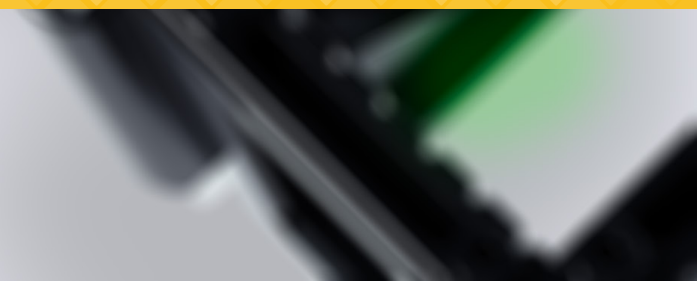


QUANTUM MINILABS
Polarisation von Licht



INHALT

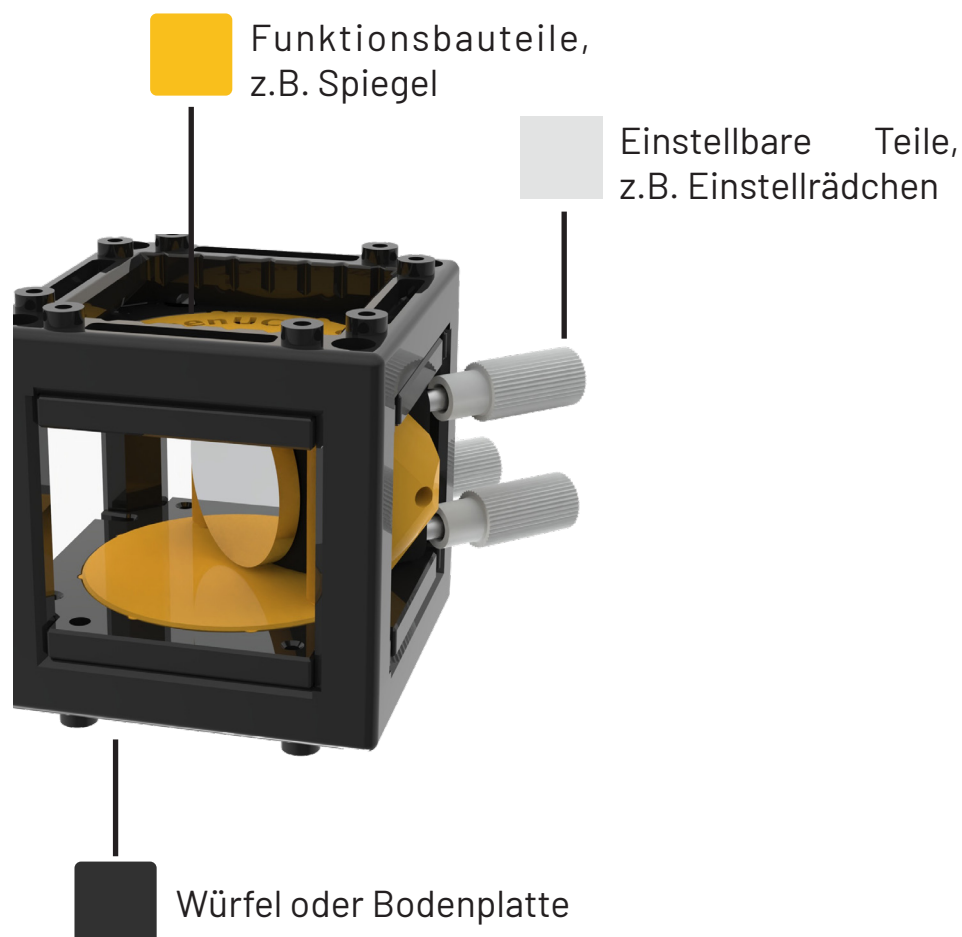
- 2** Experimente mit den Quantum Minilabs
- 3** SICHERHEITSHINWEISE
- 4** Gesetz von Malus
- 5** Polarisation von Licht
- 12** Gesetz von Malus
- 13** Polarisation der Laserdiode
- 15** Drehen von Polarisation
- 20** Polarisation im Alltag

Experimente mit den Quantum Minilabs

Mit unserem modularen Würfelsystem kannst du verschiedene Experimente aus den einzelnen Bauteilen aufbauen. So lernst du nicht nur, wie man Quantenphänomene sichtbar macht und einsetzt, sondern auch wie die Physik dahinter funktioniert. Ersatzteile können nachgekauft oder selbst gedruckt werden, ohne das ganze Kit neu kaufen zu müssen. So bleiben die Quantum Minilabs nachhaltig und immer funktional.

Die Würfel sind alle ähnlich aufgebaut und besitzen eine Farbcodierung. Würfel und Grundplatte sind schwarz, alle goldenen Teile sind Funktionsbauteile. In seltenen Fällen, nämlich dann, wenn gold das Licht zu stark reflektieren würde, sind Funktionsbauteile schwarz. Hellgraue Bauteile dienen der Einstellung der Funktionsbauteile. An diesen kannst du beispielsweise drehen, um die Funktionsbauteile einzustellen. In diesem Workbook findest du Sicherheitsinformationen, die Anleitung zum Experimentieren und Hintergrundinformationen zum Experiment.

Wir wünschen dir viel Spaß mit den Quantum Minilabs.



SICHERHEITSHINWEISE

Laser

Laser sind nicht nur besonders hell, sondern erzeugen darüber hinaus einen sehr konzentrierten Strahl. Sie können deshalb auch über größere Strecken hinweg noch eine Gefahr darstellen.



Laserstrahlung
Nicht in den Strahl blicken
Laserklasse 2

Gefahren von Lasern

Die größte Gefahr bieten Laser für unsere Augen. Blickt man direkt in einen Laser, so können kurz- und langfristig blinde Flecken auf der entsprechenden Stelle der Netzhaut auftreten. Dabei ist die Gefahr größer, je stärker der Laser ist und je länger das Auge getroffen wird.

Sicherheitsmaßnahmen beim Experimentieren

Folgende Sicherheitsmaßnahmen sorgen dafür, dass der Laser beim Experimentieren nicht ins Auge gezielt oder reflektiert wird:

- Schaue niemals mit Absicht in den Laserstrahl!
- Ziele den Laserstrahl niemals auf andere Personen!
- Schalte den Laser immer aus, bevor du den Versuchsaufbau änderst!
- Achte darauf, dass deine Augen nie auf Höhe des Laserstrahls sind!
- Nimm reflektierende Ringe, Uhren, Armbänder und Halsketten ab!
- Entferne reflektierende Gegenstände (Etui, Geodreiecke, Lineal, Handy, usw.) vom Tisch!

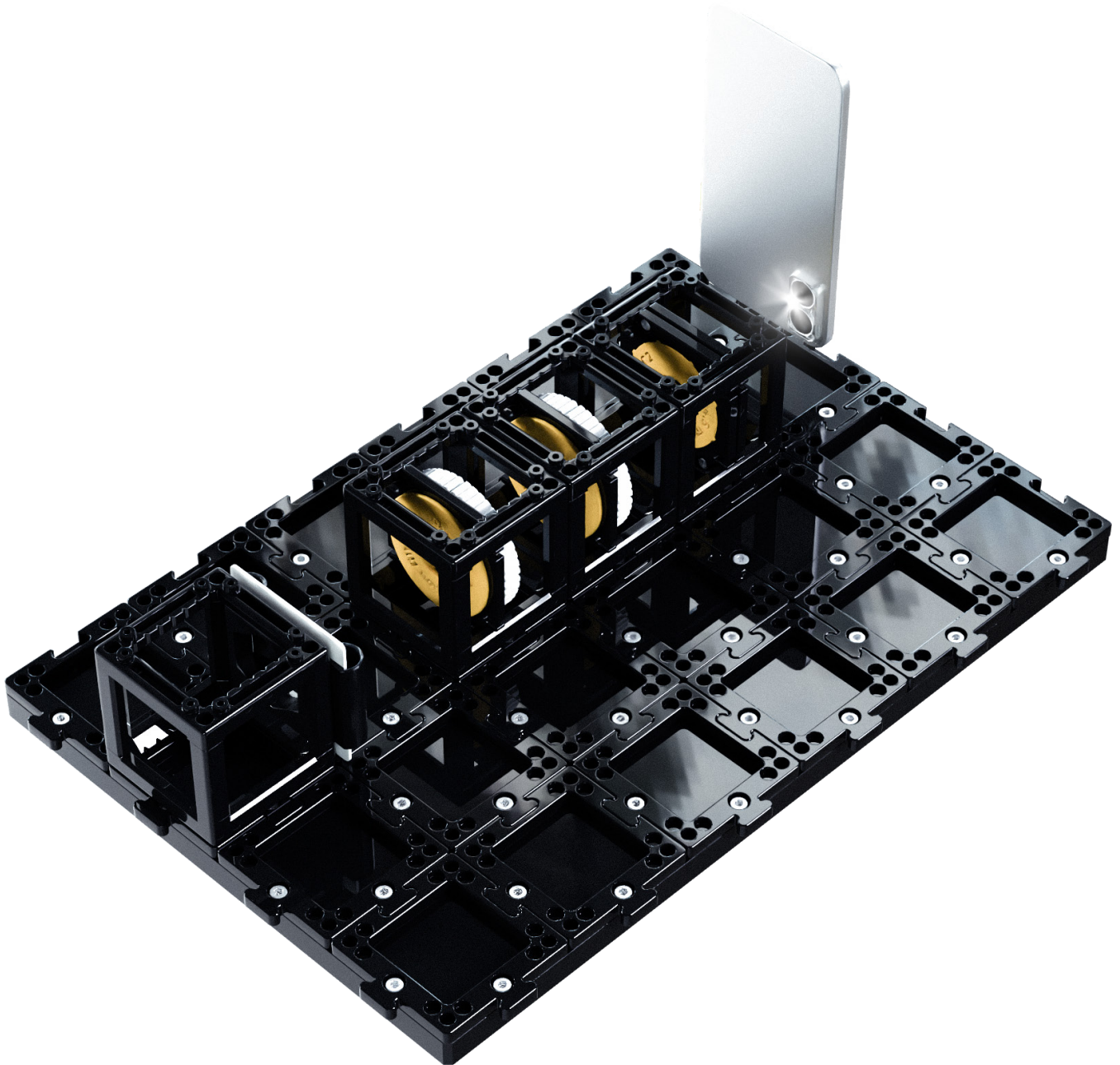


Nicht in den Laser blicken!



Reflektierende Gegenstände entfernen!

Gesetz von Malus

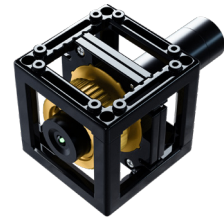
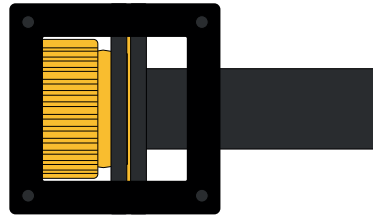


Polarisation von Licht

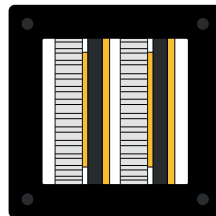
1

Suche für das nächste Experiment die folgenden Bauteile heraus. Baue dir aus dem doppelten Polfilter und dem Reservewürfel zwei einzelne Polfilter. Wie das geht, findest du in der Aufbauanleitung. Du benötigst außerdem die Grundplatte und eine Taschenlampe, zum Beispiel von deinem Handy.

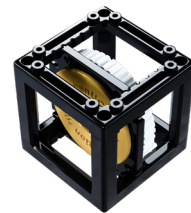
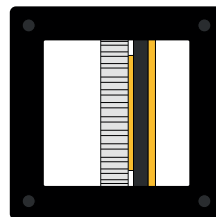
Lasermodul (Laserklasse 2)



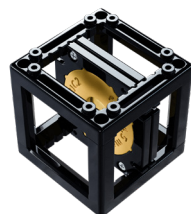
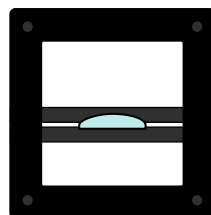
Polfilter Doppel (2x)



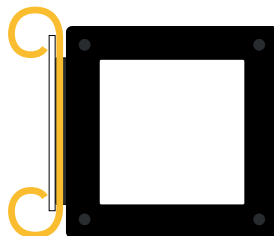
Polfilter einfach



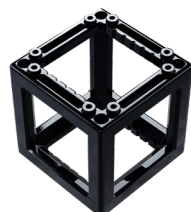
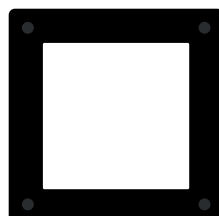
Plankonvexe Linse, f 65mm



Projektionsträger
mit Würfel



Reservewürfel

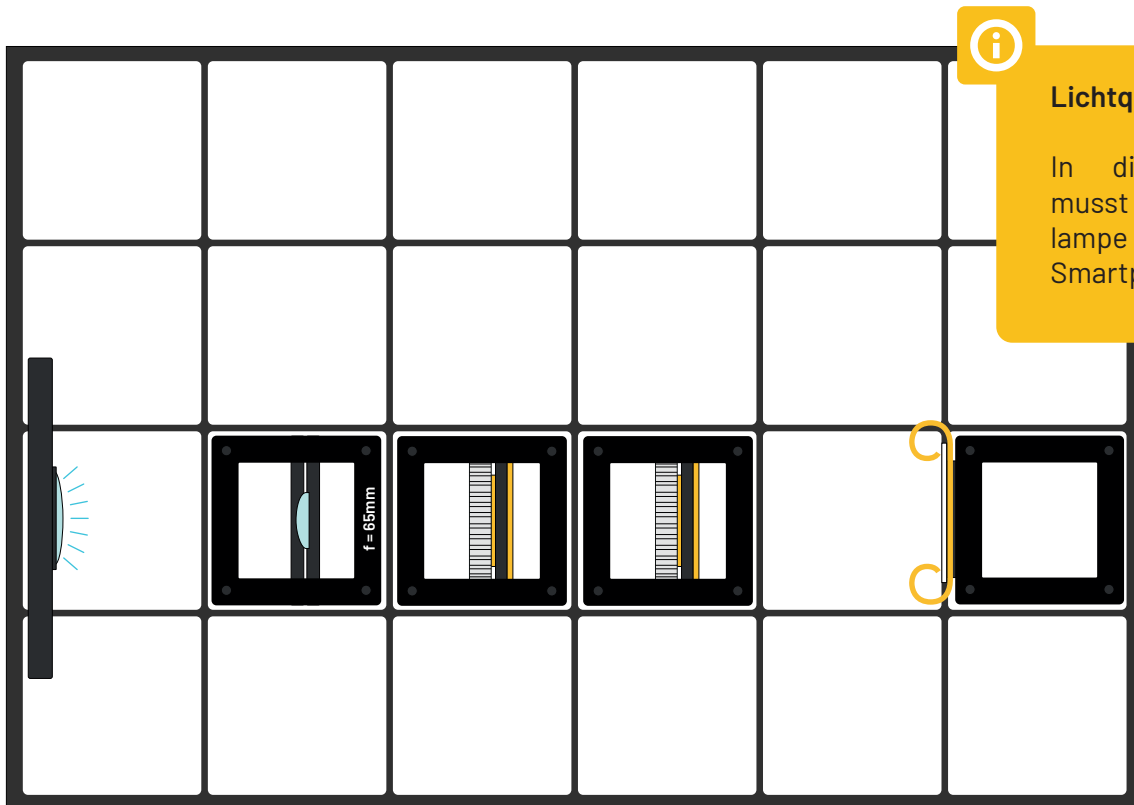


Polarisation von Licht

Im Kontext von Lichtbrechung und -reflexion betrachtet man Licht als Strahlen, die sich geradlinig ausbreiten. Dieses Strahlenmodell reicht nicht mehr aus, wenn es um die Themen Beugung und Interferenz geht. Auch das Thema Polarisation, um das es auf den folgenden Seiten geht, kann nur durch ein Wellenmodell von Licht erklärt werden.

2

Baue das folgende Experiment auf und untersuche wie viel Licht durch die beiden Polfilter auf den Schirm trifft, wenn du die Filter drehst. Wann trifft am meisten Licht auf den Schirm, wann am wenigsten?

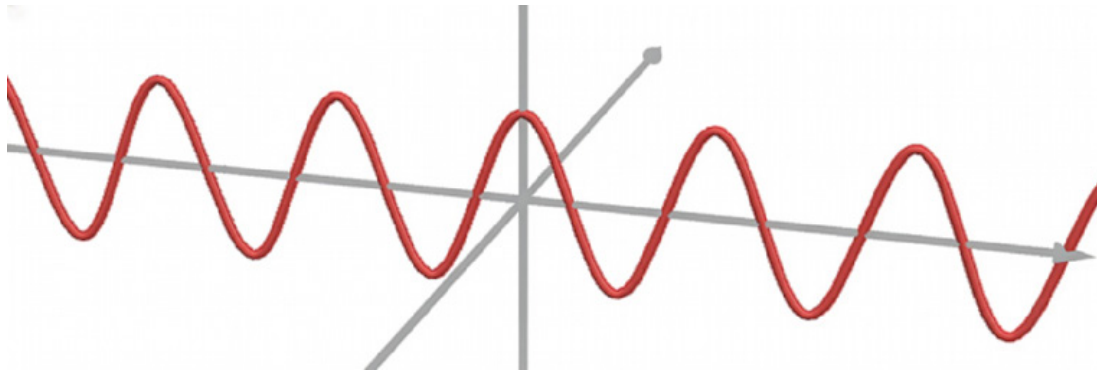


Polarisation von Licht

Um das Experiment auf der vorherigen Seite zu erklären, müssen wir zunächst verstehen, was Polarisation von Licht ist und welchen Einfluss Polarisationsfilter auf polarisiertes Licht haben.

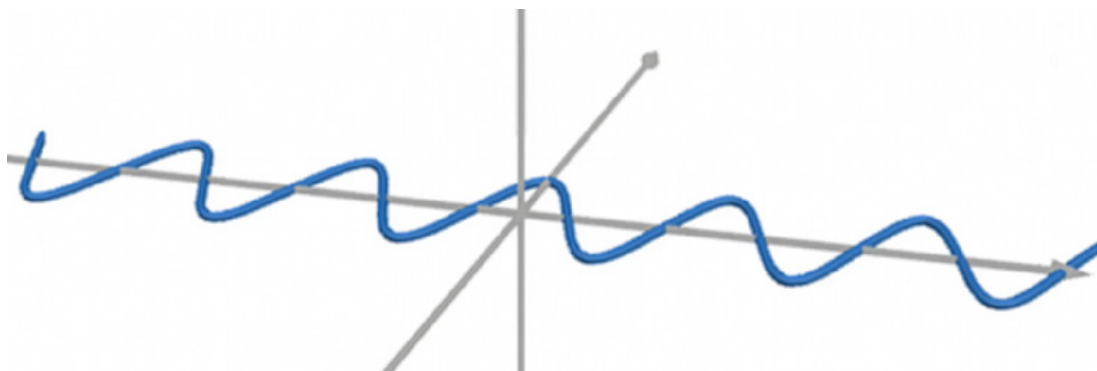
Was ist Polarisation?

Polarisation ist eine der Welleneigenschaften von Licht. Wir können sie also nur verstehen, indem wir Licht als elektromagnetische Welle beschreiben. Auf der folgenden Abbildung ist eine solche Welle dargestellt.



Hier dargestellt ist eine Momentaufnahme. Bei normalen sich ausbreitenden Lichtwellen bewegt sich die hier gezeigte Welle nach Rechts (oder Links) entlang der Achse.

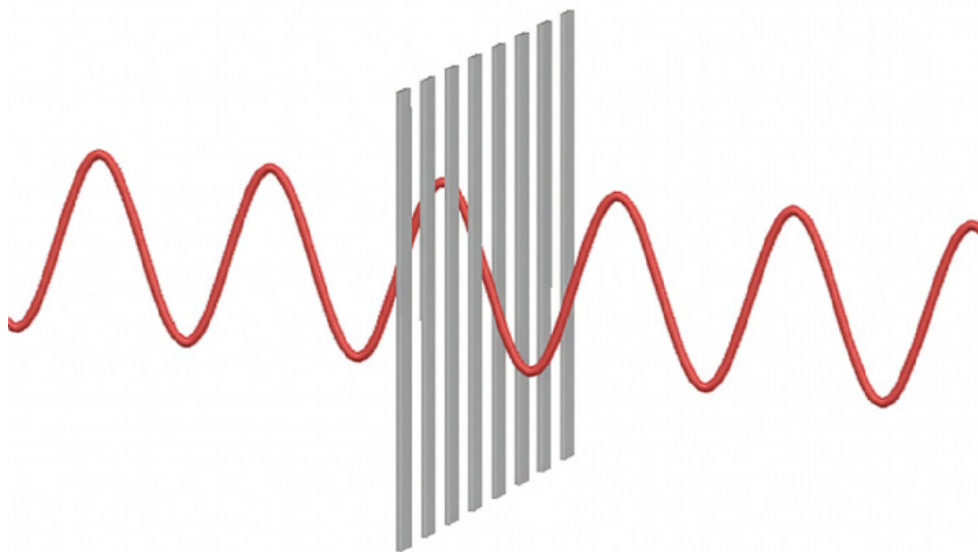
Auf dem Bild ist gut zu erkennen, dass die Wellen vertikal (nach oben und unten) schwingt. Genauso gut könnte die Welle aber auch horizontal (nach vorne und hinten) schwingen, wie auf dem nächsten Bild gezeigt.



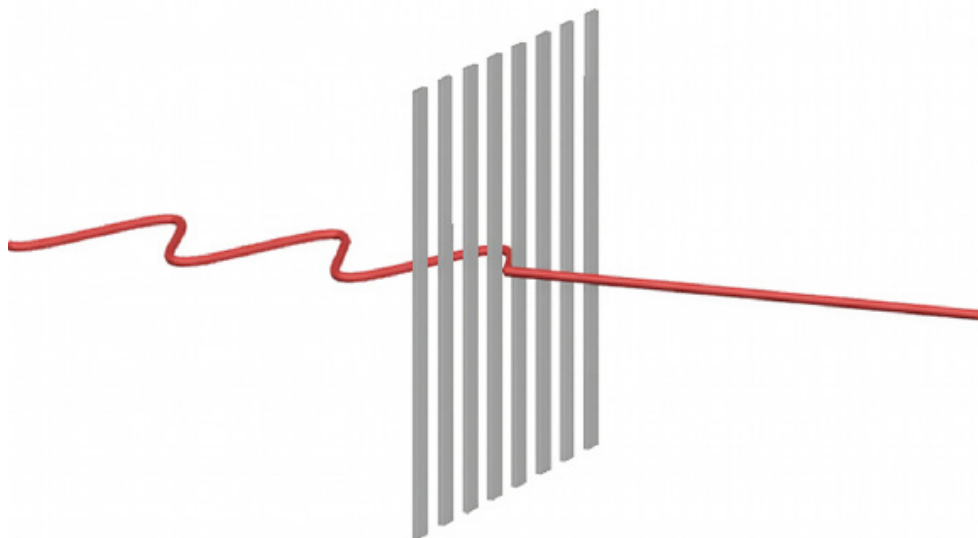
Tatsächlich sind auch alle Richtungen dazwischen möglich. Die Welle könnte also beispielsweise auch diagonal schwingen.

Was macht ein Polarisationsfilter?

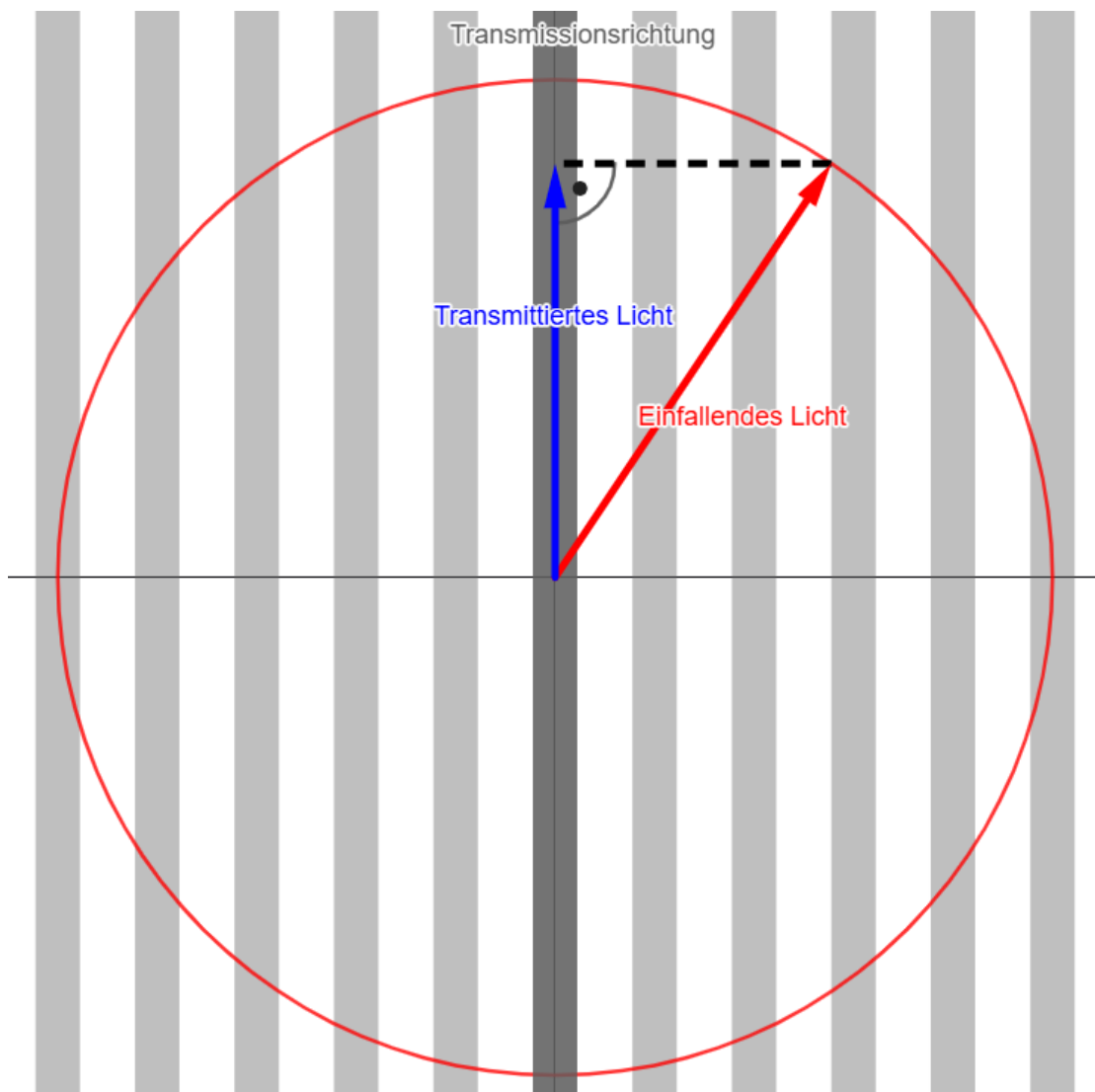
Polarisationsfilter sind optische Bauteile, die nur genau eine Richtung Polarisation durchlassen. Man kann sie sich vorstellen wie einen Gartenzaun durch den ein Seil gezogen ist. Wenn man das Seil nach oben und unten schwingt, setzt sich die Schwingung auch nach dem Zaun fort. Genauso kann auch eine vertikale Schwingung einen vertikal ausgerichteten Polfilter passieren, wie auf der folgenden Abbildung dargestellt.



Schwingt die Welle (das Seil) aber horizontal, so kann sich die Schwingung nicht durch den Filter (den Zaun) ausbreiten. Die Polarisationsrichtung, die vom Filter transmittiert (durchgelassen) wird, heißt Transmissionsrichtung.



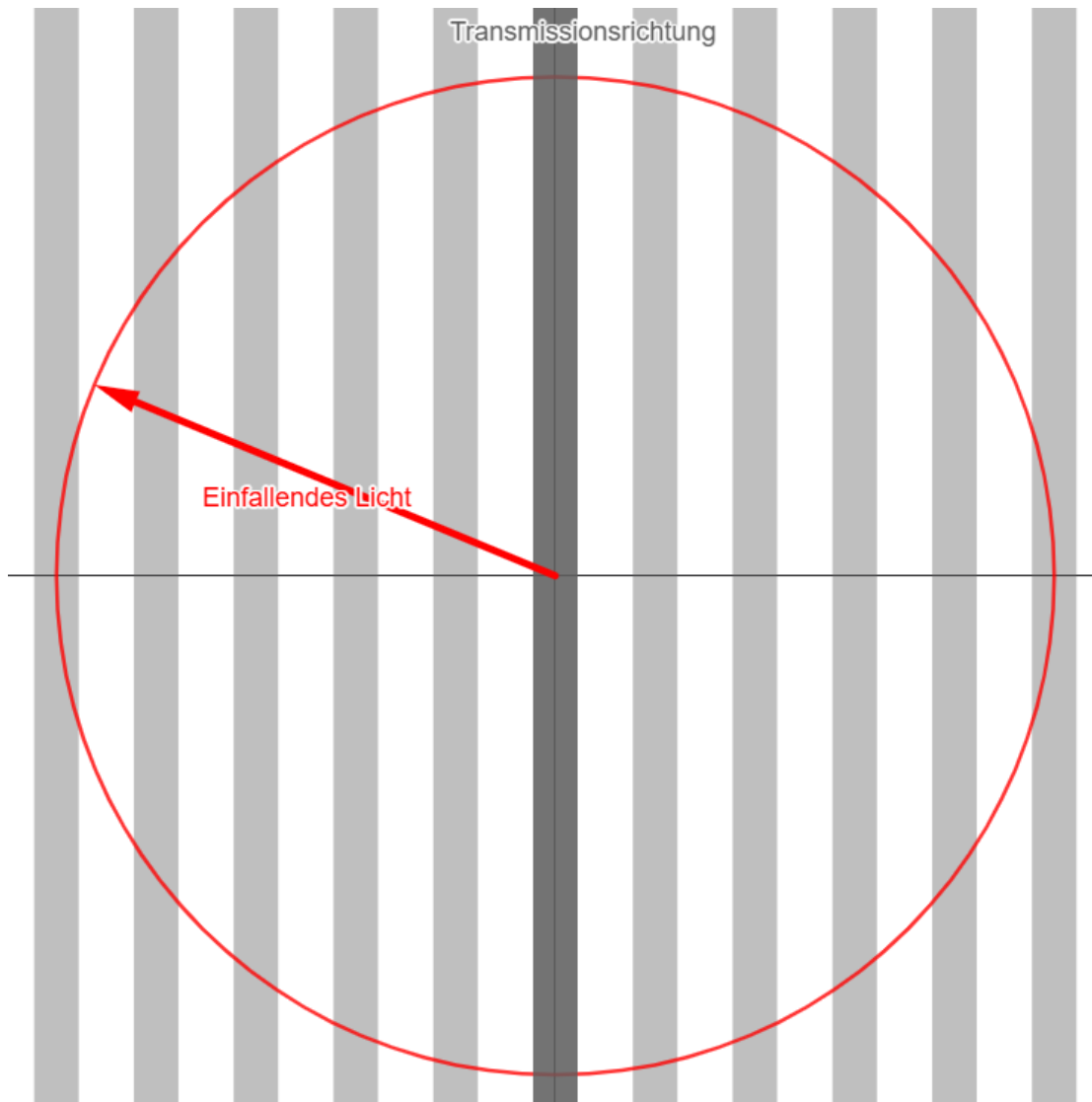
Was passiert jetzt, wenn die Polarisation des Lichts nicht genau senkrecht oder parallel zur Transmissionsachse des Polfilters ist? Die Antwort ist auf der folgenden Abbildung eingezeichnet.



Die Darstellung erfolgt aus der Perspektive eines Betrachters, der frontal auf die Lichtwelle blickt. Der rote Vektor steht für die elektromagnetische Welle, die in deine Richtung schwingt. Die Länge ist dabei die Stärke des Feldes, die direkt mit der Intensität des Lichts zusammenhängt. Die Richtung steht für die Polarisation. Das Licht ist also diagonal polarisiert. Die grauen Balken stellen wie vorher den Polarisationsfilter dar. Vertikal polarisiertes Licht wird transmittiert. Um zu bestimmen, wie viel Licht transmittiert wird, projiziert man den Vektor des elektromagnetischen Feldes vom einfallenden Licht auf die Transmissionsachse. Man zieht also eine Strecke, die senkrecht auf der Transmissionsachse steht zum Endpunkt des Feldvektors. Auf der Transmissionsachse ergibt sich so gerade der Vektor, des transmittierten Lichtes. Es ist gut zu erkennen, dass die Polarisation nach dem Polfilter also wieder gerade parallel zur Transmissionsachse des Filters ist. Außerdem nimmt die Intensität etwas ab.

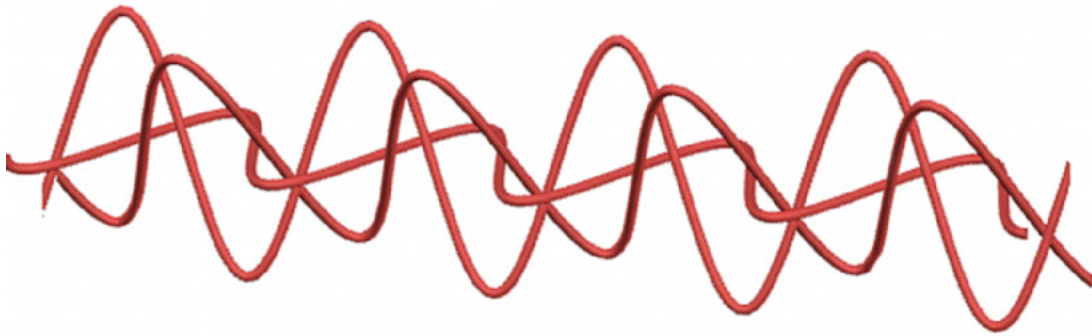
1

Auf der folgenden Abbildung ist einfallendes Licht mit derselben Intensität aber einer anderen Polarisation eingezeichnet. Bestimme den Feldvektor des transmittierten Lichts!

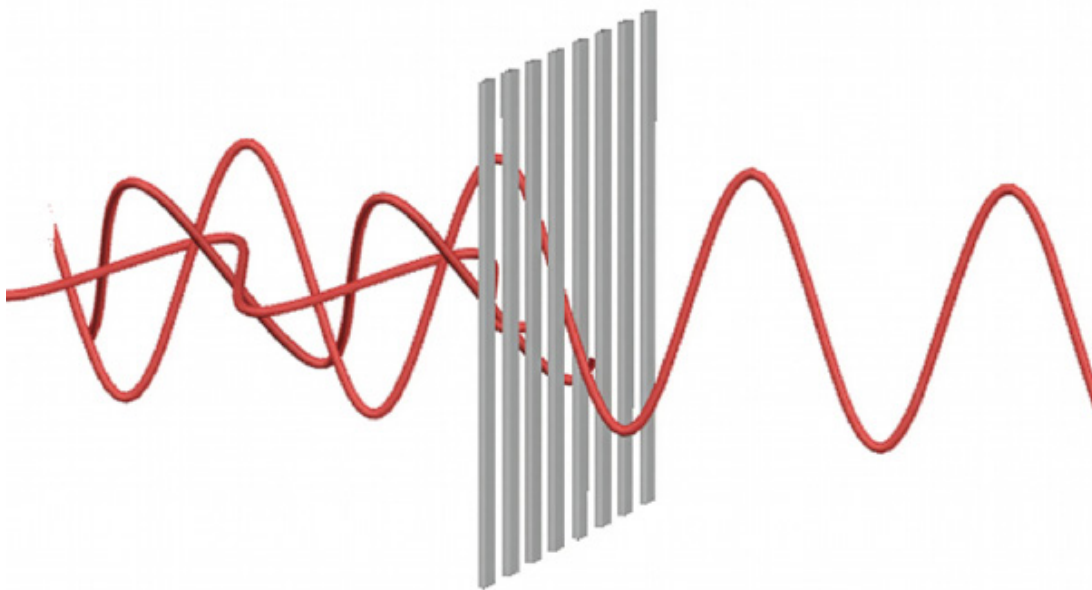


Wie ist das Licht der LED polarisiert?

Die meisten Lichtquellen, die wir kennen, erzeugen unpolarisiertes Licht. Das bedeutet nicht, dass es überhaupt keine Polarisation hat, die Polarisation ist aber zufällig verteilt. Innerhalb kürzester Zeiträume werden also alle möglichen unterschiedlichen Polarisationsrichtungen erzeugt.



Mit einem Polarisationsfilter kann man dafür sorgen, dass nur noch Licht einer Polarisationsrichtung durchgelassen wird.



Polarisation von Licht

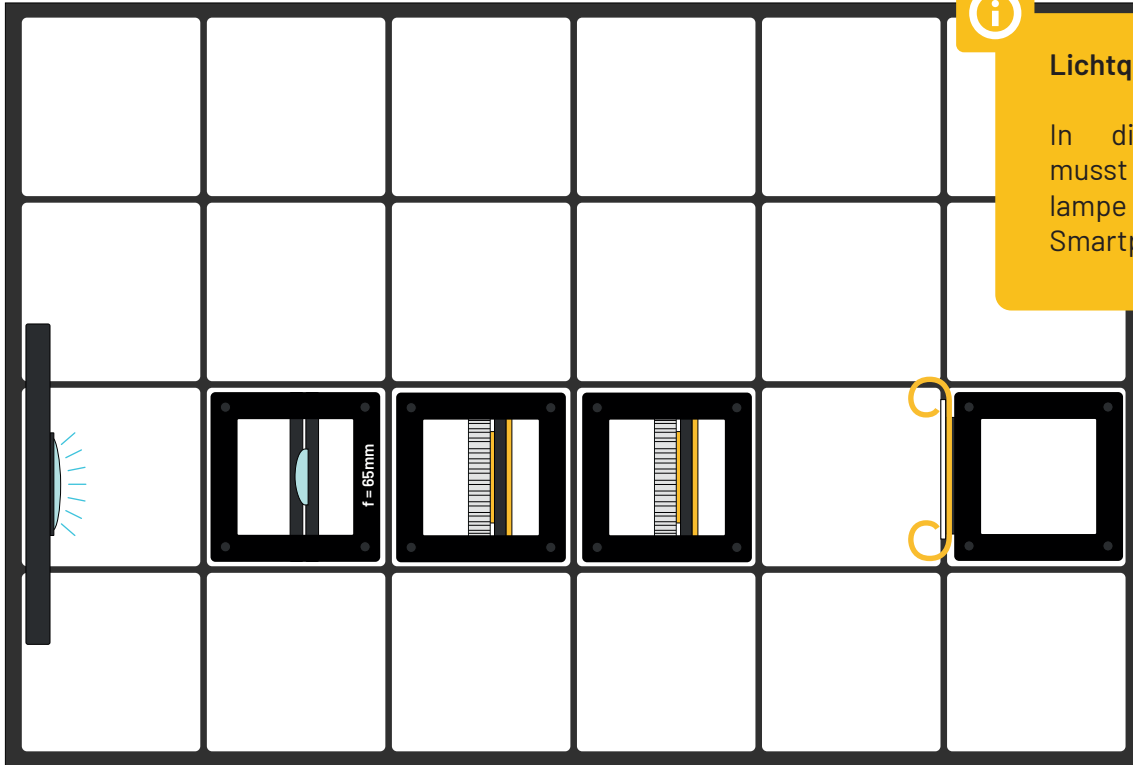
1

Betrachte jetzt nochmal das Experiment. Was passiert an dem ersten Polarisationsfilter? Was an dem zweiten?



Lichtquelle

In diesem Experiment musst du eine Taschenlampe z.B. von deinem Smartphone verwenden.



Gesetz von Malus

Das Gesetz von Malus beschreibt quantitativ, welcher Anteil von polarisiertem Licht von einem Polarisationsfilter transmittiert (also durchgelassen) wird:

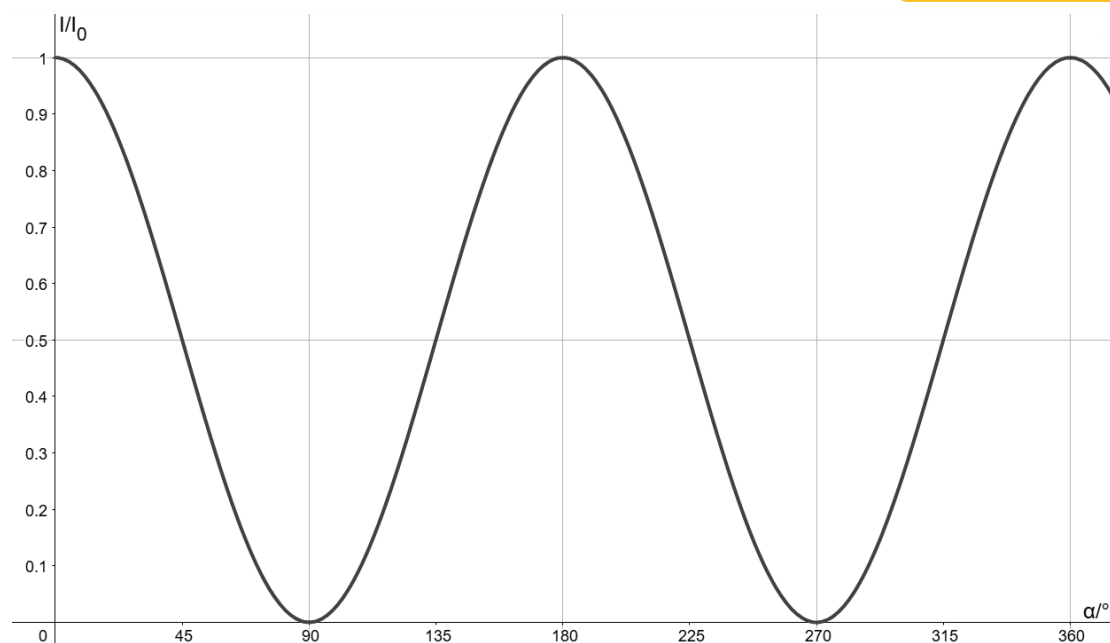
$$I = I_0 \cos^2(\alpha)$$

Dabei ist I_0 die Intensität des Lichtes, das auf den Polarisationsfilter trifft, I die Intensität des Lichtes, das von dem Filter transmittiert wird und α der Winkel zwischen der Polarisationsrichtung vor dem Filter und der Transmissionsrichtung des Filters. Trägt man die transmittierte Intensität gegen den Winkel auf, ergibt sich der folgende Graph:



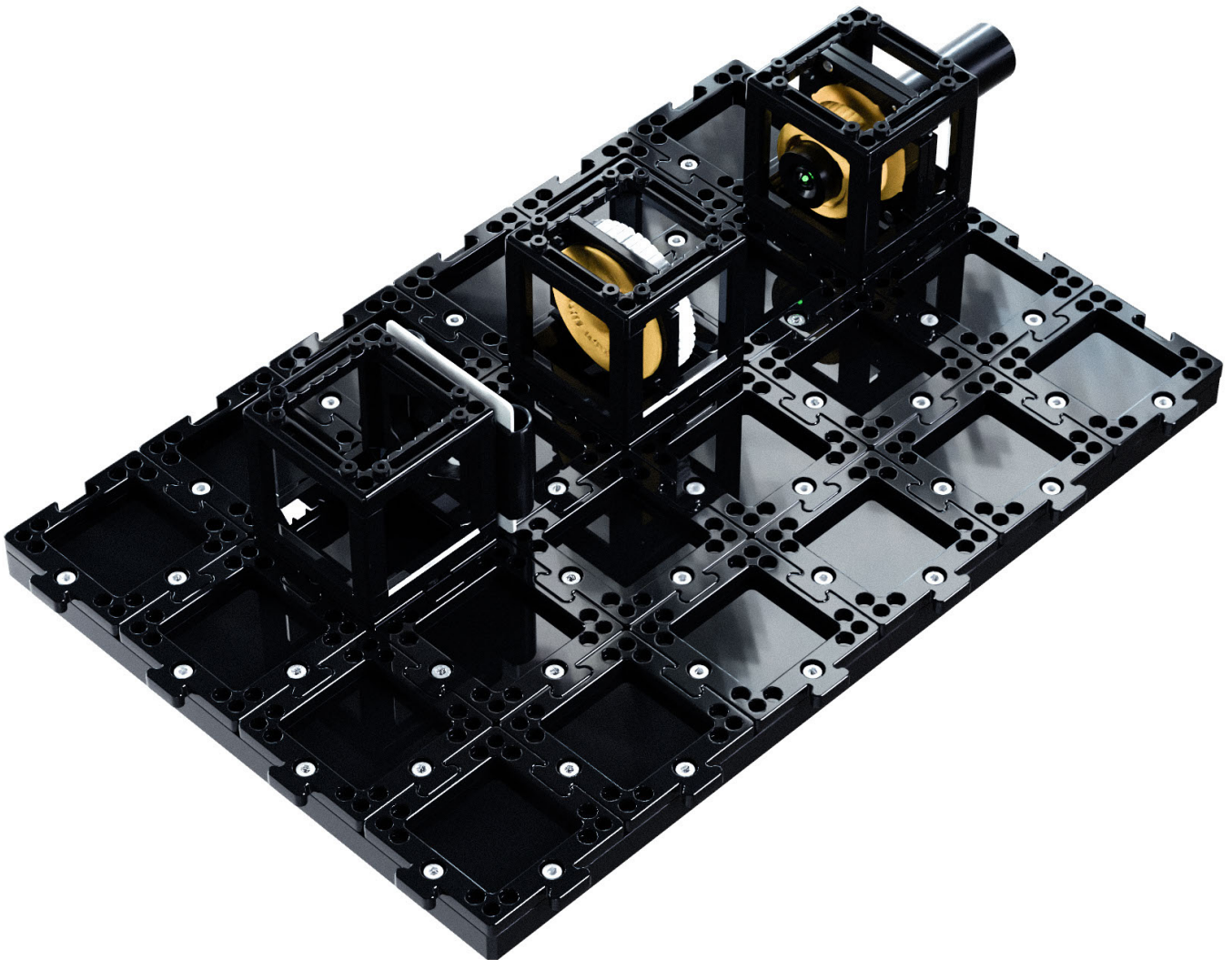
Étienne Louis Malus

Étienne Louis Malus lebte 1775 bis 1812 in Frankreich. Sein Name wird „Malüs“ ausgesprochen.



Die Form des Kosinus zeigt sich deutlich. Durch das Quadrat ist die Funktion im gesamten Wertebereich positiv. Es ist außerdem gut zu erkennen, dass Polfilter gleich funktionieren, wenn sie um 180° gedreht werden. In der Vorstellung als Gartenzaun von vorher ist das einfach nachzuvollziehen.

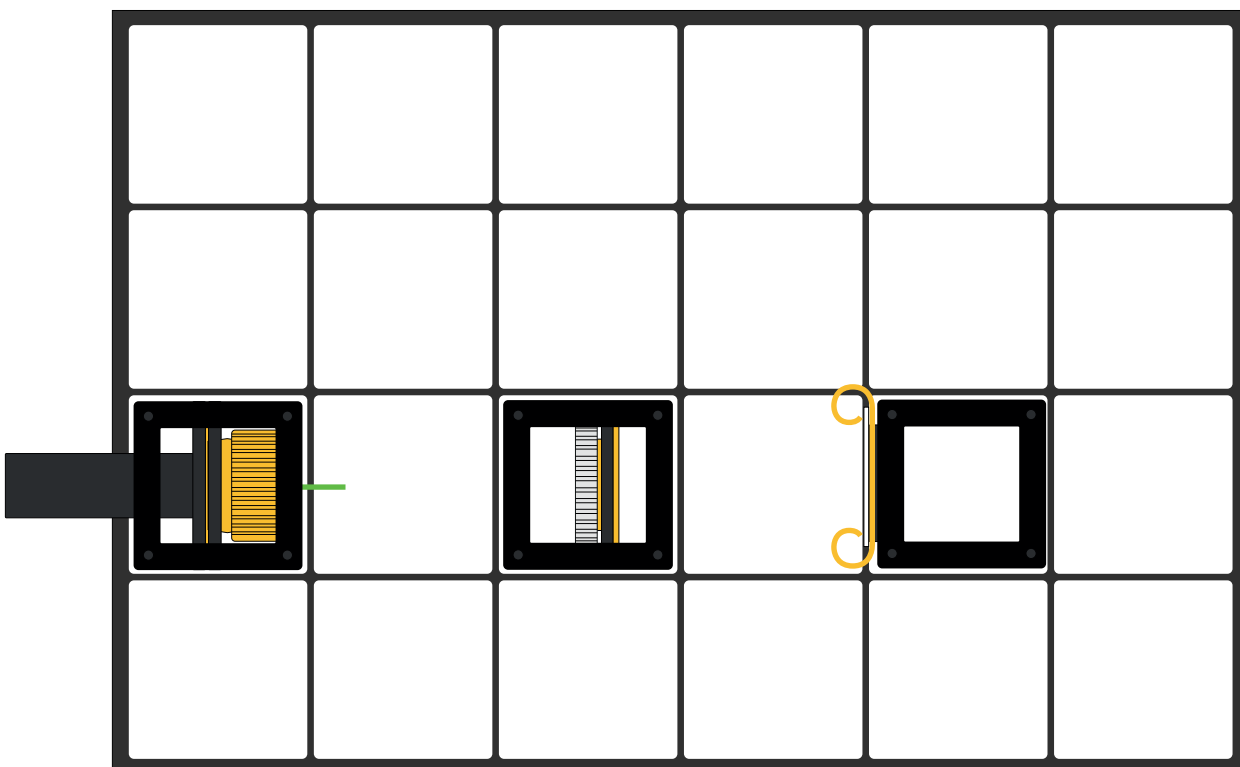
Polarisation der Laserdiode



Polarisation des Lasers

1

Untersuche die Polarisation der Laserdiode. Ist das Licht der Laserdiode polarisiert?



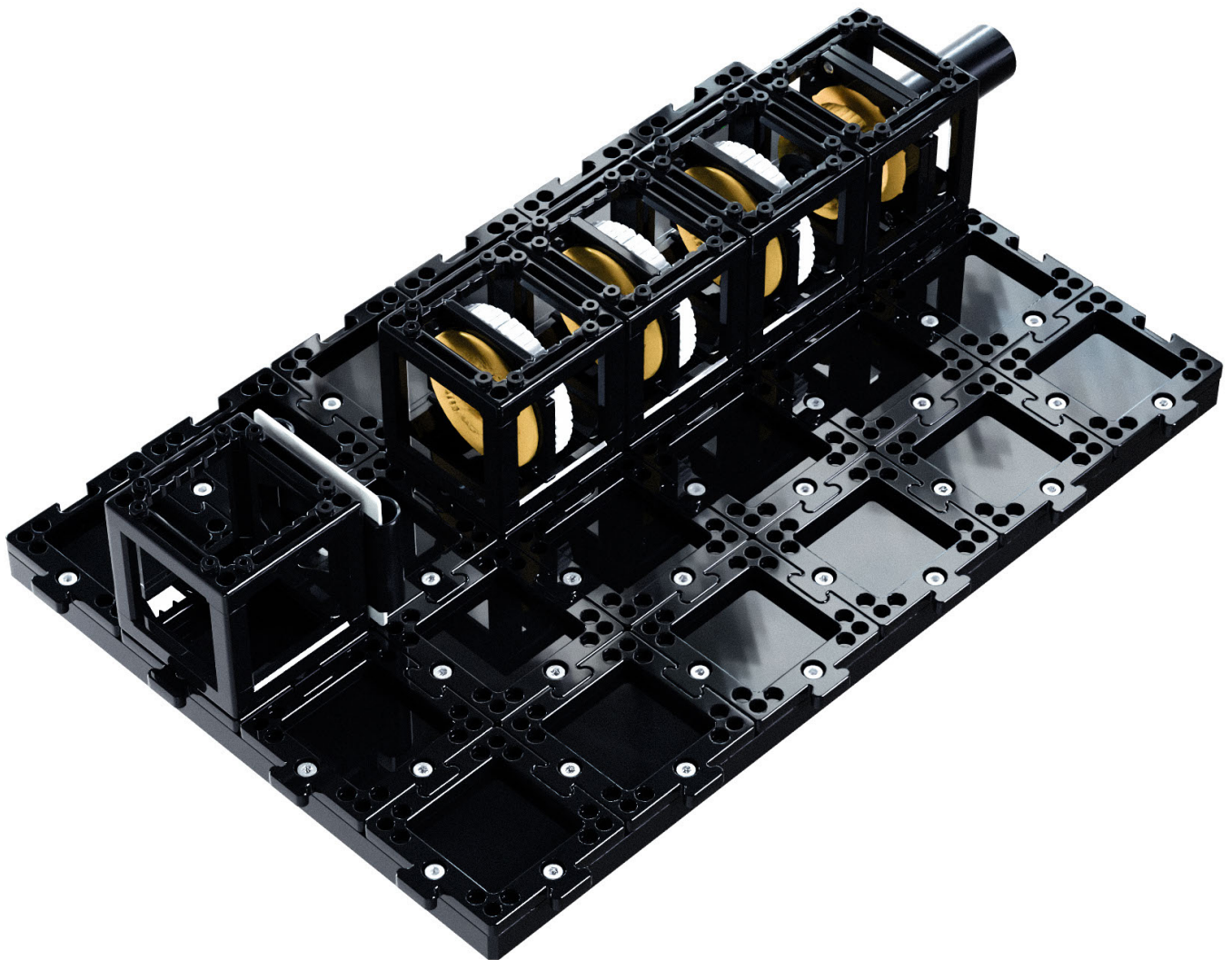
Schaltet den Laser nur zur Justage ein und danach wieder aus!

Achtet darauf nicht direkt in den Laserstrahl zu blicken.



A large empty rectangular box with a black border, intended for the student to write their observations or conclusions.

Drehen von Polarisisation

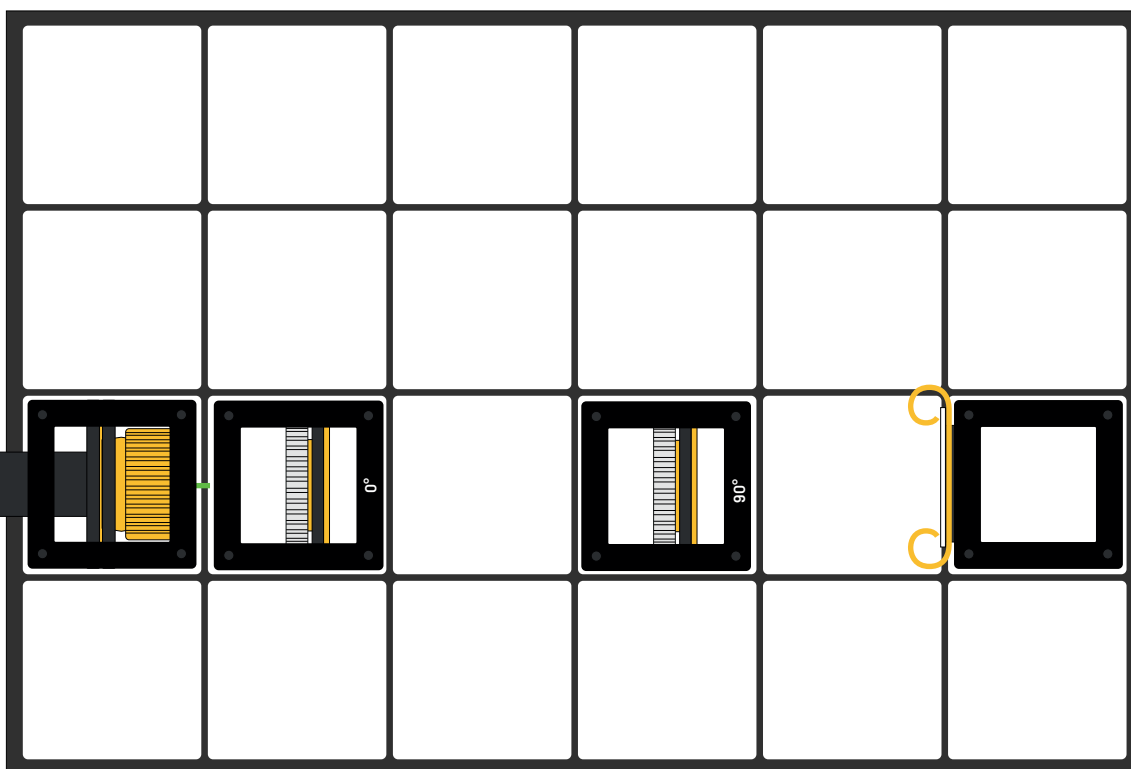


Polarisation drehen mit Polarisationsfiltern

In den vorherigen Experimenten hast du gelernt, dass Lichtwellen eine Polarisation haben können und dass Polarisationsfilter nur Licht mit einer bestimmten Polarisationsrichtung durchlassen. Im folgenden Experiment wird noch etwas genauer untersucht, was passiert, wenn Licht auf den Filter trifft.

1

Baue zunächst das folgende Experiment auf. Achte darauf, dass der erste der beiden Polfilter noch reichlich Licht vom Laser durchlässt und der zweite um 90° gegen den ersten gedreht ist, sodass kein Licht mehr transmittiert wird.



In den vorherigen Experimenten wurde bereits erklärt, dass der zweite Polfilter alles Licht absorbiert, weil er senkrecht zum ersten Filter ausgerichtet ist und gerade das Licht absorbiert, das der erste Filter transmittiert.

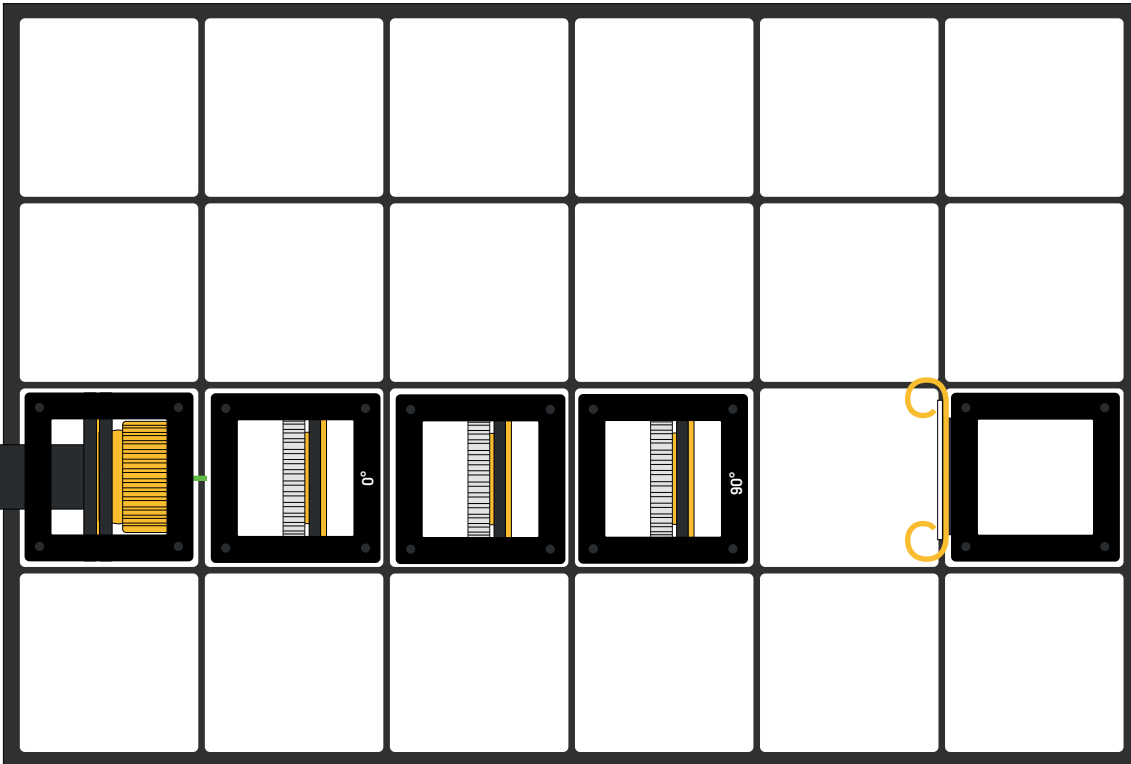


Schaltet den Laser nur zur Justage ein und danach wieder aus!

Achtet darauf nicht direkt in den Laserstrahl zu blicken.

2

Ergänze jetzt einen dritten Polarisationsfilter zwischen den anderen beiden Filtern und untersuche, ob du ihn so ausrichten kannst, dass wieder Licht auf den Schirm trifft.



Wann trifft das meiste Licht auf den Schirm?



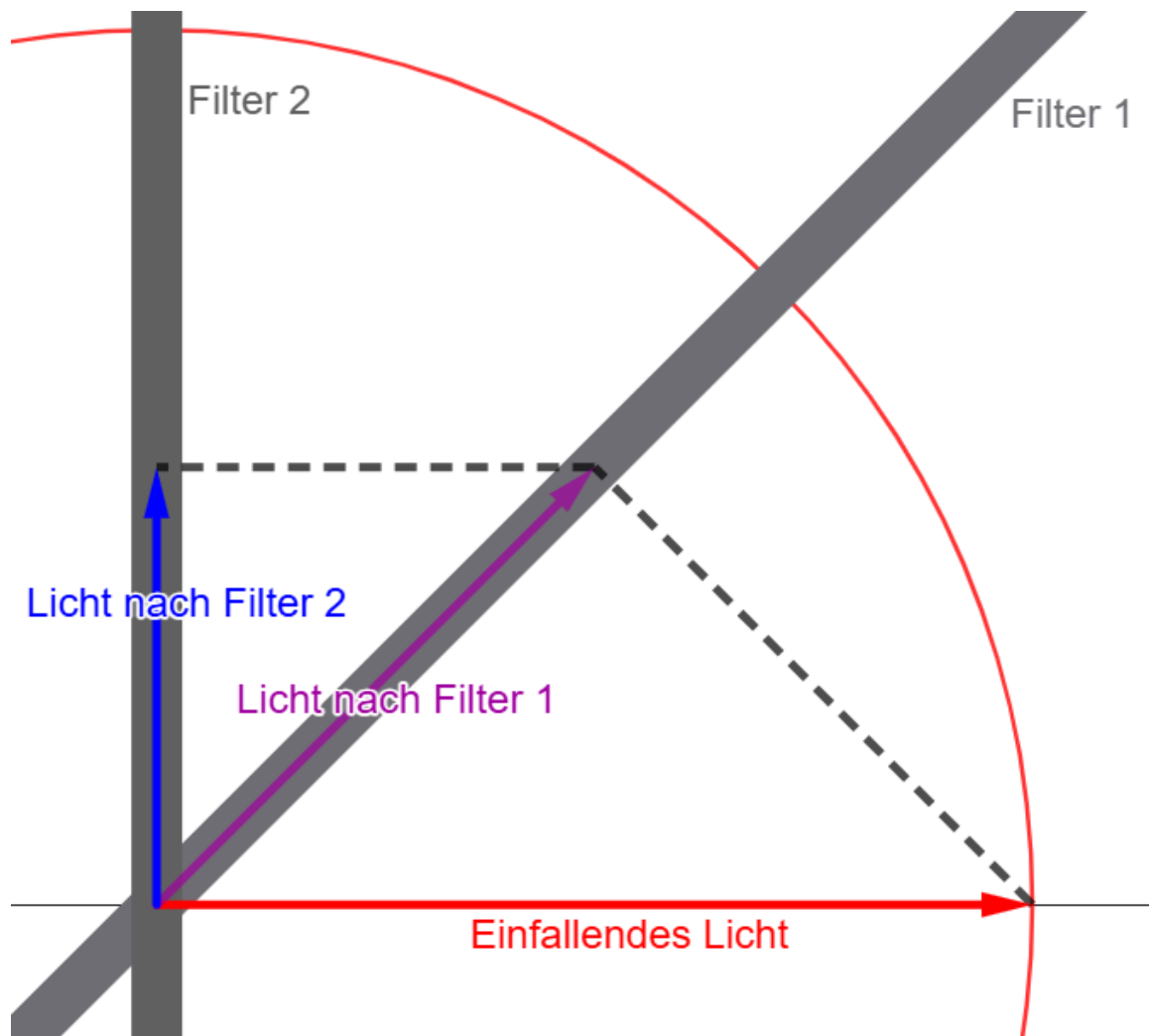
Schaltet den Laser nur zur Justage ein und danach wieder aus!

Achtet darauf nicht direkt in den Laserstrahl zu blicken.



A large, empty rectangular box with a black border, intended for the student to write their answer to the question above.

Warum wird jetzt Licht transmittiert, sobald ein weiterer Filter hinzugefügt wird?

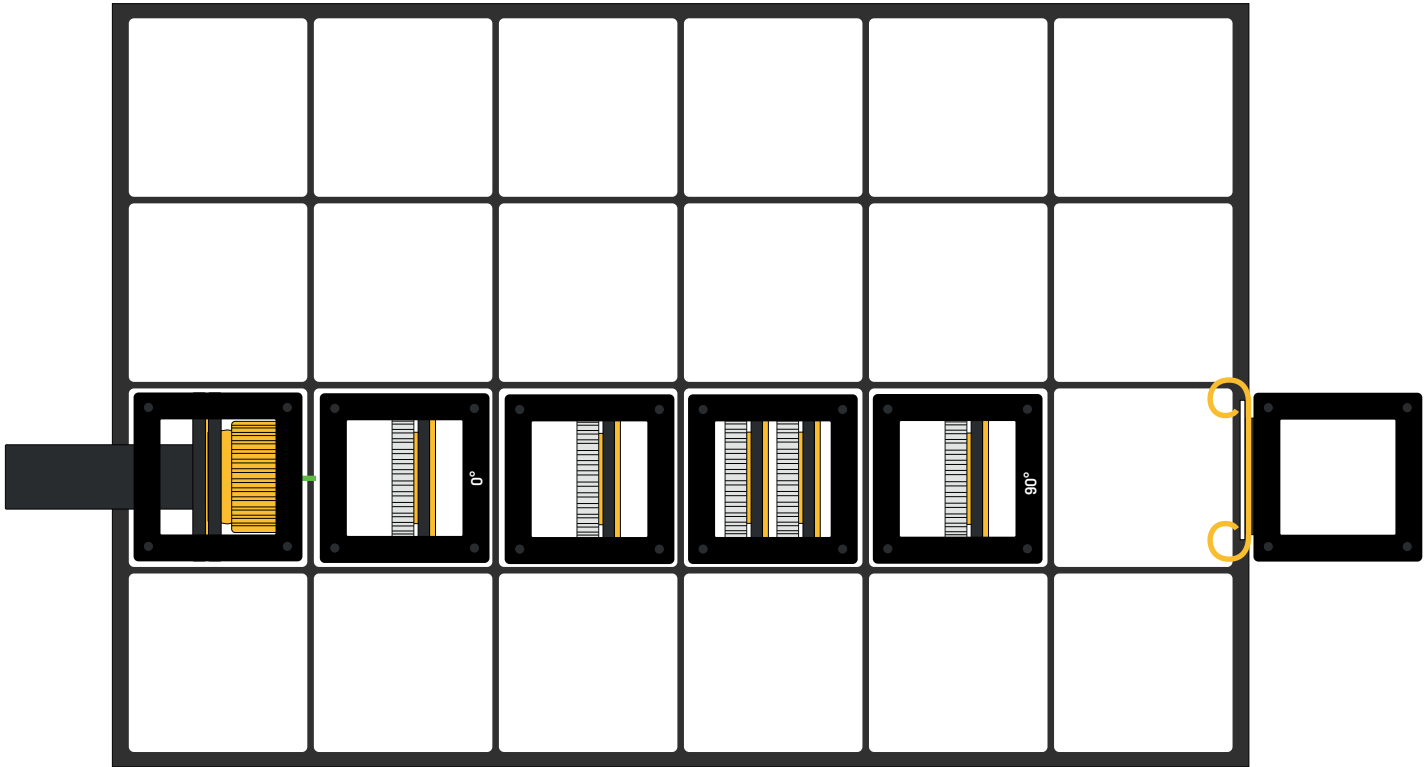


In der Abbildung ist dargestellt, was passiert. Dazu ist wieder der Feldvektor des einfallenden Lichtes in rot dargestellt. Die Transmissionsachsen der beiden Filter sind als graue Balken dargestellt. Bei der Transmission am ersten Filter ergibt sich der violette Feldvektor. Dieser wird dann am zweiten Filter zum blauen Feldvektor. Wie zuvor ergeben sich die Vektoren dabei durch die Projektion auf die Transmissionsachse.

Es ist also deutlich zu erkennen, dass zwar wieder Licht transmittiert wird, dieses wird aber deutlich schwächer.

3

Ergänze jetzt einen dritten Polarisationsfilter zwischen den anderen beiden Filtern und untersuche, ob du ihn so ausrichten kannst, dass wieder Licht auf den Schirm trifft.



Schaltet den Laser nur zur Justage ein und danach wieder aus!

Achtet darauf nicht direkt in den Laserstrahl zu blicken.



A large empty rectangular box with a black border, intended for the student to write their observations or answer the question.

Polarisation im Alltag

Polarisation begegnet uns auch oft im Alltag. Häufig erkennen wir aber nicht, dass wir es mit Polarisation zu tun haben.

Bildschirmtechnologie

LCD-Bildschirme nutzen Polarisation, um die einzelnen Pixel zu steuern. Für jeden Pixel ist ein Polarisator im Bildschirm eingebaut, der elektronisch gesteuert werden kann. In Kombination mit einem normalen Polarisationsfilter kann die Helligkeit eingestellt werden. OLED-Bildschirme nutzen eine andere Technologie und sind daher meist nicht polarisiert.

1

Untersuche mit Hilfe eines Polarisationsfilters unterschiedliche Bildschirme und finde heraus, ob und wie sie polarisiert sind.

Reflexionen

Licht kann auch bei der Reflexion an Oberflächen polarisiert werden. Dies funktioniert am besten, wenn es sich nicht um metallische Oberflächen handelt und das Licht nicht senkrecht (90°) auf die Oberfläche trifft, sondern relativ flach zwischen 10° und 50° .

Besonders gut funktioniert dieser Effekt beispielsweise, wenn Sonnenlicht auf Wasserpfützen trifft. Sonnenbrillen mit polarisierenden Gläsern können deshalb zum Angeln und zum Autofahren nützlich sein.



Lichtquelle

In diesem Experiment musst du eine Taschenlampe z.B. von deinem Smartphone verwenden.

2

Versuche mit Hilfe eines Polarisationsfilters Flächen zu finden, an denen Licht bei der Reflexion polarisiert wird. Halte ihn dafür vor dein Auge und drehe ihn. Flächen, an denen Licht polarisiert wird sollten dabei heller und dunkler werden.

Gefördert durch:

