Würfeldeckel eingesetzter Justageeinsatz mit LED

(31) Setzen Sie den 01A_Go_V*_cube_base 1x1 auf den Würfeldeckel und befestigen Sie diesen mit vier Inbus-Zylinderkopfschrauben, M3x12 (Abbildung 25).

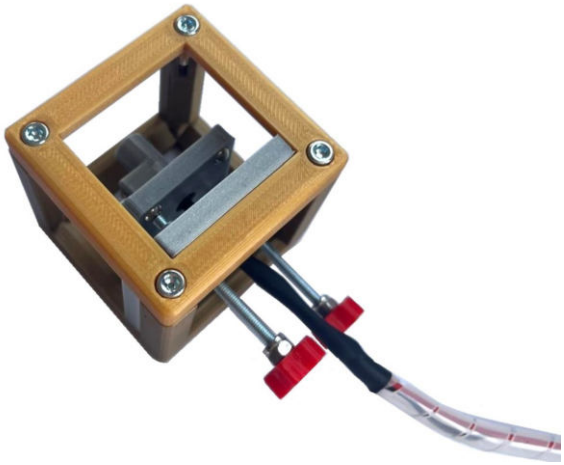


Abb. 25: Zusammengeschraubter LED-Würfel

Batteriekasten

Abb. 1: Batteriekasten

Einleitung

Das Batteriekasten-Modul dient zur Spannungsversorgung und verfügt über einen Schalter, mit dem die angeschlossenen Komponenten ein- und ausgeschaltet werden können. So kann bspw. das Laserdioden-Modul oder das LED-Modul angeschlossen und mit Spannung versorgt werden (Abbildung 1).

Hinweis: *Der Batteriekasten passt nicht auf das Gitter! Der Batteriekasten wird zwar mit Schrauben zusammengehalten, die Maße passen aber nicht zum Gitter. Gerade wenn empfindliche Experimente aufgebaut werden, sollte der Batteriekasten neben dem Gitter positioniert werden, um das Interferenzverhalten nicht durch Erschütterungen des Gitters zu stören.*

Experimente

- ▷ Michelson-Interferometer - 1 St.
- ▷ Michelson-Interferometer mit Piezoelement - 1 St.
- ▷ Mach-Zehnder-Interferometer - 1 St.
- ▷ Gitter & Spalte - 1 St.
- ▷ Polarisation - 1 St.
- ▷ BB84 - 1 St.

Material & Werkzeug

Abb. 2: Benötigtes Material

3D-Druck

1x 01D_Go_V*_battery_box_base

1x 02D_Br_V*_battery_box_cover

Weitere Komponenten

1x Hohlbuchse

1x Umschalter beleuchtet

1x Batteriehalter AA

1x Widerstand 47 Ohm

2x Batterie AA

4x Inbus-Zylinderkopfschraube, M3x12

2x Kabelbinder (mind. 15cm lang und max. 4mm breit)

▷ Zwillingslitze (1x ca. 9 cm, 1x ca, 12 cm)

▷ Schrumpfschlauch

▷ Lötzinn

Benötigtes Werkzeug

▷ Inbusschlüssel - 2,5 mm

▷ Lötkolben (+ Spitze für Gewindeeinsätze)

▷ "Platinenhalterßum Löten

▷ Seitenschneider

▷ Abisolierwerkzeug

▷ (Rohr-)Zange

▷ (Ratsche + Steckschlüsselaufsatz 12 mm)

▷ (Pinzette)

Schaltplan

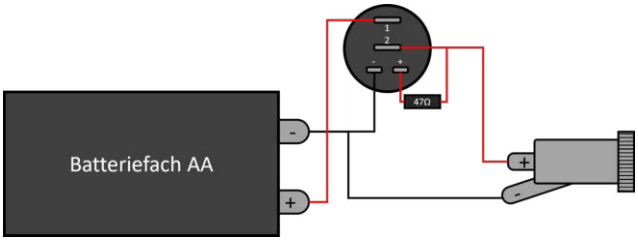


Abb. 3: Schaltplan des Batteriekastens

I. Umschalter anlöten

Material

1x Umschalter beleuchtet

1x Widerstand 47 Ohm

▷ Zwillingslitze

▷ Lötzinn

▷ Schrumpfschlauch

(1) Ziehen Sie ein Stück Zwillingslitze (ca. 9 cm) vollständig auseinander und isolieren Sie ein Ende des roten Kabels ab.

(2) Kürzen Sie den Widerstand 47 Ohm an der einen Seite etwas und verdrehen Sie dieses mit dem Ende des roten Kabels (Abbildung 4).

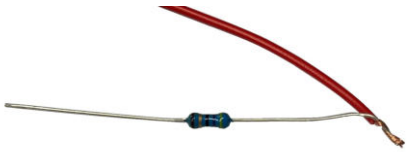


Abb. 4: Widerstand verdreht mit dem Kabel

(3) Erhitzen Sie den Lötkolben auf 350°C.

(4) Löten Sie das Kabel mit dem Widerstand an den mittleren Kontakt (2) des Umschalters beleuchtet (Abbildung 5).

Hinweis: *Schauen Sie sich den bereitgestellten Schaltplan (Abbildung 2) genau an, bevor Sie mit dem Löten beginnen.*

Abb. 5: An den Umschalter gelötetes Kabel und Widerstand

(5) Ziehen Sie ein Stück Schrumpfschlauch über die gelötete Stelle und erhitzen Sie diesen vorsichtig mit einem Feuerzeug o.ä., sodass dieser zusammenschrumpft.

(6) Ziehen Sie ein weiteres Stück Schrumpfschlauch über den Widerstand und löten Sie das noch offene Ende an den Pluspol des Umschalters, wie es in Abbildung 6 zu sehen ist.

Hinweis: *Bei Unsicherheiten schauen Sie in den Schaltplan (Abbildung 2).*

Abb. 6: Korrekt angeschlossener Widerstand

(7) Ziehen Sie den Schrumpfschlauch über die Lötstelle und erhitzen Sie diesen vorsichtig mit einem Feuerzeug o.Ä. (s. Abbildung 7).

Abb. 7: Angelöteter Widerstand mit Schrumpfschlauch

(8) Ziehen Sie ein Stück SCHRUMPFSCHLAUCH über das schwarze Kabel und löten Sie dieses an den Minuspol des Umschalters (Abbildung 8).

Hinweis: *Bei Unsicherheiten schauen Sie in den Schaltplan (Abbildung 2).*

Abb. 8: Korrekt angelötetes schwarzes Kabel

(9) Ziehen Sie den Schrumpfschlauch über die gelötete Stelle und erhitzen Sie diesen vorsichtig mit einem Feuerzeug o.Ä., sodass dieser zusammenschrumpft (Abbildung 9).

Abb. 9: Schrumpfschlauch über der Lötstelle

(10) Ziehen Sie das andere Stück Zwillingslitze (ca. 12 cm) vollständig auseinander und löten Sie das rote Kabel an den übrige Kontakt (1) des Umschalters (Abbildung 10).

Hinweis: *Bei Unsicherheiten schauen Sie in den Schaltplan (Abbildung 2).*

Abb. 10: Korrekt angelötetes Kabel

(11) Ziehen Sie ein Stück SCHRUMPFSCHLAUCH über die Lötstelle und erhitzen Sie dieses vorsichtig mit einem Feuerzeug o.Ä., sodass dieser zusammenschrumpft (Abbildung 11).

Abb. 11: Fertig zusammengelöteter Umschalter

II. Batteriehalter anlöten

Material

1x Fertig zusammengelöteter Umschalter
1x 02D_Br_V*_battery_box_cover
1x Hohlbuchse
1x Batteriehalter AA
1x Schwarzes Kabel (ca. 12 cm)
▷ Lötzinn
▷ Schrumpfschlauch

(1) Drücken Sie den FERTIG GELÖTETEN UMSCHALTER in die Öffnung des 02D_BR_V*_BATTERY_BOX_COVER, sodass der Schalter nach außen zeigt (Abbildung 12).

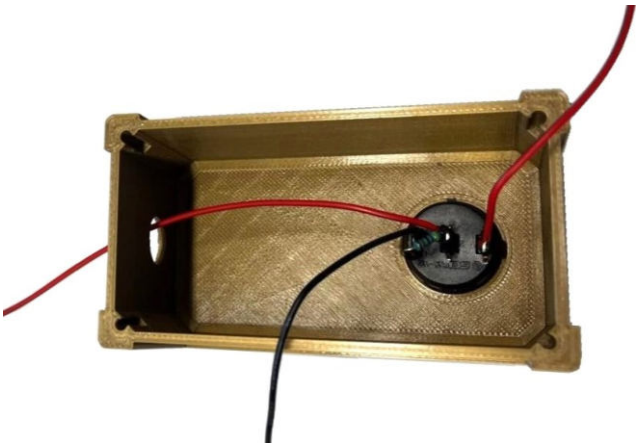


Abb. 12: Korrekt eingesetzter Umschalter

(2) Isolieren Sie das SCHWARZE KABEL (CA. 12 CM) ab, verdrehen Sie das Ende mit dem Ende des schwarzen Kabels, welches mit dem Umschalter zusammengelötet ist, und ziehen Sie ein Stück SCHRUMPFSCHLAUCH über die beiden Kabel (Abbildung 13).

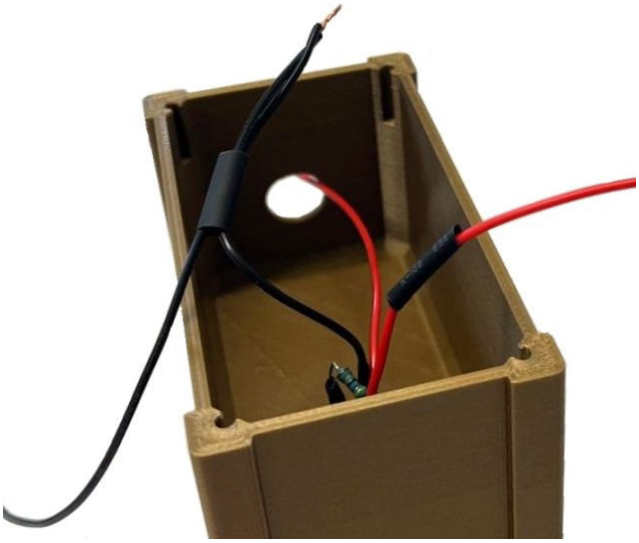


Abb. 13: Zusammengedrehte Kabel

(3) Ziehen Sie ein Stück SCHRUMPFSCHLAUCH über das rote Kabel am Kontakt (1) des Umschalters und löten Sie dieses an den Pluspol des BATTERIEHALTER AA (Abbildung 14).

Hinweis: *Bei Unsicherheiten in Bezug auf die korrekte Verschaltung, schauen Sie in den Schaltplan (Abbildung 2).*

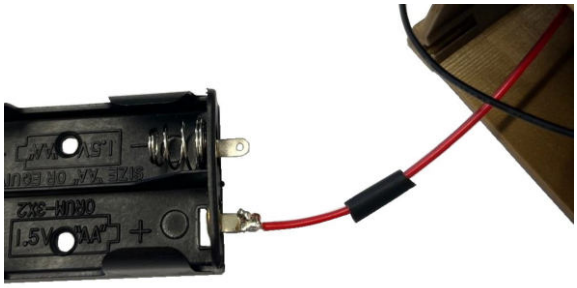


Abb. 14: Korrekt angelötetes Kabel

(4) Löten Sie die verdrehten schwarzen Kabel an den Minuspol des Batteriehalters (Abbildung 15).

Hinweis: *Bei Unsicherheiten in Bezug auf die korrekte Verschaltung, schauen Sie in den Schaltplan (Abbildung 2).*

Abb. 15: Korrekt angelötete Kabel

(5) Ziehen Sie die Schrumpfschläuche über die Lötstellen und erhitzen Sie diese vorsichtig mit einem Feuerzeug o.Ä. (Abbildung 16).

Abb. 16: Fertig angeschlossener Batteriehalter

III. Hohlbuchse anlöten

Material

1x Zusammengelöteter Batteriekasten
1x Hohlbuchse
▷ Schrumpfschlauch
▷ Spiralschlauch
▷ Lötzinn

(1) Schrauben Sie die HOHLBUCHSE auseinander (Abbildung 17).

Abb. 17: Auseinandergeschraubte Hohlbuchse

(2) Ziehen Sie die Mutter der Hohlbuchse über die beiden übrigen Kabel (das rote am Umschalter und das schwarze am Batteriehalter), sodass sie später wieder auf die Hohlbuchse aufgeschraubt werden kann. Die Mutter sollte sich nun im Innern des Deckels befinden.

(3) Legen Sie die beiden Kabel durch die Öffnung des ZUSAMMENGELÖTETEN BATTERIEKASTEN (Abbildung 18).

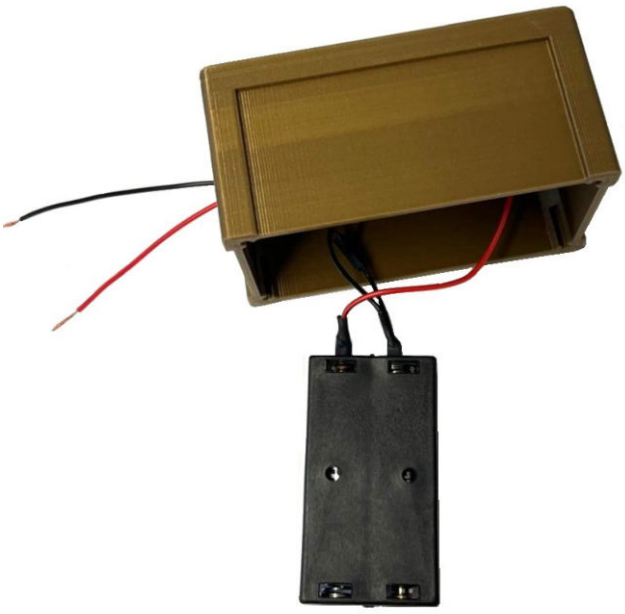


Abb. 18: Korrekt positionierte Kabel

(4) Ziehen Sie ein Stück SCHRUMPFSCHLAUCH über das rote Kabel und löten Sie dieses an den Pluspol der Hohlbuchse (Abbildung 19).

Hinweis: *Bei Unsicherheiten in Bezug auf die korrekte Verschaltung, schauen Sie in den Schaltplan (Abbildung 2).*

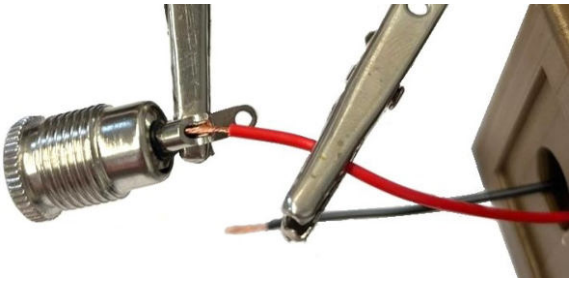


Abb. 19: Anlöten des roten Kabels an die Hohlbuchse

(5) Ziehen Sie ein Stück Schrumpfschlauch über das schwarze Kabel und löten Sie dieses an den Minuspol der Hohlbuchse. Ziehen Sie anschließend die Schrumpfschläuche über die Lötstellen und erhitzen diese vorsichtig mit einem Feuerzeug o.Ä. (Abbildung 20).

Hinweis: *Bei Unsicherheiten in Bezug auf die korrekte Verschaltung, schauen Sie in den Schaltplan (Abbildung 2).*

Abb. 20: Korrekt angeschlossene Hohlbuchse

(6) Drücken Sie die Hohlbuchse von außen durch die Öffnung des zusammengelöteten Batteriekasten.

(7) Schrauben Sie die Hohlbuchse zusammen, sodass diese fest in der Öffnung sitzt (Abbildung 21).

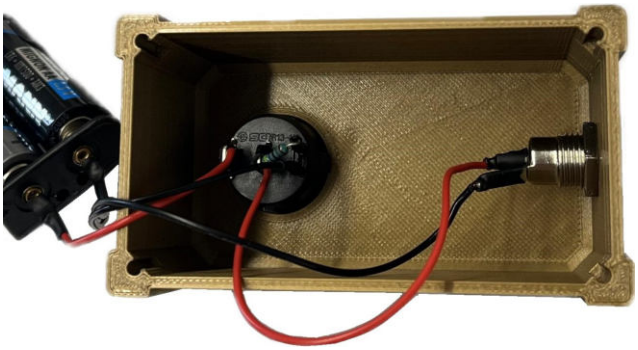


Abb. 21: Fertig zusammengelöteter Batteriekasten

IV. Zusammenbau

Material

1x Fertig zusammengelöteter Batteriekasten
1x 01D_Go_V*_battery_box_base
4x Inbus-Zylinderkopfschraube, M3x12
2x Kabelbinder (mind. 15cm lang und max. 4mm breit)
2x Batterie AA

(1) Ziehen Sie die beiden KABELBINDER durch die Öffnungen des 01D_GO_V*_BATTERY_BOX_BASE , sodass die Enden nach oben zeigen (Abbildung 22).

Abb. 22: Kabelbinder in den dafür vorgesehenen Öffnungen des Bodens

(2) Setzen Sie die BATTERIEN AA in den Batteriehalter und positionieren Sie diesen etwa mittig auf dem Boden (Abbildung 23).

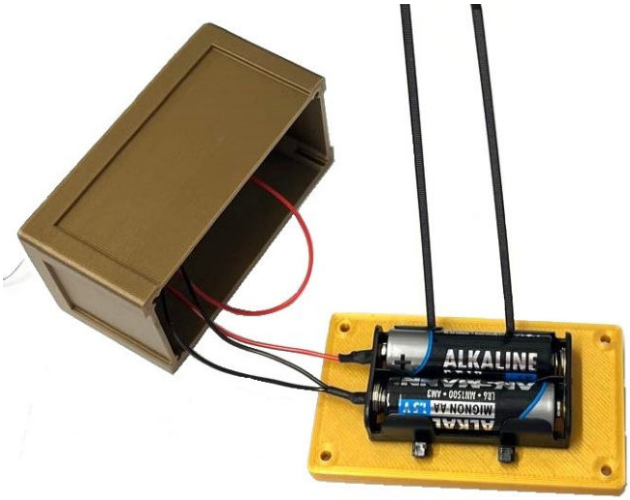


Abb. 23: Korrekt positionierter Batteriehalter

(3) Ziehen Sie die Kabelbinder fest und schneiden Sie die überstehenden Enden ab (Abbildung 24).

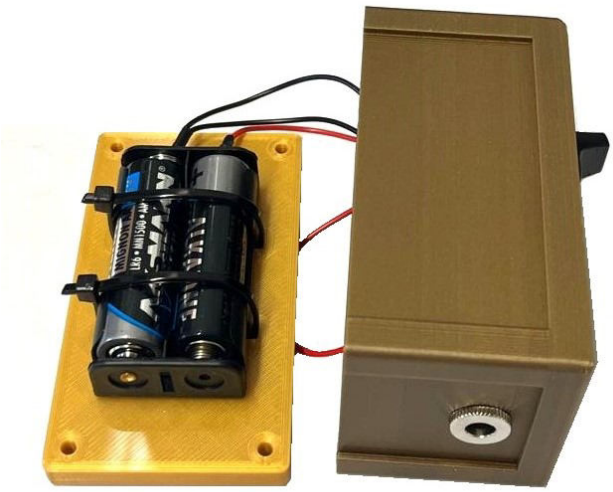


Abb. 24: Am Boden festgemachter Batteriehalter

(4) Setzen Sie den Boden vorsichtig auf den Deckel des Batteriekastens, sodass sich alle Kabel im Innern befinden, und schrauben Sie diesen mit den vier Inbus-Zylinderkopfschrauben, M3x12 fest (Abbildung 25).

Abb. 25: Zusammengeschraubter Batteriekasten

Polfilter-Modul

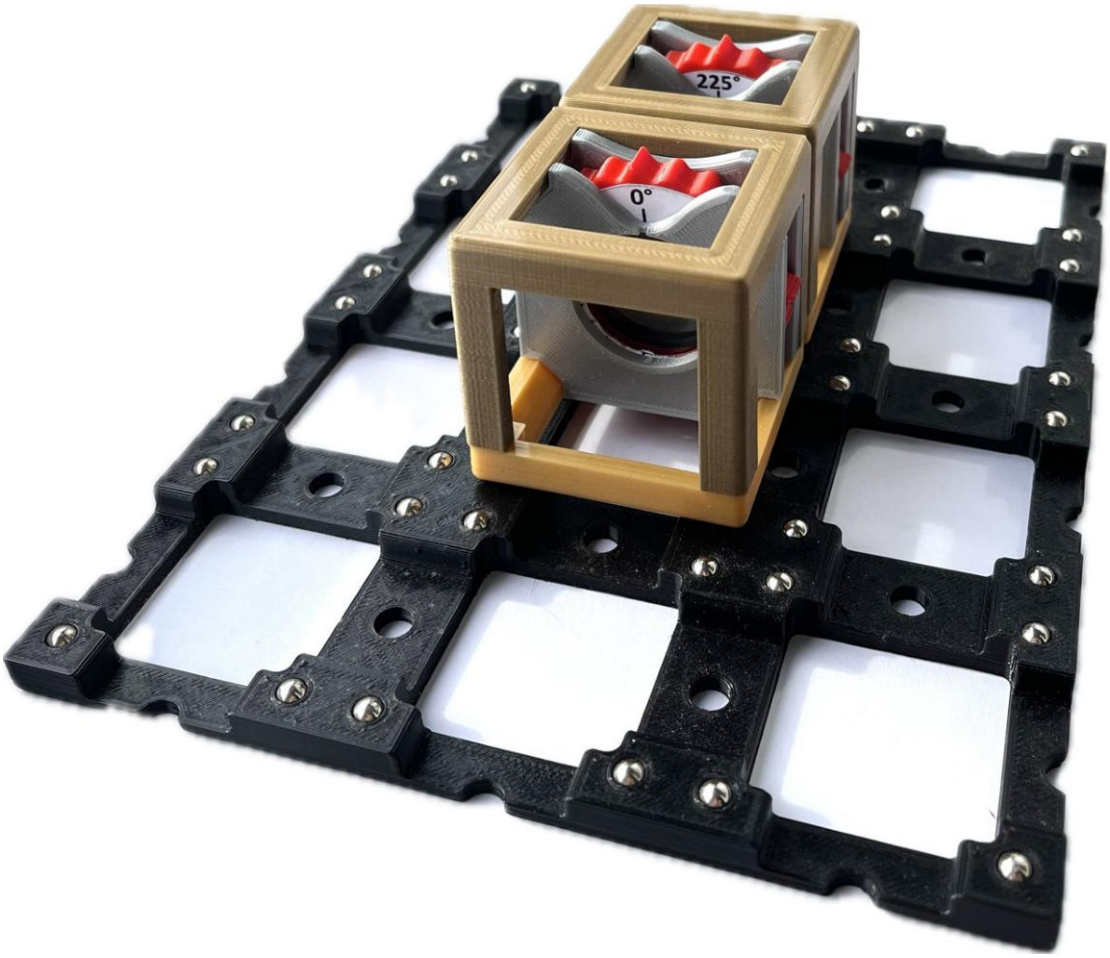


Abb. 1: Polfilter-Modul

Einleitung

Im Polfilter-Modul wird ein Drehrad verwendet, um eine Polfilterfolie in Ausrichtung zu halten (Abbildung 1). Das Drehrad ermöglicht die Einstellung der Polarisationsrichtung. Dies ist bspw. für die Justage des Quantenradierers notwendig.

Experimente

- ▷ Quantenradierer - 5 St.
- ▷ Polarisation einer Laserdiode - 1 St.
- ▷ Gesetz von Malus - 2 St.
- ▷ Polarisation drehen mit Polarisationsfiltern - mind. 3 St.

Material & Werkzeug

Abb. 2: Benötigtes Material

3D-Druck

1x 01A_Go_V*_cube_base 1x1
1x 02A_Br_V*_cube_cover 1x1
1x 14A_Re_V*_polarising_filter_cover
1x 14A_Re_V*_polarising_filter_wheel
1x 14A_Si_V*_polarising_filter_frontplate
1x 14A_Si_V*_polarising_filter_retaining_plate
1x 14A_Si_V*_polarising_filter_intermediate_plate

Weitere Komponenten

4x Inbus-Zylinderkopfschraube, M3x12
1x Polfilterfolie (30 mm x 30 mm)
1x Klebeetikett - Skala

Benötigtes Werkzeug

▷ Inbusschlüssel - 2,5 mm
▷ Schere / Messer

Explosionsansicht

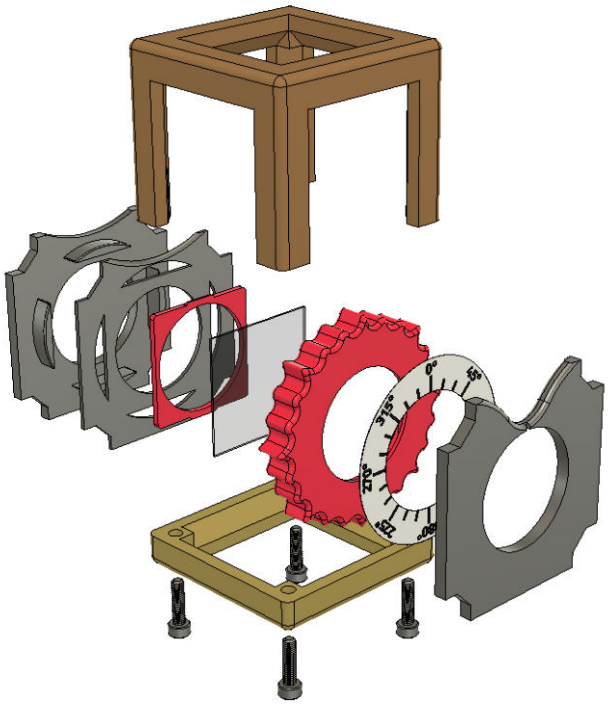


Abb. 3: Explosionsansicht des Polfilter-Moduls

I. Polfilter-Drehrad

Material

1x 14A_Re_V*_polarising_filter_cover
1x 14A_Re_V*_polarising_filter_wheel
1x Polfilterfolie (30 mm x 30 mm)
1x Klebeetikett - Skala

(1) Kleben Sie die das Klebeetikett - Skala vorne auf den dicken Rand des 14A_Re_V*_polarising filter_wheel, sodass sich die Winkelangaben bei den langen Zacken des Rades befinden. Achten Sie darauf, dass sich die 45°-, die 135°-, die 225°- und die 315°-Beschriftungen an den Ecken des Quadrats in der Rückseite des Polfilter-Rades befinden (Abbildung 4).

(2) Schneiden Sie den inneren Kreis mithilfe einer Schere oder eines Messers vorsichtig frei.

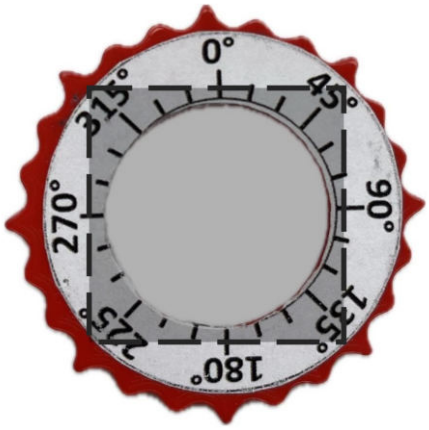


Abb. 4: Auf dem Drehrad aufgeklebtes Etikett mit Winkelangaben. Gestrichelt eingezeichnet ist das Quadrat auf der Rückseite.

(3) Ziehen Sie die Folie von beiden Seiten der Polfilterfolie (30 mm x 30 mm) und legen Sie diese von hinten in die vorgesehene Öffnung des Rades (Abbildung 5).

Abb. 5: Polfilterfolie eingelegt in das Drehrad

Hinweis: *Achten Sie darauf, dass die Polfilterfolie richtig ausgerichtet ist. Bestimmen Sie dazu zunächst die Ausrichtung der Polarisationsfolie. Nutzen Sie dafür den Effekt des Brewsterwinkels, z.B. an einer Glasplatte (Smartphone) wie in Abbildung 6 gezeigt oder orientieren Sie sich an einem bereits montierten Polfilter. Halten Sie die Folie vor das reflektierte, polarisierte Licht. Die Ausrichtung der Polarisationsfolie beträgt 0°, wenn das reflektierte Licht vollständig absorbiert wird.*

Abb. 6: Polarisation an einer Glasplatte (Brewsterwinkel). Links wird das reflektierte Licht absorbiert, rechts transmittiert.

(4) Drücken Sie die 14A_Re_V*_polarising filter_cover über den eingesetzten Polfilter in die dafür vorgesehenen Öffnungen in das Rad (Abbildung 7).

Tipp: *Wenn Sie auf alle Reibeflächen eine dünne Graphitschicht (Bleistiftabrieb) auftragen, lässt sich der Polfilter später leichter drehen.*

Abb. 7: Im Drehrad befestigte Filterabdeckung

Abb. 8: Fertiges Polfilter-Drehrad

II. Würfel zusammensetzen

Material

1x Fertiges Polfilter-Drehrad
1x 02A_Br_V*_cube_cover 1x1
1x 01A_Go_V*_cube_base 1x1
1x 14A_Si_V*_polarising_filter_frontplate
1x 14A_Si_V*_polarising_filter_retaining_plate
1x 14A_Si_V*_polarising_filter_intermediate_plate
4x Inbus-Zylinderkopfschraube, M3x12

(5) Legen Sie die 14A_Si_V*_polarising_filter_intermediate_plate mit der glatten Seite nach oben auf die 14A_Si_V*_polarising_filter_retaining_plate (Abbildung 9).

Hinweis: *Achten Sie darauf, dass die glatte Seite der Zwischenplatte von der Halteplatte abgewandt ist, um das spätere Drehen des Polfilter-Drehrads zu erleichtern.*

Abb. 9: Polfilter-Zwischenplatte auf der Polfilter-Halteplatte

(6) Setzen Sie in den 02A_Br_V*_cube_cover 1x1 die zusammengesetzte Halte- mit der Zwischenplatte mit der Rundung nach unten (Abbildung 10).

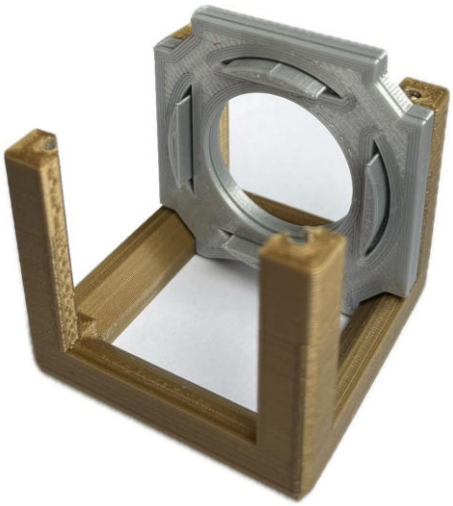


Abb. 10: Halte- und Zwischenplatte im Würfeldeckel

(7) Setzen Sie davor das FERTIGE POLFILTER-DREHRAD mit der Rückseite zur Halteplatte (Abbildung 11).

Abb. 11: Halte- und Zwischenplatte mit dem Drehrad im Würfeldeckel

(8) Setzen Sie zuletzt die 14A_SI_V*_POLARISING_FILTER_FRONTPLATE davor, ebenfalls mit der Rundung nach unten (vgl. Abbildung 12).

Hinweis: *Achten Sie darauf, dass die glatte Seite der Frontplatte zum Polfilter-Drehrad hingewandt ist, um das spätere Drehen zu erleichtern.*

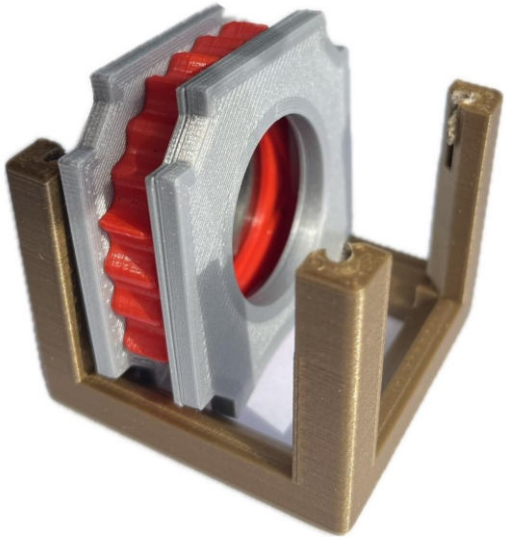


Abb. 12: Alle notwendigen Komponenten in den Würfeldeckel eingesetzt

(9) Setzen Sie den 01A_GO_V*_CUBE_BASE 1X1 auf den Würfeldeckel mit eingesetzten Komponenten (Abbildung 13).

Abb. 13: Zusammengesetzter Würfel

(10) Befestigen Sie den Würfel mit den vier INBUS-ZYLINDERKOPFSCHRAUBE, M3x12 (Abbildung 14).

Abb. 14: Geschraubter Würfel

Piezo-Spiegel-Modul

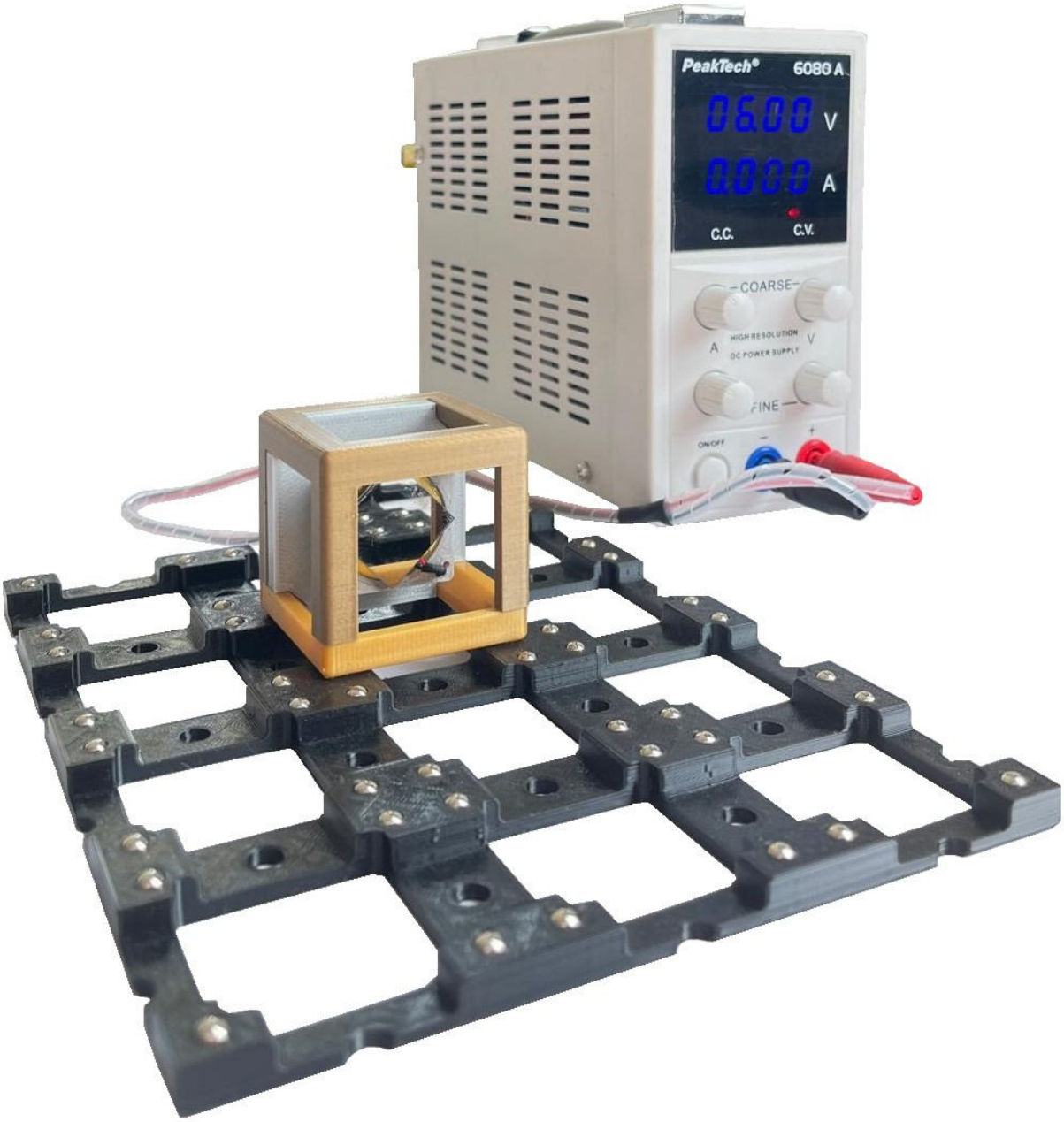


Abb. 1: Justierbarer Spiegelwürfel - 90°

Einleitung

Im Piezo-Spiegel-Modul wird ein Spiegel befestigt auf einem Piezo-Element etwa senkrecht zum Gitter gehalten (Abbildung 1). Durch Anschließen an eine Spannungsquelle kann der Spiegel einige µm vor- oder zurückbewegt werden. Dies ist bspw. zur Beobachtung der Auswirkung auf das Interferenzmuster durch kleinste Abstandsänderungen in den Interferometer-Armen des Michelson-Interferometers notwendig.

Experimente

- Michelson Interferometer mit Piezoelement - 1 St.

Material & Werkzeug

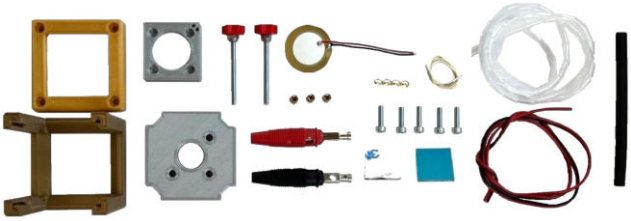


Abb. 2: Benötigtes Material

3D-Druck

1x 01A_Go_V*_cube_base 1x1
1x 02A_Br_V*_cube_cover 1x1
1x 10A_Si_V*_insert 90°
1x 11D_Si_V*_mirror_plate_piezo
2x 03A_Re_V*_adjusting_screw_head

Weitere Komponenten

1x Klebepad (20mm x 20mm)
1x Piezoelement
1x Büschelstecker Schwarz
1x Büschelstecker Rot
3x Gewindeeinsatz, M3
1x Vorderflächenspiegel (22mm x 22mm)
4x Magnetkugeln, ø=5mm
5x Inbus-Zylinderkopfschraube, M3x12
2x Mutter, M3, selbstsichernd
2x Außensechskantschraube, M3x40
▷ Schrumpfschlauch
▷ Zwillingslitze
▷ Spiralschlauch
▷ Sekundenkleber
▷ Lötzinn

Benötigtes Werkzeug

▷ Inbusschlüssel - 2,5 mm
▷ Lötkolben (+ Spitze für Gewindeeinsätze)
▷ (Rohr-)Zange
▷ (Ratsche + Steckschlüsselaufsatz 12 mm)
▷ Platinenhalter zum Löten
▷ Seitenschneider
▷ Abisolierwerkzeug
▷ Feuerzeug

Explosionsansicht

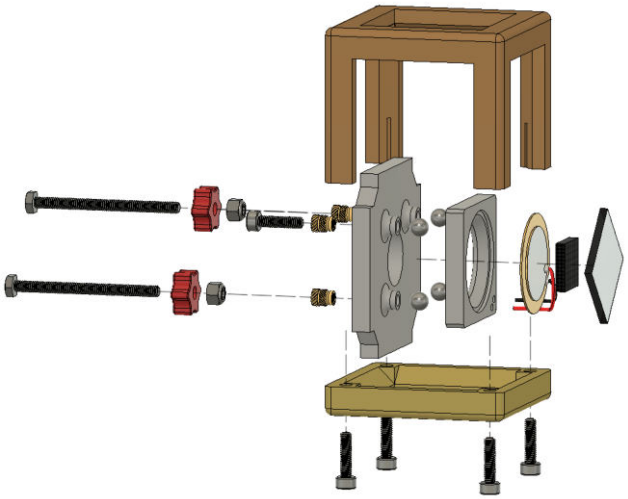


Abb. 3: Explosionsansicht des Piezo-Würfels

I. Stellschraube (2x)

Material

2x 03A_Re_V*_adjusting_screw_head
2x Außensechskantschraube, M3x40
2x Schraubmutter, selbstsichernd, M3

(1) Schieben Sie den `03A_Re_V*_adjusting_screw_head` mit der hexagonalen Öffnung zuerst auf die `Aussensechskant-schraube, M3x40` .

(2) Drehen Sie dann die `Schraubmutter, selbstsichernd, M3` auf die Schraube, sodass sie den roten Schraubenkopf festhält (Abbildung 4).

Hinweis: *Auf den roten Schraubenkopf passen 12mm-Steckschlüsselaufsätze, sodass sich die Mutter auch mit einem Akkuschrauber oder einer Ratsche festziehen lässt.*

(3) Wiederholen Sie diese Schritte nochmal, um eine zweite Stellschraube herzustellen (Abbildung 4).

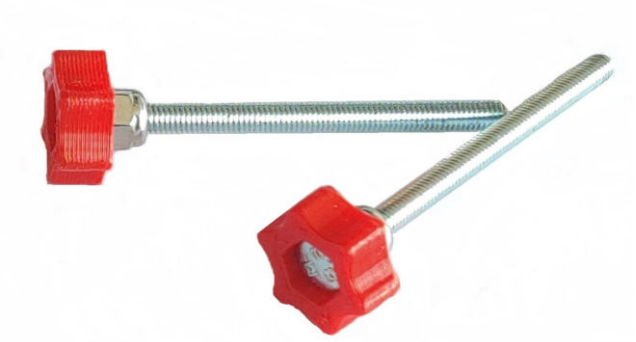


Abb. 4: Fertig zusammengesetzte Schraube

II. Justageplatte

Material

2x Fertige Stellschraube
1x 10A_Si_V*_insert 90°
3x Gewindeeinsatz, M3
1x Inbus-Zylinderkopfschraube, M3x12

(4) Montieren Sie ggf. die Spitze zum Einschmelzen der Gewindeeinsätze am Lötkolben und heizen Sie den Lötkolben auf 220°C.

(5) Platzieren Sie die Gewindeeinsätze, M3 in den vorgesehenen Öffnungen des 10A_Si_V*_insert 90° (Abbildung 5).

(6) Schmelzen Sie die Gewindeeinsätze mit dem Lötkolben vorsichtig in den 90°-Einsatz, sodass die Einsätze bündig mit der Oberfläche sind. Achten Sie darauf die Einsätze möglichst senkrecht einzuschmelzen (Abbildung 5).

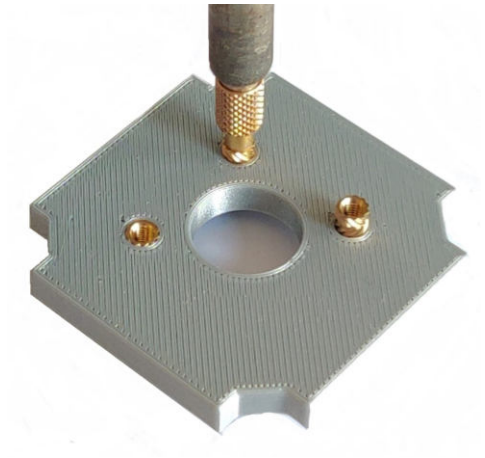


Abb. 5: Einschmelzen der Gewindeeinsätze

(7) Schrauben Sie die Inbus-Zylinderkopfschraube, M3x12 vollständig in den mittleren der drei Gewindeeinsätze (Abbildung 6).

(8) Schrauben Sie die beiden fertigen Stellschrauben soweit in die beiden anderen Gewindeeinsätze, dass Sie auf der anderen Seite etwa soweit heraus gucken, wie die Inbusschraube (Abbildung 6).

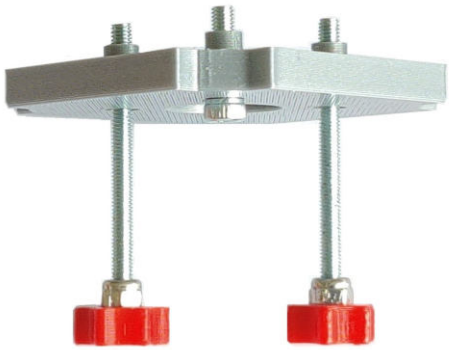


Abb. 6: Fertige Justageplatte

III. Piezoplatte

Material

1x 11D_Si_V*_mirror_plate_piezo
4x Magnetkugeln, ø=5mm
1x Piezoelement
1x Büschelstecker Schwarz
1x Büschelstecker Rot
1x Klebepad (20mm x 20mm)
1x Vorderflächenspiegel (22mm x 22mm)
▷ Sekundenkleber
▷ Zwillingslitze
▷ Schrumpfschlauch
▷ Spiralschlauch

(9) Drücken Sie die vier Magnetkugeln, ø=5mm in die Öffnungen der 11D_Si_V*_mirror_plate_piezo (Abbildung 8).

Achtung: *Die Magnetkugeln müssen dabei so ausgerichtet werden, dass der Nord- oder Südpol senkrecht aus der Platte heraus schaut, damit die Kugeln später gut auf den Stellschrauben halten. Im Idealfall ergibt sich dies automatisch, wenn Sie die Kugeln mit einer ferromagnetischen Rohrzange eindrücken (Abbildung 7).*

Abb. 7: Magnetkugel an einer ferromagnetischen Zange

Abb. 8: In die Platte eingedrückte Magnetkugeln

(10) Ziehen Sie ein Stück Schrumpfschlauch soweit wie möglich über die Kabel hin zum Piezoelement und erhitzen Sie dies vorsichtig mit einem Feuerzeug o. Ä., sodass der Schlauch zusammenschrumpft (Abbildung 9). Der Schrumpfschlauch dient als Zugentlastung.

(11) Ziehen Sie die Enden der Kabel durch jeweils ein Loch der Platte (Abbildung 9).

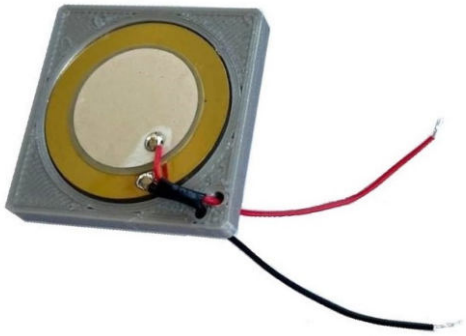


Abb. 9: Kabel durch Piezoplatte

(12) Kleben Sie die Rückseite des Piezoelements mit etwas Sekundenkleber an der Piezoplatte fest.

(13) Nehmen Sie sich ein Stück Zwillingslitze und ziehen Sie die beiden Kabel auf der einen Seite etwas auseinander. Isolieren Sie die Enden ab und ziehen Sie jeweils ein Stück Schrumpfschlauch über jedes Ende.

(14) Montieren Sie die Lötspitze am Lötkolben und heizen Sie diesen auf 350°C.

(15) Löten Sie das schwarze Ende der Zwillingslitze an das schwarze Kabel des Piezoelements (Abbildung 10).

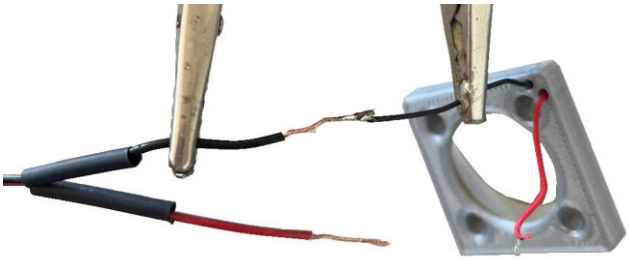


Abb. 10: Schwarze zusammengelötete Kabel

(16) Ziehen Sie den Schrumpfschlauch über die Lötstelle und erhitzen Sie diesen vorsichtig mit einem Feuerzeug o. Ä., sodass dieser vollständig zusammengeschrumpft.

(17) Löten Sie das rote Ende der Zwillingslitze an das rote Kabel des Piezoelements (Abbildung 11).

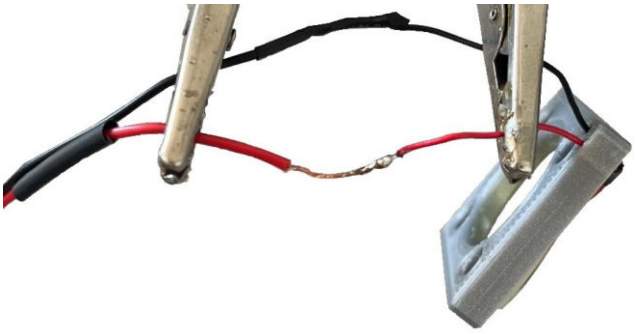


Abb. 11: Rote zusammengelötete Kabel

(18) Ziehen Sie den Schrumpfschlauch über die Lötstelle und erhitzen Sie diesen vorsichtig mit einem Feuerzeug o. Ä., sodass dieser vollständig zusammengeschrumpft.

(19) Ziehen Sie zwei dicke Stücke Schrumpfschlauch über die Zwillingslitze (Abbildung 12).

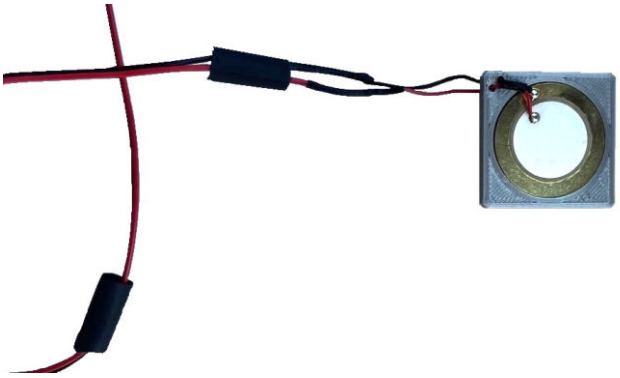


Abb. 12: Schrumpfschläuche über Kabel

(20) Ziehen Sie am Ende der Zwillingslitze die beiden Kabel etwas auseinander und isolieren Sie die Enden ab.

(21) Ziehen Sie die Kappe des Büschelstecker schwarz ab und ziehen Sie diesen über das schwarze Ende der Zwillingslitze.

Hinweis: *Achten Sie auf die korrekte Ausrichtung, sodass sich der Stecker nach dem Löten wieder zusammenschieben lässt.*

(22) Löten Sie das schwarze Kabel an den Stecker (Abbildung 13).

Abb. 13: Löten des schwarzen Kabels an den schwarzen Stecker

(23) Wiederholen Sie die Schritte mit dem roten Kabel und dem Büschelstecker rot (Abbildung 14).

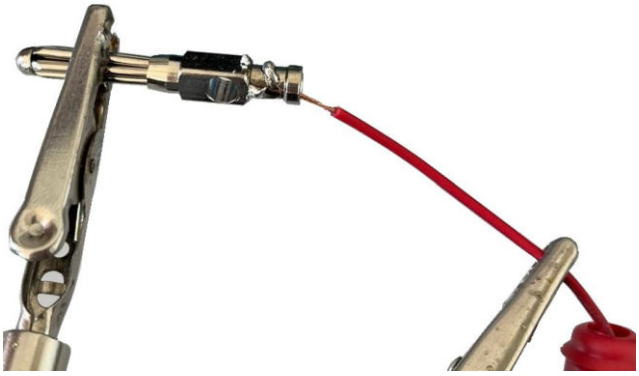


Abb. 14: Löten des roten Kabels an den roten Stecker

(24) Ziehen Sie jeweils die Kappen über die zusammengelöteten Stecker (Abbildung 15).

Abb. 15: Fertige Stecker

(25) Wickeln Sie jeweils ein passendes Stück Spiralschlauch um die beiden Kabel bis zur Gabelung (Abbildung 16).

Abb. 16: Fertig Stecker mit Spiralschlauch

(26) Wickeln Sie ein weiteres Stück Spiralschlauch um den Rest des Kabels, stecken die Enden jeweils in das Stück Schrumpfschlauch und erhitzen Sie diese anschließend vorsichtig mit einem Feuerzeug o. Ä., bis sie vollständig zusammengeschrumpft sind (Abbildung 17).

Abb. 17: Fertig zusammengelötetes Piezoelement

(27) Kleben Sie das Klebepad ~ 20mm x 20mm mittig auf das Piezoelement und anschließend den Vorderflächenspiegel 22mm x 22mm mittig und versetzt auf das Klebepad (Abbildung 18).
Hinweis: *Bei den neueren Chargen des Spiegels, sind beide Schutzfolien (vorne und hinten) farblos, deshalb muss die Vorderseite anders identifiziert werden. Bei genauem Hinschauen ist gut erkennbar, dass nur auf einer Seite der Glasscheibe eine reflektierende Schicht aufgebracht ist. Die Seite mit dieser Schicht ist die Vorderseite und muss nach oben schauen.*

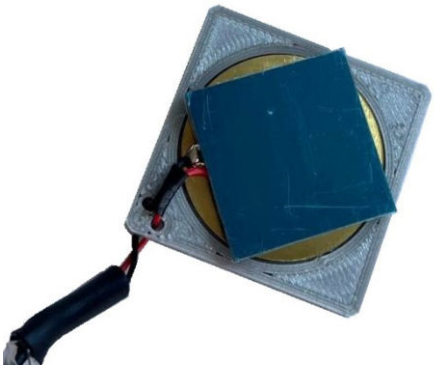


Abb. 18: Auf das Piezoelement aufgeklebte Spiegelplatte

(28) Entfernen Sie anschließend (ggf. mit einer Pinzette) die blaue Schutzfolie vom Spiegel.

Hinweis: *Bei dem Spiegel handelt es sich um einen Vorderflächenspiegel. Die reflektierende Fläche befindet sich also vor der Glasscheibe und nicht wie bei Haushaltsspiegeln üblich hinter der Glasplatte. Die Glasplatte ist dazu mit einer metallischen Schicht und darüber mit einer dünnen Schutzschicht bedampft. Trotz der Schutzschicht lassen sich die Spiegel nicht so gut reinigen wie gewöhnliche Haushaltsspiegel.*

IV. Zusammensetzen

Material

- ▷ Fertige Justageplatte
- ▷ Fertiges Piezoelement
- 1x 01A_Go_V*_cube_base 1x1
- 1x 02A_Br_V*_cube_cover 1x1
- 4x Inbus-Zylinderkopfschraube, M3x12

(29) Setzen Sie die fertige Justageplatte in den 02A_Br_V*_cube_cover 1x1 (Abbildung 19). Achten Sie auf die Ausrichtung, damit später alle Justagemechanismen gleich ausgerichtet sind.

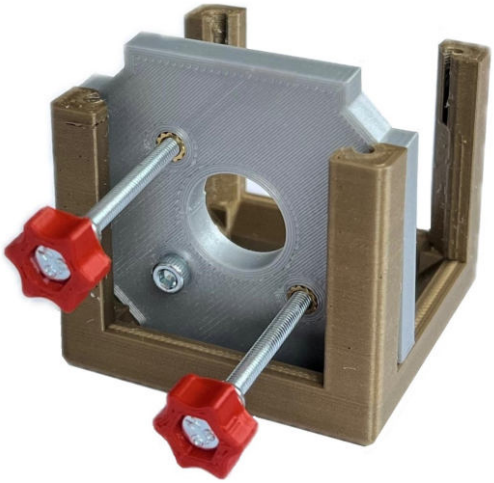


Abb. 19: In den Würfeldeckel eingesetzte Justageplatte

(30) Ziehen Sie das Kabel des fertigen Piezoelements von innen nach außen zu den Schrauben hin durch das Loch in der Justageplatte. Setzen Sie dabei die Platte mit dem Piezoelement auf die Schrauben der Justageplatte (Abbildung 20).

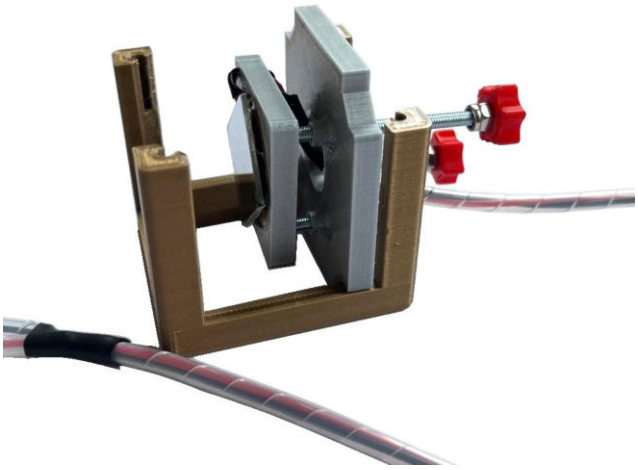


Abb. 20: Justageplatte mit Piezoelement im Würfeldeckel

(31) Setzen Sie den 01A_Go_V*_cube_base 1x1 oben auf den Würfeldeckel und befestigen Sie diesen mit den vier Inbus-Zylinderkopfschrauben, M3x12 (Abbildung 21).

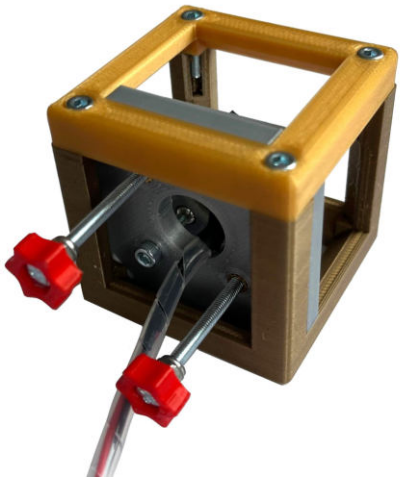


Abb. 21: Zusammengeschraubter Würfel

Gitterhalter

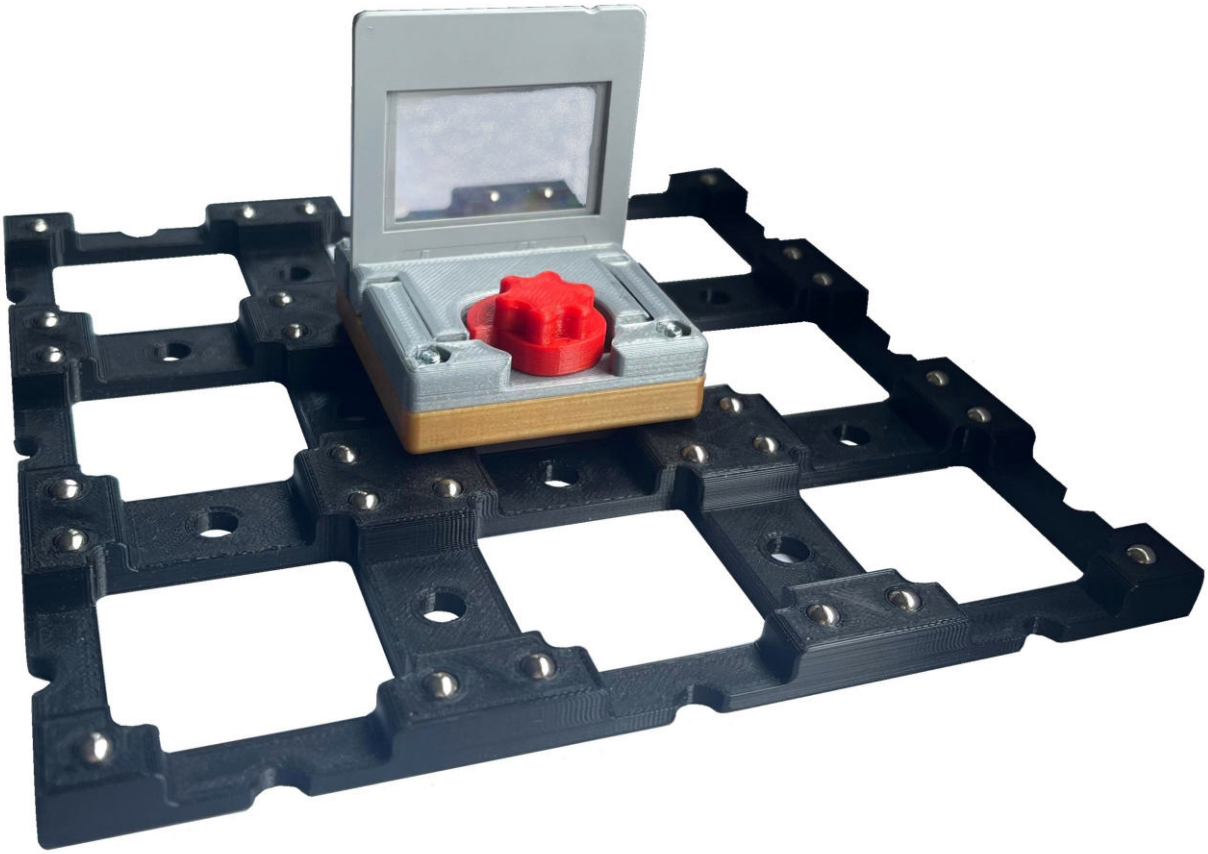


Abb. 1: Gitterhalter

Einleitung

Im Gitterhalter-Modul kann mit Hilfe des roten Drehknopfes ein Gitter in dem dafür vorgesehenen Spalt eingeklemmt werden, sodass bspw. Experimente mit optischen Gittern mit dem Modulkasten durchgeführt werden können (Abbildung 1).

Experimente

▷ Experimente mit Gittern und Spalten

Material & Werkzeug

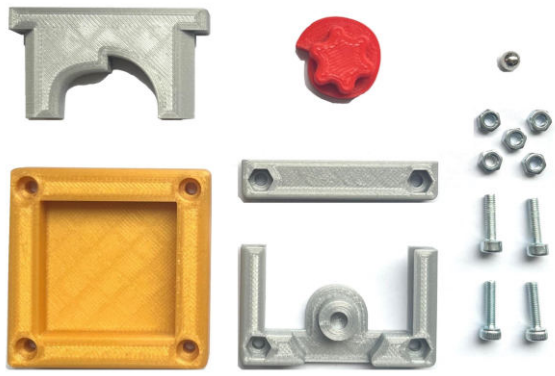


Abb. 2: Benötigtes Material

3D-Druck

1x 01B_Go_V*_cube_base 1x1_closed
1x 05A_Si_V*_grid_holder_frame
1x 05A_Si_V*_grid_holder_stopper
1x 05A_Si_V*_grid_holder_sledge
1x 05A_Re_V*_grid_holder_rotary_button

Weitere Komponenten

1x Magnetkugeln, ø=5mm
4x Inbus-Zylinderkopfschraube, M3x12
5x Mutter, M3
▷ Sekundenkleber

Benötigtes Werkzeug

▷ Inbusschlüssel - 2,5 mm

Gitterhalter Explosion

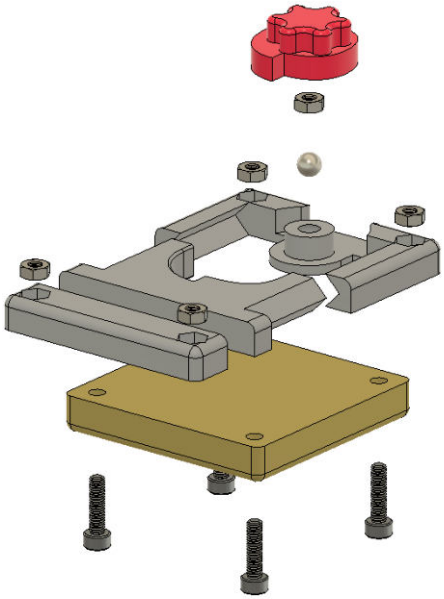


Abb. 3: Explosionsansicht des Gitterhalters

I. Gitterhalter Zusammensetzen

Material

1x 01B_Go_V*_cube_base 1x1_closed
1x 05A_Si_V*_grid_holder_frame
1x 05A_Si_V*_grid_holder_stopper
1x 05A_Si_V*_grid_holder_sledge
1x Magnetkugeln, ø=5mm
4x Mutter, M3
4x Inbus-Zylinderkopfschraube, M3x12

(1) Drücken Sie die Magentkugel, ø=5mm in den 05A_Si_V*_grid_holder_frame (Abbildung 4).

Abb. 4: In den Gitterhalter-Rahmen eingedrückte Magnetkugel

(2) Legen Sie den Rahmen auf den 01B_Go_V*_cube_base 1x1_closed und drücken Sie jeweils eine Mutter, M3 in die dafür vorgesehenen Öffnungen (Abbildung 5).

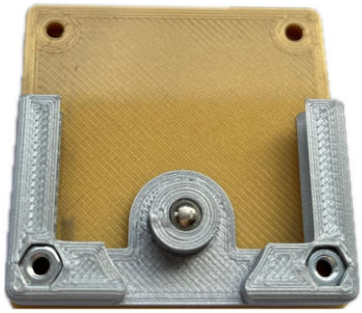


Abb. 5: Rahmen auf dem Würfelboden

(3) Schrauben Sie mit 2 Inbus-Zylinderkopfschrauben, M3x12 den Rahmen von unten am Boden fest (Abbildung 6).

Tipp: *Achten Sie darauf, dass die Schraubenmuttern beim Anschrauben nicht aus den Öffnungen fallen. Halten Sie z.B. beim Umdrehen des Gitterhalters die Öffnungen mit einem Finger zu.*

Abb. 6: An den Würfelboden angeschraubter Rahmen

(4) Legen Sie den 05A_Si_V*_grid_holder_sledge mit der geraden Seite nach oben auf den Würfelboden (Abbildung 7).

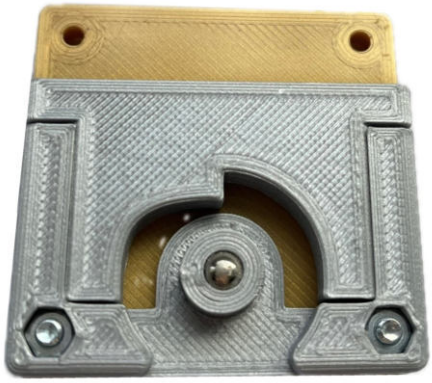


Abb. 7: Schlitten auf dem Würfelboden

(5) Legen Sie jeweils in die vorgesehenen Öffnungen des 05A_Si_V*_grid_holder_stopper eine Schraubenmutter (Abbildung 8).

Abb. 8: In den Stopper eingelegte Schraubenmuttern

(6) Legen Sie den Stopper auf den Würfelboden (Abbildung 9).

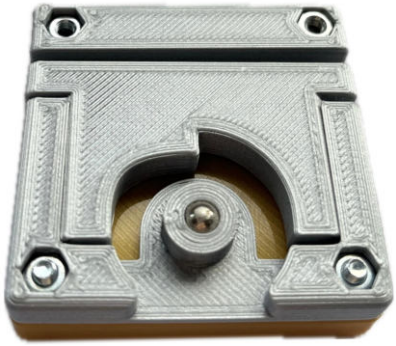


Abb. 9: Stopper auf Würfelboden

(7) Schrauben Sie den Stopper mit zwei Inbus-Zylinderkopfschrauben, M3x12 auf dem Würfelboden fest (Abbildung 10).

Tipp: *Achten Sie darauf, dass die Schraubenmuttern beim Anschrauben nicht aus den Öffnungen fallen. Halten Sie z.B. beim Umdrehen des Gitterhalters die Öffnungen mit einem Finger zu.*

Abb. 10: Festgeschraubter Stopper

II. Letzte Schritte

Material

1x Zusammengesetzter Rahmen
1x 05A_Re_V*_grid_holder_rotary_button
1x Mutter, M3
1x Sekundenkleber

(8) Kleben Sie mit Hilfe von Sekundenkleber in die Rückseite des 05A_Re_V*_grid_holder_rotary_button eine Mutter, M3 (Abbildung 11). Damit kann der Drehknopf leicht auf der Magnetkugel fixiert werden.

Abb. 11: In den Drehknopf eingeklebte Mutter

(9) Setzen Sie den Drehknopf auf die Magnetkugel im zusammengesetzten Rahmen (Abbildung 12).

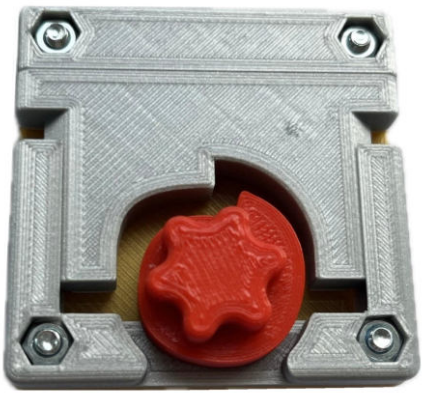


Abb. 12: Fertiger Gitterhalter

Schirme & Co.

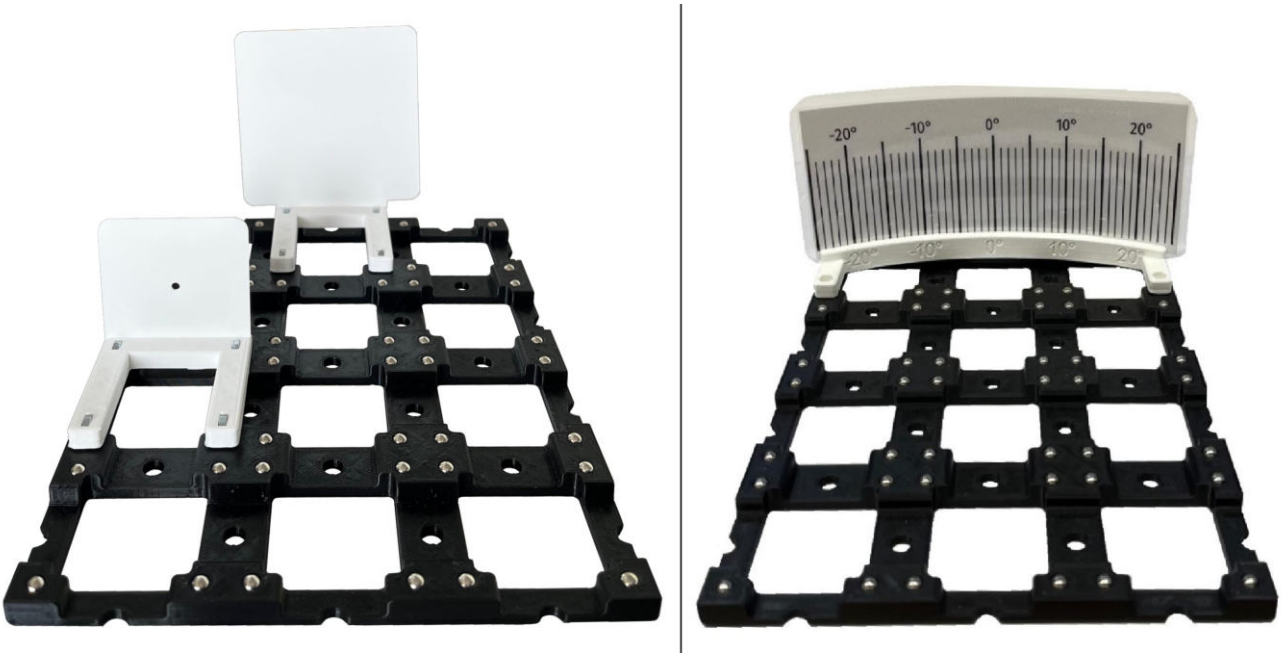


Abb. 1: Schirm und Lochblende (links), Winkelskala (rechts)

Einleitung

In diesem Modul wird ein Schirm o.Ä. etwa senkrecht zum Gitter gehalten (Abbildung 1). Auf dem Schirm kann bspw. bei der Justage des Michelson-Interferometers das Interferenzmuster beobachtet werden. Mit Hilfe der Lochblende kann der Strahlengang eines Lasers präziser eingestellt werden. Dies ist bspw. bei der Justage des Mach-Zehnder-Interferometers hilfreich.

Experimente

- ▷ Michelson-Interferometer - 1 Schirm
- ▷ Michelson-Interferometer mit Piezoelement - 1 Schirm
- ▷ Mach-Zehnder-Interferometer - 2 Schirme, 1 Lochblende
- ▷ Gitter & Spalte - 1 Schirm, 1 Lochblende
- ▷ Polarisation - 2 Schirme, 1 Lochblende, 1 Winkelskala
- ▷ BB84-Modellexperiment - 2 Schirme

Material & Werkzeug

Abb. 2: Benötigtes Material für den Schirm

Abb. 3: Benötigtes Material für die Lochblende

Abb. 4: Benötigtes Material für die Winkelskala

3D-Druck
Schirm:
1x 04A_Wh_V*_base

1x 04B_Wh_V*_screen

Lochblende:
1x 04A_Wh_V*_base

1x 04C_Wh_V*_pinhole

Winkelskala:
1x 04D_Wh_V*_scalefoot

Weitere Komponenten
Schirm:
4x Mutter, M3

Lochblende:
4x Mutter, M3

Winkelskala:
1x Winkelskala

Benötigtes Werkzeug
▷ Rohrzange

▷ Laminiergerät

Explosionsansicht

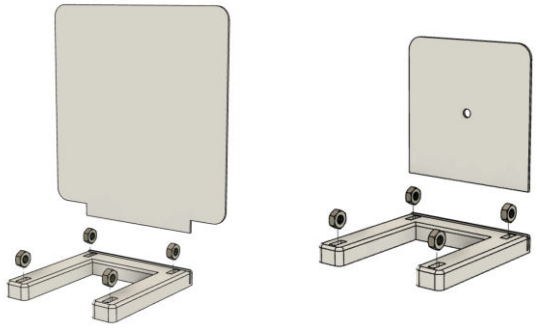


Abb. 5: Explosionsansicht des Schirms (links) bzw. der Lochblende (rechts)

I. Schirm

Material
1x 04A_Wh_V*_base

1x 04B_Wh_V*_screen

4x Mutter, M3

(1) Drücken Sie die vier `Muttern, M3` in die dafür vorgesehenen Öffnungen der `04A_Wh_V*_base` (s. Abbildung 6).

Tipp: *Benutzen Sie zum Eindrücken der Muttern ggf. die Rohrzange.*

Abb. 6: Muttern in der Basis

(2) Schieben Sie seitlich den `04B_Wh_V*_screen` in die Basis (Abbildung 7).

Abb. 7: Fertig zusammengesetzter Schirm

II. Lochblende

Material
1x 04A_Wh_V*_base

1x 04C_Wh_V*_pinhole

4x Mutter, M3

(1) Drücken Sie die `Mutter, M3` in die dafür vorgesehenen Öffnungen der `04A_Wh_V*_base` (Abbildung 8).

Tipp: *Benutzen Sie zum Eindrücken der Muttern ggf. die Rohrzange.*

Abb. 8: Muttern in der Basis

(2) Schieben Sie seitlich die 04C_Wh_V*_pinhole in die Basis (Abbildung 9).

Abb. 9: Fertig zusammengesetzte Lochblende

III. Winkelskala

Material

1x 04A_Wh_V*_scalefoot

1x Winkelskala

(1) Laminieren Sie die Winkelskala und schieben Sie diese seitlich in die 04A_Wh_V*_scalefoot .

Polfilter BB84

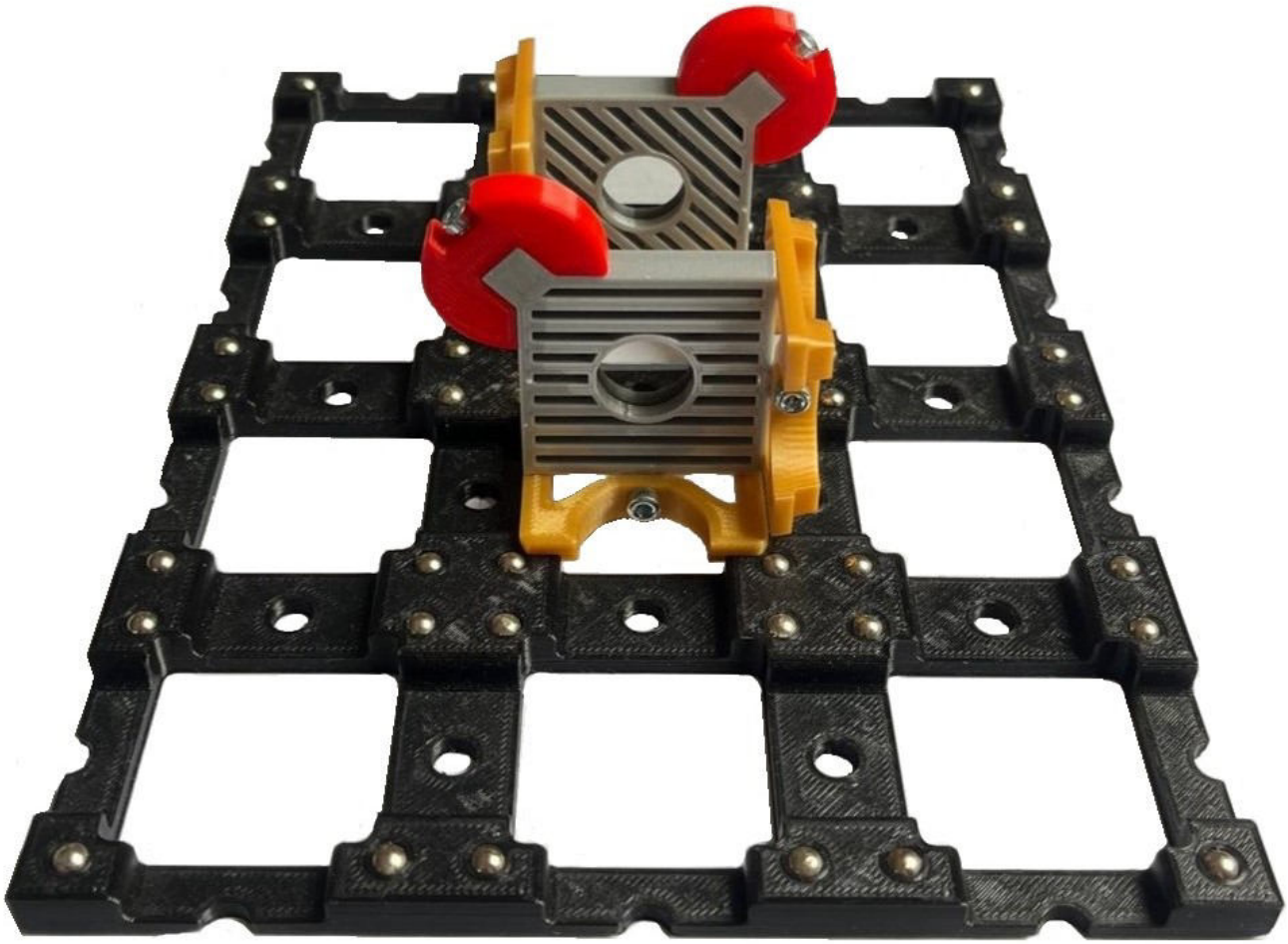


Abb. 1: Polfilter-Paar für das BB84-Experiment

Einleitung

Im diesem Modul werden zwei Polfilter senkrecht zum Gitter um 45° zueinander verdreht gehalten. Diese können am roten Griff um 90° gedreht werden. Dies ist für das BB84-Modellexperiment notwendig.

Experimente

▷ BB84-Modellexperiment - 1 Paar

Material & Werkzeug

Abb. 2: Benötigtes Material

3D-Druck

4x 01E_Go_V*_basic_polarising_filter_base
2x 06A_Si_V*_basic_polarising_filter_filter_cover
1x 06B_Si_+basic_polarising_filter_centre
1x 06C_Si_xbasic_polarising_filter_centre
2x 06A_Re_basic_polarising_filter_handle

Weitere Komponenten

6x Gewindeeinsatz, M3
6x Inbus-Zylinderkopfschraube, M3x12
2x Polfilterfolie 17 mm x 17 mm

Benötigtes Werkzeug

▷ Inbusschlüssel - 2,5 mm

Explosionsansicht

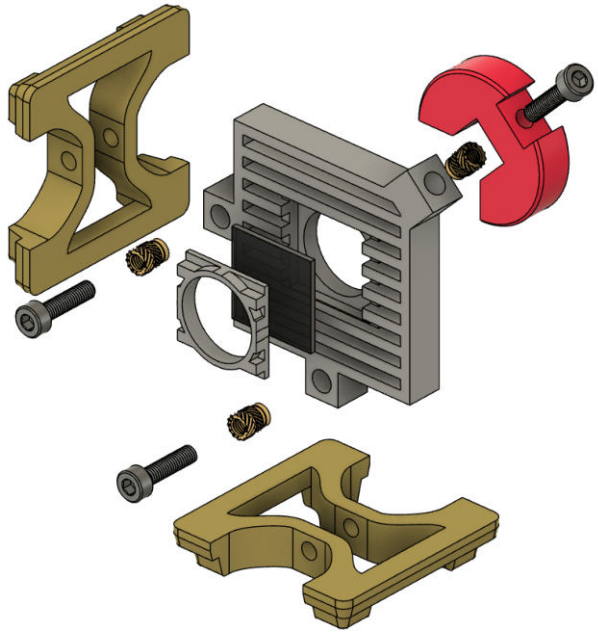


Abb. 3: Explosionsansicht des Polfilters

I. Polfilter-Halterung

Material

2x 06A_Si_V1_Basic polarising filter_Filter cover
1x 06C_Si_xBasic polarising filter_Centre
1x 06C_Si_+Basic polarising filter_Centre
6x Gewindeeinsatz, M3
2x Polfilterfolie 17 mm x 17 mm

(1) Montieren Sie ggf. die Spitze zum Einschmelzen der Gewindeeinsätze am Lötkolben und heizen Sie den Lötkolben auf 220°C.

(2) Schmelzen Sie zwei der Gewindeeinsätze, M3 mit dem Lötkolben in die flache Seite des 06C_Si_xBasic polarising filter_Centre (Abbildung 4).

Abb. 4: Korrekt positionierte Gewindeeinsätze

(3) Schmelzen Sie den dritten Gewindeeinsatz, M3 in die dafür vorgesehene Öffnung an der Seite des X-Basispolfilters (Abbildung 5).

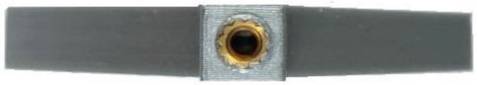


Abb. 5: Korrekt eingeschmolzener Gewindeeinsatz

Abb. 6: Fertig eingeschmolzene Gewindeeinsätze

(4) Ziehen Sie die Folie von der Polfilterfolie 17 mm x 17 mm und legen Sie diese in die Öffnung des X-Basispolfilters (Abbildung 7).

Abb. 7: In die Halterung eingelegte Polfilterfolie

Hinweis: *Achten Sie darauf, dass die Polfilterfolie richtig ausgerichtet ist. Bestimmen Sie dazu zunächst die Ausrichtung der Polarisationsfolie. Nutzen Sie dafür den Effekt des Brewsterwinkels, z.B. an einer Glasplatte (Smartphone) wie in Abbildung 8 gezeigt. Halten Sie die Folie vor das reflektierte polarisierte Licht. Die Ausrichtung der Polarisations-*

folie beträgt 0°, wenn das reflektierte Licht absorbiert wird. Die Ausrichtung der Polfilterhalterung hilft Ihnen dabei: Bei vertikaler Ausrichtung der Schlitze in der Halterung sollte das reflektierte Licht absorbiert, bei horizontaler Ausrichtung transmittiert werden (Abbildung 8).

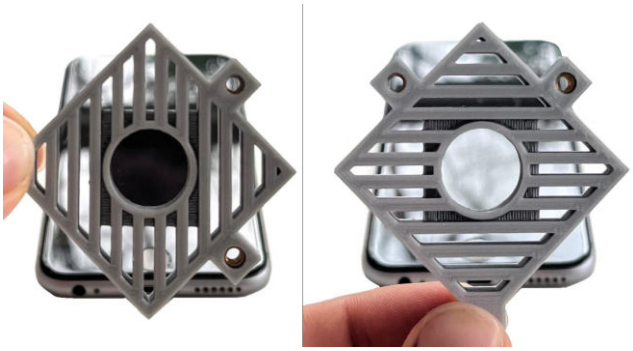


Abb. 8: Polarisation an einer Glasplatte (Brewsterwinkel): links wird das reflektierte Licht absorbiert, rechts transmittiert.

(5) Drücken Sie die 06A_Si_V1_Basic polarising filter_Filter cover über den eingesetzten Polfilter mit den vorgesehenen Öffnungen in die Halterung (Abbildung 9).

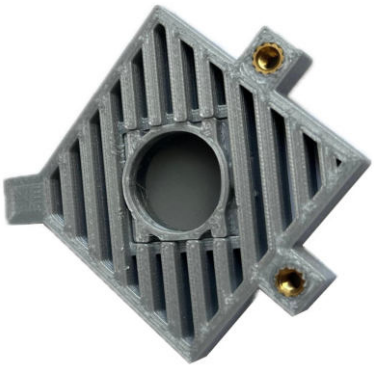


Abb. 9: Filterabdeckung in die Halterung eingedrückt

(6) Wiederholen Sie die Schritte mit der 06C_Si_+Basic polarising filter_Centre .

Hinweis: *Achten Sie darauf, dass die Polfilterfolie richtig ausgerichtet ist. Bestimmen Sie dazu zunächst die Ausrichtung der Polarisationsfolie. Nutzen Sie dafür den Effekt des Brewsterwinkels, z.B. an einer Glasplatte (Smartphone) wie in Abbildung 8 gezeigt. Halten Sie die Folie vor das reflektierte polarisierte Licht. Die Ausrichtung der Polarisationsfolie beträgt 0°, wenn das reflektierte Licht absorbiert wird. Die Ausrichtung der Polfilterhalterung hilft Ihnen dabei: Bei vertikaler Ausrichtung der Schlitze der Halterung sollte das reflektierte Licht absorbiert, bei horizontaler Ausrichtung transmittiert werden (Abbildung 10).*

Abb. 10: Polarisation an einer Glasplatte (Brewsterwinkel): links wird das reflektierte Licht absorbiert, rechts transmittiert.

II. Zusammensetzen

Material

1x Fertige X-Basispolfilterhalterung
1x Fertige +-Basispolfilterhalterung
2x 06A_Re_Basic polarising filter_Handle
4x 01E_Go_V1_Basic polarising filter_Base
6x Inbus-Zylinderkopfschraube, M3x12

(1) Setzen Sie einen 01E_Go_V1_Basic polarising filter_Base an eine Seite der Fertigen X-Basispolfilterhalterung sodass die Kanten aufeinander liegen, und befestigen Sie diesen mit einer Inbus-Zylinderkopfschraube, M3x12 (Abbildung 11).

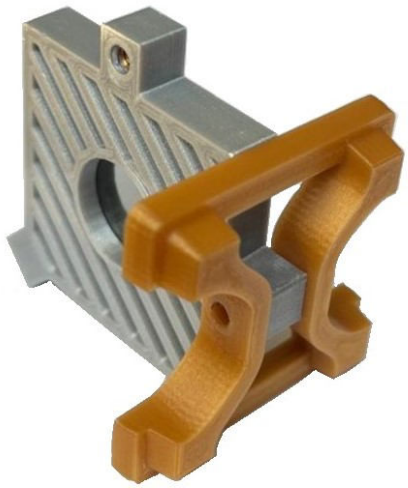


Abb. 11: Korrekt positionierter Boden an der Polfilterhalterung

(2) Wiederholen Sie den vorherigen Schritt mit dem zweiten 01E_Go_V1_Basic polarising filter_Base an der anderen Seite der fertigen Polfilterhalterung (Abbildung 12).

Abb. 12: Korrekt positionierter Boden an der Polfilterhalterung

Abb. 13: Fertig befestigte Böden an der Polfilterhalterung

(3) Setzen Sie den 06A_Re_Basic polarising filter_Handle über die Kante an der Ecke der Polfilterhalterung und befestigen Sie diesen mit einer Inbus-Zylinderkopfschraube, M3x12 (Abbildung 14).

Abb. 14: Fertig zusammengesetzter Polfilter

(4) Wiederholen Sie die Schritte mit der Fertigen +-Basis-polfilterhalterung um den zweiten Polfiter herzustellen (Abbildung 15).

Abb. 15: Fertig zusammengesetzter Polfilter

Koppelpolfilter BB84

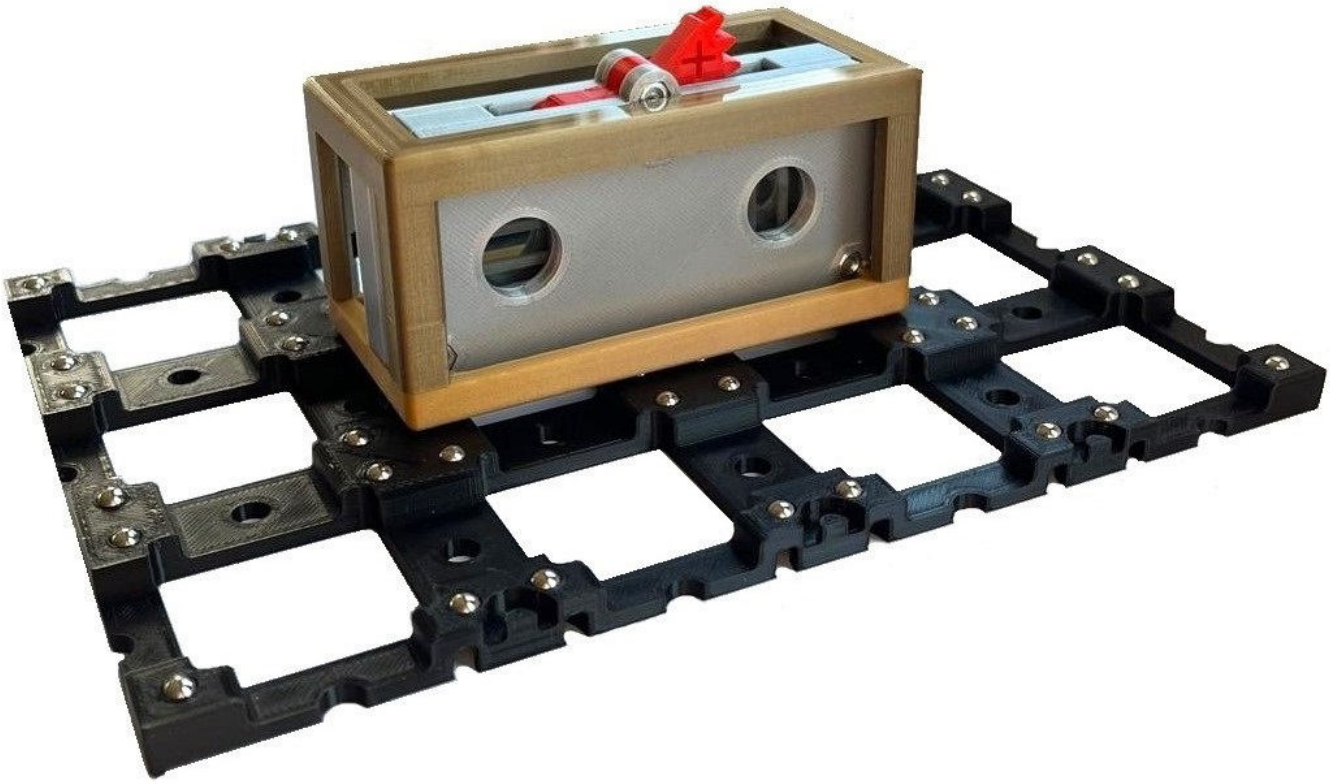


Abb. 1: Koppelpolfilter

Einleitung

Im Koppelpolfilter-Modul werden zwei Polfilter um 45° zueinander versetzt in einem Würfel gehalten und mit einem Schalter miteinander verbunden, sodass diese miteinander gekoppelt gedreht werden können. Dies ist bspw. für das BB84-Modellexperiment notwendig.

Experimente

- ▷ BB84-Modellexperiment - 1 St.

Material & Werkzeug

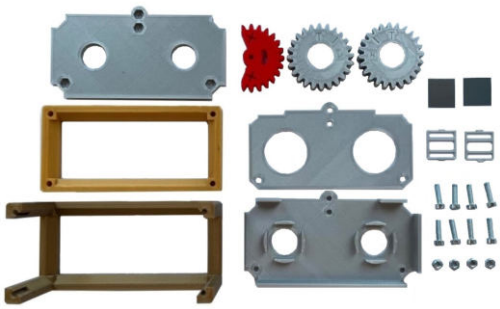


Abb. 2: Benötigtes Material

3D-Druck

1x 01C_Go_V*_cube_base 1x2
1x 02C_Br_V*_cube_cover 1x2
1x 21A_Si_V*_coupling_polarising_filter_frontplate
1x 21A_Si_V*_coupling_polarising_filter_retaining_plate
1x 21A_Si_V*_coupling_polarising_filter_intermediate_plate
1x 21A_Si_V*_coupling_polarising_filter_gearwheel_left
1x 21A_Si_V*_coupling_polarising_filter_gearwheel_right
2x 21A_Si_V*_coupling_polarising_filter_grid_insert
1x 21A_Re_V*_coupling_polarising_filter_switch

Weitere Komponenten

8x Inbus-Zylinderkopfschraube, M3x12
4x Mutter, M3
2x Polfilterfolie (17 mm x 17 mm)

Benötigtes Werkzeug

- ▷ Inbusschlüssel - 2,5 mm
- ▷ Schere / Messer

Explosionsansicht

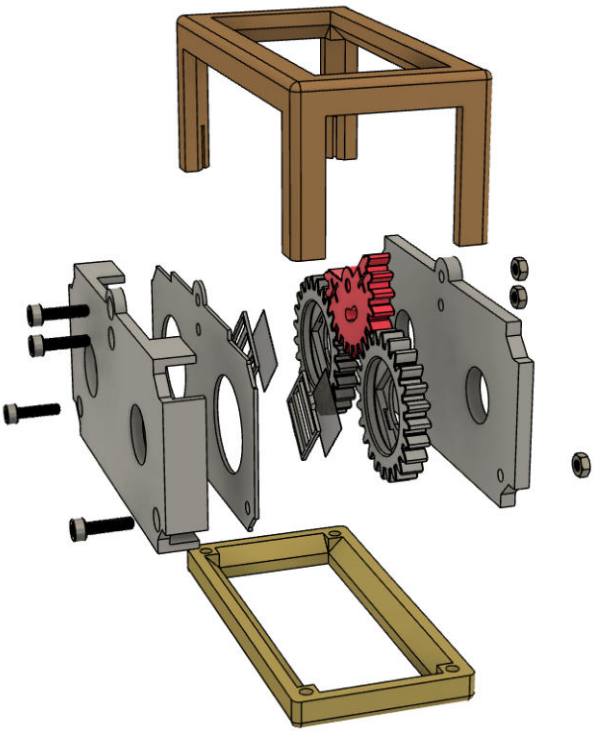


Abb. 3: Explosionsansicht des Koppelpolfilters

I. Koppelpolfilter-Drehräder

Material

1x 21A_Si_V*_coupling_polarising_filter_gearwheel_left
1x 21A_Si_V*_coupling_polarising_filter_gearwheel_right
2x 21A_Si_V*_coupling_polarising_filter_grid_insert
2x Polfilterfolie (17 mm x 17 mm)

(1) Ziehen Sie die Folie von der Polfilterfolie (17 mm x 17 mm) und legen Sie diese von hinten in die vorgesehene Öffnung des 21A_Si_V*_coupling_polarising_filter_gearwheel_left (Abbildung 4).

Abb. 4: In das Rad eingelegte Polfilterfolie

Hinweis: *Achten Sie darauf, dass die Polfilterfolie richtig ausgerichtet ist. Bestimmen Sie dazu zunächst die Ausrichtung der Polarisationsfolie. Nutzen Sie dafür den Effekt des Brewsterwinkels, z.B. an einer Glasplatte (Smartphone) wie in Abbildung 5 gezeigt. Halten Sie die Folie vor das reflektierte polarisierte Licht. Die Ausrichtung der Polarisationsfolie ist korrekt, wenn bei horizontaler Ausrichtung der Streben in der Halterung das reflektierte Licht transmittiert und bei vertikaler Ausrichtung der Streben das Licht absorbiert wird (Abbildung 5).*

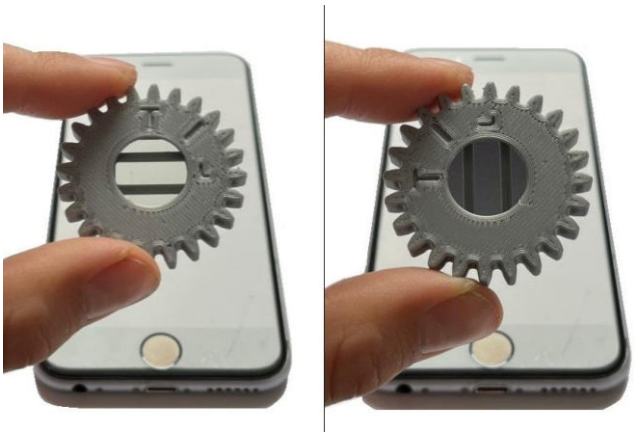


Abb. 5: Polarisation an einer Glasplatte (Brewsterwinkel): links wird das reflektierte Licht transmittiert, rechts absorbiert.

(2) Drücken Sie den 21A_Re_V*_coupling_polarising_filter_grid_insert über den eingesetzten Polfilter mit den vorgesehenen Öffnungen in das Rad (Abbildung 6).

Abb. 6: Korrekt eingesetzter Gittereinsatz

(3) Wiederholen Sie diese Schritte für das 21A_Si_V*_coupling_polarising_filter_gearwheel_right (Abbildung 8).

Hinweis: *Achten Sie darauf, dass die Polfilterfolie richtig ausgerichtet ist. Bestimmen Sie dazu zunächst die Ausrichtung der Polarisationsfolie. Nutzen Sie dafür den Effekt des Brewsterwinkels, z.B. an einer Glasplatte (Smartphone) wie in Abbildung 7 gezeigt. Halten Sie die Folie vor das reflektierte polarisierte Licht. Die Ausrichtung der Polarisationsfolie ist korrekt, wenn bei horizontaler Ausrichtung der Streben in der Halterung das reflektierte*

Licht transmittiert und bei vertikaler Ausrichtung der Streben das Licht absorbiert wird (Abbildung 7).

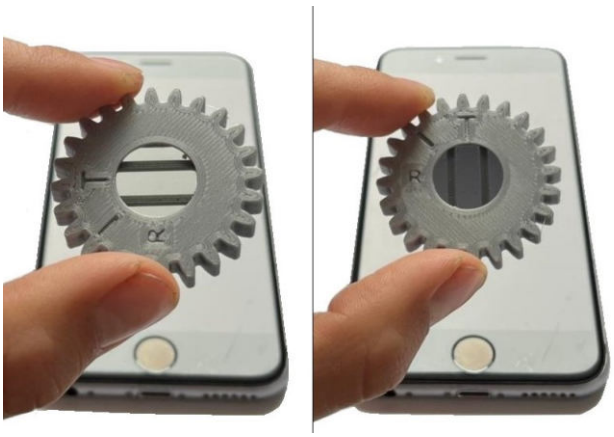


Abb. 7: Polarisation an einer Glasplatte (Brewsterwinkel): links wird das reflektierte Licht transmittiert, rechts absorbiert.

Abb. 8: Fertige Koppelpolfilter-Drehräder

II. Koppelpolfilter-Halterung

Material

2x Fertige Koppelpolfilter-Drehräder
1x 21A_Si_V*_coupling_polarising_filter_frontplate
1x 21A_Si_V*_coupling_polarising_filter_retaining_plate
1x 21A_Si_V*_coupling_polarising_filter_intermediate_plate
1x 21A_Re_V*_coupling_polarising_filter_switch
4x Inbus-Zylinderkopfschraube, M3x12
4x Mutter, M3

(1) Legen Sie die 1A_Si_V*_coupling_polarising_filter_intermediate_plate mit der glatten Seite nach oben auf die 21A_Si_V*_coupling_polarising_filter_retaining_plate (Abbildung 9).

Hinweis: *Achten Sie darauf, dass die glatte Seite der Zwischenplatte von der Halteplatte abgewandt ist, um das spätere Drehen der Koppelpolfilter-Drehräder zu erleichtern.*

Abb. 9: Koppelpolfilter-Zwischenplatte auf der Halteplatte

(2) Schieben Sie vier der Inbus-Zylinderkopfschrauben, M3x12 von hinten in die Halteplatte und die Zwischenplatte durch die dafür vorgesehenen Öffnungen (Abbildung 10).

Abb. 10: Durch die Öffnungen der Halte- und Zwischenplatte durchgeschobene Inbus Zylinderkopfschrauben

(3) Legen Sie anschließend die Fertigen Koppelpolfilter-Drehräder auf die dafür vorgesehenen Halterungen. Platzieren Sie das linke Drehrad (L) links und das rechte Drehrad (R) rechts, sodass die Buchstaben lesbar sind (Abbildung 11).

Hinweis: *Bei korrekt platzierten Rädern ist der obere Strich des T genau waagerecht und die Buchstaben (L und R) sind lesbar.*

Abb. 11: Korrekt platzierte Drehräder

(4) Platzieren Sie den 21A_Re_V*_coupling_polarising_filter_switch auf der Zwischenplatte. Achten Sie darauf den Schalter so zu platzieren, dass sowohl der linke Strich in einer Linie

mit dem Strich auf dem linken Drehrad ist, als auch dass sich der rechte Strich mit dem Strich auf dem rechten Drehrad in einer Linie befindet (Abbildung 12).

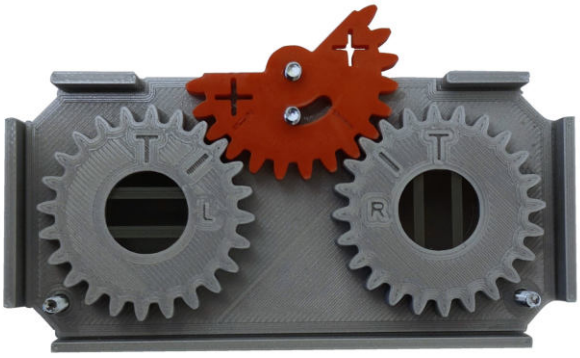


Abb. 12: Korrekt platzierter Schalter

(5) Setzen Sie obenauf die 21A_SI_V*_COUPLING_ POLARISING_ FILTER_FRONTPLATE (Abbildung 13).

Hinweis: *Achten Sie darauf, dass die glatte Seite der Frontplatte zu den Drehrädern hingewandt ist, um das spätere Drehen der Koppelpolfilter-Drehräder zu erleichtern.*

Abb. 13: Aufgesetzte Frontplatte

(6) Legen Sie die vier MUTTERN, M3 in die dafür vorgesehenen Öffnungen und ziehen Sie die Schrauben fest (Abbildung 14).

Hinweis: *Achten Sie darauf, die Schrauben nicht zu festzuziehen, damit sich der Schalter noch gut betätigen lässt.*

Abb. 14: Fertige Koppelpolfilter-Halterung

III. Letzte Schritte

Material

- ▷ Fertige Koppelpolfilter-Halterung
- 1x 01C_Go_V*_cube_base 1x2
- 1x 02C_Br_V*_cube_cover 1x2
- 4x Inbus-Zylinderkopfschraube, M3x12

(1) Setzen Sie die fertige KOPPELPOLFILTER-HALTERUNG in den 01C_GO_V*_CUBE_BASE 1x2 (Abbildung 15).

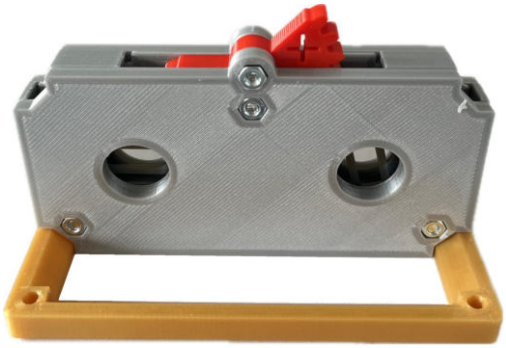


Abb. 15: Koppelpolfilter-Halterung im Würfelboden

(2) Setzen Sie den 02C_BR_V*_CUBE_COVER 1x2 auf den Würfelboden (Abbildung 16).

Abb. 16: Zusammengesetzter Würfel

(3) Drehen Sie den Würfel um und schrauben Sie den Boden mit den INBUS-ZYLINDERKOPFSCHRAUBEN, M3X12 fest (Abbildung 17).

Abb. 17: Fertig geschraubter Würfel

Taster

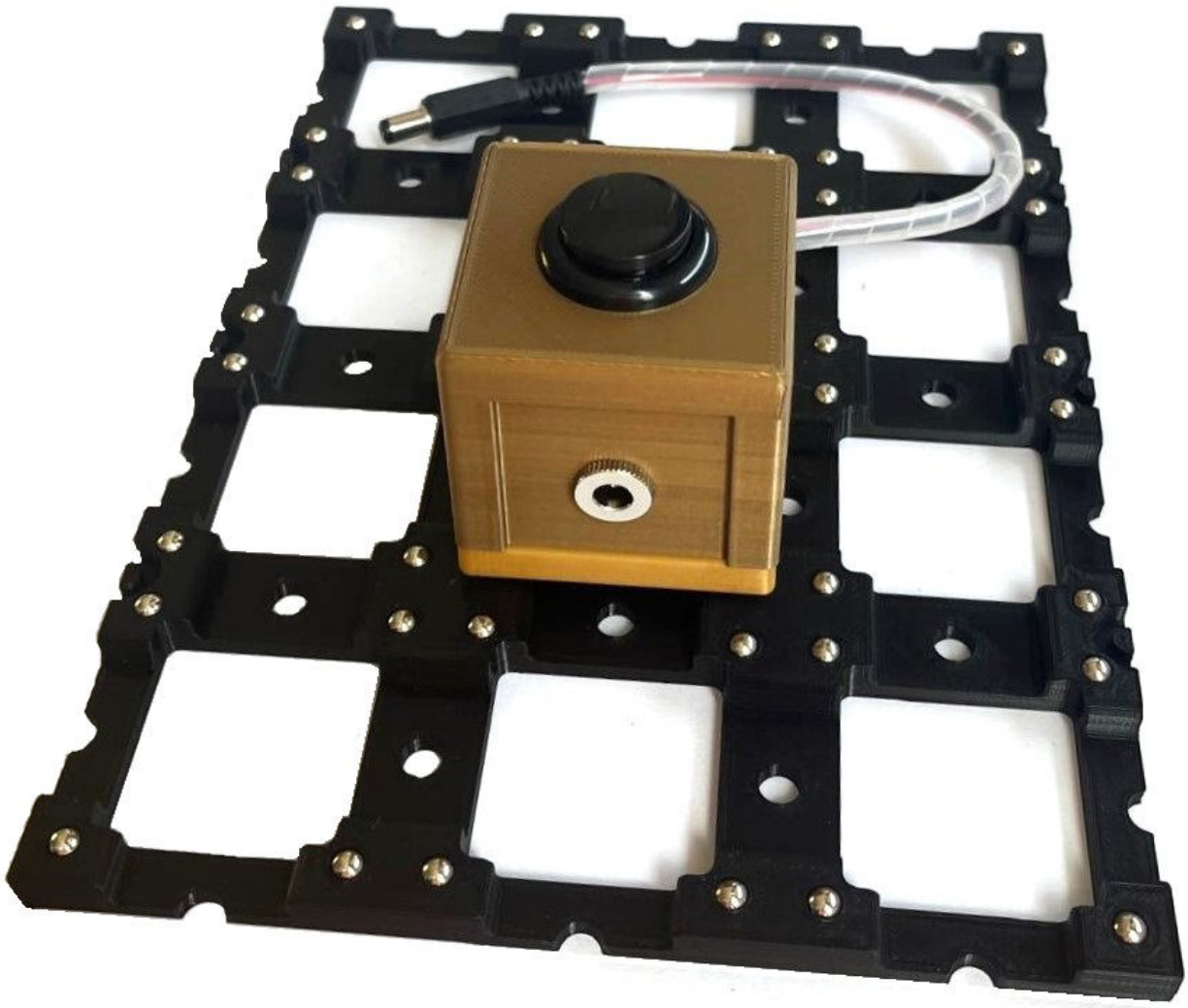


Abb. 1: Taster

Einleitung

Im Taster-Modul kann ein Taster zwischen das Laserdioden- bzw. LED-Modul und das Batteriekasten-Modul geschaltet werden, sodass die Laserdiode bzw. LED nur leuchtet, solange der Taster gedrückt gehalten wird. Dies ist bspw. bei der Durchführung des BB84-Modellexperiments notwendig (Abbildung 1).

Experimente

▷ BB84-Modellexperiment

Material & Werkzeug

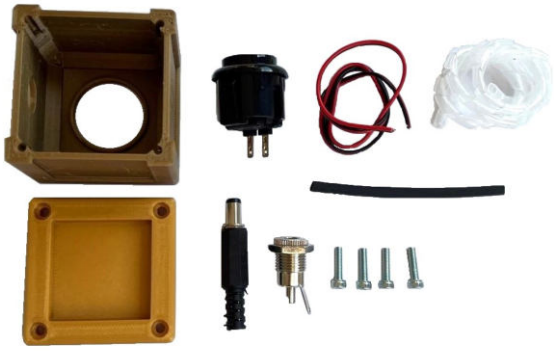


Abb. 2: Benötigtes Material

3D-Druck

1x 01B_Go_V*_cube_base 1x1_closed

1x 02B_Br_V*_cube_cover 1x1_button

Weitere Komponenten

1x Hohlstecker

1x Hohlbuchse

1x Taster

4x Inbus-Zylinderkopfschraube, M3x12

▷ Schrumpfschlauch

▷ Zwillingslitze

▷ Spiralschlauch

▷ Lötzinn

Benötigtes Werkzeug

▷ Inbusschlüssel - 2,5 mm

▷ Lötkolben (+ Spitze für Gewindeeinsätze)

▷ (Rohr-)Zange

Schaltskizze

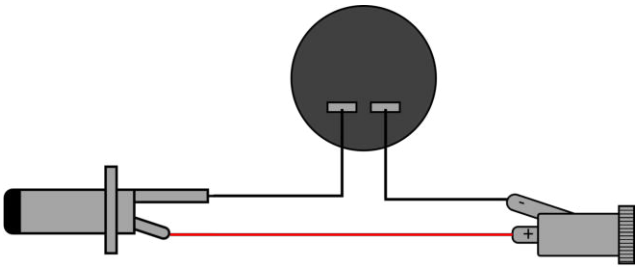


Abb. 3: Schaltskizze des Tasters

I. Hohlbuchse zusammenlöten

Material

1x Hohlbuchse

▷ Zwillingslitze

▷ Schrumpfschlauch

▷ Lötzinn

(1) Nehmen Sie sich ein Stück ZWILLINGSLITZE (ca. 15 cm) und isolieren Sie das eine Ende ab.

(2) Ziehen Sie die beiden Kabel etwas auseinander und ein Stück des SCHRUMPFSCHLAUCHES über das rote Kabel.

(3) Heizen Sie den Lötkolben auf ca. 350°.

(4) Löten Sie das rote Kabel an den Pluspol der HOHLBUCHSE (Abbildung 4).

Hinweis: *Schauen Sie sich den bereitgestellten Schaltplan (Abbildung 3) genau an, bevor Sie mit dem Löten Beginnen.*

Abb. 4: Löten des Kabels an die Hohlbuchse

(5) Ziehen Sie den Schrumpfschlauch über die zusammengelötete Stelle und erhitzen Sie diesen vorsichtig mit dem Feuerzeug o.Ä., sodass dieser zusammenschrumpft (Abbildung 5).

Abb. 5: Fertig zusammengelötete Hohlbuchse

II. Taster

Material

1x Zusammengelötete Hohlbuchse

1x 02B_Br_V*_cube_cover 1x1_button

1x Taster

▷ Lötzinn

(1) Schrauben Sie die ZUSAMMENGELÖTETE HOHLBUCHSE auseinander und ziehen Sie die Mutter vom Kabel ab.

(2) Ziehen Sie die Zwillingslitze von außen nach innen durch das Loch an der Seite des 02B_BR_V*_CUBE_COVER 1X1_BUTTON, sodass die Öffnung der Buchse nach außen zeigt.

(3) Ziehen Sie anschließend die Mutter wieder über die Zwillingslitze und schrauben diese fest, sodass die Hohlbuchse fest in der Öffnung sitzt (Abbildung 6).

(4) Setzen Sie von unten in die Öffnung des Würfeldeckels den TASTER, sodass sich der Druckknopf außerhalb des Würfeldeckels befindet (Abbildung 6).

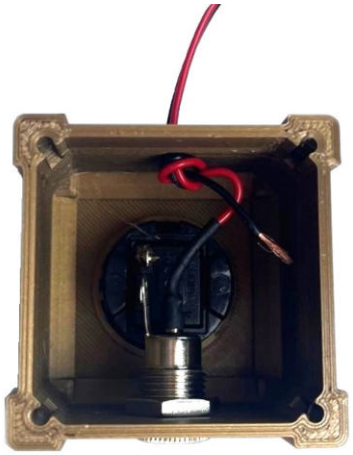


Abb. 6: Korrekt zusammengesetzter Taster

(5) Ziehen Sie danach die Zwillingslitze durch die Öffnung auf der gegenüberliegenden Seite des Würfeldeckels (Abbildung 6).

Hinweis: *Verknoten Sie das Kabel vor dem Hindurchziehen, dies dient der Zugentlastung.*

(6) Löten Sie das schwarze Kabel an den Pluspol des Tasters (Abbildung 7).

Hinweis: *Bei Unsicherheiten schauen Sie in den Schaltplan (Abbildung 3)*

Abb. 7: An den Taster gelötetes Kabel.

(7) Löten Sie den Minuspol der Hohlbuchse an den Minuspol des Tasters (Abbildung 8).

Hinweis: *Bei Unsicherheiten schauen Sie in den Schaltplan (Abbildung 3)*

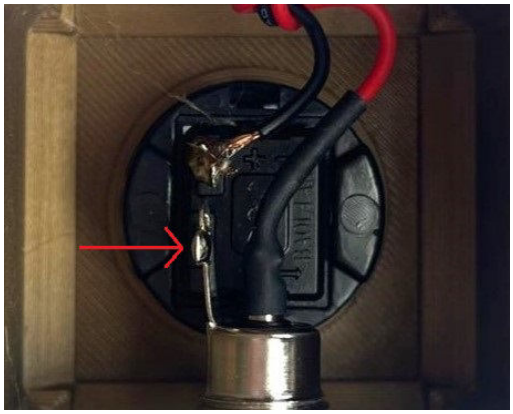


Abb. 8: An den Taster gelötete Hohlbuchse.

III. Hohlstecker anlöten

Material

1x Zusammengelöteter Taster

1x Hohlstecker

▷ Schrumpfschlauch

▷ Lötzinn

(1) Schrauben Sie den HOHLSTECKER auf und ziehen Sie die Hülle über das andere Ende des Kabels. Isolieren Sie auch dieses ab und ziehen Sie die Kabel etwas auseinander.

(2) Ziehen Sie ein Stück SCHRUMPFSCHLAUCH über das rote Kabel. Löten Sie nun das rote Kabel an den kurzen Teil des Steckers (Abbildung 9).

Hinweis: *Eine Klammer zum Einspannen der Kabel kann zum Löten hilfreich sein. Achten Sie zudem darauf, den Schrumpfschlauch vor dem Löten möglichst weit von der Lötstelle wegzuschieben, sodass verhindert wird, dass dieser während des Lötens nicht zusammenschrumpft.*

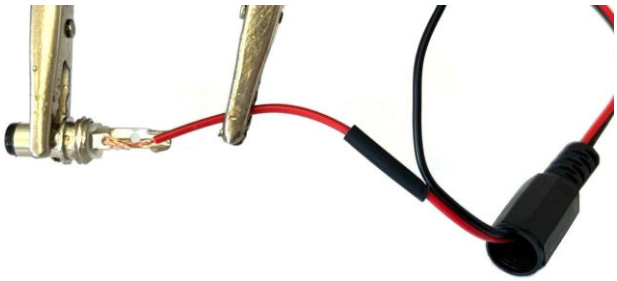


Abb. 9: Löten des Hohlsteckers an das Kabel

(3) Ziehen Sie den Schrumpfschlauch über die Lötstelle und erwärmen Sie diesen vorsichtig mit einem Feuerzeug o.Ä., sodass er zusammenschrumpft und die Lötstelle vollständig umschließt.

(4) Löten Sie das schwarze Ende des Kabels an den langen Teil des Steckers. Ziehen Sie dazu das abisolierte Stück durch das Loch am Stecker und klappen Sie es etwas um, sodass sich der Lötzinn mit den Materialien verbinden kann (Abbildung 10).

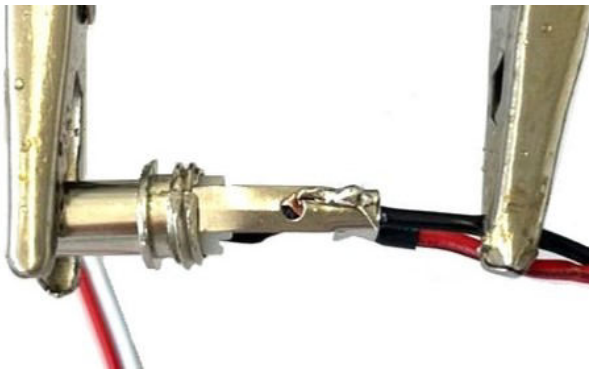


Abb. 10: Löten des Steckers an das Kabel

(5) Drücken Sie die Kabel und anschließend die Halterung des Steckers vorsichtig etwas zusammen (Abbildung 11).

Abb. 11: Fertig zusammengelöteter Stecker

(6) Ziehen Sie nun die schwarze Kappe über den Stecker und schrauben Sie diesen fest (Abbildung 12).

Abb. 12: Fertiger Stecker

Abb. 13: Fertig zusammengelöteter Taster

IV. Letzte Schritte

Material

1x Zusammengelöteter Taster
1x 01B_Go_V*_cube_base 1x1_closed
4x Inbus-Zylinderkopfschraube, M3x12
▷ Spiralschlauch

(1) Wickeln Sie den Spiralschauch um das Kabel (Abbildung 14).

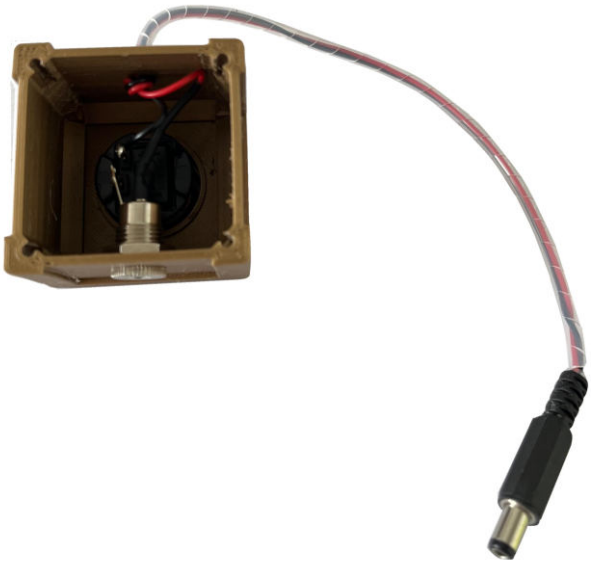


Abb. 14: Spiralschlauch um Kabel

(2) Legen Sie den 01B_Go_V*_cube_base 1x1_closed auf den zusammengelöteten Taster und befestigen Sie diesen mit den vier Inbus-Zylinderkopfschraube, M3x12 (Abbildung 15).

Abb. 15: Zusammengeschraubter Taster

Lichtsensor

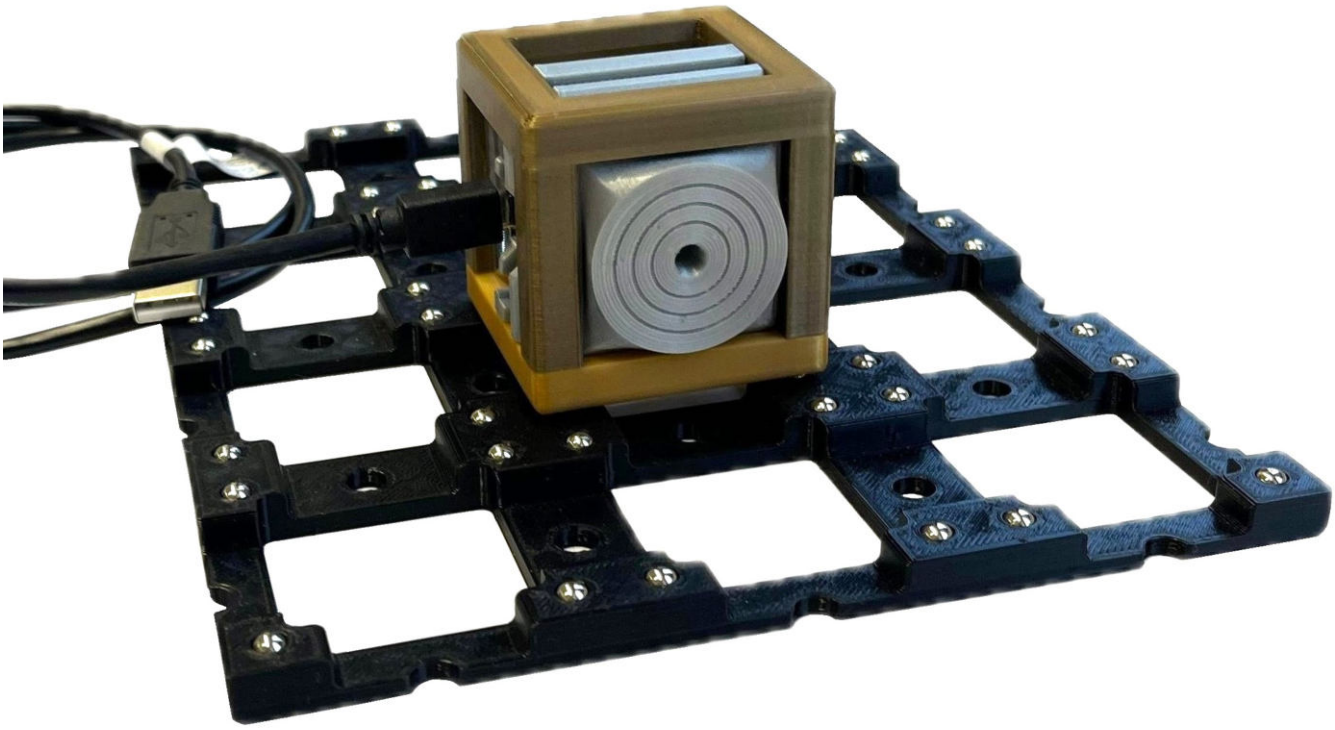


Abb. 1: Lichtsensor

Einleitung

Im Lichtsensor-Modul wird ein lichtempfindlicher Sensor genutzt, um die Intensität von einfallendem Licht zu messen und auszuwerten. Das Modul besteht aus einem BH1750-Lichtsensor, der in Verbindung mit einem ESP32-Mikrocontroller betrieben wird. Durch die präzise Erfassung von Lichtstärken eignet sich dieses Modul für eine Vielzahl physikalischer Experimente, darunter Untersuchungen zur Lichtabsorption, Reflexion und Dämpfung (Abbildung 1).

Experimente

- ▷ Gesetz von Malus

Material & Werkzeug

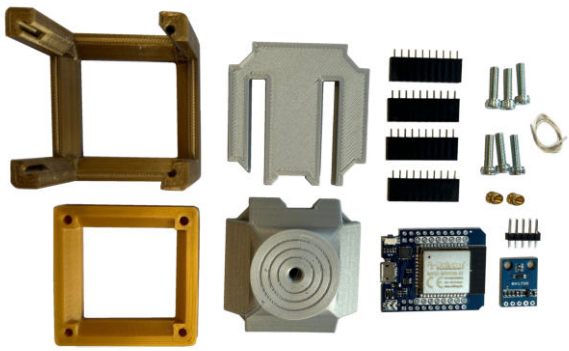


Abb. 2: Benötigtes Material

3D-Druck

1x 01A_Go_V*_cube_base 1x1
1x 02A_Br_V*_cube_cover 1x1
1x 15A_Si_V*_light_sensor_BH1750
1x 15A_Si_V*_light_sensor_ESP32Mini

Weitere Komponenten

1x Light Sensor BH1750
1x ESP32 Mini
6x Inbus-Zylinderkopfschraube, M3x12
2x Gewindeeinsatz, M3
▷ Lötzinn

Benötigtes Werkzeug

▷ Inbusschlüssel - 2,5 mm
▷ Lötkolben (+ Spitze für Gewindeeinsätze)

Fotosensor Explosion

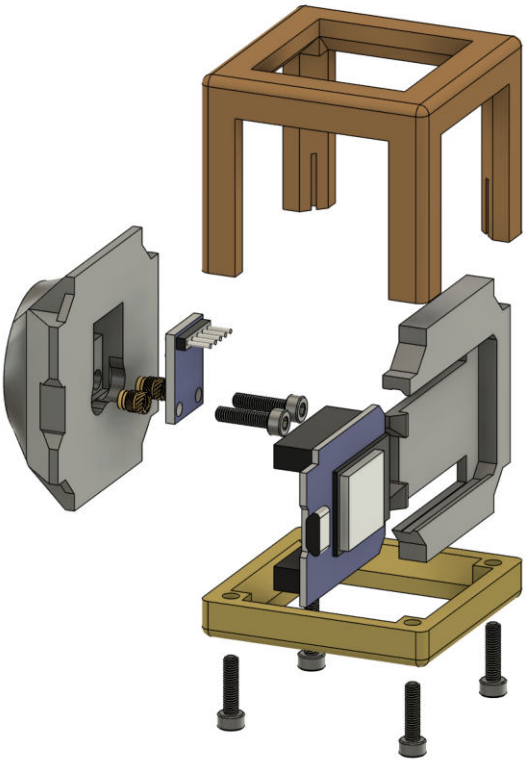


Abb. 3: Explosionsansicht des Lichtsensors

I. Platinenhalter

Material

1x ESP32 Mini
1x 15A_Si_V*_light_sensor_ESP32Mini
▷ Lötzinn

(1) Heizen Sie den Lötkolben auf ca. 350°C.

(2) Löten Sie die kurzen Stiftleisten an die `ESP32 Mini` (Abbildung 4).

Abb. 4: An die Platine gelötete Stiftleisten

(3) Schieben Sie die Platine in den `15A_Si_V*_light_sensor_ESP32Mini` (Abbildung 5).

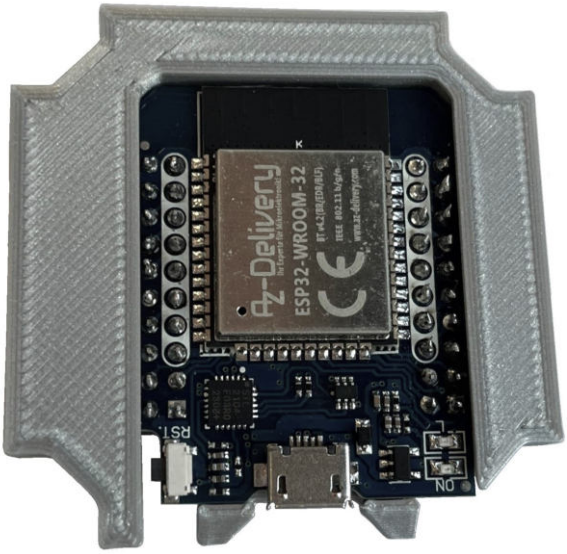


Abb. 5: Platine im Einsatz

II. Sensorhalter

Material

1x Light Sensor BH1750
1x 15A_Si_V*_light_sensor_BH1750
2x Gewindeeinsatz, M3

(4) Löten Sie die Stiftleiste an den Light Sensor BH1750 (Abbildung 6).

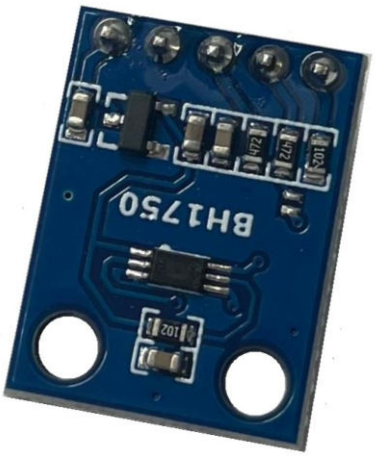


Abb. 6: An den Sensor gelötete Stiftleiste

(5) Montieren Sie die Spitze zum Einschmelzen von Gewindeeinsätzen und heizen Sie den Lötkolben auf ca. 220°C.

(6) Löten Sie die zwei Gewindeeinsätze, M3 in den 15A_Si_V*_light_sensor_BH1750 (Abbildung 7).

Hinweis: *Achten Sie darauf die Einsätze möglichst senkrecht einzuschmelzen.*

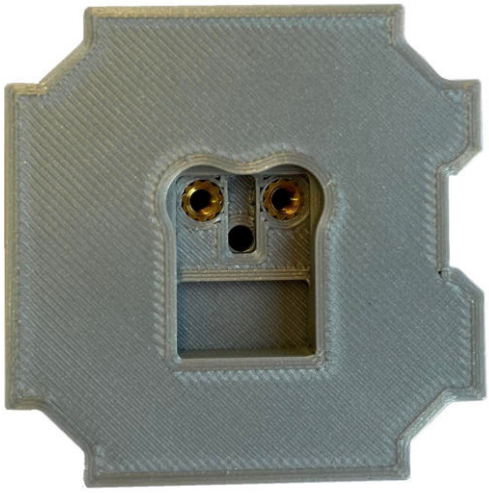


Abb. 7: In den Einsatz eingeschmolzene Gewindeeinsätze

(7) Legen Sie den Sensor in den Einsatz (Abbildung 8).

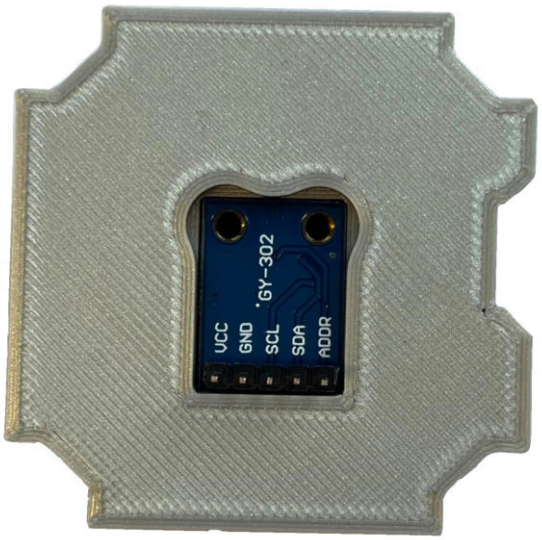


Abb. 8: Sensor im Einsatz

(8) Befestigen Sie den Sensor mit zwei Inbus-Zylinderkopfschrauben, M3x12 (Abbildung 9).

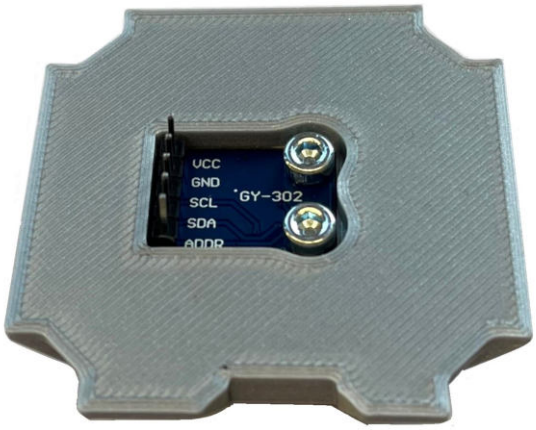


Abb. 9: Befestigter Sensor

III. Letzte Schritte

Material

1x Zusammengesetzter Platinenhalter
1x Zusammengesetzter Sensorhalter
1x 01A_Go_V*_cube_base 1x1
1x 02A_Br_V*_cube_cover 1x1
4x Inbus-Zylinderkopfschraube, M3x12

(9) Setzen Sie den Zusammengesetzten Platinenhalter und den Zusammengesetzten Sensorhalter in den 02A_Br_V*_cube_cover 1x1 . Achten Sie darauf, dass die jeweils offene Seite beider Halter in die gleiche Richtung zeigt, während die drei glatten Seiten übereinander liegen. Setzen Sie obenauf den 01A_Go_V*_cube_base 1x1 (Abbildung 10).

Abb. 10: Zusammengesetzte Komponenten

(10) Befestigen Sie den Würfelboden mit den Inbus-Zylinderkopfschrauben, M3x12 und schieben Sie den Platinenhalter und den Sensorhalter mit den Stiftleisten zusammen. Achten Sie darauf, diese möglichst gerade ineinander zu schieben (Abbildung 11).

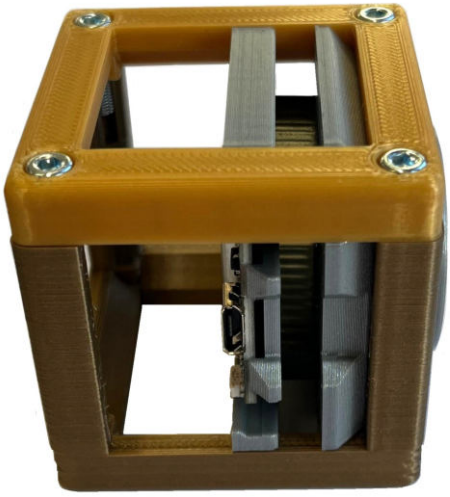


Abb. 11: Fertiger Fotosensor