



Making optics modular. One cube at a time.



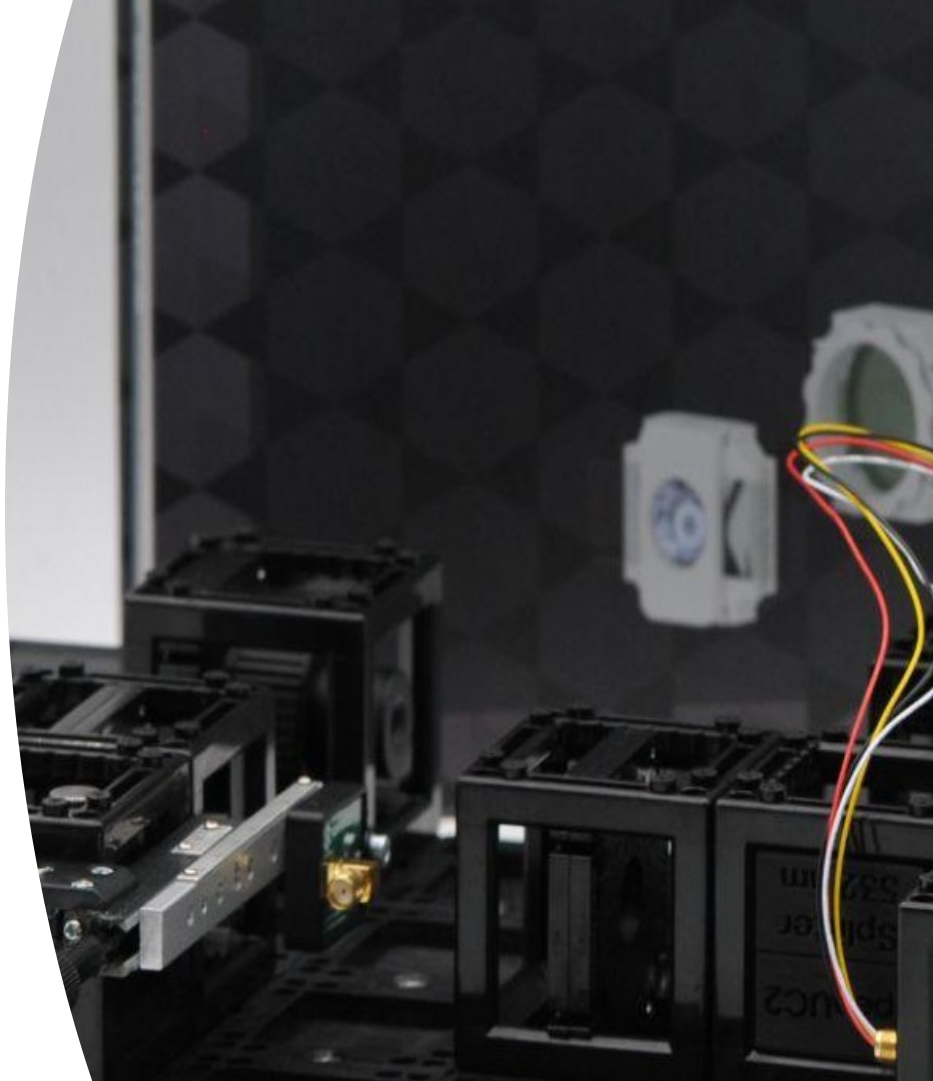
QBOX

1

Experimente und Komponenten
im Überblick

2

Experimente **im Detail**



Überblick

Die **QBOX** ist unser Bildungsprodukt für Fortgeschrittene und konzentriert sich auf 4 Themen:

1. *Interferometer verstehen*
2. *Polarisation verstehen*
3. *Gitter und Spalte verstehen*
4. *Quanten / ODMR verstehen*



Überblick

Welche Experimente sind möglich?

Die Experimente sind in vier Gruppen aufgeteilt: **Interferenz**, **Polarisation**, **Gitter und Spalte**, **Quanten**. Mit den Teilen in der QBOX lassen sich mindestens 11 Experimente durchführen.

Interferenz

1. Michelson-Interferometer
2. Mach-Zehnder-Interferometer
3. Sagnac-Interferometer

Gitter und Spalte

1. Beugung am Einzel- und Doppelspalt
2. Spektroskopische Anwendung

Polarisation

1. Polarisation eines Lasers
2. Polarisation einer Weißlichtquelle
3. Gesetz von Malus
4. Drehung der Polarisation mit Polarisationsfiltern
5. Quantenradierer-Experiment

Quantentechnologie

1. ODMR - optisch detektierte Magnetresonanz

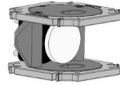


Überblick

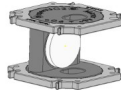
die QBox-Komponenten



Linse 44,5 mm



Kinematischer Spiegel
2x



Spiegel



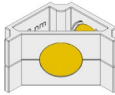
Magnet



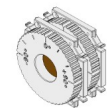
USB-C-Kabel



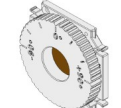
SMA-SMA-Kabel



Dichroitischer Spiegel



Doppel-Polfilter
2x



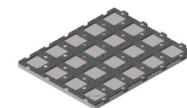
Einzel-Polfilter



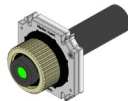
Rotfilter



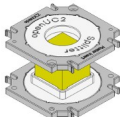
Puzzleteil
10x



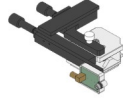
Grundplatte 5x4



Laser 532 nm



Strahlteilerwürfel



XY-Stage



Imbusschlüssel



Lochblende



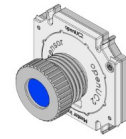
Drift punch
2x



Sechskant-Drehknopf
6x



ADF-Board mit
ESP32



Photodiode



Einzelspalt



Doppelspalt



Beugungsgitter



Schirm
2x



Schirmhalter
2x

Teil 1:

Interferenz- experimente

Experiment 1:

Michelson-Interferometer

BENÖTIGTE TEILE

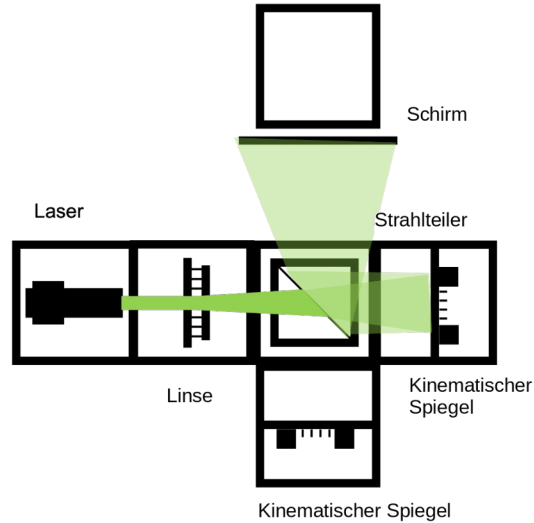
- Laser
- 2x kinematischer Spiegel
- 1x Linse $f'=44,5\text{mm}$
- 1x Strahlteilerwürfel
- Lochblende (ohne Würfel)
- 2x leere Würfel
- Schirmhalter
- Schirm

AUFBAU

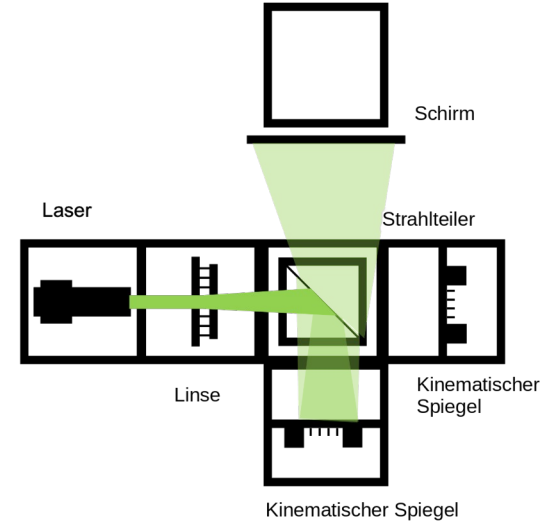
Details zum Aufbau auf der nächsten Seite.

ZIEL:

Die Lernenden bauen ein Michelson-Interferometer auf und justieren es. Sie verstehen, wie Interferenz funktioniert, wobei Licht nicht mehr als Strahl, sondern als hochfrequente Welle betrachtet wird.



Strahlengang 1



Strahlengang 2

Experiment 1:

Michelson-Interferometer

BENÖTIGTE TEILE



1x Laser



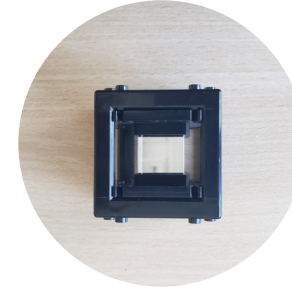
2x kinematische
Spiegel



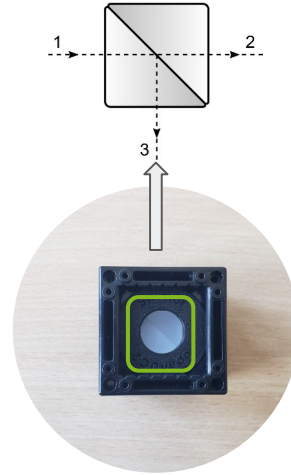
2x leere Würfel



1x Schirm und 1x Schirmhalter
(links), (Schirmhalter wird in
leeren Würfel gesetzt (rechts))



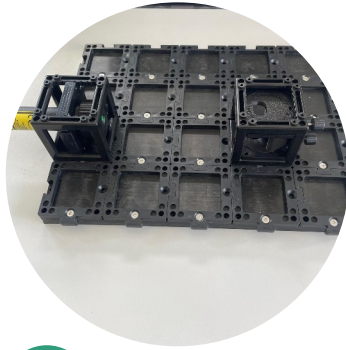
1x Strahlteilerwürfel ($\triangle$ Ausrichtung des Würfels
beachten)



1x Linse $f'=44,5\text{mm}$

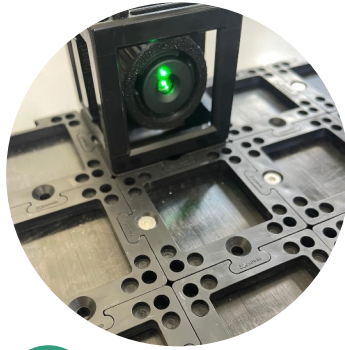
Experiment 1:

Michelson-Interferometer



1

Laser und ersten
Spiegel
gegenüber
aufstellen



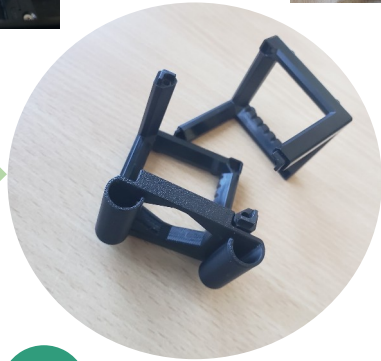
2

Reflektierten
Strahl zurück in den
Laser lenken, damit der
Spiegel richtig
ausgerichtet ist



3

Strahlteilerwürfel
einsetzen.
Achtung!
Austretendes Licht
in deine Richtung
blockieren



4

Leeren Würfel öffnen
und Schirmhalter
zwischen die Stege
klemmen

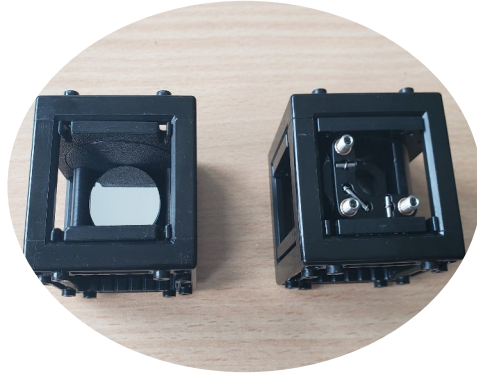


Experiment 1:

Wie benutzt du die kinematischen Spiegel?



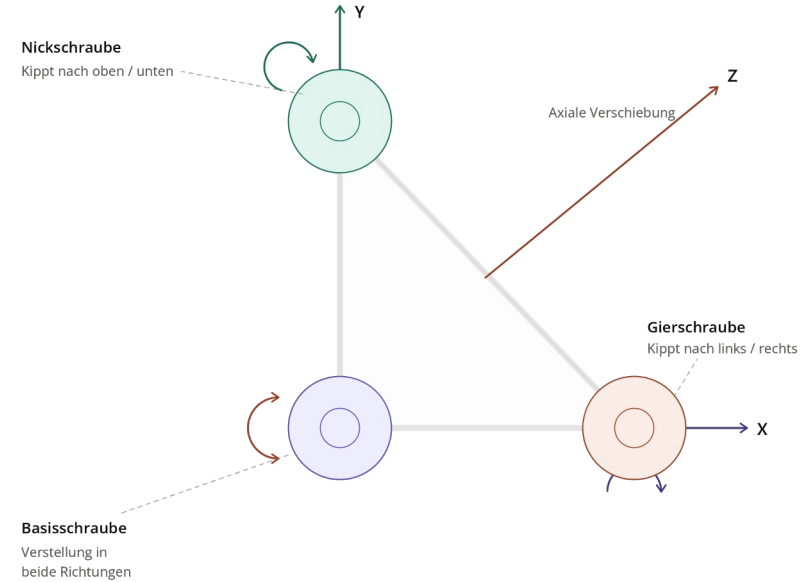
3x Schraube



Die beiden Spiegel



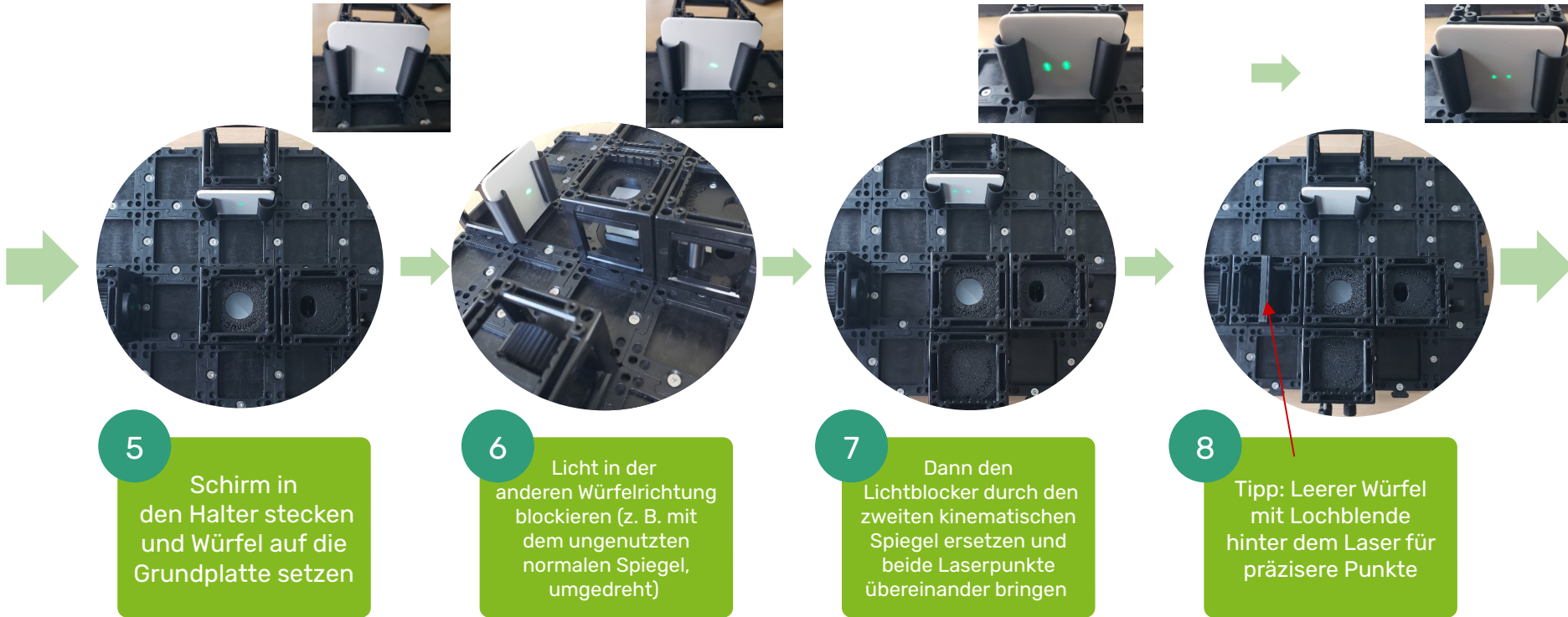
Position der
Schraube



Am besten verstellst du die obere und rechte Schraube.

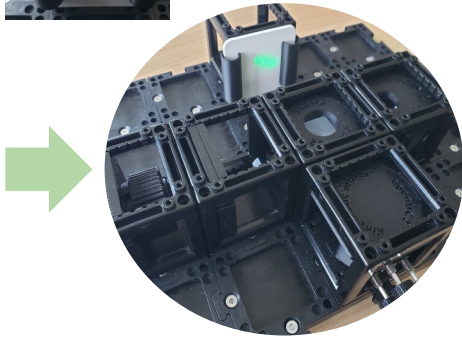
Experiment 1:

Aufbau: Michelson-Interferometer



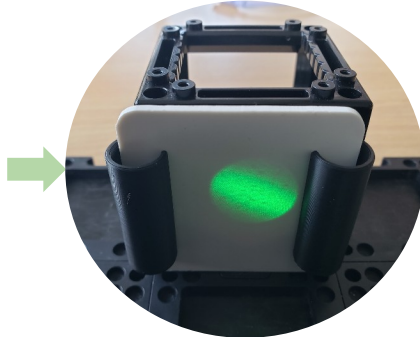
Experiment 1:

Michelson-Interferometer



5

Liegen die Punkte
perfekt übereinander,
Lochblende gegen
Linse tauschen



6

Jetzt siehst du einen
großen Fleck auf dem
Schirm. Ab jetzt
zählen
Fingerspitzengefühl
und Geduld



7

Spiegel
feinjustieren bis
Interferenzstreife
n erscheinen



8

Weiter justieren,
bis die Streifen
möglichst breit
sind = bester
Kontrast

Experiment 2: Mach-Zehnder-Interferometer

BENÖTIGTE TEILE

- Laser
- Linse 44,5mm
- 2x Strahlteilerwürfel
- 2x kinematischer Spiegel
- 2x leerer Würfel
- Schirmhalter
- Schirm
- Lochblende

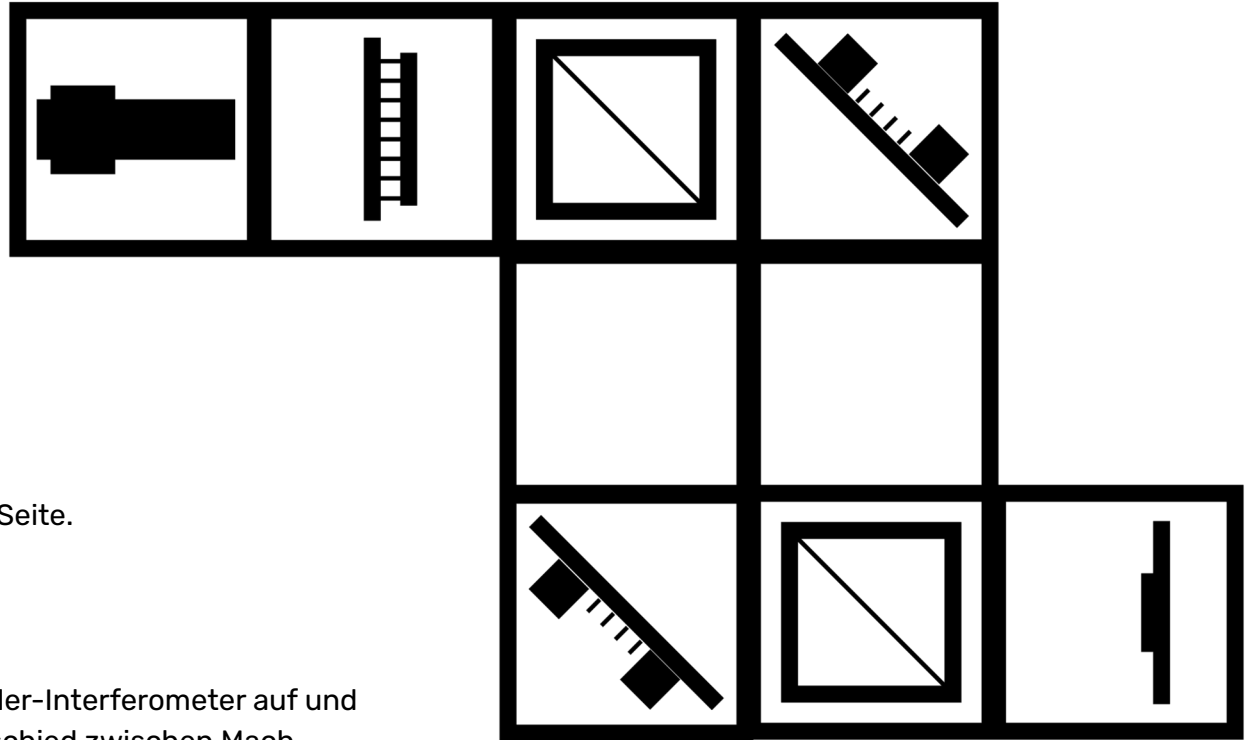
AUFBAU

Details zum Aufbau auf der nächsten Seite.

ZIEL:

Die Lernenden bauen ein Mach-Zehnder-Interferometer auf und justieren es. Sie verstehen den Unterschied zwischen Mach-Zehnder- und Michelson-Interferometer und deren unterschiedliche Einsatzbereiche.

Mehr Details findest du hier: [Mach-Zehnder](#)



Experiment 2:

Mach-Zehnder- Interferometer

BENÖTIGTE TEILE



1x Laser



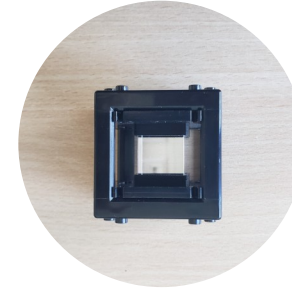
2x kinematische
Spiegel



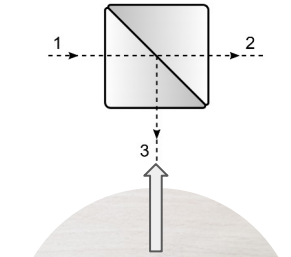
2x leere Würfel



1x Schirm und 1x Schirmhalter
(links), (Schirmhalter wird in
leeren Würfel gesetzt (rechts))



2x Strahlteilerwürfel ($\triangle$ Ausrichtung des Würfels
beachten)



1x Linse $f'=44,5\text{mm}$

Experiment 2

Wie änderst du die Ausrichtung der kinematischen Spiegel?



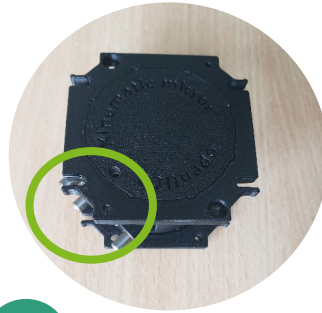
1

Nimm zuerst den Spiegel aus dem Würfel. Er steckt zwischen zwei Master-Inserts.



2

Achte auf die Lage des Spiegels zu den Master-Inserts. Nimm die Einsätze ab



3

Für 45° die Schrauben so zum Master-Insert ausrichten.



4

Dann den Spiegel zurück in den Würfel setzen.



5

Tipp: Die Aussparungen der Master-Inserts sind leicht konisch und passen nur in eine Richtung. Geht das Insert nicht ganz drauf, dreh es um (Beschriftung nach oben).

Experiment 2:

Aufbau: Mach-Zehnder-Interferometer



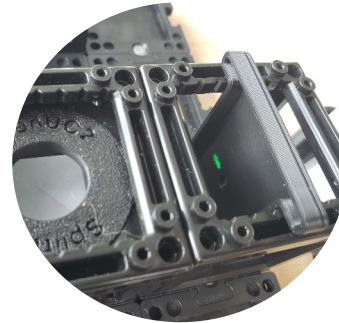
1

Laser auf die
Lochblende
ausrichten



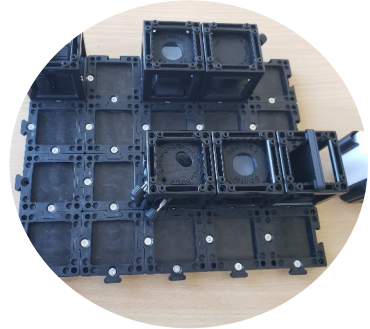
2

Zweiten Strahlteilerwürfel
und einen kinematischen
Spiegel einsetzen.
Lochblende an den
Ausgang des zweiten
Würfels. Zweiten
Strahlengang zur
Sicherheit blockieren.



3

Spiegel justieren:
Strahl mittig
durch die
Lochblende



4

Zweiten kinem.
Spiegel einsetzen,
Strahl mittig
justieren

Experiment 2: Aufbau: Mach-Zehnder-Interferometer



Tipp:

Wenn trotz überlagerter Strahlen keine Interferenzstreifen sichtbar sind, setz die Lochblende wieder ein und stell den Schirm weit weg vom Ausgang. Normalerweise überlagern sich die beiden Strahlen in dieser Entfernung nicht. Justiere dann die Spiegel, bis sie sich wieder überlagern. Manchmal musst du die Justage mehrmals wiederholen. In einer dunklen Umgebung erkennst du die Überlagerung leichter.

Experiment 3:

Sagnac-Interferometer

BENÖTIGTE TEILE

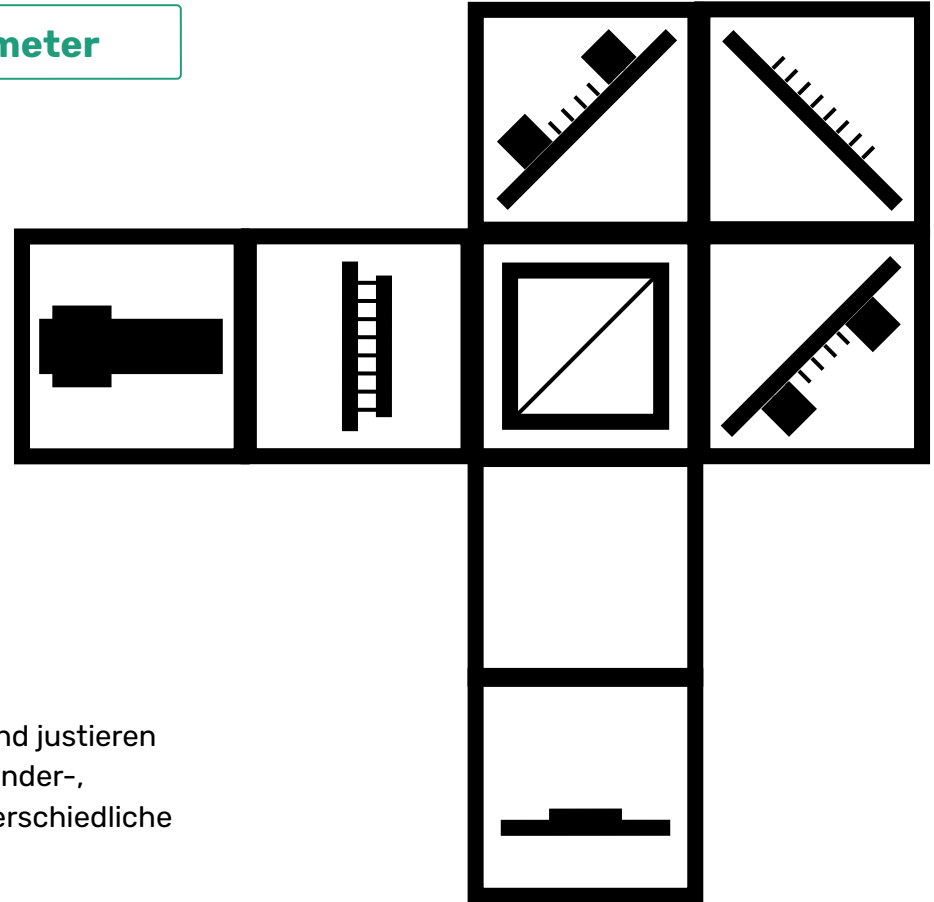
- Laser
- 2x kinematischer Spiegel
- normaler Spiegel
- 1x Linse $f'=44,5\text{mm}$
- 1x Strahlteilerwürfel
- Lochblende
- Schirmhalter
- Schirm

AUFBAU

Details zum Aufbau auf der nächsten Seite.

ZIEL:

Die Lernenden bauen ein Sagnac-Interferometer auf und justieren es. Sie verstehen den Unterschied zwischen Mach-Zehnder-, Michelson- und Sagnac-Interferometer und deren unterschiedliche Einsatzbereiche.



Experiment 3:

Sagnac-Interferometer

BENÖTIGTE TEILE



1x Laser



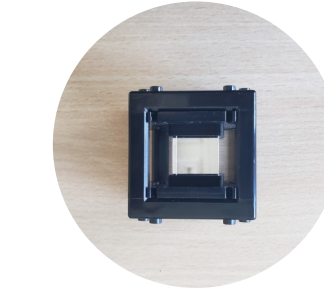
2x kinematische Spiegel



2x leere Würfel



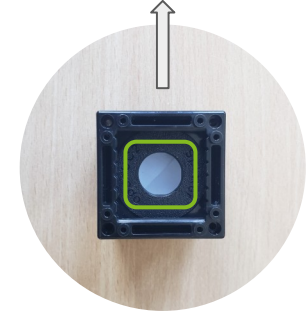
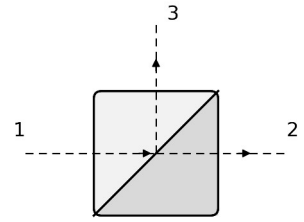
1x Schirm und 1x Schirmhalter (links), (Schirmhalter wird in leeren Würfel gesetzt (rechts))



1x Strahlteilerwürfel ($\triangle$ Ausrichtung des Würfels beachten)



1x Linse $f'=44,5\text{mm}$

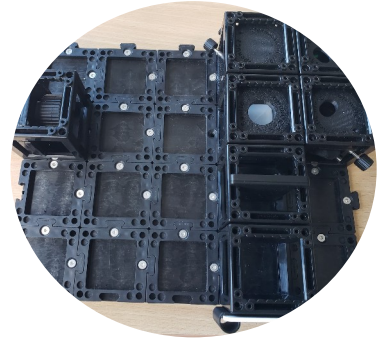
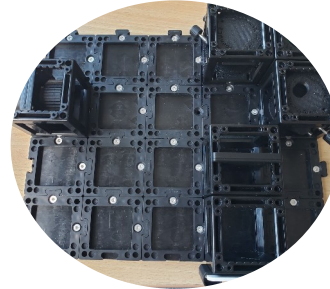
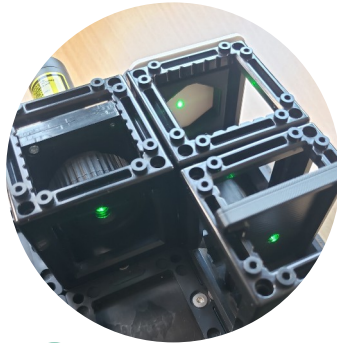
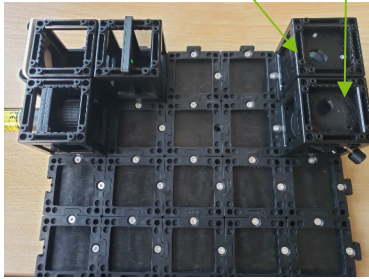


Normaler Spiegel (45° Neigung)

Experiment 3:

Aufbau: Sagnac-Interferometer

Normaler Spiegel Kinemat. Spiegel



1

Diesen Aufbau nachbauen.
Achtung: Ein Spiegel ist nicht kinematisch

2

Kinematischen Spiegel justieren, bis der Laserstrahl mittig durch die Lochblende auf den Schirm trifft.

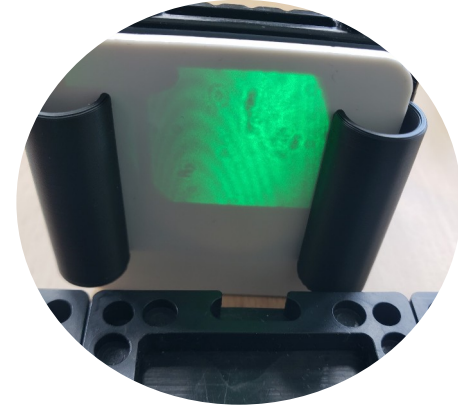
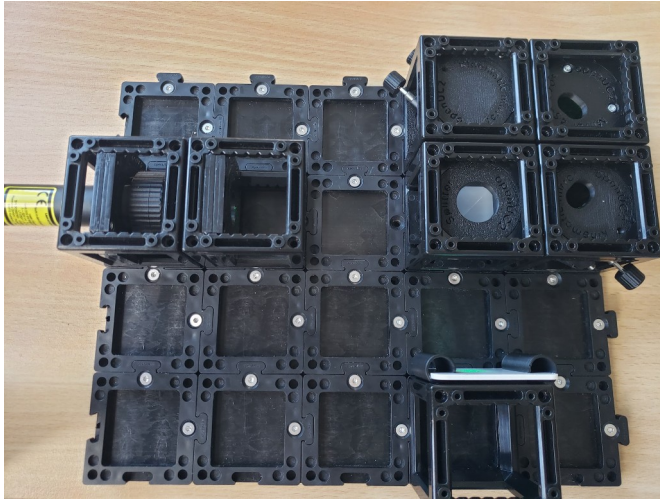
3

Dritten Spiegel einsetzen und justieren, bis der Strahl mittig durch die Lochblende trifft. Nur markierte Spiegel justieren.

4

Strahlteiler einsetzen und Spiegel justieren, bis beide Teilstrahlen denselben Punkt auf dem Schirm treffen. Die Lochblende brauchst du hier nicht mehr.

Experiment 3: Aufbau: Sagnac-Interferometer



Die Streifen sollten sichtbar sein

5

Linse einsetzen und Lochblende entfernen.
Dann beide Spiegel so justieren, dass sich die
zwei Lichtpunkte auf dem Schirm genau
überlagern.

TIPP (falls keine Interferenz sichtbar ist):

- Nimm die Linse raus, stell den Schirm weiter weg und prüfe, ob beide Teilstrahlen wirklich denselben Punkt treffen.
- Prüfe, ob alle Komponenten richtig angeordnet sind

Teil 2:

Polarisation

Experiment 1: Polarisation eines Lasers

BENÖTIGTE TEILE

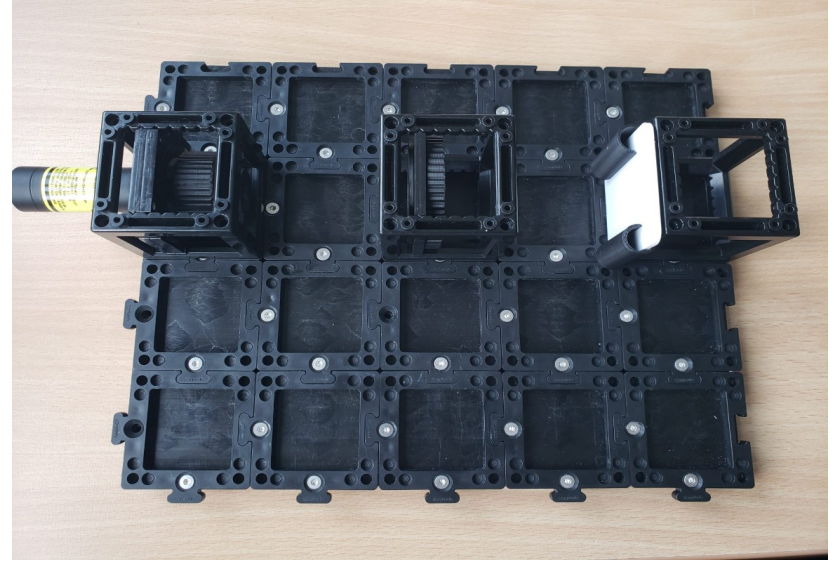
- Laser
- 1x Polarisator
- Schirm
- Schirmhalter

AUFBAU

Der Laser wird mit einem Polarisator und einem Schirm im Schirmhalter in eine Linie gebracht.

ZIEL:

Ziel ist es, die Polarisationsrichtung des Polarisators zu verändern. Sobald der Laser an ist, siehst du auf dem Schirm, dass das Laserlicht je nach Ausrichtung des Polarisators stärker oder schwächer wird.



Experiment 2: Polarisation einer Weißlichtquelle

BENÖTIGTE TEILE

- Weißlichtquelle (Handy-Taschenlampe oder Lampe)
- 1x Polarisator
- 1x Linse $f'=44,5\text{mm}$

AUFBAU

Linse und Polarisator werden über dem Handy gestapelt, die Taschenlampe wird eingeschaltet

ZIEL:

Am Ausgang des Polarisators siehst du den Unterschied in der Intensität: Wenn du den Polarisator drehst, bleibt die Lichtintensität gleich. So wird der Unterschied zwischen polarisiertem Licht (vom Laser) und unpolarisiertem Licht (Weißlicht) sichtbar.



Experiment 3: Gesetz von Malus

BENÖTIGTE TEILE

- Laser
- 2x Polarisatoren
- Schirm
- Schirmhalter
- 1x Linse $f'=44,5\text{mm}$

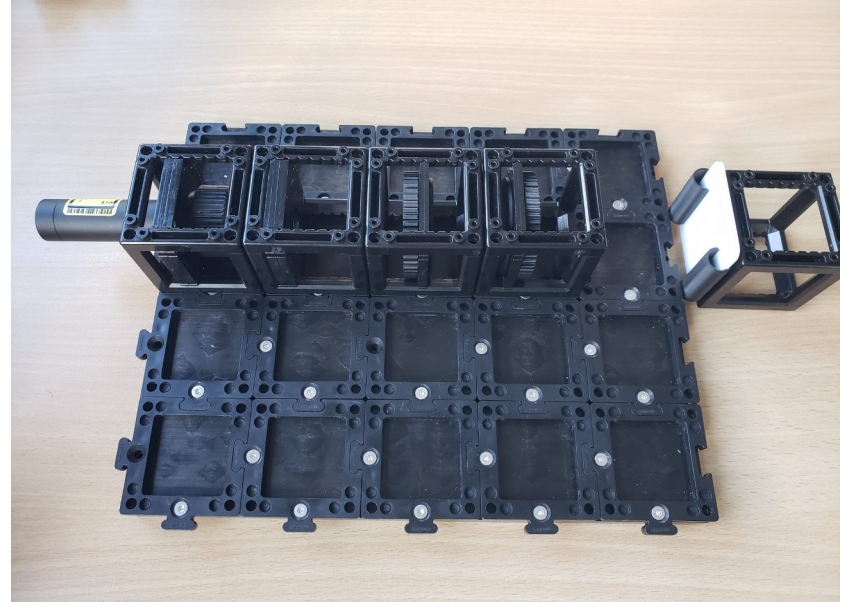
AUFBAU

Details zum Aufbau auf der nächsten Seite.

Erklärung:

Das Experiment zeigt, was mit Licht passiert, das durch zwei Polarisationsfilter fällt, von denen einer drehbar ist. Beim Drehen des zweiten Filters sinkt die durchgelassene Lichtmenge nach dem Gesetz von Malus. Stehen die Filter senkrecht zueinander, kommt kein Licht mehr durch.

Mehr Details findest du hier: [Polarisation](#)

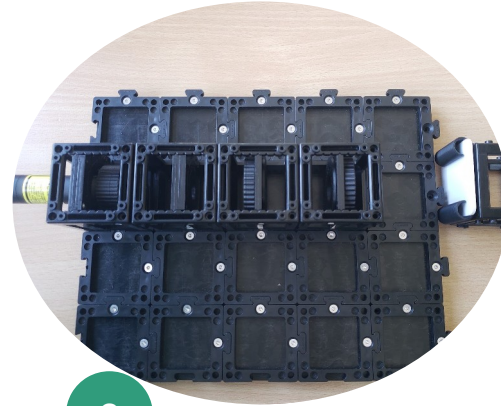
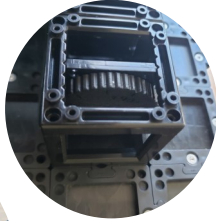


Experiment 3: Gesetz von Malus



1

Setze den ersten Polarisator ein (dient als Referenz; bei Bedarf auf die Laserpolarisation ausrichten). Drehe den Analysator bis zur maximalen Intensität → notiere diese Position als $\theta = 0^\circ$.



2

Drehe den zweiten Polarisator um 90° gegenüber der Referenz. Die Intensität sollte praktisch null sein (bis auf Unvollkommenheiten der Polarisatoren).



Experiment 4:

Drehung der Polarisation mit Polarisationsfiltern

BENÖTIGTE TEILE

- Grüner Laser
- 4x Polarisatoren
- Schirm
- Schirmhalter

AUFBAU

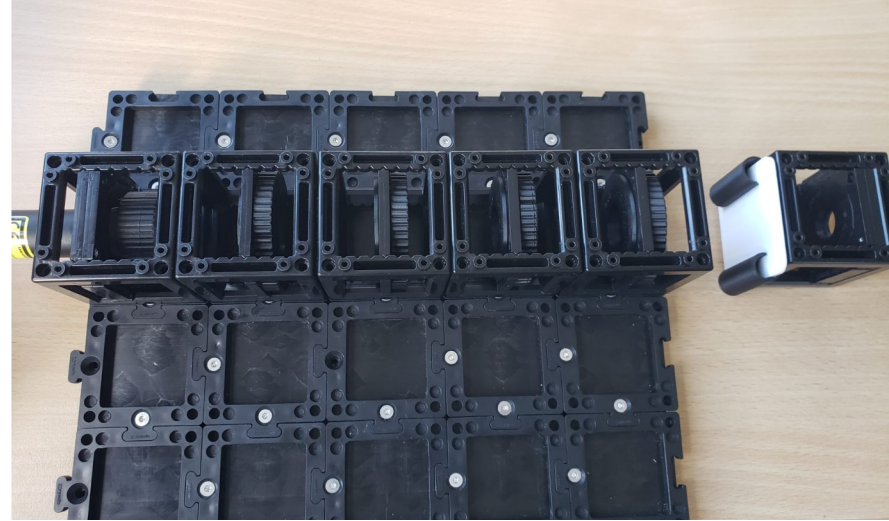
Details zum Aufbau auf der nächsten Seite.

ZIEL:

Das Experiment zeigt, wie sich die Polarisation mit mehreren Filtern in verschiedenen Winkeln drehen lässt. Zwei gekreuzte Filter (90°) blockieren normalerweise alles Licht. Ein dritter und vierter Filter mit Zwischenwinkeln lassen wieder Licht durch. Ein überraschender Effekt, der die Vektornatur polarisierten Lichts zeigt.

Die Lernenden sehen das live: Beim Drehen der mittleren Filter taucht zwischen den gekreuzten Filtern wieder Licht auf dem Schirm auf

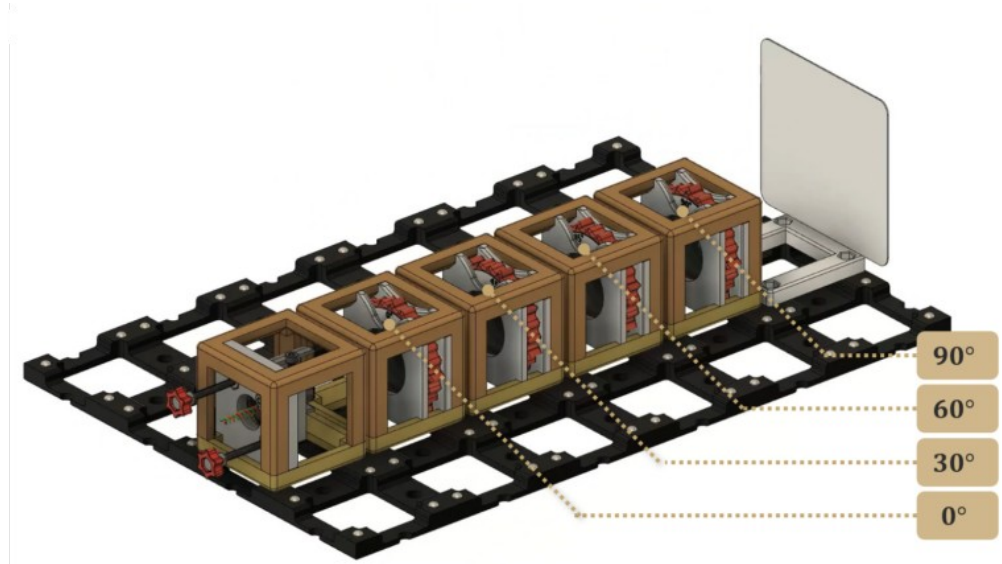
Mehr Details findest du hier: [Polarisation](#)



Experiment 4: Drehung der Polarisation mit Polarisationsfiltern



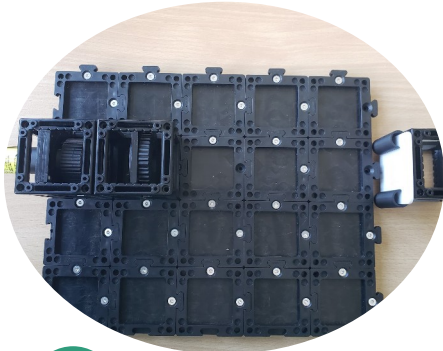
Der Polarisator hat mehrere Einstellungen; jede Markierung entspricht 30°. Stelle jeden Polarisator so ein, wie im Bild rechts gezeigt.



Quelle: <https://o3q.de/polarisation/#Drehen>

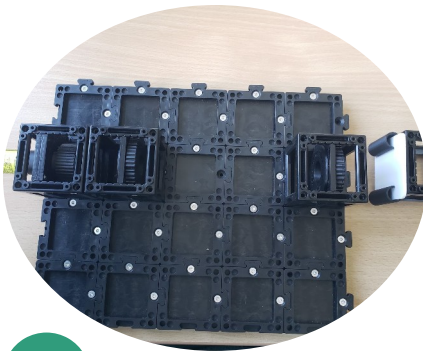
Experiment 4:

Aufbau: Drehung der Polarisation mit Polarisationsfiltern



1

Setze den ersten Polarisator ein (dient als Referenz; bei Bedarf auf die Laserpolarisation ausrichten). Drehe den Analysator bis zur maximalen Intensität → notiere diese Position als $\theta = 0^\circ$.



2

Drehe den vierten Polarisator um 90° gegenüber der Referenz. Die Intensität sollte praktisch null sein (bis auf Unvollkommenheiten der Polarisatoren).

Mit nur zwei Filtern bei 0° und 90° :

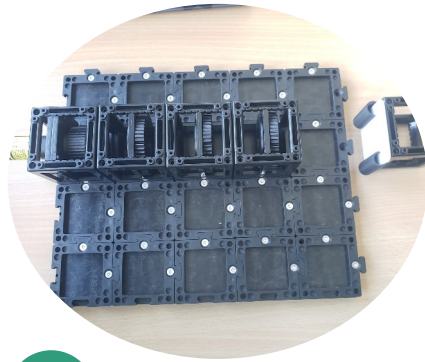
Der erste Filter polarisiert das Licht bei 0° .

Der zweite bei 90° bekommt Licht, dessen Polarisation senkrecht zu seiner Achse steht.

$\theta = 90^\circ$, also $\cos^2(90^\circ) = 0 \rightarrow$ vollständige Auslöschung.

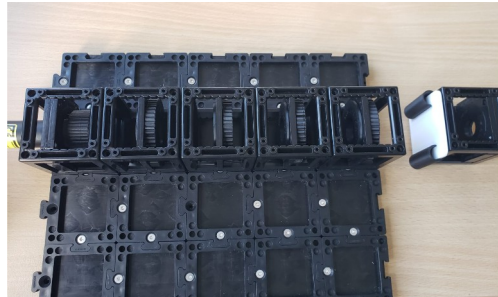
Experiment 4:

Aufbau: Drehung der Polarisation mit Polarisationsfiltern



3

Es geht durch einen 30° -Filter $\rightarrow$ der Unterschied beträgt nur 30° (nicht viel), also kommt ein großer Teil des Lichts durch. Es tritt mit 30° polarisiert aus.



4

Es geht durch einen 60° -Filter $\rightarrow$ gegenüber seiner neuen Richtung (30°) beträgt der Unterschied wieder nur 30° . Ein großer Teil kommt weiterhin durch. Es tritt mit 60° aus.



Stell dir vor, du musst Licht (wie ein Signal) durch eine Tür schicken, aber die Tür ist nicht auf das Signal ausgerichtet, sondern dazu gedreht. Je größer der Winkel zwischen Signal und Tür, desto schwerer kommt es durch.

- Ist die Tür auf die Richtung des Signals ausgerichtet (Winkel = 0°) $\rightarrow$ kommt alles durch.
- Steht die Tür senkrecht dazu (Winkel = 90°) $\rightarrow$ kommt nichts durch.
- Dazwischen kommt ein Teil durch, und dieser Anteil hängt vom Winkel ab.

Experiment 5:

Modellexperiment Quantenradierer

BENÖTIGTE TEILE

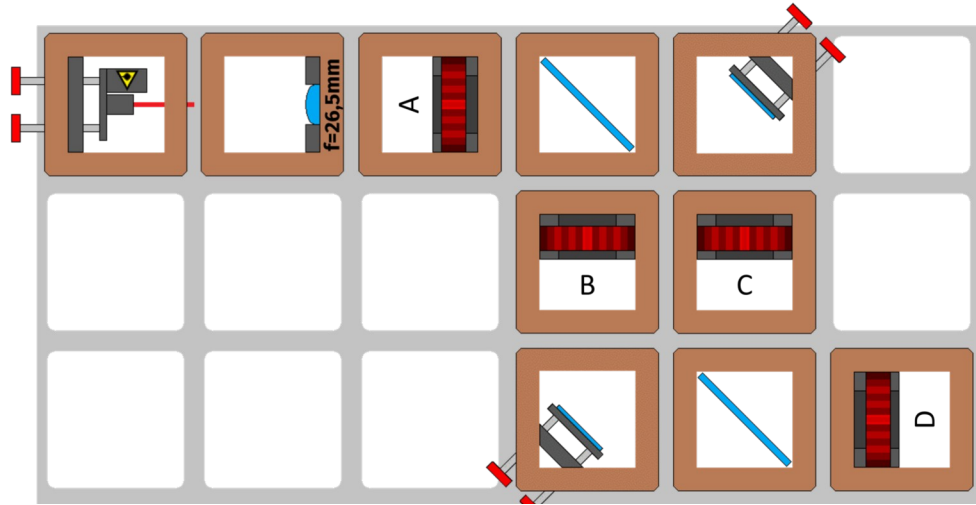
- Laser
- Linse 44,5mm
- 2x Strahlteilerwürfel
- 2x kinematischer Spiegel
- 2x leerer Würfel
- Schirmhalter
- Schirm
- Lochblende
- 4x Polarisationsfilter

AUFBAU

Details zum Aufbau auf der nächsten Seite.

ZIEL:

Das Modellexperiment zum Quantenradierer basiert auf dem Aufbau des Mach-Zehnder-Interferometers. Polarisationsfilter im Mach-Zehnder-Interferometer beeinflussen das Interferenzverhalten, weil die Interferenzfähigkeit von der Polarisierung der Teilstrahlen abhängt

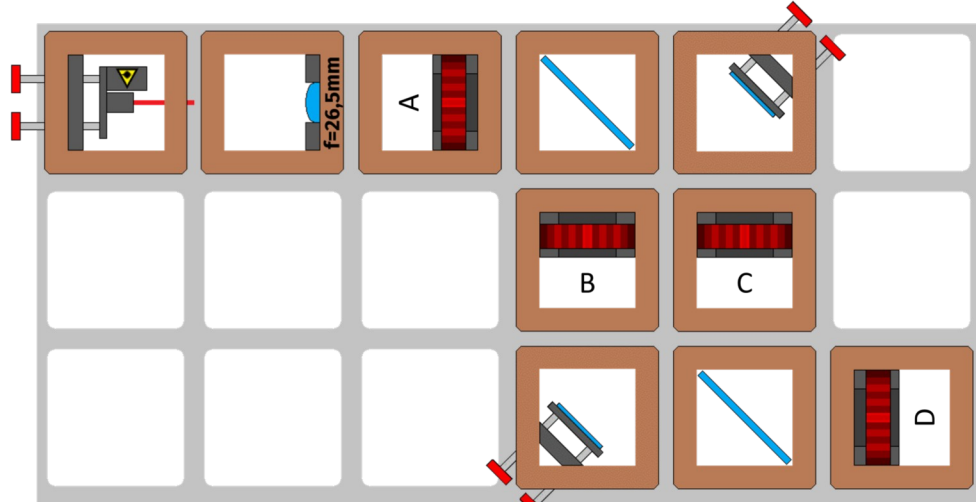
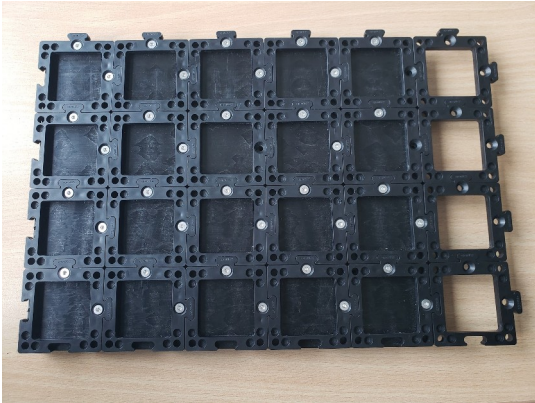


Experiment 5:

Modellexperiment Quantenradierer

BENÖTIGTE TEILE

Wie du siehst, steht der Aufbau auf einer Platte mit 6 Spalten, die mitgelieferte hat aber nur 5. Die sechste Spalte musst du also „bauen“.



Das Prinzip ist ganz einfach: Du ergänzt die sechste Spalte mit den Puzzleteilen.

Experiment 5:

Aufbau: Modellexperiment Quantenradierer

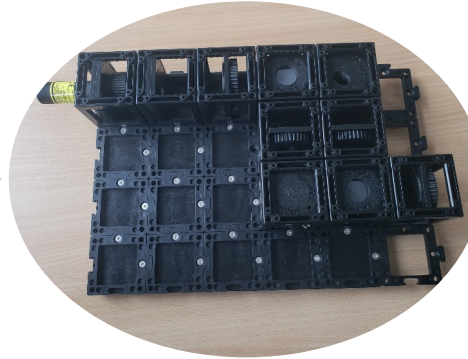
1

Folge der Anleitung zu Aufbau 2 und baue das Mach-Zehnder-Interferometer. Nutze eine Platte mit 6 Spalten und lass genug Platz, um später die Polarisationsfilter einzusetzen



2

Wenn die Streifen sichtbar sind, kannst du die Polarisationsfilter einsetzen



3

Setze die Polarisatoren wie im Bild gezeigt ein. Um Polarisationseffekte zu sehen, musst du sie drehen.



4

Wenn alle Polarisatoren richtig ausgerichtet sind, ist Interferenz weiterhin möglich

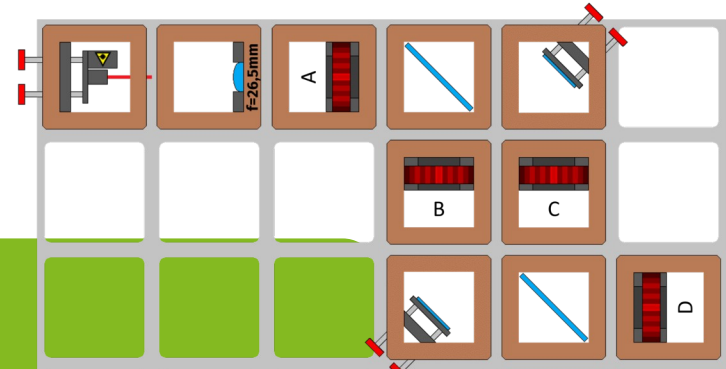
Experiment 5:

Aufbau: Modellexperiment Quantenradierer

5

Wirkung der Polarisationsfilter:

- **Polarisationsfilter A:** Laserdioden sind linear polarisiert, mit einem kleinen unpolarisierten Anteil. Polarisationsfilter A entfernt diesen. Richtige Ausrichtung zwischen Diode und Filter A maximiert die Lichtdurchlässigkeit.
- **Polarisationsfilter B & C:** Die Filter B und C sitzen jeweils in einem der Teilstrahlen. Stehen sie 90° zueinander, ist keine Interferenz zu sehen. Im gleichen Winkel (und nicht zu weit von der Ausrichtung von Filter A entfernt) sollte Interferenz auftreten.
- **Polarisationsfilter D & E:** Mit den Filtern D und E wird am Ausgang wieder Interferenz sichtbar, obwohl die Filter B und C im 90° -Winkel zueinander stehen. Dazu drehst du die Filter D und E um 45° gegenüber den Filtern B und C



Teil 3:

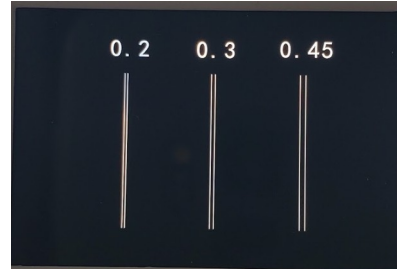
Interferenz an Gittern und Spalten

Experiment 1:

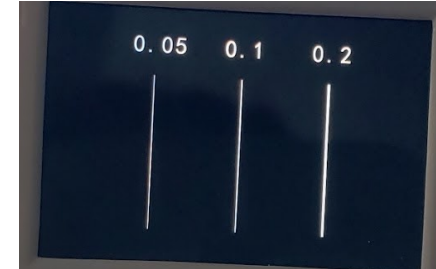
Unterschied zwischen Beugung am Einzel- und Doppelspalt

BENÖTIGTE TEILE

- Laserdiode
- Einzelspalt
- Doppelspalt
- Schirm
- Schirmhalter



Doppelspalt



Einzelspalt

AUFBAU

Details zum Aufbau auf der nächsten Seite.

ZIEL:

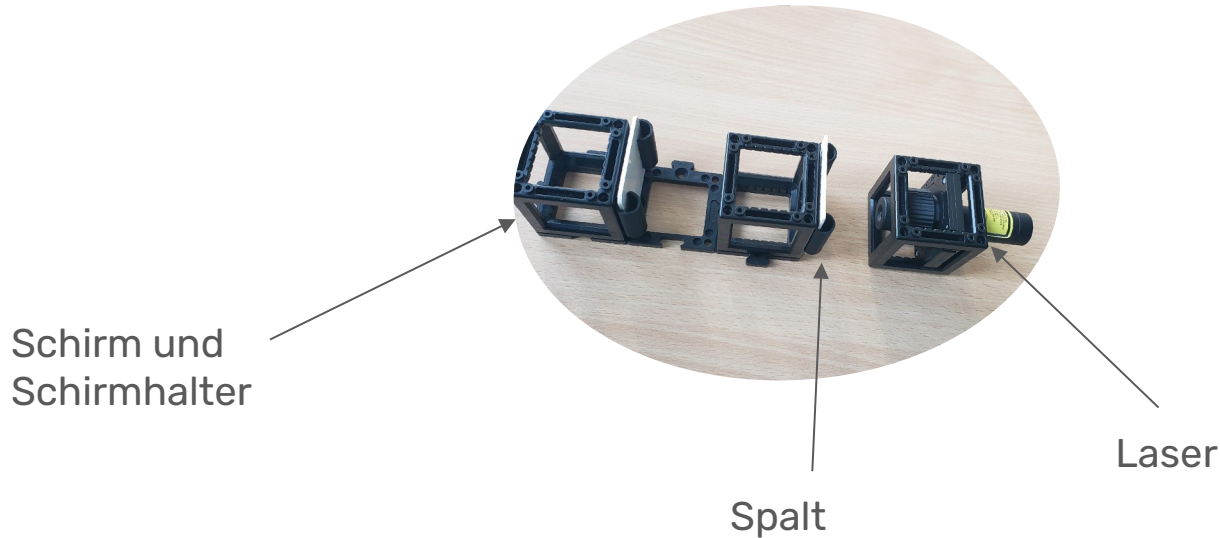
- **Beugung am Einzelspalt:** Analyse der Intensitätsverteilung und der Winkelabhängigkeit der Beugungsmaxima.
- **Interferenz am Doppelspalt:** Untersuchung, wie die Interferenzmuster von Spaltbreite und Spaltabstand abhängen.

Experiment 1:

Aufbau: Unterschied zwischen Beugung am Einzel- und Doppelspalt

AUFBAU

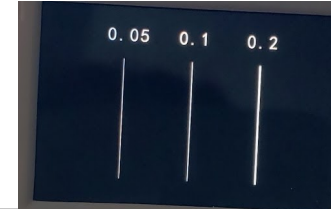
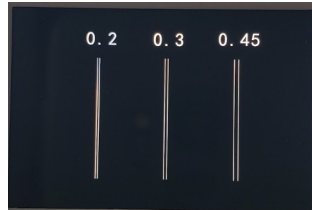
Ob Einzel- oder Doppelspalt: Der Schirm muss auf die Spalte ausgerichtet sein. Den Laser musst du nicht ausrichten, da du seine Position anpasst, um Spalte unterschiedlicher Größe anzuvisieren.



Experiment 1:

Unterschied zwischen Beugung am Einzel- und Doppelspalt

Zielspalte



Beugungsmuster

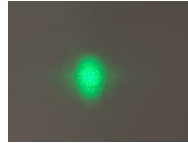
0,2



0,3



0,45



Je größer der Spaltabstand, desto enger liegen die Interferenzstreifen und desto schwerer sind sie aufzulösen, weil der Abstand der konstruktiven Interferenz kleiner wird.

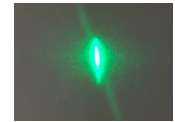
0,05



0,1



0,2



Je breiter der Spalt, desto schmaler das Beugungsmuster; bei großen Spalten nähert es sich dem geometrischen Bild des Spalts an

Experiment 2:

Spektroskopische Anwendung

BENÖTIGTE TEILE

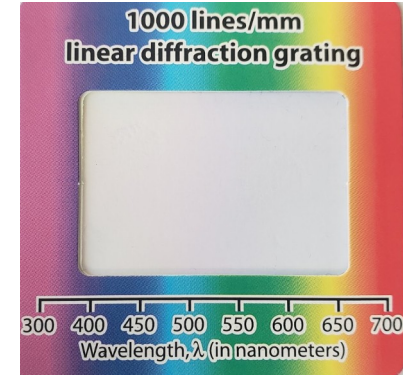
- Handy-Taschenlampe oder Lampe
- Beugungsgitter
- Linse $f' = 44,5\text{mm}$
- Schirm
- Schirmhalter

AUFBAU

Details zum Aufbau auf der nächsten Seite.

ZIEL:

Einsatz von Gittern, um die spektrale Zusammensetzung von Lichtquellen zu untersuchen.



Lineares Beugungsgitter

Experiment 2:

Aufbau: Spektroskopische Anwendung

AUFBAU

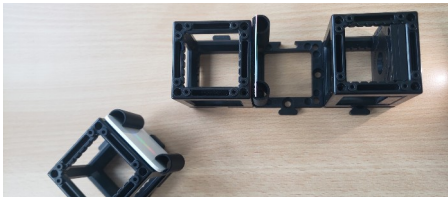
Schirm und Beugungsgitter müssen in einer Linie stehen. Eine Lichtquelle zeigt auf das Gitter. Direkt vor die Taschenlampe kommt eine Linse, um das Gitter zu fokussieren.



Wenn alles ausgerichtet ist, siehst du auf dem Schirm nichts Besonderes: Das ist die nullte Ordnung.



Wenn du den Schirm verschiebst, siehst du die +1. Ordnung, also die Beugung des Weißlichts.



In der Gegenrichtung erscheint dasselbe Muster gespiegelt; das ist die -1. Ordnung.

Experiment 2:

Aufbau: Spektroskopische Anwendung



Muster in Ordnung 1

Gegenüberliegende
Muster



Muster in Ordnung -1

Teil 4:

Quanten- technologie

Experiment 1:

ODMR: Optisch detektierte Magnetresonanz

BENÖTIGTE TEILE

- grüner Laser
- 1x kinematischer Spiegel
- 1x Linse $f' = 44,5\text{mm}$
- 1x Dichroit + Filter
- 1x Fotodiode mit Linse
- 1x Magnet
- XYZ-Tisch mit Diamanten
- Farbfilter (rot) zur Isolierung der Fluoreszenz
- Grundplatte zur Montage der Komponenten
- Mikrowellenantenne zur Spinmanipulation

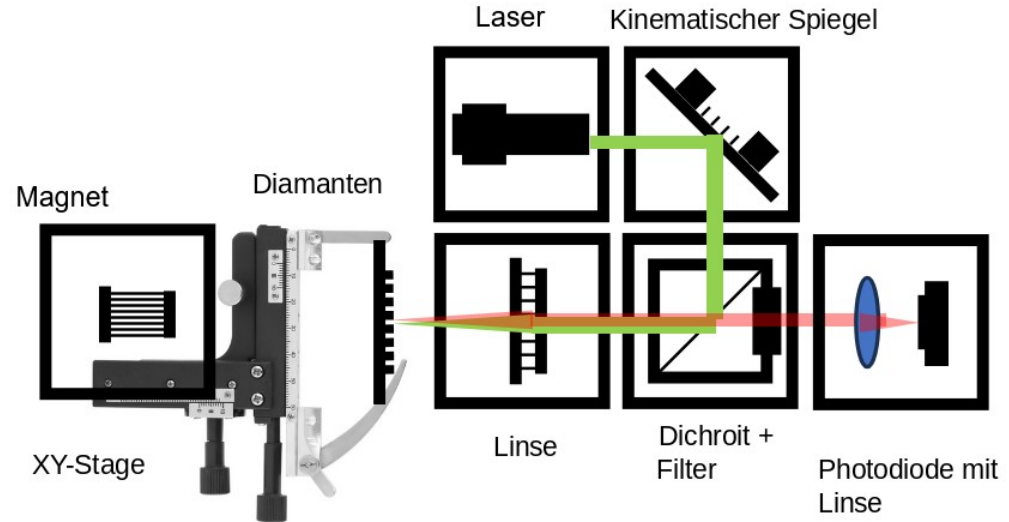
AUFBAU

Details zum Aufbau auf der nächsten Seite. Extra Hilfe:
YouTube-Tutorials auf der ODMR-Doku-Seite.

ODMR-Tutorial

ZIEL:

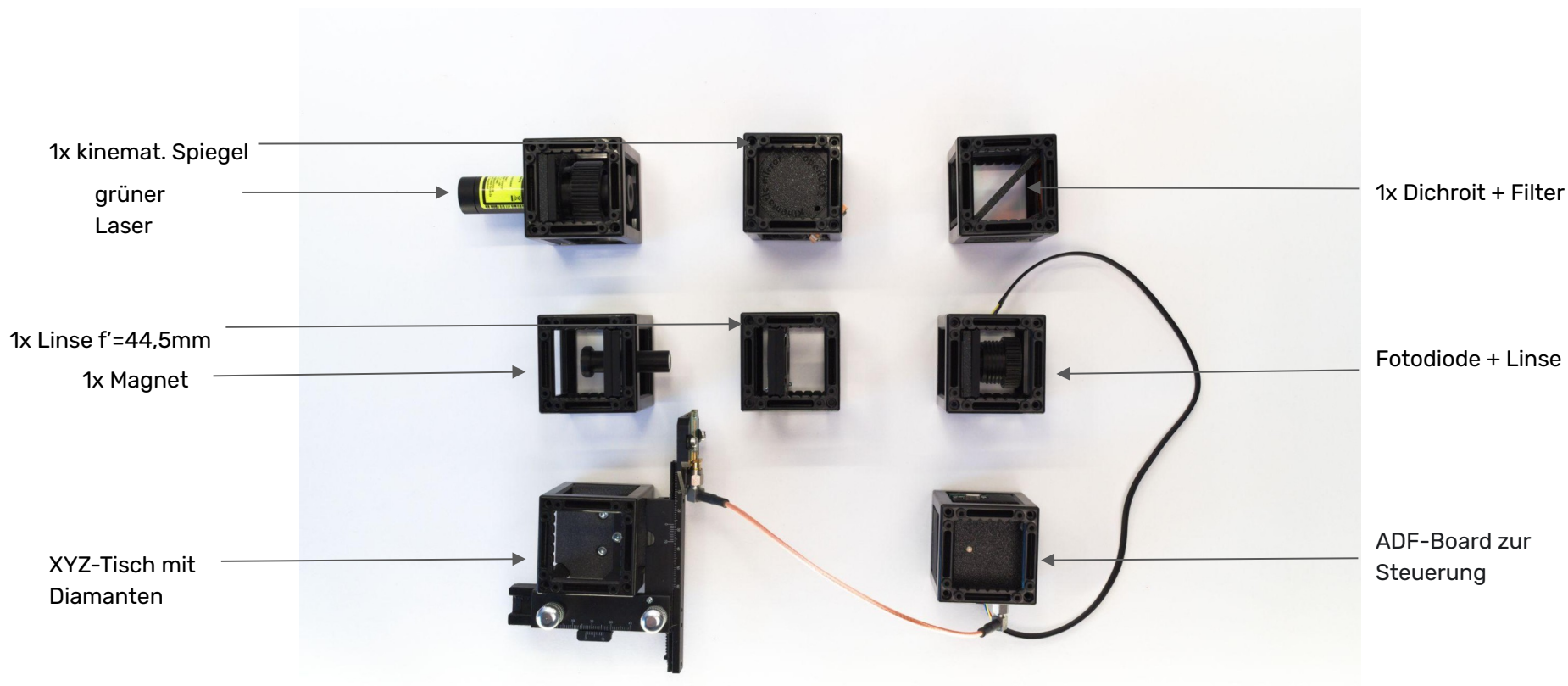
In diesem Experiment lernen die Lernenden, wie sich Quantensysteme optisch manipulieren und messen lassen, wie Magnetfelder und Spinzustände zusammenhängen, wie Mikrowellenstrahlung Elektronenübergänge beeinflusst, die Prinzipien von Konfokalmikroskopie und Fluoreszenzdetektion sowie reale Anwendungen der Quantensensorik.



Experiment 1:

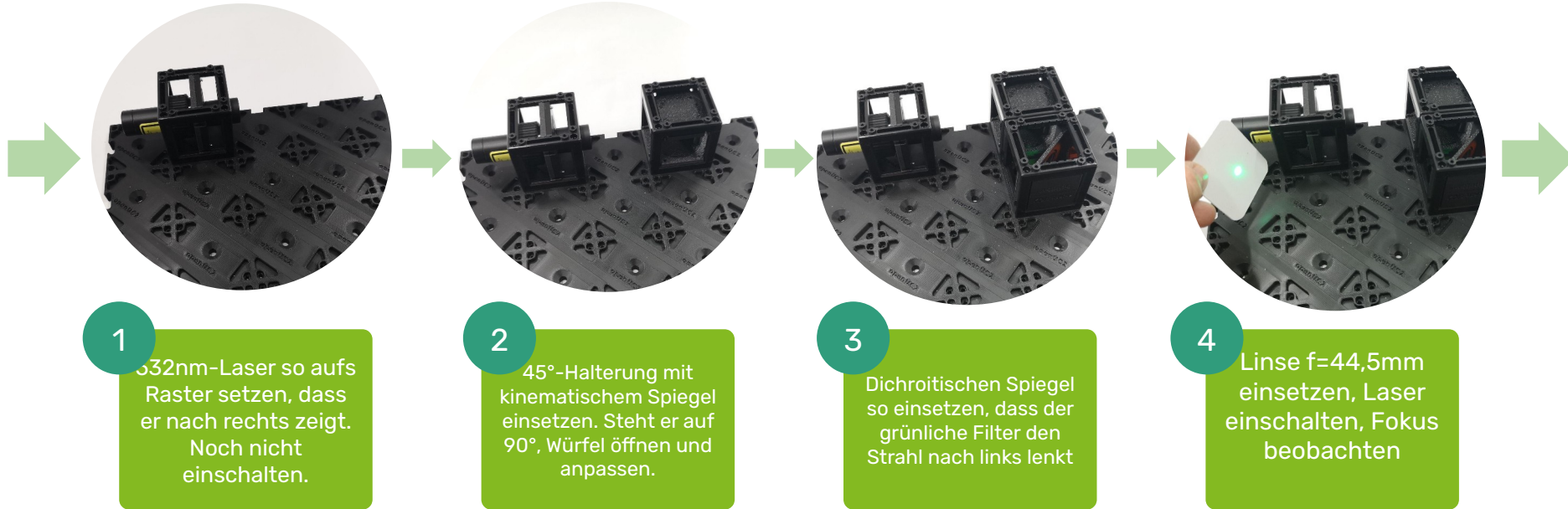
ODMR: Optisch detektierte Magnetresonanz

BENÖTIGTE TEILE



Experiment 1:

Aufbau: ODMR



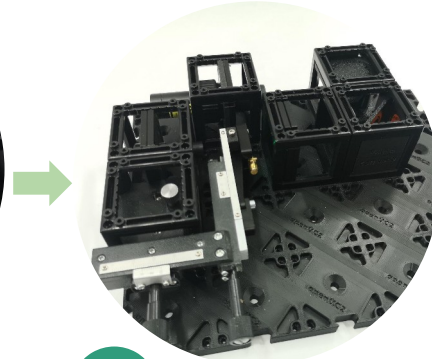
Experiment 1:

Aufbau: ODMR



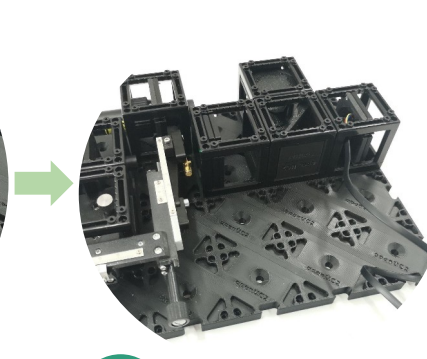
5

Mit dem Schirm dem Fokus folgen



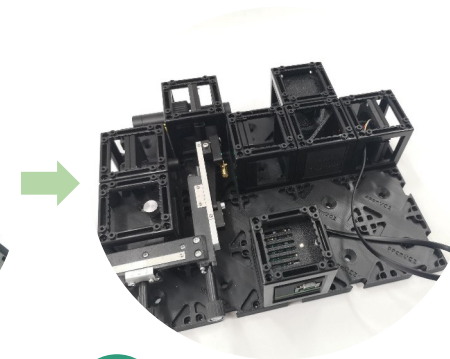
6

XYZ-Tisch mit Diamant einsetzen.
So einstellen, dass einer der schwarzen Punkte (= Diamanten) ungefähr im Laserfokus liegt. Im Bild steht der Magnet schon dahinter. Das kannst du machen, musst ihn aber später entfernen, also ruhig erstmal weglassen.



7

Fotodiode hinter den dichroitischen Spiegel setzen. Linse zeigt zum roten Emissionsfilter.



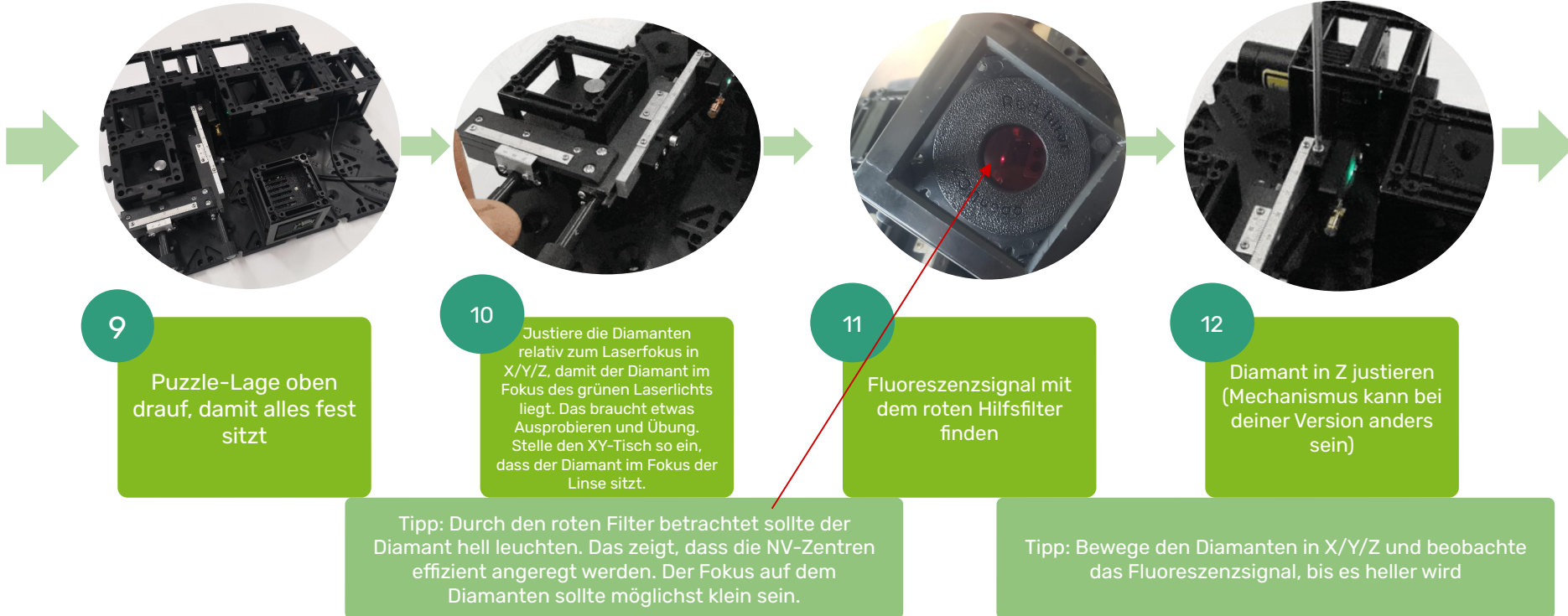
8

I2C-Kabel (Stemma) ans ADF-Board anschließen, das die Hochfrequenz zur Anregung des Diamanten erzeugt

Experiment 4:

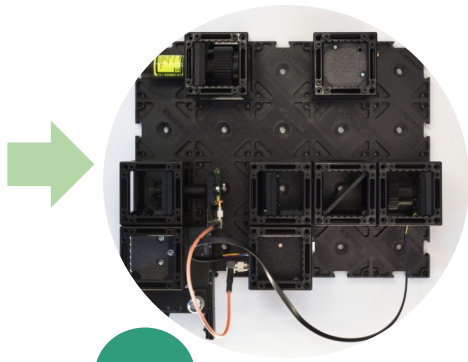
Aufbau: ODMR

Bei Unklarheiten, klicke hier für das Youtube [ODMR-Tutorial](#)



Experiment 4:

Aufbau: ODMR (Elektronik)



13

Elektronik wie oben
gezeigt anschließen

Kompletter Elektronikaufbau mit allen korrekt angeschlossenen Kabeln für ODMR:

- Die Fotodiode wird über das I2C-Stemma-Kabel mit dem ESP32s3-Board verbunden, die Antenne über das SMA-Kabel
- Die Laserdiode hat einen eigenen Akku, du kannst sie über den Schalter auf der Rückseite einschalten
- Verbinde die Fotodiode mit dem I2C-Eingang dem ADF-Board, falls noch nicht geschehen
- Verbinde die Mikrowellenantenne mit dem ADF-Baord

Experiment 4:

Aufbau: ODMR (Elektronik und optional flashen)

- 
- Verbinde den ESP32 auf dem ADF-Board per USB-C-Kabel mit deinem Computer.
 - Stelle sicher, dass dein ESP32-Board die aktuelle Firmware hat. (Standardmäßig ist dies der Fall und du kannst die nächsten Schritte überspringen)
 - Du kannst sie über die offizielle [openUC2](#)-Website in Chrome herunterladen und flashen. Wähle deine Version (sehr wahrscheinlich ESP32C3 ODMR Quantum Mini Labs) und klicke auf Connect.
 - In Chrome öffnet sich ein Dialog, in dem du den COM-Port deines ESP32 auswählst. Er heißt meist CP2102 USB to UART Bridge Controller oder ähnlich. Nach dem Verbinden installierst du die aktuelle Firmware mit einem Klick auf "Install".
 - Warte, bis die Firmware geflasht ist.
- 

Mehr Infos unter: [Link](#)

Bei Unklarheiten, klicke hier für das Youtube [ODMR-Tutorial](#)

Experiment 4:

Aufbau: ODMR (Verbindung zur Weboberfläche)

- 
- Nach dem Flashen den ESP aus- und wieder einstecken, dann auf <https://youseetoo.github.io/odmr> gehen und dich per Web Serial mit dem Board verbinden (auf der Website zu Messung (Webserial) gehen).
 - Alternativ: Warte, bis das Gerät ein eigenes WLAN aufbaut
 - Klicke unten rechts auf deinem Bildschirm auf das WLAN-/Netzwerk-Symbol (wo du normalerweise dein WLAN auswählst).
 - Nach ein paar Sekunden sollte ein neues Netzwerk mit einem Namen wie ODMR-XXXX in der Liste erscheinen.
 - Wähle dieses Netzwerk aus, um dich mit dem Gerät zu verbinden.
 - Sobald du verbunden bist, öffne deinen Browser und gehe auf <http://192.168.4.1>
 - Gehe auf der Website zu Messung(Device).
- 

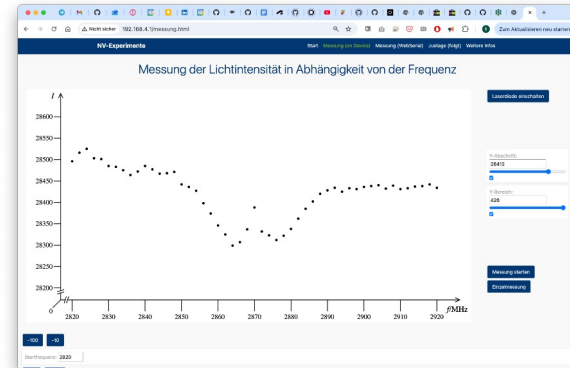
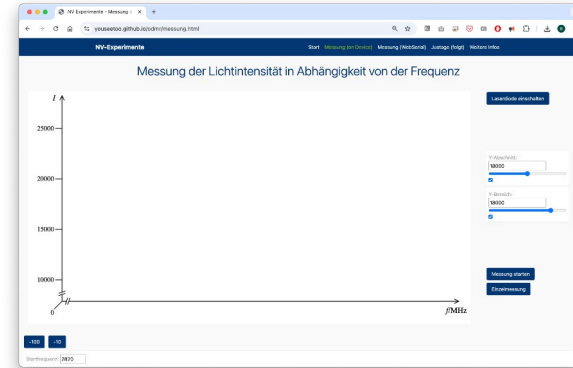
Experiment 4:

Aufbau: ODMR (Test in der Weboberfläche)

Steuere die einzelnen Komponenten über die Weboberfläche:

- Signalpegel der Fotodiode überwachen
- Mikrowellenausgang testen (Frequenz-Sweeps)

Wenn du eine Messung startest, läuft die Frequenz schrittweise vom Minimal- zum Maximalwert. Der Graph zeigt die Intensität des roten Lichts in Abhängigkeit von der Frequenz. Die Minima zeigen Spin-Flips an.



enUC2 UNIVER



Making optics modular. One cube at a time.