

Schüler Experimentier Gerätesatz (SEG)

Optik 2.0



Mit QR Code®-
Unterstützung!

Lichtausbreitung und Schattenbildung

Reflexion an Spiegeln

Strahlenverlauf an gekrümmten Spiegeln

Brechung und Totalreflexion

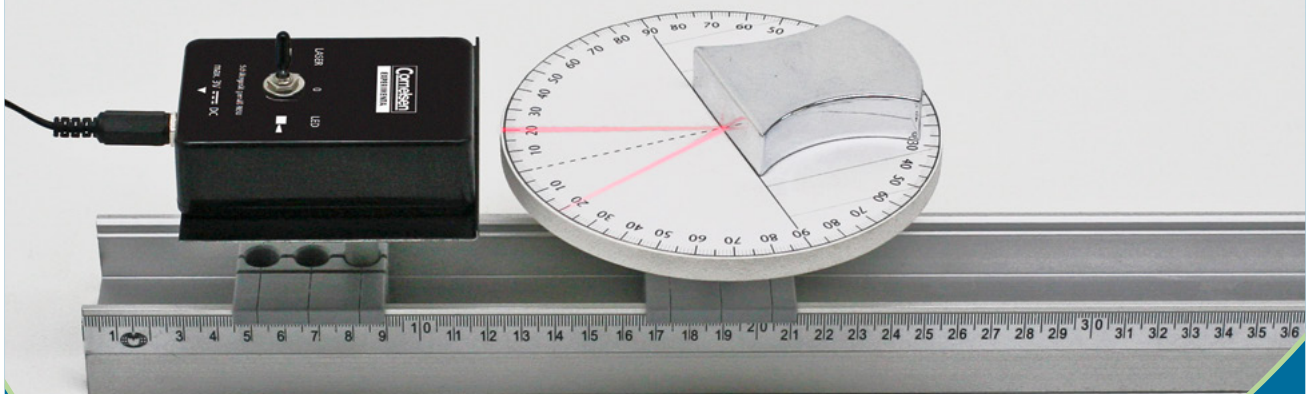
Brennweite einer Sammellinse

Strahlengang bei Konvex- und Konkav-Linsen

Linsengleichung

Zerlegung von weißem Licht

Optische Geräte



© 2016 Cornelsen Experimenta, Berlin

Das Werk und seine Teile sind urheberrechtlich geschützt.

Jede Nutzung in anderen als den gesetzlich zugelassenen Fällen bedarf der vorherigen schriftlichen Einwilligung von Cornelsen Experimenta.

Hinweis zu den §§46, 52a UrhG: Weder das Werk noch seine Teile dürfen ohne eine solche Einwilligung eingescannt und in ein Netzwerk eingestellt oder sonst öffentlich zugänglich gemacht werden.

Dies gilt auch für Intranets von Schulen und sonstigen Bildungseinrichtungen.

Für Schäden, die durch die nicht bestimmungsgemäße Verwendung des Gerätesatzes verursacht wurden, übernehmen wir keine Haftung.

Inhalt

Einräumplan / Einzelteilübersicht 4, 5
 Hinweise zum Versuchsaufbau 6
 Hinweise zur Schülerlampe 7
 Binnendifferenzierung mit QR Codes 8, 9

1 Strahlenoptik

**Versuchsbeschreibungen,
Arbeitsblätter & Stationskarten..... 10**

Op 1.1 Licht und Schatten..... 10
 Op 1.2 Reflexionsgesetz 12
 Op 1.3 Gekrümmte Spiegel..... 14
 Op 1.4 Snellius'sches Brechungsgesetz 16
 Op 1.5 Das Prinzip von Fermat 19
 Op 1.6 Brechung und Totalreflexion
in Wasser 22
 Op 1.7 Übung: Brechung 25
 Op 1.8 Strahlengänge durch Linsen 27
 Op 1.9 Brennpunkt einer Sammellinse..... 29
Op 1.9a Schnittlinse..... 29
Op 1.9b Linse auf der optischen Bank..... 30
 Op 1.10 Bildentstehung bei Sammellinsen 33
 Op 1.11 Linsengleichung 35
 Op 1.12 Optische Geräte..... 38
Op 1.12a Das Erdfernrohr 38
Op 1.12b Das astronomische Fernrohr..... 39
Op 1.12c Der Projektor 40
Op 1.12d Das Lichtmikroskop..... 41
*Stationskarten: Erdfernrohr;
Astronomisches Fernrohr..... 42*
Projektor; Lichtmikroskop 43
 Op 1.13 Licht und Farbe 44

2 Wellenoptik

**Versuchsbeschreibungen,
Arbeitsblätter & Stationskarten..... 46**

Op 2.1 Interferenz am Gitter 46
 Op 2.2 Polarisation 49
 Op 2.3 Polarisierungseffekte 51
*Op 2.3a Polarisation bei Spiegelung
(Brewster-Winkel) 51*
Op 2.3b Spannungsdoppelbrechung..... 51
*Op 2.3c Chromatische Polarisation
(LCD-Bildschirme)..... 53*
*Stationskarten:
Polarisation bei Spiegelung
(Brewster-Winkel);
Spannungsdoppelbrechung..... 55*
*Chromatische Polarisation
(LCD-Bildschirme) 56*
Hilfeskarte Kondensator..... 56
 Op 2.4 LED und Laser – Kohärenz,
Polarisation und Monochromatik 57
 Bestellschein 59



Funktionsmodell
Menschliches Auge

Best.-Nr. 47030

Weitere Themen zur *Optik*
(z. B. die optischen Funktionen des
Auges, Sonnenphasen, Mondfinsternisse
u. v. m.) finden Sie u. a.
in folgenden Produkten von
Cornelsen Experimenta:



Tellurium N

Best.-Nr. 31115

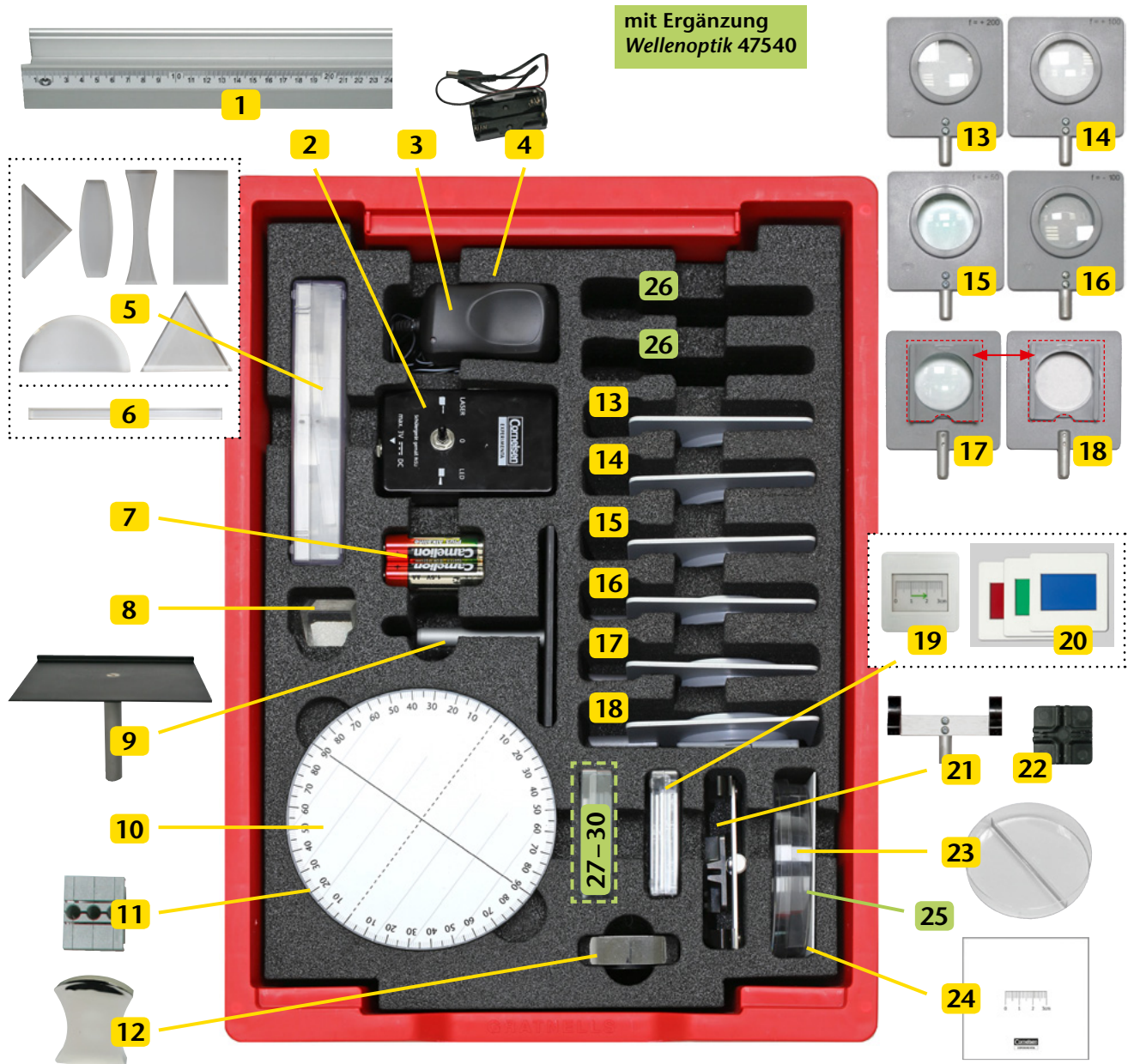


Abb.-Nr.	Anz.	Artikelbezeichnung	Best.-Nr.
-	1	Anleitung „SEG Optik 2.0“	475305
-	1	Einräumplan „SEG Optik 2.0“	475303
1	1	Profilschiene, Aluminium, 500mm	40810
2	1	Schülerlampe LED/LASER	47535
3	1	Stecker-Netzgerät	68534
4	1	Batteriehalter	475351
5	1	Satz <i>Optische Körper</i> (6 Stück)	47510
6	1	Acrylglasstab	47511
7		Mignonbatterie, 1,5V, Alkaline, Satz 4 Stück	51904
8	1	Prisma, gleichseitig, 3x60°	47241
9	1	Lampentisch	47536
10	1	Messtisch	47512
11	5	Klemmschieber	40820
12	1	Universalspiegel	47094

Abb.-Nr.	Anz.	Artikelbezeichnung	Best.-Nr.
13	1	Linse, bikonvex, $f = +200$ mm	47136
14	1	Linse, bikonvex, $f = +100$ mm	47135
15	1	Linse, bikonvex, $f = +50$ mm	47134
16	1	Linse, bikonkav, $f = -100$ mm	47138
17	1	Kondensator	475151
18	1	Blenden- und Dialhalter	47517
19	1	Dia Maßstab	47410
20	1	Farbfilter, Primärfarben, rot, grün, blau	47045
21	1	Schirm- und Spiegelhalter	47256
22	1	Kreuzständer, schwarz	13707
23	1	Petrischale mit Mittelsteg	17715
24	1	Schirm, weiß, mit Maßstab	13733

Zusätzlich erforderlich:
Schattenkörper (Radiergummi, Anspitzer etc.),
Lineal (30 cm), Wasser

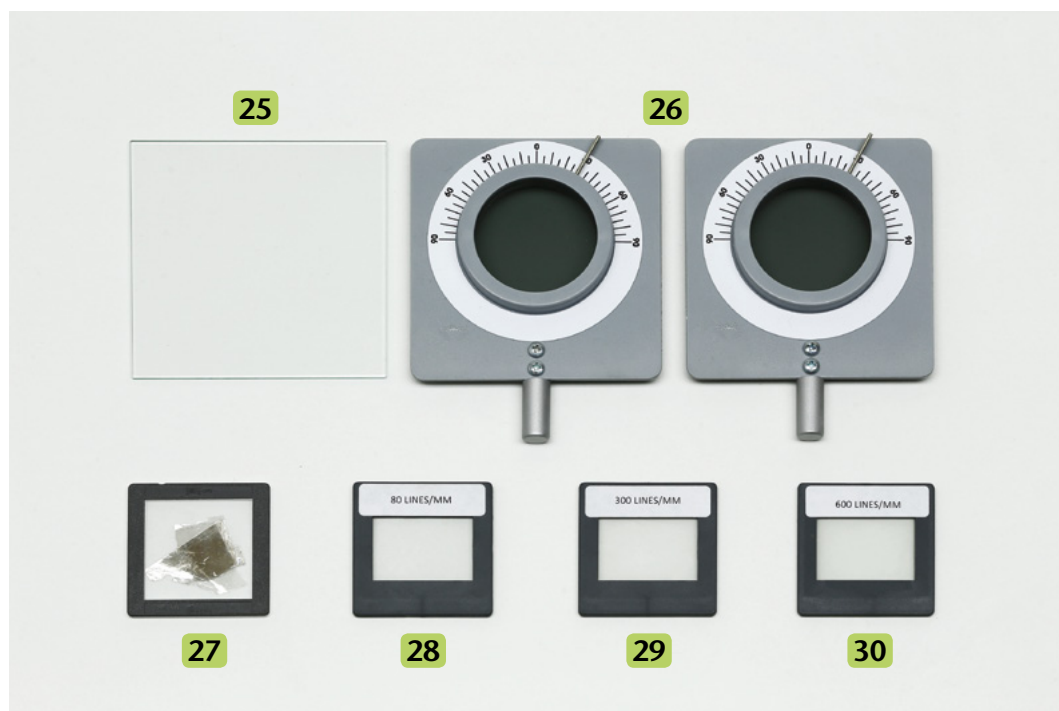
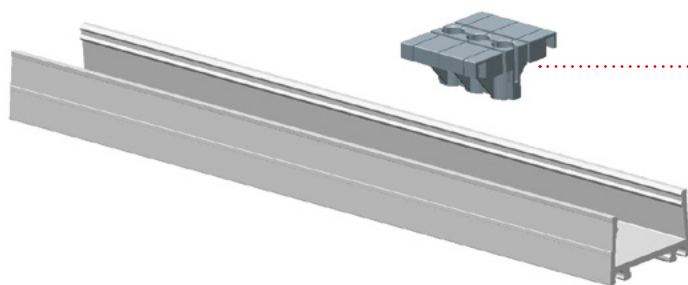


Abb.-Nr.	Anz.	Artikelbezeichnung	Best.-Nr.
25	1	Schirm, Klarglas	47065
26	1	Paar Polarisationsfilter mit Skala	47282
27	1	Glimmerscheibe im Diarahmen	47407
28	1	Strichgitter, 80 Linien/mm	47285
29	1	Strichgitter, 300 Linien/mm	47282
30	1	Strichgitter, 600 Linien/mm	47283

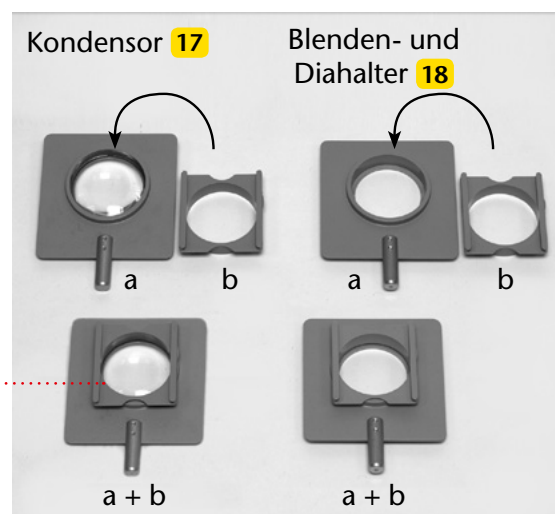


Die **Klemmschieber 11** können an jeder beliebigen Stelle der Profilschiene aufgesetzt werden. Sie dienen zum Einstecken und Fixieren der Stativstäbe.

Die drei Buchsen des Klemmschiebers unterscheiden sich in ihrer Klemmwirkung. Bei der Wahl der Buchse ist darauf zu achten, dass das Bauteil bis zum Anschlag in die Buchse geschoben ist und fest sitzt.

Der **Blenden- und Diahalter 18** und der **Kondensator 17** mit **Blenden- und Diahalter** werden jeweils aus zwei Teilen (a und b) zusammengesetzt.

Der Aufsatz (b) ist in der Box *einfach* vorhanden und wird – je nach Bedarf – zwischen **17** und **18** getauscht.



Hinweise zur Gefährdungsbeurteilung der Schülerlampe

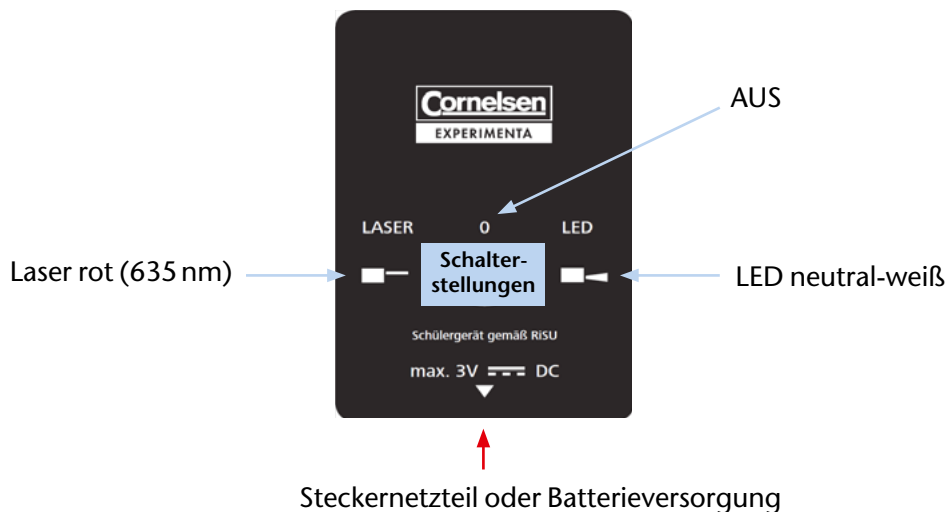
Die Schülerlampe emittiert umschaltbar Licht einer weißen LED und eines roten Lasers. Beide Lichtquellen sind in der niedrigsten Schutzklasse ihrer Art zertifiziert *, sodass die Schülerlampe nach DIN EN 62471 der **Risikogruppe RG0** („freie Gruppe“) und nach DIN EN 60825 der **Laserschutzklasse I** zugeordnet ist.

* Das Zertifikat kann in elektronischer Form angefordert werden unter info@cornelsen-experimenta.de

Eine Gefährdungsbeurteilung gemäß der RiSU „Sicherheit und Gesundheit im Unterricht“ erlaubt den Einsatz der Schülerlampe im Unterricht:

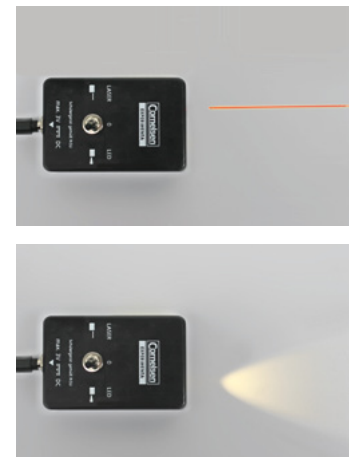
- Der **Betrieb** der Lampe durch Schülerinnen und Schüler **erfordert nicht die Aufsicht der Lehrerin oder des Lehrers**.
- Der **Versuchsbereich muss nicht** mit einem Laserwarnschild **gekennzeichnet oder** durch Abgrenzung gegen unbeabsichtigtes Betreten **gesichert sein**.
- Der Einsatz von optisch sammelnden Komponenten (z. B. Lupen, Sammellinsen) ist erlaubt.

Wir empfehlen, die Schülerinnen und Schüler vor Aufbau und Durchführung von Experimenten über die Gefährdung der Augen durch Laserlicht zu belehren. Den Schülerinnen und Schülern sollte der direkte Blick in den Laser und die LED untersagt werden, auch wenn er für Abstände größer als der zertifizierte Sicherheitsabstand von 50 mm gestattet ist.



Hinweise zum Gebrauch

Die Schülerlampe benötigt eine Gleichspannung von 3V. Sie kann wahlweise mit der Batterieversorgung oder dem Steckernetzteil betrieben werden. Mittels Umschalter kann zwischen LED und Laser gewählt werden. Der Laser entwickelt seine volle Leuchtstärke nur bei Temperaturen unter 40 °C. Beim Wechsel der Schülerlampe vom LED-Betrieb in den Laser-Betrieb ist deshalb darauf zu achten, dass nach längerem Einsatz der LED bei Raumtemperatur eine Abkühlzeit von ca. 5 Minuten eingeplant wird. Lampe und Batterieversorgung sind magnethaftend, sodass die Lampe sowohl auf dem Lampentisch fixiert als auch an der Tafel eingesetzt werden kann. Die Lampe ist außerdem für die Heftoptik geeignet.

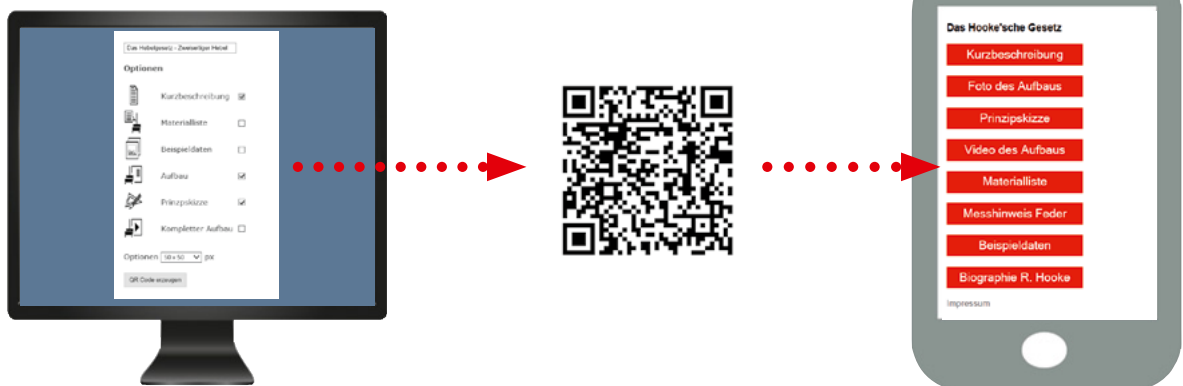


Einleitung

Für die Binnendifferenzierung in der Experimentierstunde benötigen Sie in der Regel Zusatzmaterialien, deren Erstellung meist sehr zeitaufwändig ist.

Deshalb haben wir ein Konzept für Smartphones und Tablets entwickelt, mit dem die Schülerinnen und Schüler auf von uns bereitgestellte Inhalte im Internet zugreifen können. Der Zugriff auf diese Materialien erfolgt dabei über QR Codes. Diese lassen sich gemäß Ihren Wünschen in kürzester Zeit kostenlos im Internet generieren.

QR Code® ist ein eingetragenes Warenzeichen der *Denso Wave Incorporated*. www.denso-wave.com

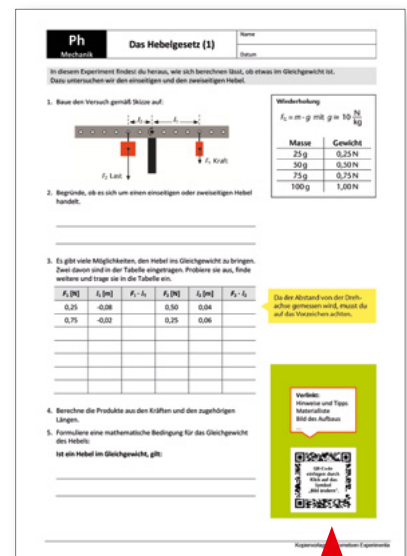


Im ersten Schritt können Sie einen QR Code® erzeugen, der auf einen oder mehrere von uns bereitgestellte Inhalte im Internet verweist. Dabei stehen Ihnen die folgenden Inhalte für jeden Versuch aus diesem Anleitungsheft zur Verfügung:

- Kurzbeschreibung
- Materialliste
- Versuchsschema
- Foto des Aufbaus
- Video des Aufbaus

Zu einigen Experimenten bieten wir zusätzlich:

- Hilfekarten
- Beispieldaten
- weiterführende Links



Empfohlene Größe:
50 x 50 Pixel

Den erzeugten QR Code® können Sie entweder speichern, oder direkt auf einem Arbeitsblatt einbinden.

Als Alternative können Sie auch einen großen QR Code®, der auf einen einzelnen Inhalt verweist, als Hilfecode ausdrucken und laminieren.

Empfohlene Größe:
150 x 150 Pixel

Link zum Video des Aufbaus



Für das Einbinden auf dem Arbeitsblatt empfehlen wir eine Größe von 50 x 50 Pixel und bei Hilfecodes von 150 x 150 Pixel.

Was ist ein QR Code®?

Der QR Code® ist ein Bild, in dem eine Information kodiert ist. Der rechts abgebildete Beispielcode enthält die Internetadresse unserer Homepage, also die Information „<http://www.cornelsen-experimenta.de>“.

Mobilgeräte wie Tablets oder Smartphones sind in der Lage, die Information dieses Bilds mit einem sogenannten Scanner zu lesen und die Adresse anschließend in einem Browser aufzurufen.



Welche technischen Voraussetzungen sind nötig, um den QR Code® zu lesen?

Sie brauchen ein Mobilgerät, das über eine Kamera verfügt und auf das Internet zugreifen kann. Sind diese technischen Voraussetzungen erfüllt, kann das Gerät einen QR Code® lesen und verarbeiten. Der dazu nötige QR Code® Scanner ist auf dem Smartphone oder Tablet oft bereits installiert.

Sollte ein solches Programm nicht auf dem Gerät vorinstalliert sein, suchen Sie bitte in Ihrem Shop für Anwendungen nach „QR Code® Scanner“. Unter den meist zahlreichen kostenfreien Scannern wählen Sie sich bitte einen aus und folgen den Installationsanweisungen.

Wie generiere ich einen QR Code®?

Die Anleitung zum jeweiligen Versuch beinhaltet einen QR Code®, der bereits auf eine Vorauswahl der angebotenen Inhalte verweist.

Zusätzlich können Sie mit den folgenden Schritten einen eigenen QR Code® erzeugen:

1. Rufen Sie den **QR Code®-Generator** unter <http://www.differenzieren-mit-qrcode.de> auf.
2. Wählen Sie das gewünschte Experiment aus.
3. Aus der Liste wählen Sie die gewünschten Zusatzinformationen aus.
4. Wählen Sie die Größe des Codes in Pixel.
5. Erzeugen Sie den Code mit dem Button „QR Code® erzeugen“.
6. Der erzeugte QR Code® ist ein Bild, das Sie ausdrucken oder zur Weiterverwendung in anderen Dokumenten kopieren können.

Das Hebelgesetz - Zweiseitiger Hebel

Optionen

	Kurzbeschreibung	<input checked="" type="checkbox"/>
	Materialliste	<input type="checkbox"/>
	Beispieldaten	<input type="checkbox"/>
	Aufbau	<input checked="" type="checkbox"/>
	Prinzpskizze	<input checked="" type="checkbox"/>
	Kompletter Aufbau	<input type="checkbox"/>

Optionen px

QR Code erzeugen

Wie kann ich den QR Code® im Unterricht einsetzen?

Als Hilfecode bietet sich ein QR Code® an, der auf einen einzelnen Inhalt wie das Video, die Hilfekarte oder das Foto des Aufbaus verweist. Dabei können Sie die Verwendung der Mobilgeräte am Arbeitsplatz vermeiden, indem Sie die Benutzung nur an einem speziellen Tisch oder Platz im Raum erlauben.

Ein QR Code®, der auf die Materialliste oder den Aufbau verweist, kann auf einem Arbeitsblatt genutzt werden, um Teile der Beschreibung, wie beispielsweise die Skizze, zu einem späteren Zeitpunkt anzufertigen.

Op 1.1 Licht und Schatten

Mit dem Laser und der LED der Schülerlampe sowie dem zugehörigen Arbeitsblatt wird unter Anwendung des Lichtstrahlenmodells die Entstehung von Schatten als Heftoptik untersucht.

Material

Schülerlampe LED / LASER..... 2
Arbeitsblatt *Licht und Schatten*

Zusätzlich erforderlich:

Lineal (30 cm)
Schattenkörper (Radiergummi, Anspitzer etc.)



Versuchsdurchführung

Zu Beginn dieses Einstiegsexperiments sollte eine Sicherheitsbelehrung erfolgen. Auch wenn beide Lichtquellen gemäß der Sicherheitsrichtlinien zertifiziert sind und von den Schülerinnen und Schülern benutzt werden dürfen, sollte der direkte Blick in die LED oder die Laserdiode prinzipiell vermieden werden. Ein Infokasten mit einem entsprechenden Hinweis befindet sich auf dem Arbeitsblatt und lässt sich für eine Belehrung gut nutzen.

Beim Wechsel der Schülerlampe vom LED-Betrieb in den Laser-Betrieb ist darauf zu achten, dass der Laser nur bei Temperaturen unter 40 °C seine volle Leuchtstärke entwickelt.

Die Durchführung des Experiments beginnt mit der

Positionierung eines geeigneten Schattenkörpers (Radiergummi, Stiftkappe, Bleistiftanspitzer etc.) auf der hervorgehobenen Fläche. Anschließend werden die Ränder des Schattenkörpers markiert sowie das vermutete Schattengebiet für den aus dem Punkt *P* beleuchteten Schattenkörper auf dem Arbeitsblatt eingezeichnet.

Als Nächstes werden die Ränder des Schattengebiets mit dem Laser kontrolliert.

Für den letzten Schritt wird die Lampe auf dem vorgezeichneten Umriss positioniert. Da der Punkt *P* der Position der LED innerhalb der Schülerlampe entspricht, kann die Überprüfung der Vermutung nun direkt mit der Lampe im LED-Betrieb erfolgen.

Auswertung

In diesem Experiment stehen die Entdeckung der geradlinigen Ausbreitung des Lichts und die damit verbundene Schattenbildung im Vordergrund.

Während die LED eine recht gute Näherung für eine punktförmige Lichtquelle ist, kann das schmale Lichtbündel des Lasers als Lichtstrahl aufgefasst werden. Der Wechsel zwischen beiden Lichtquellen bietet somit eine optimale Voraussetzung für die experimentelle Erarbeitung des Lichtstrahlenmodells.

Die Beobachtung der Schatten führt zu der Erkenntnis, dass sich der projizierte Schatten vergrößert, wenn der Abstand des Schattenkörpers zur Lichtquelle verkleinert wird. Die Position der punktförmigen Lichtquelle ist Schnittpunkt der Schattenränder

und wird durch die entsprechende geometrische Konstruktion ermittelt. Da die LED nicht punktförmig, sondern ausgedehnt ist, ändert sich die Schärfe der Schatten mit zunehmendem Abstand zur Lichtquelle.

Möchte man die Intransparenz als elementare Eigenschaft eines Schattenkörpers herausstellen, empfiehlt es sich, auch den Schatten eines transparenten Körpers zu beobachten. Weiterhin können leistungsstarke Schülerinnen und Schüler Schatten bei Bestrahlung mit mehreren Lichtquellen in entsprechenden Gruppen beobachten und so Teilshadown untersuchen.

Ergänzend zu diesem Versuch:

Arbeitsblatt *Licht und Schatten* (Seite 11)

„Wo viel Licht ist, ist auch viel Schatten“. Diese Aussage stammt aus einem Werk des Dichters J. W. Goethe, der als Naturforscher die Eigenschaften des Lichts untersuchte. Obwohl er mit dieser Aussage etwas anderes im Sinn hatte, ist ihr physikalischer Hintergrund nicht uninteressant.

Mit deiner Schülerlampe stehen dir zwei Lichtquellen zur Verfügung, mit denen du die Entstehung von Schatten untersuchen sollst.



Vorstellen der Schülerlampe LED / Laser

Laser-Betrieb

Deine Lampe sendet einen roten Laserstrahl aus. Dieser Strahl ist stark gebündeltes rotes Licht.



LED-Betrieb

Deine Lampe strahlt einen weißen Lichtkegel ähnlich einer Taschenlampe aus.



Durchführung:

- Lege / stelle ein beliebiges Objekt aus deiner Federtasche als Schattenkörper auf die hervorgehobene Fläche.
- Das Objekt soll von Punkt P aus beleuchtet werden. Markiere die Ränder des Objekts und zeichne das von dir vermutete Schattengebiet ein.
- Überprüfe den Verlauf der vermuteten Schattenränder mit deinem Schülerlaser.
- Positioniere die Lampe gemäß der Skizze. Kontrolliere mit der Lampe im LED-Betrieb den von dir vermuteten Schatten.
- Wiederhole das Experiment für drei weitere Körper aus deiner Federtasche.

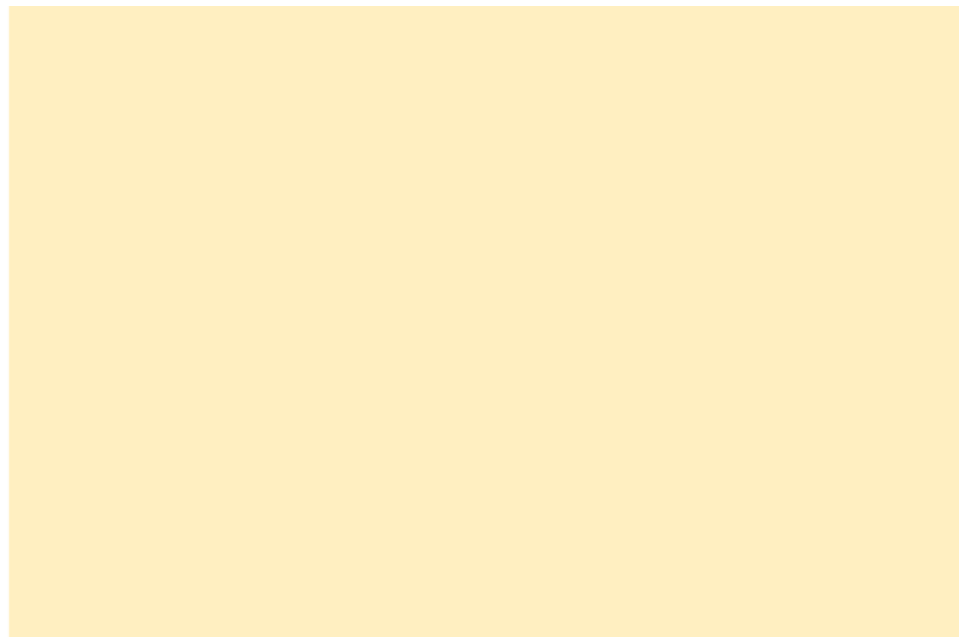
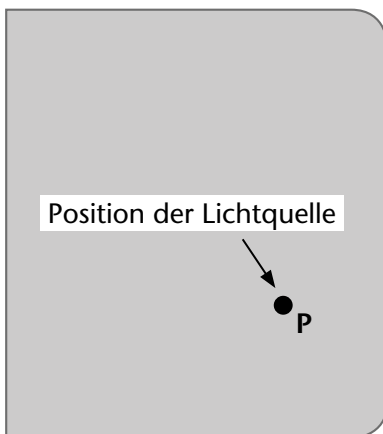
Definition:



Dieses Schild warnt dich vor intensiver Laserstrahlung. Sie kann Schäden an biologischem Gewebe, insbesondere dem Auge, verursachen.

Deine Lampe ist sowohl im Laserbetrieb als auch im LED-Betrieb ungefährlich, weshalb du dieses Symbol nicht auf der Lampe oder im Umfeld deiner Experimente siehst.

Dennoch solltest du es vermeiden, dass du oder deine Mitschüler direkt in den Laserstrahl oder die LED sehen.

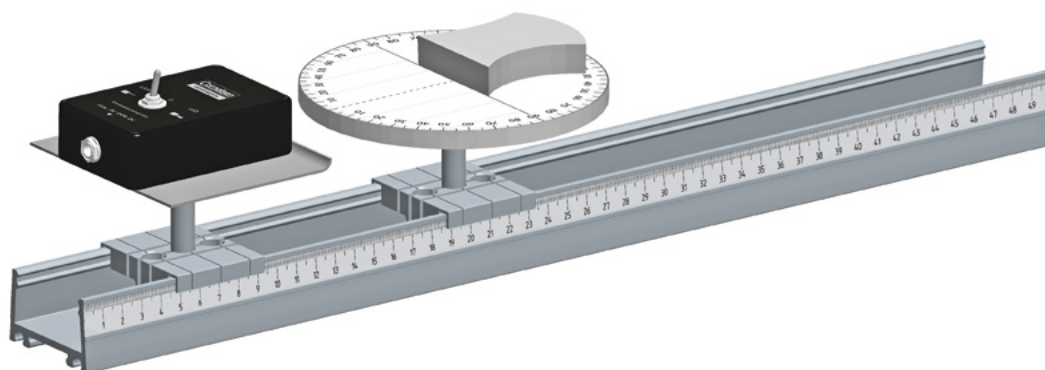


Auswertung:

1. Beschreibe, wie sich aus dem Schatten die Position der Lichtquelle, die den Schatten verursacht, bestimmen lässt.
2. Erkläre, wie die Größe des Schattens auf einem Schirm vom Abstand des Körpers zur verursachenden Lichtquelle abhängt.

Op 1.2 Reflexionsgesetz

Das vorab vermutete *Reflexionsgesetz* wird mit dem Laser der Schülerlampe überprüft.

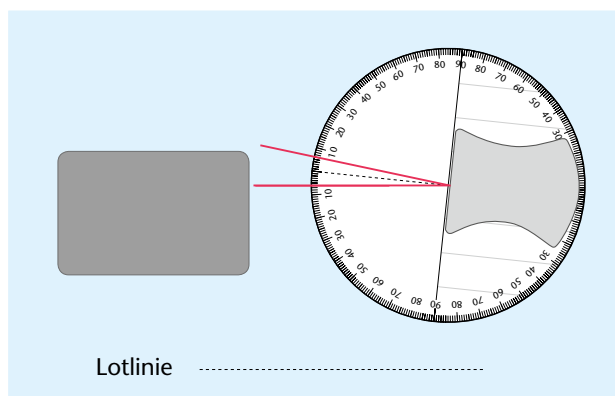


Material

- Profilschiene 1
- Schülerlampe LED / LASER..... 2
- Lampentisch 9
- Messtisch..... 10
- Klemmschieber(2 x) ... 11
- Universalspiegel..... 12

Versuchsdurchführung

Beim Aufbau ist der Abstand zwischen Messtisch und Lampe so zu wählen, dass die gesamte optische Achse des Messtisches ausgeleuchtet ist. Der Spiegel wird mit der geraden Seite an der durchgezogenen Linie ausgerichtet, sodass er senkrecht zur gestrichelt dargestellten optischen Achse liegt. Im Experiment wird nun durch Drehen des Mess-



tisches der Einfallswinkel α variiert und der jeweilige Reflexionswinkel α' gemessen. Die korrekte Lage des Spiegels lässt sich gut anhand des ersten Wertepaares überprüfen.

Auswertung

Aus der Messung ergibt sich das Reflexionsgesetz $\alpha = \alpha'$.

Das Reflexionsgesetz gilt für jede einzelne Stelle eines gekrümmten Spiegels. Dies kann mithilfe der gekrümmten Flächen des Universalspiegels erarbeitet werden. Dazu sollte das Lot mit der Flächennormalen am Reflexionsort übereinstimmen.

Stellt man den Spiegel mit der ebenen Seite auf kariertes Papier, können zusätzlich das Spiegelgesetz „Das Spiegelbild erscheint in dem gleichen Abstand hinter dem Spiegel, wie der wirkliche Gegenstand vor dem Spiegel steht.“ sowie die Symmetrie zwischen Original und Spiegelbild entdeckt werden.

α	0	10	20	30	40	50	60	70	80
α'	0	10	20	30	40	50	60	70	80

Ergänzend zu diesem Versuch:

Arbeitsblatt *Reflexionsgesetz* (Seite 13)

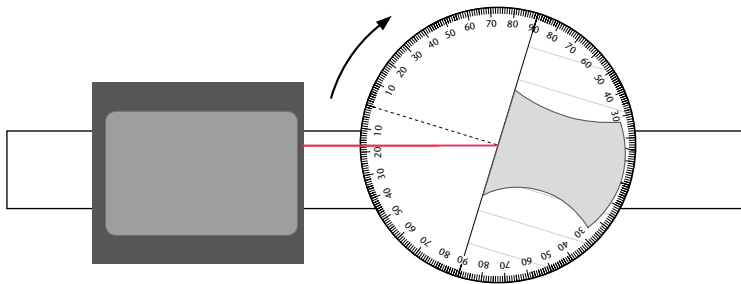
Mithilfe von Spiegeln können wir Dinge sehen, die nicht in unserem direkten Sichtfeld liegen oder verdeckt sind. Um über die Größe und Position eines Spiegels entscheiden zu können, muss man wissen, wie ein einfallender Lichtstrahl reflektiert wird.



Reflexion am ebenen Spiegel

Durchführung / Messung:

- Notiere deine Vermutung über den Zusammenhang zwischen Einfallswinkel und Reflexionswinkel.
- Baue den Versuch gemäß Schema auf.



- Zeichne in das obige Schema den reflektierten Strahl ein und beschrifte den Einfallswinkel α , den Reflexionswinkel α' und das Lot.
- Drehe den Messtisch und miss für Einfallswinkel von 0° bis 80° die zugehörigen Reflexionswinkel. Notiere die Ergebnisse in einer Messwerttabelle.

Einfallswinkel α	0	10	20	...	70	80
Reflexionswinkel α'						

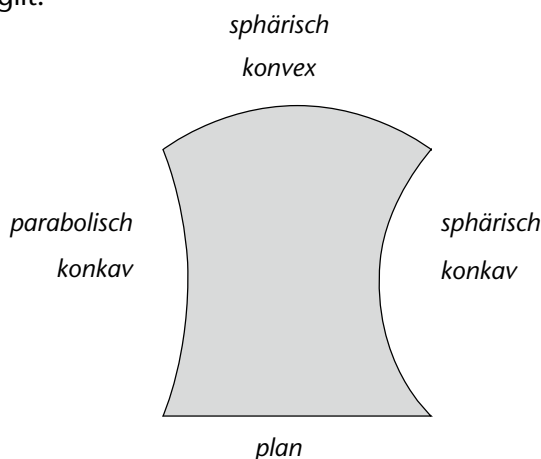
Auswertung:

1. Überprüfe, ob sich deine Vermutung bestätigt hat.
2. Formuliere dein Ergebnis als Satz und als mathematische Formel.

Reflexion an gekrümmten Spiegeln

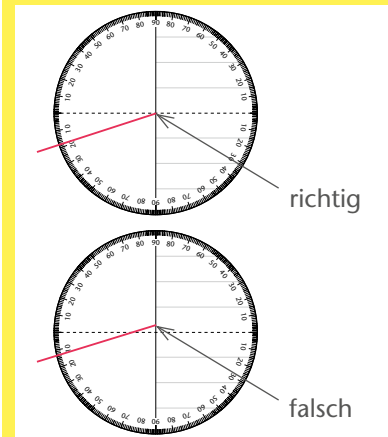
Aufgabe:

- Überprüfe, ob das Spiegelgesetz auch für die folgenden Spiegelformen gilt.



Beachte beim Messen

Der Laser muss den Lotfußpunkt genau treffen.

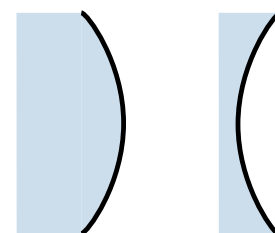


Verlinkt
Kurzbeschreibung
Foto des Aufbaus
Materialliste



Definitionen:

konvex **konkav**

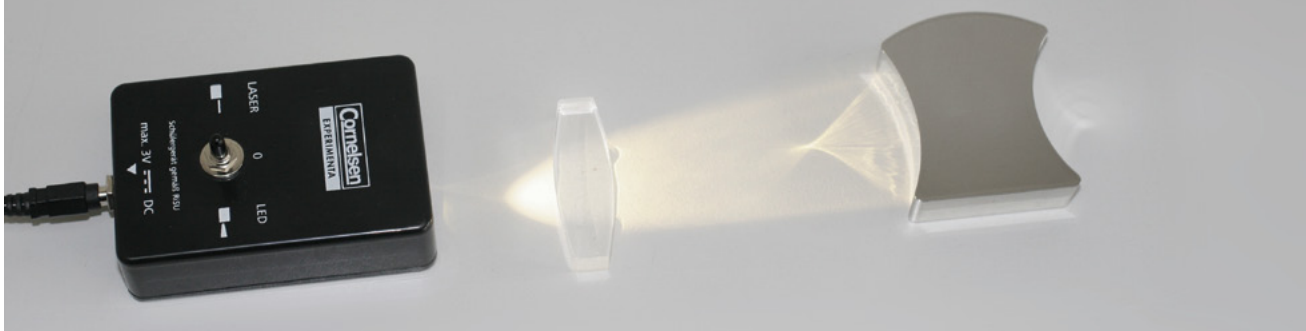


sphärisch: kreisförmig

plan: eben

Op 1.3 Gekrümmte Spiegel

Das Licht eines parallelen Bündels wird an den Oberflächen konvex sphärisch, konkav sphärisch und konkav parabolisch reflektiert. Der Versuch erfolgt als Heftoptik.

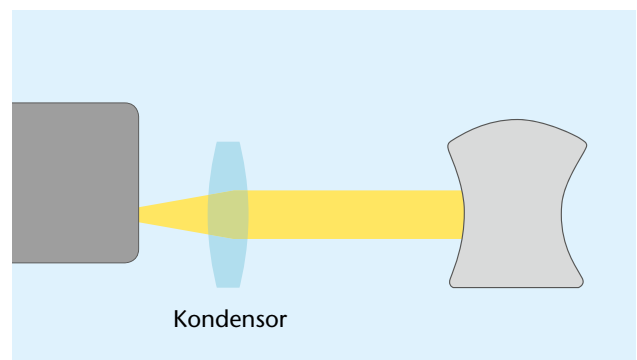


Material

- Schülerlampe LED / LASER..... 2
- Satz *Optische Körper*..... 5
- Universalspiegel..... 12

Versuchsdurchführung

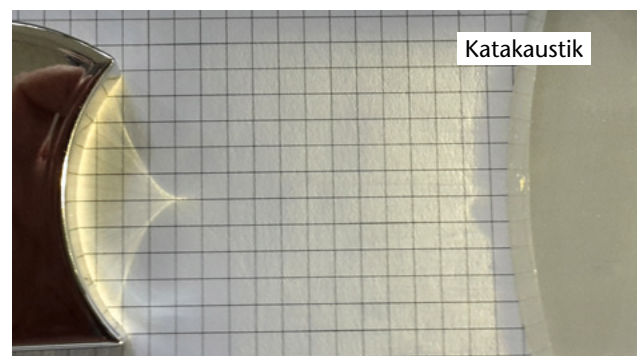
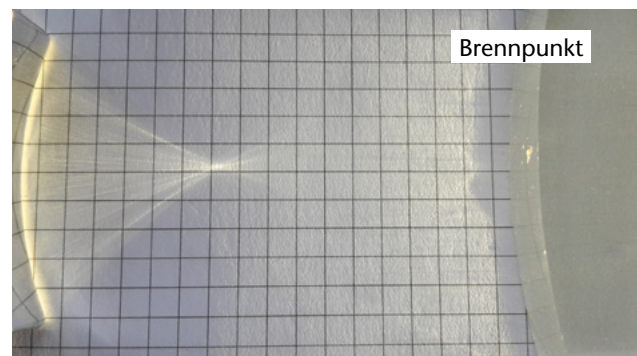
Mithilfe des Linsenkörpers wird ein paralleles Lichtbündel erzeugt. Anschließend wird geprüft, ob die drei Spiegelformen das Lichtbündel einengen oder aufweiten.



Auswertung

Die beiden konkaven Spiegelformen bündeln das Licht auf unterschiedliche Weise. Während der Parabolspiegel das Licht in einem deutlich sichtbaren Brennpunkt bündelt, erzeugt der sphärische Konkavspiegel eine Katakustik ohne ein erkennbares Helligkeitsmaximum. Auch die Formen der Reflexionen unterscheiden sich deutlich. Während der äußere Rand bei der Reflexion des Parabolspiegels geradlinig verläuft, ist der äußere Rand der Katakustik deutlich gekrümmt.

Soll paralleles Licht mit einem Spiegel in einem Punkt konzentriert werden, ist die parabolische Form am besten geeignet.



Ergänzend zu diesem Versuch:

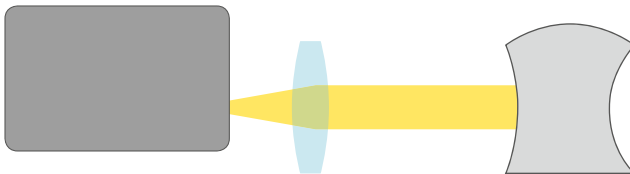
Arbeitsblatt *Gekrümmte Spiegel* (Seite 15)

Gekrümmte Spiegel werden oft eingesetzt, um parallele Lichtbündel einzuengen oder aufzuweiten. Im Gegensatz zu Linsen haben sie den Vorteil, dass sie das Licht kaum abschwächen.

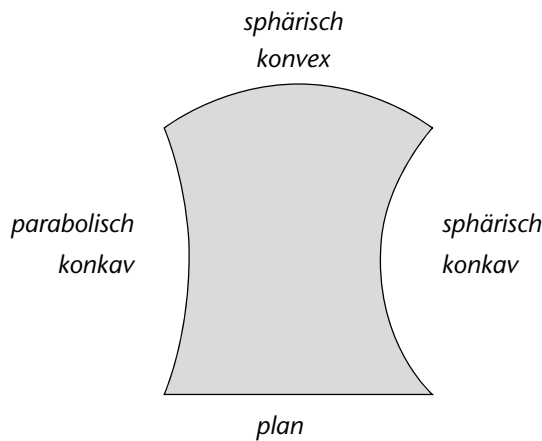
Reflexion am gekrümmten Spiegel

Durchführung / Messung:

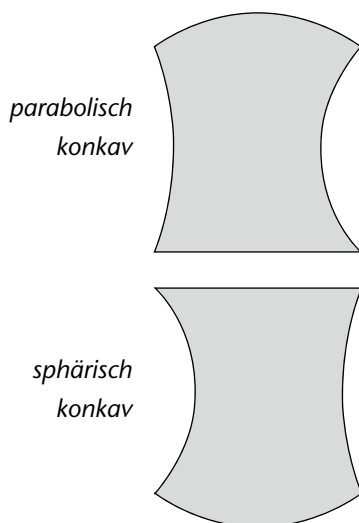
- ➔ Erzeuge gemäß dem Schema ein paralleles Lichtbündel.



Spiegelformen:



- ➔ Vermute, ob die drei Spiegelformen das parallele Lichtbündel einengen oder aufweiten.
- ➔ Skizziere deine Beobachtung für den Parabolspiegel und den sphärischen gekrümmten Hohlspiegel.



Auswertung:

1. Beschreibe den Unterschied der beiden Beobachtungen.
2. Diskutiere, welcher der beiden Hohlspiegel das Licht besser bündelt.



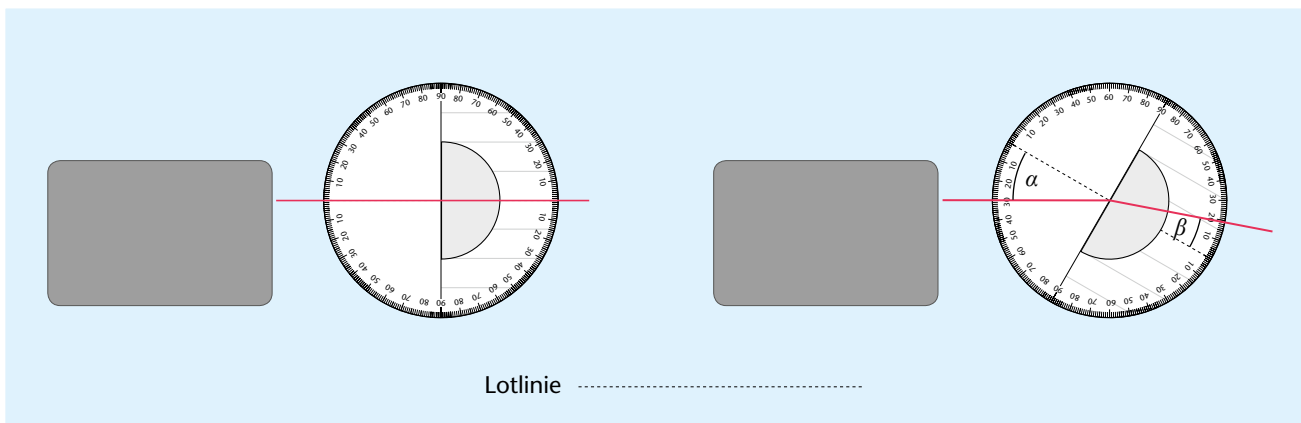
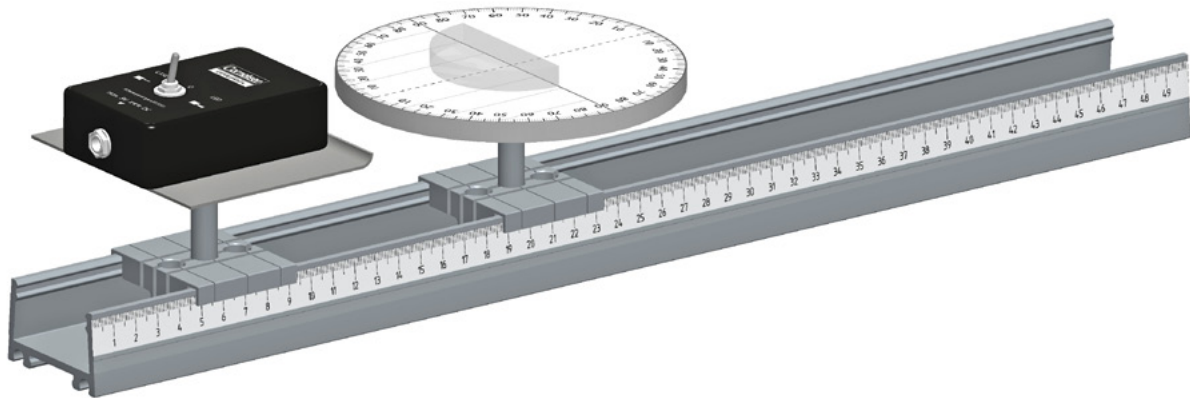
Gekrümmte Spiegel dienen der Sicherheit im Straßenverkehr.

Verlinkt
Kurzbeschreibung
Foto des Aufbaus
Materialliste



Op 1.4 Snellius'sches Brechungsgesetz

Der Übergang des Lichts von Luft in Glas wird untersucht. Dabei wird das Snellius'sche Brechungsgesetz entdeckt sowie der Brechungsindex von Luft in Glas experimentell bestimmt.



Material

Profilschiene 1
 Schülerlampe LED / LASER 2
 Satz *Optische Körper* 5

Lampentisch 9
 Messtisch 10
 Klemmschieber (2 x) ... 11

Versuchsdurchführung

Beim Aufbau ist der Abstand zwischen Messtisch und Lampe so zu wählen, dass die gesamte optische Achse des Messtisches ausgeleuchtet ist.

Der halbrunde Glaskörper wird mit der geraden Seite an der durchgezogenen Linie ausgerichtet, sodass er senkrecht zur gestrichelt dargestellten optischen Achse liegt. Vor Beginn der Messung sollte die korrekte Lage des Glaskörpers geprüft werden.

Sind Lampe und Glaskörper richtig ausgerichtet, leuchtet der Laser durch den Glaskörper die optische Achse komplett aus, ohne gebrochen zu werden.

Im Experiment wird nun durch Drehen des Messtisches der Einfallswinkel α variiert und der jeweilige Brechungswinkel β gemessen.

Auswertung

Aus der Messung ergibt sich als Mittelwert der Quotienten der Brechungsindex

$$n_{\text{Luft} \rightarrow \text{Glas}} = \frac{\sin(\alpha)}{\sin(\beta)} \cong 1,55.$$

Dies entspricht in guter Näherung dem Verhältnis der jeweiligen Lichtgeschwindigkeiten

$$\frac{c_{\text{Luft}}}{c_{\text{Glas}}} = \frac{299711 \text{ km/s}}{190000 \text{ km/s}} \cong 1,57.$$

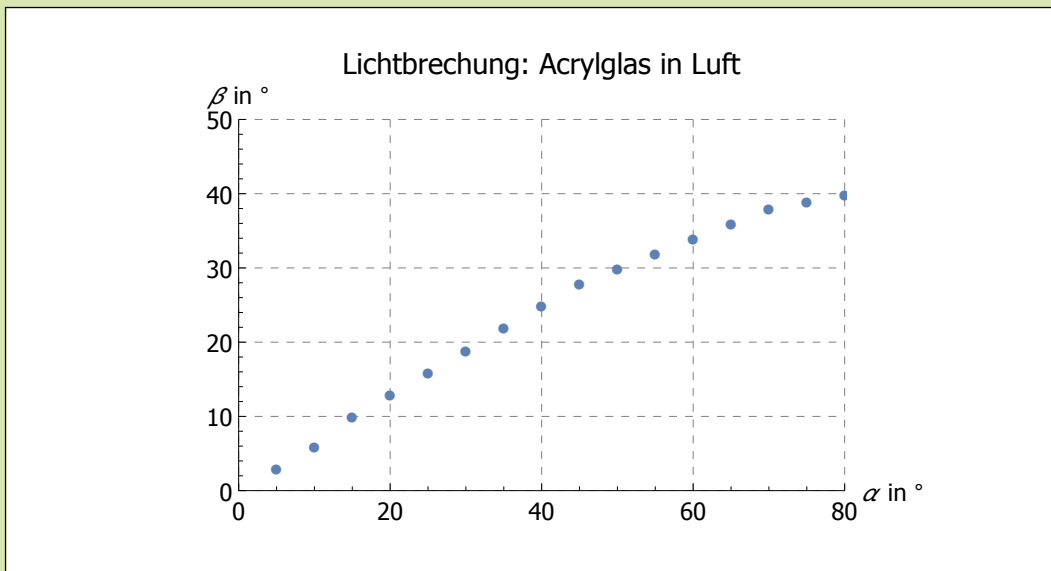
Aus diesem Resultat lässt sich anschließend das Snellius'sche Brechungsgesetz ableiten.

$$\frac{\sin(\alpha)}{\sin(\beta)} = \frac{c_1}{c_2} = n_{1 \rightarrow 2}$$

Leistungsstarke Schülerinnen und Schüler können überprüfen, ob es für alle Stoffe einen direkten Zusammenhang zwischen der Dichte und der Lichtgeschwindigkeit im Material gibt. Hier zeigt der Vergleich der Stoffe Wasser (1 g/cm³), Diamant (3,53 g/cm³), Glas (2,5 g/cm³) und Speiseöl (0,9 g/cm³), dass ein solcher Zusammenhang nicht existiert.

$$\bar{n}_{\text{Luft} \rightarrow \text{Glas}} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \frac{\sin(\alpha_k)}{\sin(\beta_k)}$$

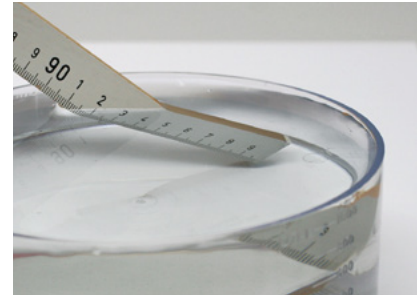
α	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
β	3	6	10	13	16	19	22	25	28	30	32	34	36	38	39	40
$\sin(\alpha)/\sin(\beta)$	1,67	1,66	1,49	1,52	1,53	1,54	1,53	1,52	1,51	1,53	1,55	1,55	1,54	1,53	1,53	1,53



Ergänzend zu diesem Versuch:

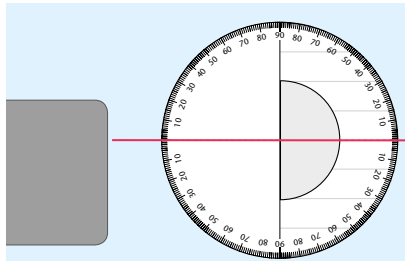
Arbeitsblatt *Snellius'sches Brechungsgesetz* (Seite 18)

Ein ins Wasser gehaltenes Lineal erscheint an der Eintauchstelle geknickt. Dafür ist die Brechung des Lichts verantwortlich, die in diesem Experiment untersucht wird.

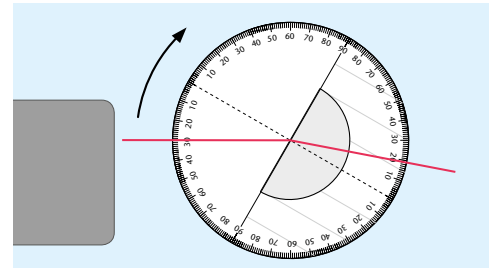


Durchführung / Messung:

- Baue den Versuch gemäß Schema auf.



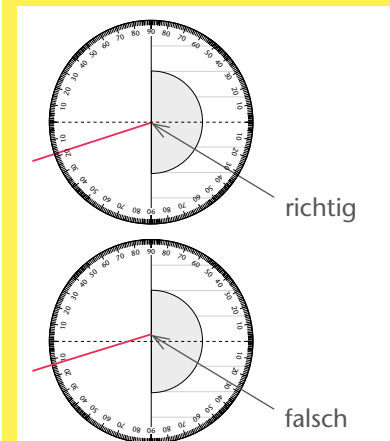
Der Glaskörper muss mit der rauhen Seite so auf dem Messtisch positioniert sein, dass der Laserstrahl ihn entlang der optischen Achse gerade durchleuchtet.



- Beschrifte in der rechten Abbildung den Einfallswinkel α , den Brechungswinkel β und das Lot.
- Drehe den Messtisch und miss für mindestens sechs verschiedene Einfallswinkel die zugehörigen Brechungswinkel. Trage die Ergebnisse in die Messwerttabelle ein.

Beachte beim Messen

Der Laser muss den Lotfußpunkt genau treffen.



Einflusswinkel α					
Brechungswinkel β					
$\sin(\alpha) / \sin(\beta)$					

Auswertung:

1. Berechne für jedes Messwertepaar den Quotienten $\sin(\alpha) / \sin(\beta)$ und trage die Werte in die dritte Zeile der Messwertetabelle ein.
2. Berechne den Mittelwert der Quotienten.

Tabelle Lichtgeschwindigkeit c

Stoff	c in km/s
Luft	299711
Wasser	225000
Diamant	125000
Glas	190000
Speiseöl	203000
Vakuum	299792

3. Untersuche, inwieweit sich dieser Quotient auch aus den Lichtgeschwindigkeiten von Luft und Glas ergibt.
4. Das *Snellius'sche Brechungsgesetz* verknüpft die Sinusse von Einfallswinkel und Brechungswinkel mit den Lichtgeschwindigkeiten im jeweiligen Stoff. Formuliere mit deinem Ergebnis aus Aufgabe 3 dieses Gesetz als Formel.

Verlinkt
Kurzbeschreibung
Foto des Aufbaus
Materialliste

Op 1.5 Das Prinzip von Fermat

In diesem Versuch wird das Prinzip von Fermat mit einer Heftoptik entdeckt.

Material

Schülerlampe LED / LASER 2
Arbeitsblatt *Das Prinzip von Fermat*

Versuchsdurchführung

Das Prinzip von Fermat besagt, dass Licht aus mehreren möglichen Wegen immer den mit der extremalen (meist kürzesten) Laufzeit nimmt. Auf dem Arbeitsblatt wird dieses Prinzip am Beispiel eines Rettungsschwimmers, der einem Ertrinkenden möglichst schnell zu Hilfe eilen möchte, erläutert. Zunächst wird eine Vermutung angestellt, für welchen der fünf vorgegebenen Übergangspunkte vom Strand ins Wasser der Gesamtweg am schnellsten ist. Die Überprüfung erfolgt mit dem „Zeitlineal“.

Um die zum Laufen oder Schwimmen einer Strecke

Auswertung

Summiert man die Gesamtzeiten aller Wege, erweist sich der Weg über **D** als der schnellste. Legt man den quadratischen Kunststoffkörper auf den Bereich des Wassers, kann man mithilfe des Lasers beobachten, dass ein Lichtstrahl den gleichen Weg wie der Rettungsschwimmer nimmt.

Allerdings gibt es noch weitere Strahlen im Experiment, die durch unerwünschte Randeffekte entstehen. Es muss auf den interessierenden, gebrochenen Strahl aufmerksam gemacht werden. Dieses Erkenntnis kann als Einstieg genutzt werden, um die Lichtbrechung auf das *Prinzip von Fermat* zurückzuführen.

Sekunden	A	B	C	D	E
laufen					
swimmen					
Gesamt					

..... anhand der Gesamtzeiten, ob du den richtigen Übergangspunkt hast:

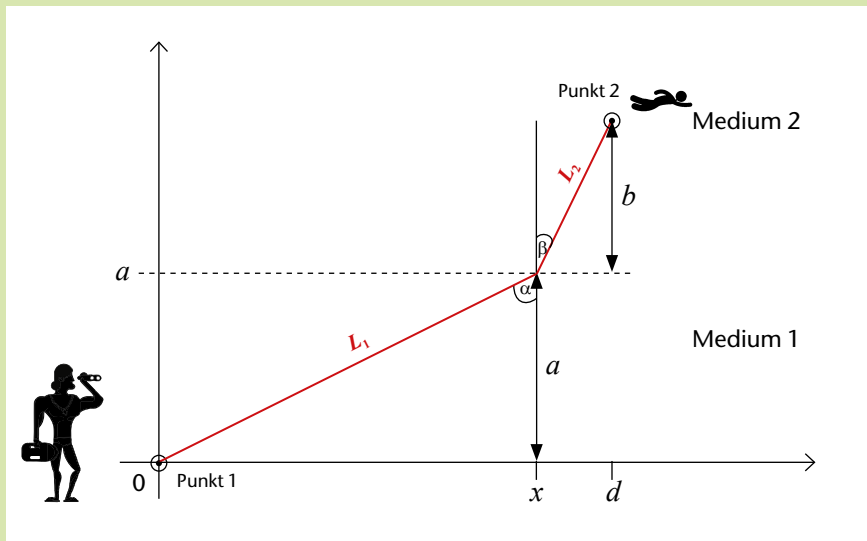
In der Optik gibt es mit dem *Prinzip von Fermat* eine Analogie zu unserem Problem. Es besagt, dass Licht bei mehreren möglichen

benötigte Zeit zu bestimmen, legt man das Zeitlineal mit der entsprechenden Skalierung an. Bei der Durchführung des Versuchs muss darauf geachtet werden, dass das Arbeitsblatt plan auf dem Tisch liegt.

Ergänzend zu diesem Versuch:

Arbeitsblatt *Das Prinzip von Fermat* (Seite 21)

Das Prinzip von Fermat im Mathematikunterricht



$T(x) \triangleq$ „Gesamtlaufzeit in Abhängigkeit von der Übergangsstelle x “

$$T(x) = t_1(x) + t_2(x)$$

Mit c_1 und c_2 als Geschwindigkeiten im jeweiligen Medium und der Definition der Geschwindigkeit

$$\Rightarrow T(x) = \frac{L_1(x)}{c_1} + \frac{L_2(x)}{c_2}$$

Setzt man mit dem Satz des Pythagoras für die beiden Weglängen ein

$$\Rightarrow T(x) = \frac{\sqrt{x^2 + a^2}}{c_1} + \frac{\sqrt{(d-x)^2 + b^2}}{c_2}$$

Das Prinzip von Fermat sucht nun die minimale Zeit in Abhängigkeit von x

$$\frac{dT(x)}{dx} = 0$$

Mithilfe der Ableitungsregel aus der Analysis

$$\Rightarrow \frac{2x}{2c_1\sqrt{x^2+a^2}} + \frac{2(d-x)(-1)}{2c_2\sqrt{(d-x)^2+b^2}} = 0$$

Vereinfacht
$$\Rightarrow \frac{x}{c_1\sqrt{x^2+a^2}} - \frac{(d-x)}{c_2\sqrt{(d-x)^2+b^2}} = 0$$

Benutzt man $x = L_1 \sin(\alpha) = \sqrt{x^2+a^2} \sin(\alpha)$ und $(d-x) = L_2 \sin(\beta) = \sqrt{(d-x)^2+b^2} \sin(\beta)$

$$\Rightarrow \frac{\sqrt{x^2+a^2} \sin(\alpha)}{c_1 \sqrt{x^2+a^2}} - \frac{\sqrt{(d-x)^2+b^2} \sin(\beta)}{c_2 \sqrt{(d-x)^2+b^2}} = 0$$

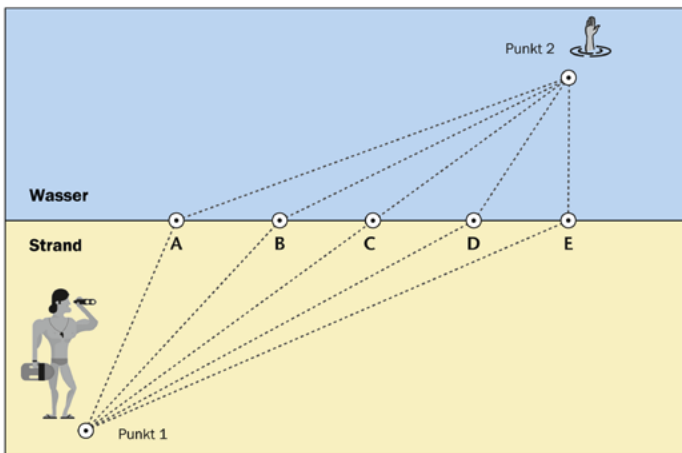
Durch Kürzen und Umstellen erhält man abschließend das **Snellius'sche Brechungsgesetz**

$$\Rightarrow \frac{\sin(\alpha)}{c_1} - \frac{\sin(\beta)}{c_2} = 0$$

$$\frac{\sin(\alpha)}{c_1} = \frac{\sin(\beta)}{c_2}$$

Ein Rettungsschwimmer entdeckt einen Ertrinkenden und möchte diesen auf dem schnellsten Weg erreichen. Da man schneller rennt als schwimmt, muss er für den schnellsten Weg die richtige Mischung aus Rennen und Schwimmen finden, also den richtigen Übergang vom Strand ins Wasser wählen. Welchen Weg schlägst du vor?

- ➔ Schneide das abgedruckte Zeitlineal aus und miss für die fünf abgebildeten Wege die Lauf- und Schwimmzeiten.
- ➔ Berechne anschließend die Gesamtzeit.



Sekunden	A	B	C	D	E
laufen					
schwimmen					
insgesamt					

- ➔ Überprüfe anhand der Gesamtzeiten, ob du den richtigen Übergang vermutet hast:

In der Optik gibt es mit dem *Prinzip von Fermat* eine Analogie zu unserem Problem. Es besagt, dass Licht bei mehreren möglichen Wegen immer den mit der kürzesten Laufzeit nimmt.

Auswertung:

1. Zeige experimentell, dass ein roter Lichtstrahl den gleichen Weg wie der Rettungsschwimmer nimmt. Lege dazu den Kunststoffblock rechtsbündig auf den Bereich des Wassers (raue Fläche nach unten) und finde den Weg des Lasers von Punkt 1 zu Punkt 2.
2. Erkläre deine Beobachtung aus Aufgabe 1 mit dem Prinzip von Fermat.
3. Im optisch dünnen Medium ist das Licht schneller als im optisch dichten Medium. Diskutiere am Beispiel von Luft und Acrylglas, welcher der beiden Stoffe optisch dicht oder optisch dünn ist.

**Aus der Geschichte:
Fermat in der Mathematik**

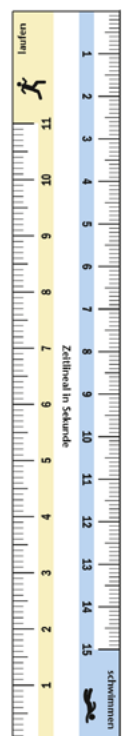
Pierre de Fermat
(1607–1665)



War ein **französischer Mathematiker**, der mit vielen Beiträgen die Mathematik bereicherte. Sein Briefwechsel mit **Blaise Pascal** kann als Beginn der **Wahrscheinlichkeitsrechnung** gesehen werden. Berühmt ist der „**Große Fermatsche Satz**“, wonach die Gleichung

$$a^n + b^n = c^n$$

mit den natürlichen Zahlen a, b und c für keine natürliche Zahl $n > 2$ erfüllt ist.

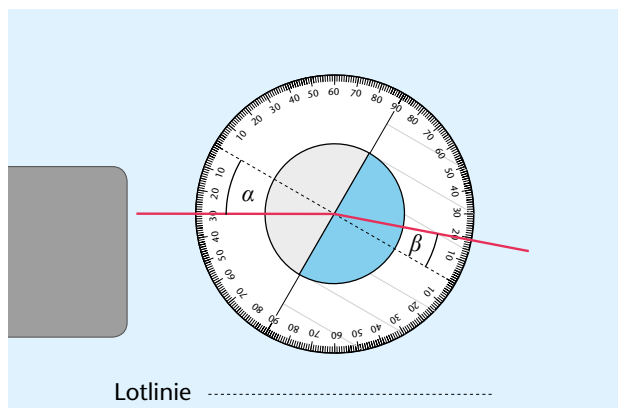
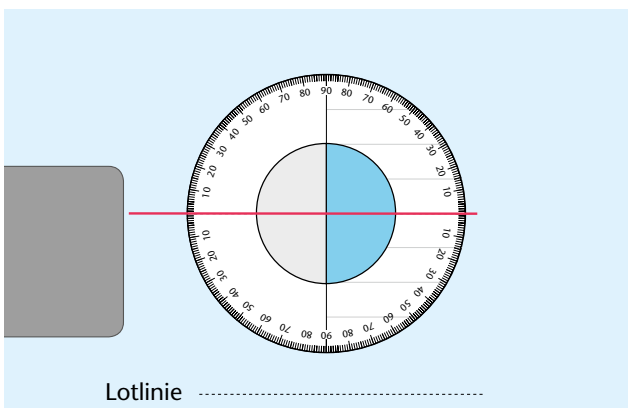
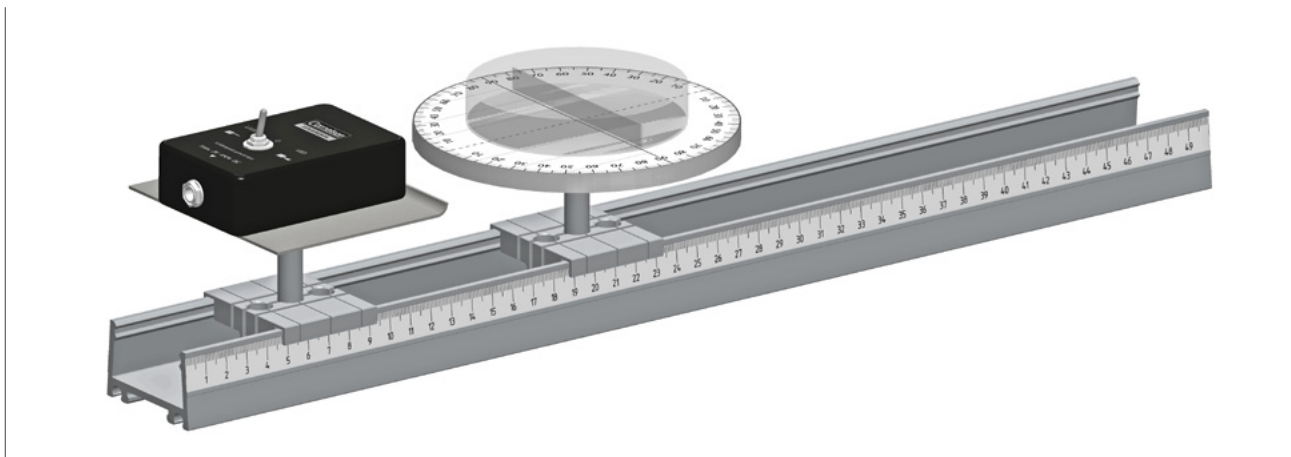


Verlinkt
Kurzbeschreibung
Biografie
Pierre de Fermat



Op 1.6 Brechung und Totalreflexion in Wasser

Der Übergang des Lichts von Wasser in Luft wird untersucht. Dabei wird der Brechungsindex von Wasser sowie der Grenzwinkel der Totalreflexion bestimmt.



Material

- Profilschiene 1
- Schülerlampe LED / LASER..... 2
- Lampentisch 9
- Messtisch..... 10

- Klemmschieber.....(2 x) ... 11
- Petrischale mit Mittelsteg..... 23

Zusätzlich erforderlich: Wasser

Versuchsdurchführung

Die Petrischale wird gemäß der Abbildung auf der Winkelscheibe des Messtisches angeordnet und in der rechten Hälfte mit Wasser gefüllt. Dabei ist darauf zu achten, dass der Laser durch die Petrischale nicht gebrochen wird und weiterhin die optische Achse komplett ausleuchtet.

Durch Drehen des Messtisches wird der Einfallswinkel α variiert und der jeweilige Brechungswinkel β gemessen. Sofern der gebrochene Lichtstrahl im Wasser zu schwach ist, sollte seine Sichtbarkeit durch die Zugabe eines Tropfens Kondensmilch zum Wasser deutlich verbessert werden.

Auswertung

Aus der Messung ergibt sich als Mittelwert für den Brechungsindex

$$n_{\text{Luft} \rightarrow \text{Wasser}} = \frac{\sin(\alpha)}{\sin(\beta)} \cong 1,36.$$

Dieser Wert liegt etwas über dem Tabellenwert von reinem Wasser (1,33), ist aber plausibel.

Ein Vergleich der Trendlinie im Diagramm mit den eingetragenen Messpunkten verdeutlicht den nichtlinearen Zusammenhang zwischen Einfallswinkel

winkel und Brechungswinkel. Die grafische Bestimmung des Grenzwinkels der Totalreflexion beim Übergang von Wasser zu Luft ergibt

$$\beta_{\text{grenz}} \approx 46^\circ.$$

Zur Herleitung des Grenzwinkels setzt man in das Snellius'sche Brechungsgesetz

$$n = \frac{\sin(\alpha)}{\sin(\beta)}$$

den gemessenen Brechungsindex z. B. $n = 1,36$, sowie den Einfallswinkel von 90° ein. Damit ergibt sich

$$1,36 = \frac{\sin(90)}{\sin(\beta_{\text{grenz}})}.$$

Durch Vereinfachung ($\sin(90^\circ) = 1$) und Umstellung

$$\beta_{\text{grenz}} = \sin^{-1}\left(\frac{1}{1,36}\right)$$

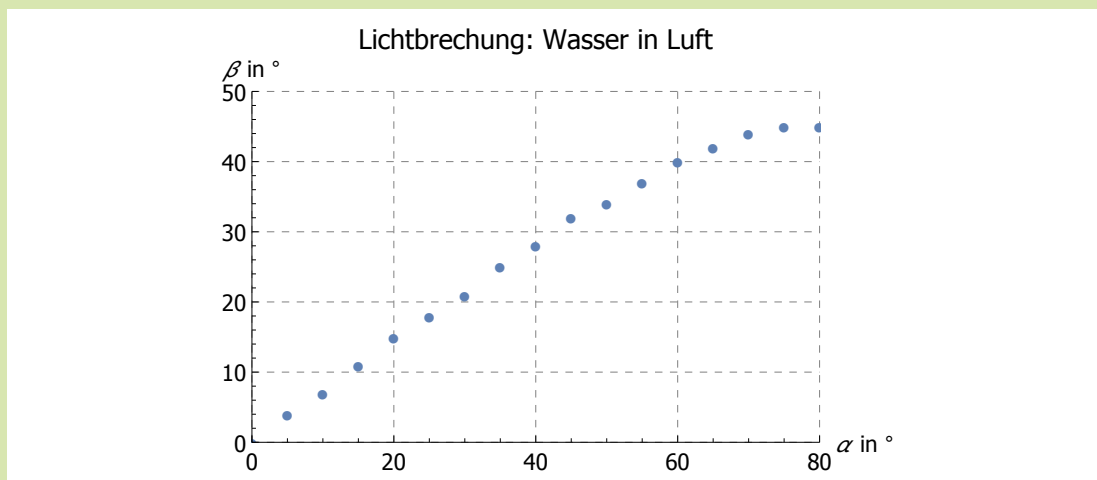
ergibt sich der Grenzwinkel

$$\beta_{\text{grenz}} \approx 47^\circ.$$

Dieser Wert stimmt sehr gut mit dem grafisch bestimmten Wert überein und kann in einem Anschluss-experiment bestätigt werden.

Weiterhin können leistungsstarke Schülerinnen und Schüler den Brechungsindex einer anderen Flüssigkeit (z. B. Speiseöl oder Salzwasser) oder den Brechungsindex beim Übergang zwischen zwei Flüssigkeiten bestimmen.

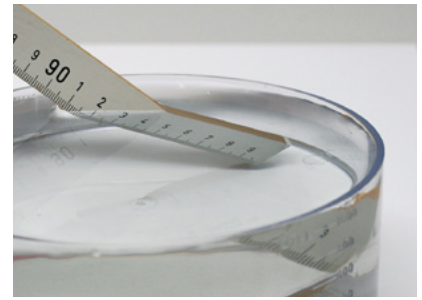
α	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
β	4	7	11	15	18	21	25	28	32	34	37	40	42	44	45	45
$\sin(\alpha) / \sin(\beta)$	1,25	1,42	1,36	1,32	1,37	1,40	1,36	1,37	1,33	1,37	1,36	1,35	1,35	1,35	1,37	1,39



Ergänzend zu diesem Versuch:

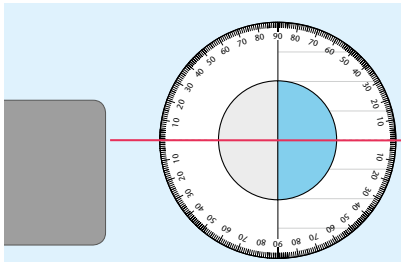
Arbeitsblatt *Lichtbrechung im Wasser* (Seite 24)

Ein ins Wasser gehaltenes Lineal erscheint an der Eintauchstelle geknickt. Dafür ist die Brechung des Lichts verantwortlich, die in diesem Experiment untersucht wird.

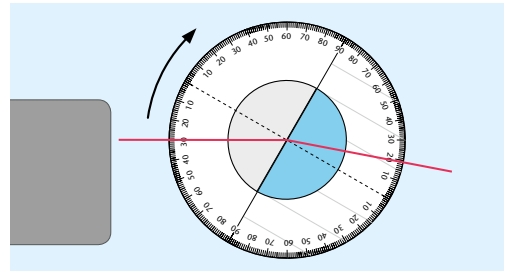


Durchführung / Messung:

- Baue den Versuch gemäß Schema auf. Fülle in die rechte Hälfte der Petrischale Wasser.



Die Petrischale muss so auf dem Messtisch positioniert sein, dass der Laserstrahl sie entlang der optischen Achse gerade durchleuchtet.



- Beschrifte in der rechten Abbildung den Einfallswinkel α , den Brechungswinkel β und das Lot.
- Drehe den Messtisch und miss für Einfallswinkel von 0° bis 80° die zugehörigen Brechungswinkel. Trage die Ergebnisse in die Messwerttabelle ein.

Einfallswinkel α	0	5	15	...	75	85
Brechungswinkel β						
$n_{\text{Wasser} \rightarrow \text{Luft}} = \frac{\sin(\alpha)}{\sin(\beta)}$						

Auswertung:

- Berechne für jedes Messwertepaar den Brechungsindex von Wasser in Luft.
- Berechne den Mittelwert der Brechungsindizes und vergleiche ihn mit dem Tabellenwert.

- Fertige ein Brechungswinkel-Einfallswinkel-Diagramm an.
- Interpretiere das Diagramm. Gehe dabei auf den Wertebereich des Brechungswinkels ein.
- Informiere dich in deinem Lehrbuch über den *Grenzwinkel*.
- Bestimme den Grenzwinkel experimentell mit deinem Aufbau und zeichne dein Ergebnis in dein Diagramm ein.
- Berechne den Grenzwinkel mithilfe des Brechungsindex und des Snellius'schen Brechungsgesetzes.

Wiederholung

Snellius'sches Brechungsgesetz: $n = \frac{\sin(\alpha)}{\sin(\beta)}$

Beachte beim Messen

Der Laser muss den Lotfußpunkt genau treffen.

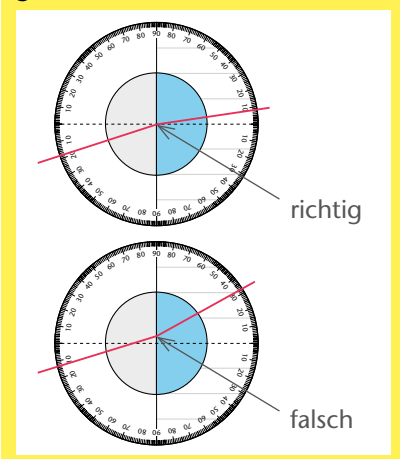


Tabelle Brechungsindizes

Stoff	n
Luft	1,000292
Wasser	1,33
Diamant	2,42
Glas	1,46 ... 1,65
Speiseöl	1,47
Vakuum	Exakt 1

Verlinkt

Kurzbeschreibung
Foto des Aufbaus
Materialliste



Op 1.7 Übung: Brechung

Die Brechung von Licht in verschiedenen Körpern wird in einer Heftoptik konstruiert und anschließend mit dem Laser der Schülerlampe kontrolliert.

Material

- Schülerlampe LED / LASER..... 2
- Satz Optische Körper..... 5
- Arbeitsblatt Übung zur Lichtbrechung

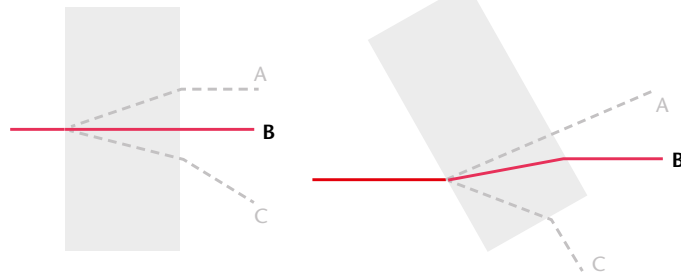
Versuchsdurchführung

In jeder Aufgabe wird zuerst der Verlauf des gezeigten Lichtstrahls vervollständigt. Anschließend wird der jeweilige optische Körper mit der rauhen Fläche auf die vorgesehene Position gelegt und die Lösung mit dem Laser kontrolliert.



Lösungen

Aufgabe 1



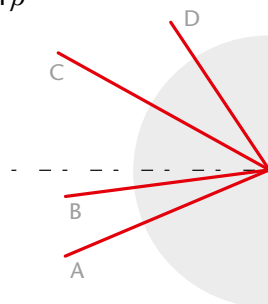
Aufgabe 2



Aufgabe 3

Ausgehend vom Brechungsindex 1,55 ergibt sich für den Brechungswinkel β

$$\beta = \sin^{-1}(\sin(\alpha) \cdot 1,55).$$



Strahl	Einfallswinkel α	Brechungswinkel β
A	25°	41°
B	10°	16°
C	30°	51°
D	55°	–

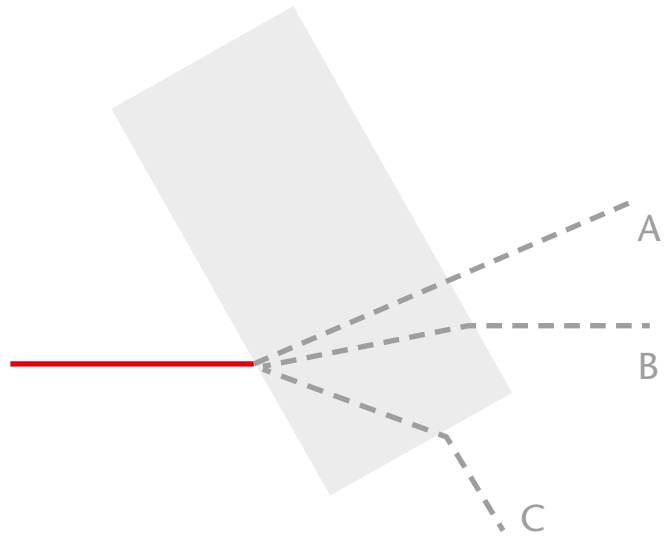
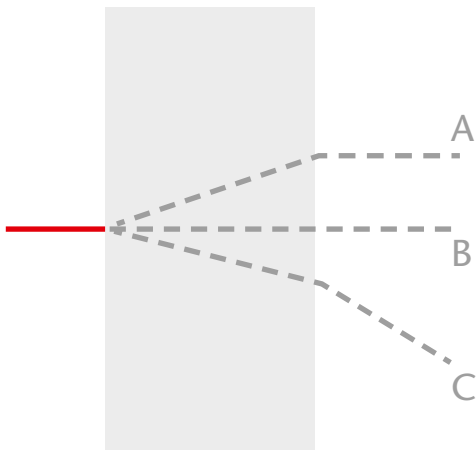
Ergänzend zu diesem Versuch:

Arbeitsblatt Übung zur Lichtbrechung (Seite 26)

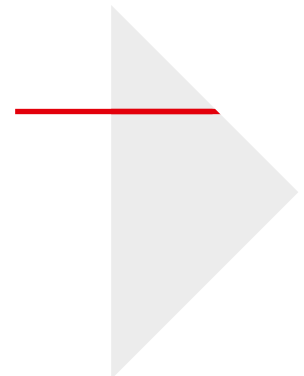
Die grau dargestellten Körper sind aus Glas. Löse die folgenden Aufgaben und überprüfe deine Ergebnisse mit dem Laser und dem entsprechenden Körper.

Raute Seite liegt auf!
Verhindere beim Überprüfen, dass ein Teil des Laserstrahls über den Körper scheint.

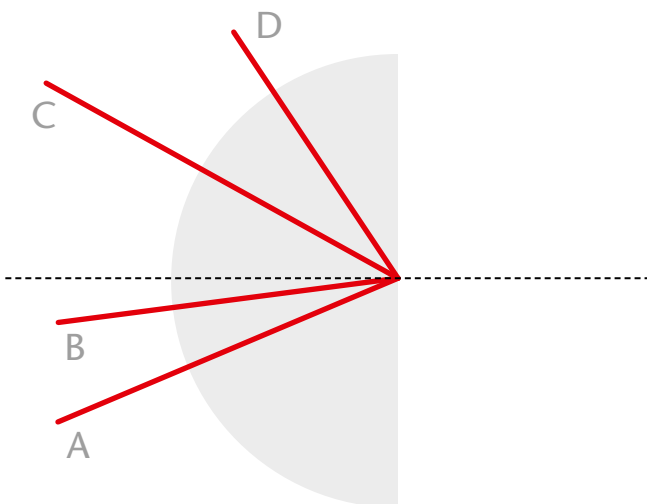
1. Markiere den richtigen Lichtweg.



2. Konstruiere den weiteren Strahlenverlauf.



3. Miss die Einfallswinkel der vier Strahlen. Bestimme den Brechungswinkel und konstruiere mit deinem Ergebnis den weiteren Strahlenverlauf.



Strahl	Einfallswinkel	Brechungswinkel
A		
B		
C		
D		

Op 1.8 Strahlengänge durch Linsen

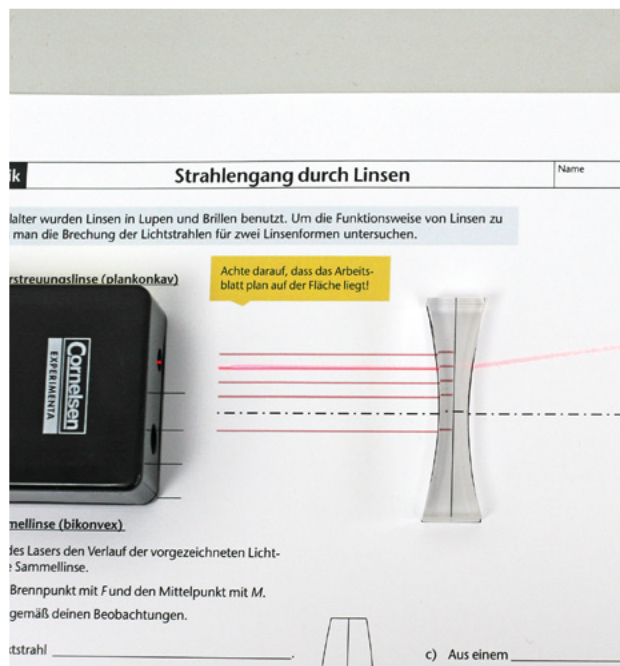
Die Strahlengänge durch Konvex- und Konkavlinse werden als Heftoptik untersucht.

Material

- Schülerlampe LED / LASER..... 2
- Satz *Optische Körper*..... 5
- Arbeitsblatt *Strahlengang durch Linsen*

Versuchsdurchführung

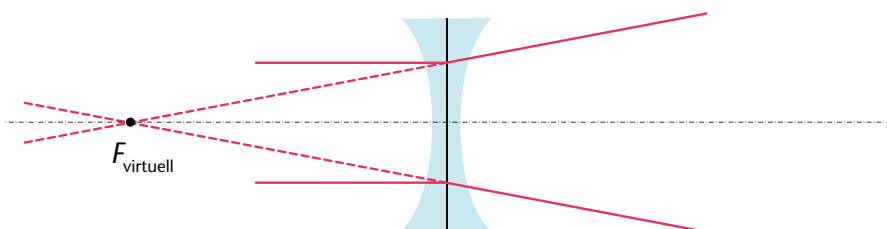
Bei der Durchführung ist eingangs darauf zu achten, dass die Linsen auf der vorgezeichneten Position liegen. Anschließend werden die auf dem Arbeitsblatt rot vorgezeichneten Lichtwege mit dem Laser ausgeleuchtet und vervollständigt.



Auswertung

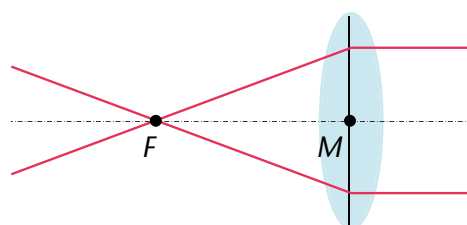
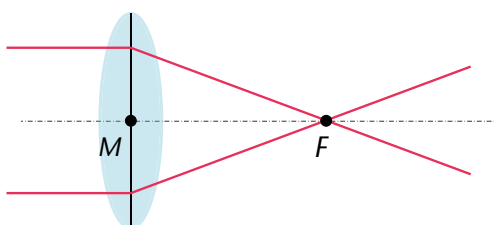
Im Teilerperiment zur Zerstreuungslinse lässt sich beobachten, dass paralleles Licht hinter der Linse auseinanderläuft. Dabei werden die Lichtstrahlen

so gebrochen, dass sie aus einem virtuellen Brennpunkt zu kommen scheinen.



Eine Sammellinse hingegen bündelt parallele Lichtstrahlen dicht der optischen Achse in einem Brennpunkt. Da der Lichtweg umkehrbar ist, werden

Brennpunktstrahlen von der Linse zu Parallelstrahlen gebrochen. Mittelpunktstrahlen werden von einer ausreichend dünnen Linse nicht gebrochen.



M ≙ „Mittelpunkt“

F ≙ „Brennpunkt“

Ergänzend zu diesem Versuch:

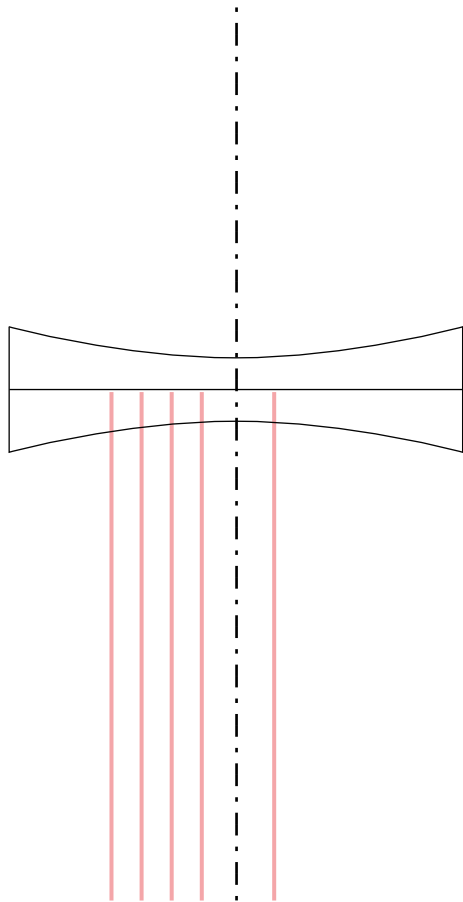
Arbeitsblatt *Strahlengang durch Linsen* (Seite 28)

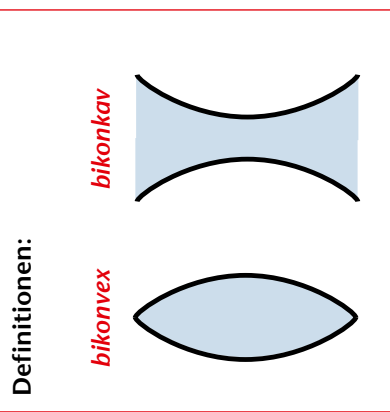
Bereits im Mittelalter wurden Linsen in Lupen und Brillen benutzt. Um die Funktionsweise von Linsen zu verstehen, muss man die Brechung der Lichtstrahlen für zwei Linsenformen untersuchen.

Strahlengang Zerstreuungslinse (bikonkav)

- ➔ Ergänze mithilfe des Lasers den Verlauf der vorgezeichneten Lichtstrahlen durch die Zerstreuungslinse.
- ➔ Fasse deine Beobachtungen zusammen.

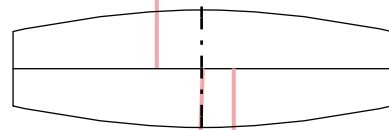
Raue Seite liegt auf!
Verhindere beim Überprüfen, dass ein Teil des Laserstrahls über den Körper scheint.





Strahlengang Sammellinse (bikonvex)

- ➔ Ergänze mithilfe des Lasers den Verlauf der vorgezeichneten Lichtstrahlen durch die Sammellinse.
- ➔ Kennzeichne den Brennpunkt mit *F* und den Mittelpunkt mit *M*.
- ➔ Ergänze die Sätze gemäß deinen Beobachtungen.



- a) Der Mittelpunktstrahl _____.
- b) Aus einem Parallelstrahl wird ein _____.
- c) Aus einem _____ wird ein Parallelstrahl.

Op 1.9 Brennpunkt einer Sammellinse

Op 1.9a Schnittlinse

Op 1.9b Linse auf der optischen Bank

In zwei Teilversuchen wird zunächst der Brennpunkt einer Schnitt-Sammellinse mit der Heftoptik bestimmt. Anschließend wird der Brennpunkt einer Linse auf der optischen Bank gemessen.

Op1.9a Schnittlinse

Material

Schülerlampe LED / LASER..... 2
 Satz Optische Körper..... 5
 Arbeitsblatt Brennpunkt einer Sammellinse

Versuchsdurchführung

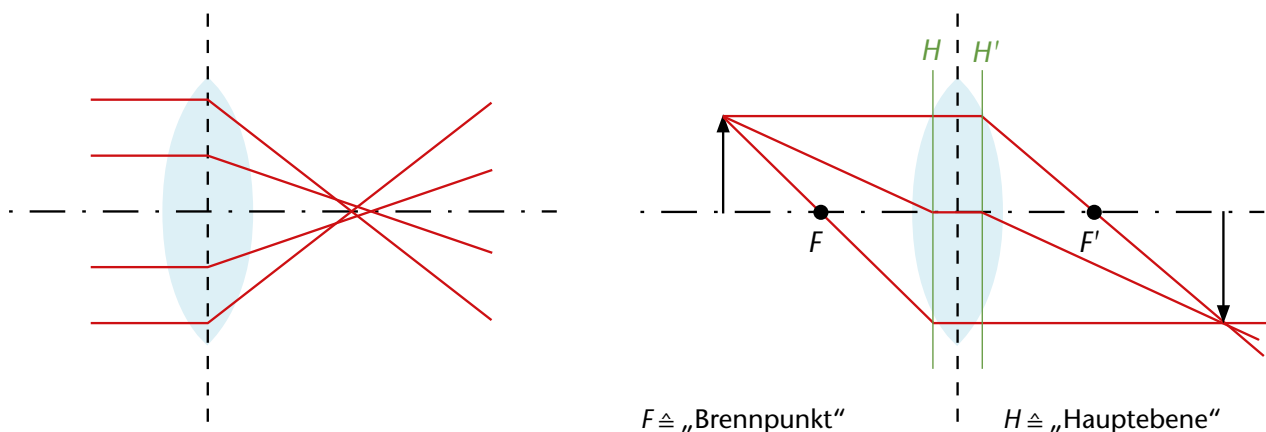
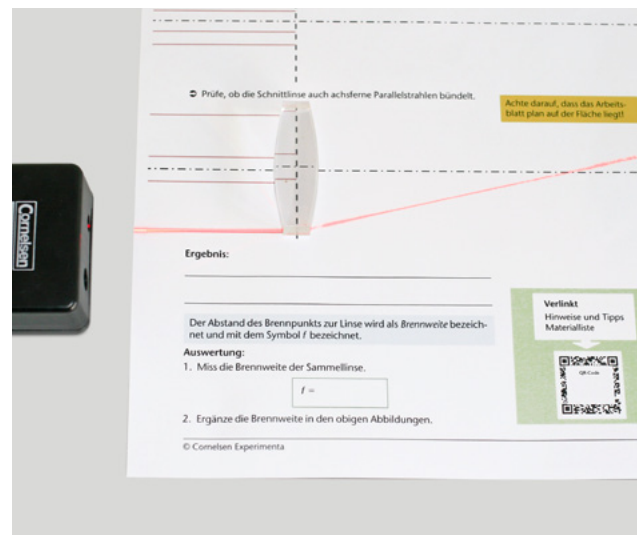
Bei der Durchführung ist eingangs darauf zu achten, dass die Linse orthogonal zur optischen Achse liegt. Anschließend werden die auf dem Arbeitsblatt mit Rot vorgezeichneten Lichtwege mit dem Laser ausgeleuchtet und vervollständigt.

Auswertung

Bei einem Krümmungsradius von $r = 10\text{ cm}$ ergibt sich für eine aus Acrylglas ($n = 1,49$) bestehende bikonvexe Linse eine Brennweite von

$$f = \frac{n_{\text{Linse}}}{n_{\text{Linse}} - n_{\text{Luft}}} \left(\frac{r}{2} \right) = \frac{1,49}{1,49 - 1,00} \left(\frac{10\text{ cm}}{2} \right) \approx 15,2\text{ cm.}$$

Da die Schnittlinse eine dicke Linse ist, muss die Brennweite von der Hauptebene H' aus gemessen werden. Durch die sphärische Aberration werden achsferne Strahlen so gebrochen, dass sie die optische Achse vor dem Brennpunkt scheiden.



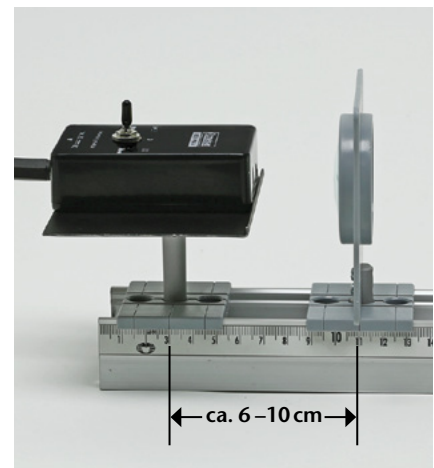
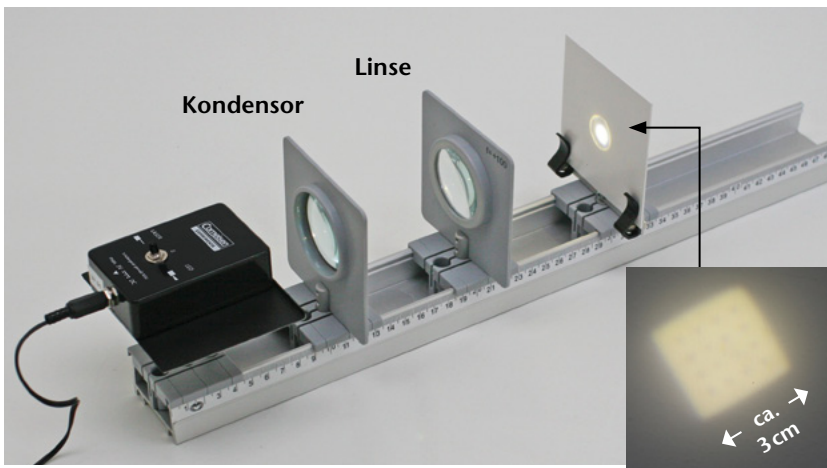
Ergänzend zu diesem Versuch:

Arbeitsblatt Brennpunkt einer Sammellinse (Seite 31, 32)

Op 1.9b Linse auf der optischen Bank

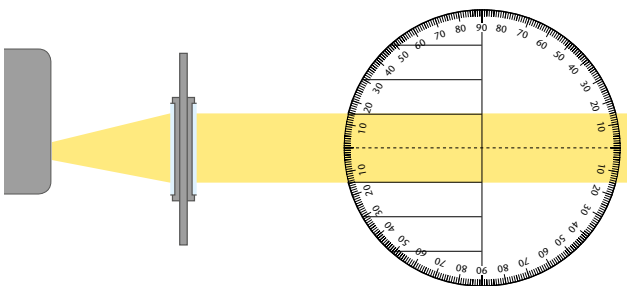
Material

Profilschiene	1	Linse, $f = +50$ mm	15
Schülerlampe LED / LASER	2	Kondensator	17
Lampentisch	9	Schirm- und Spiegelhalter	21
Messtisch	10	Schirm	24
Klemmschieber	(4x) ... 11		
Linse, $f = +200$ mm	13		
Linse, $f = +100$ mm	14		



Versuchsdurchführung

Für diesen Versuch wird ein paralleles Strahlenbündel benötigt. Zur Erzeugung dieses Bündels wird die LED-Lampe so auf dem Lampentisch positioniert, dass ihr Licht die Kondensatorlinse vollständig ausleuchtet.



Dann verschiebt man den Kondensator auf die Position relativ zur Lampe, für die das Strahlenbündel weitgehend parallel wird (typisch 6–10 cm). Dazu kontrolliert man die Bündelform mit dem Messtisch in einem Abstand von ca. 20–25 cm zur Lampe. Ist der Kondensator korrekt eingestellt, wird der Messtisch durch die zu untersuchende Linse ersetzt. Anschließend wird der Schirm so platziert, dass er das Bild der LED scharf wie dargestellt abbildet. Da bei kleinen Abständen der LED zum Schirm die Lichtintensität groß wird, empfiehlt es sich, das Bild der LED auf der Rückseite des Schirms zu beobachten.

Auswertung

Für maschinell hergestellte Linsen liegt die relative Abweichung der Krümmung unter einem Prozent, was eine Abweichung der Brennweite von ca. zwei Prozent zur Folge hat. Einen deutlich größeren Einfluss haben dagegen die Form und der Verlauf des Strahlenbündels. So ist das Strahlenbündel in der Regel nicht parallel und trifft zudem meist schief auf die Linse (Astigmatismus).

f_{Linse} in mm	f_{gemessen} in mm	Δf in mm	δf	Toleranzbereich
50	56	6	12 %	43 ... 58 mm
100	99	1	1 %	85 ... 115 mm
200	220	20	10 %	170 ... 230 mm
Kon- densator	52	2	4 %	43 ... 58 mm

Ergänzend zu diesem Versuch:

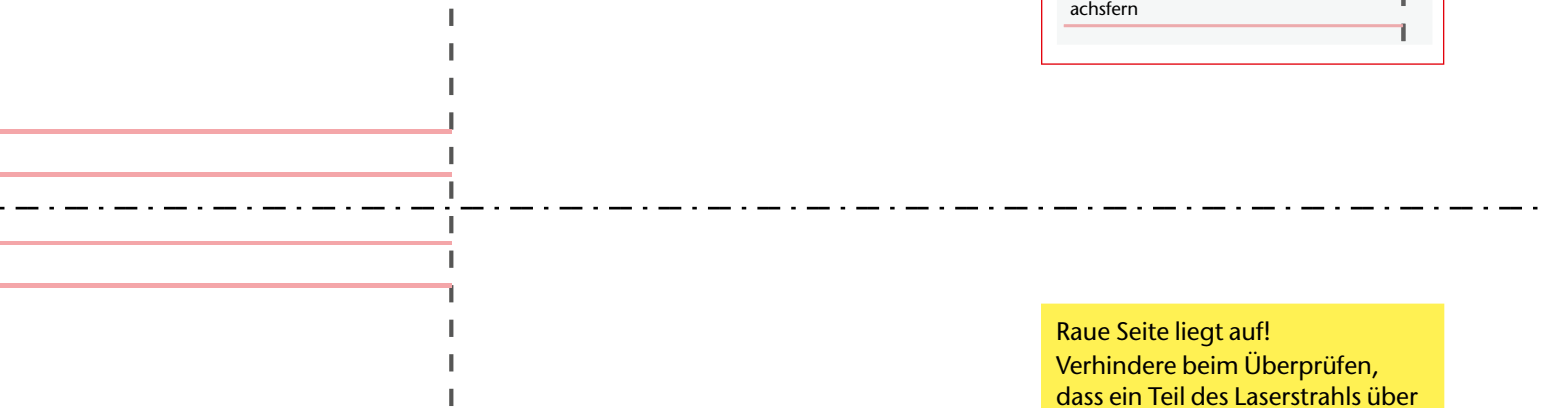
Arbeitsblatt *Brennpunkt einer Sammellinse* (Seite 31, 32)

Die folgende Definition soll untersucht werden:

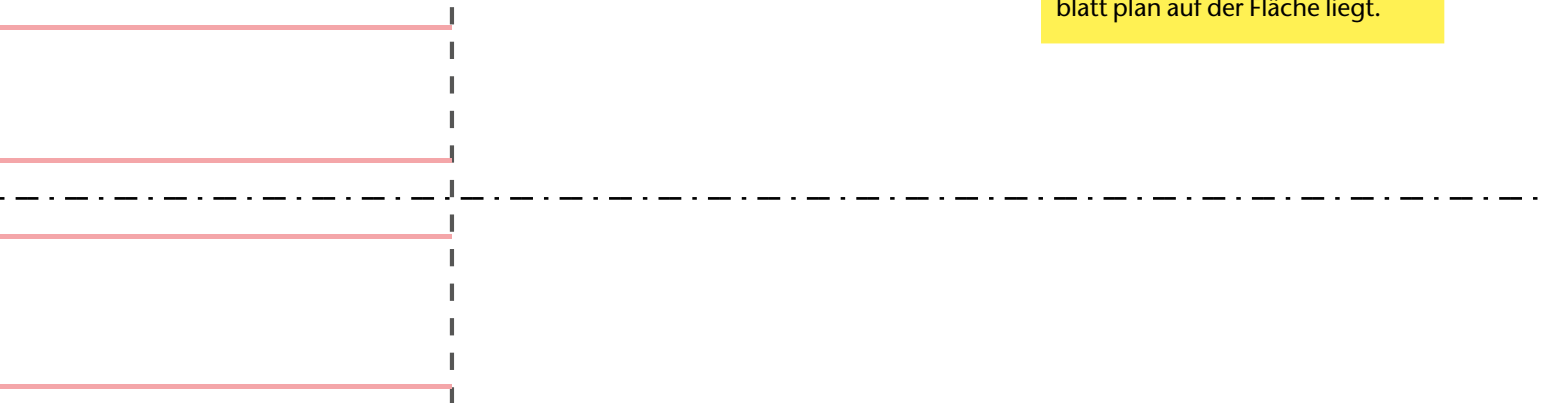
„Eine Sammellinse bündelt parallel einfallendes Licht in einem Punkt, der als Brennpunkt der Linse bezeichnet wird.“

Durchführung:

- ➔ Lege die Schnittlinse mit der rauhen Seite nach unten mittig auf die gestrichelte Linie. Liegt die Linse exakt, wird ein Laserstrahl entlang der optischen Achse nicht gebrochen. Wenn deine Schnittlinse ausgerichtet ist, kannst du mit dem Experiment beginnen.
- ➔ Prüfe experimentell, ob die Schnittlinse einen Brennpunkt besitzt.



- ➔ Prüfe, ob die Schnittlinse auch achsferne Parallelstrahlen bündelt.



Ergebnis:

Der Abstand des Brennpunkts zur Linse wird als *Brennweite* bezeichnet und mit dem Symbol f bezeichnet.

Auswertung:

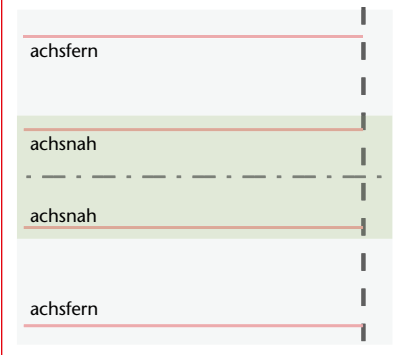
- 1. Miss die Brennweite der Sammellinse.

$f =$

- 2. Ergänze die Brennweite in den obigen Abbildungen.

Definitionen:

„achsnahe“: nah an der optischen Achse
 „achsfern“: fern der optischen Achse



Rauhe Seite liegt auf!
 Verhindere beim Überprüfen, dass ein Teil des Laserstrahls über den Körper scheint.
 Achte darauf, dass das Arbeitsblatt plan auf der Fläche liegt.

Verlinkt
 Kurzbeschreibung
 Materialliste



Einführung

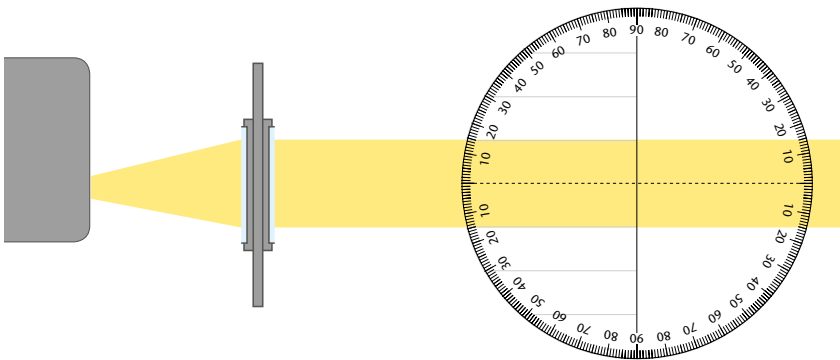
Nun soll der Brennpunkt einer Sammellinse experimentell bestimmt werden. Gemäß der Definition

„Eine Sammellinse bündelt **parallel einfallendes Licht** in einem Punkt, der als Brennpunkt der Linse bezeichnet wird.“

benötigst du dazu paralleles Licht, das vom Kondensator erzeugt wird.

Durchführung

- Positioniere die LED-Lampe und den Kondensator derart, dass die Kondensatorlinse vom Lichtkegel der LED-Lampe vollständig ausgeleuchtet wird.
- Durch Verschieben und Drehen des Kondensators kannst du einen parallelen Lichtstrahl erzeugen. Deine Einstellung überprüfst du mit den Markierungen auf dem Messtisch. Die optimale Konfiguration ist in der folgenden Abbildung dargestellt.



- Nun kann mit dem parallelen Licht der Brennpunkt einer Sammellinse mit dem Schirm bestimmt werden. Da das Licht der LED sehr hell ist, beobachtest du den Brennpunkt auf dem Schirm von der Rückseite.

Aufgabe:

1. Bestimme die Brennweite der Linsen.

Linse	gemessene Brennweite	absoluter Fehler	relativer Fehler
$f = +50 \text{ mm}$	$f_{50} =$	$\Delta f_{50} =$	$\delta f_{50} =$
$f = +100 \text{ mm}$	$f_{100} =$	$\Delta f_{100} =$	$\delta f_{100} =$
$f = +200 \text{ mm}$	$f_{200} =$	$\Delta f_{200} =$	$\delta f_{200} =$

- 2. Berechne mit deinen Messwerten den absoluten und den relativen Fehler der Linsen und notiere dein Ergebnis in der Tabelle.
- 3. Bestimme die Brennweite des Kondensators.
- 4. Beurteile die Genauigkeit der Brennweitenangaben auf den Linsen.
- 5. Diskutiere mögliche Gründe für die Abweichung der Brennweite.

Definition:

Der **Kondensator** dient zur Erzeugung eines parallelen Strahlverlaufs. Für sichtbares Licht ist der einfachste Kondensator eine Sammellinse.

Du benutzt als Kondensator die nicht beschriftete Linse **17**.



Beispiel:

Angabe $f_{150} = 150 \text{ mm}$

Gemessen $f_{\text{gemessen}} = 158 \text{ mm}$

Absoluter Fehler Δf_{150}

$$\Delta f_{150} = |f_{\text{gemessen}} - f_{150}|$$

$$\Delta f_{150} = |158 \text{ mm} - 150 \text{ mm}|$$

$$\Delta f_{150} = 8 \text{ mm}$$

Relativer Fehler δf_{150}

$$\delta f_{150} = \frac{\Delta f_{150}}{f_{150}}$$

$$\delta f_{150} = \frac{8 \text{ mm}}{150 \text{ mm}}$$

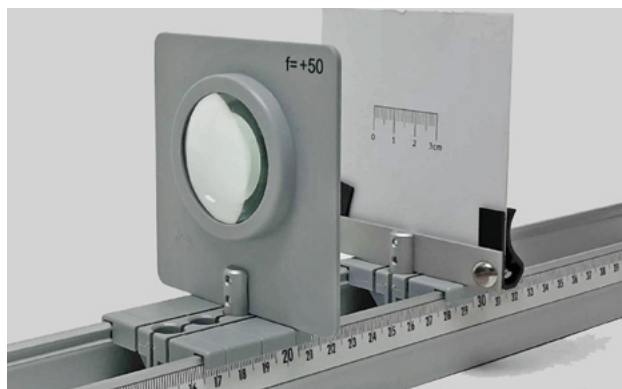
$$\delta f_{150} \cong 0,05 = 5\%$$

Messhinweis für 3:

Benutze die Linse $f = +50 \text{ mm}$ als Kondensator und stelle den Aufbau neu ein.

Op 1.10 Bildentstehung bei Sammellinsen

Durch eine Sammellinse ($f = +50 \text{ mm}$) wird die Bildentstehung des auf den Schirm gedruckten Zentimetermaßstabs beobachtet.



Material

- Profilschiene 1
- Klemmschieber.....(2x) ... 11
- Linse, $f = +50 \text{ mm}$ 15
- Schirm- und Spiegelhalter..... 21
- Schirm..... 24

Ergänzend zu diesem Versuch:

Arbeitsblatt *Bildentstehung bei Sammellinsen* (Seite 34)

Versuchsdurchführung

Damit der Schirm innerhalb der Brennweite positioniert werden kann, müssen Linse und Schirm in die benachbarten Buchsen der beiden Klemmschieber

gesteckt werden. Anschließend wird die Linse auf die entsprechenden Abstände geschoben und der Maßstab auf dem Schirm beobachtet.

Auswertung

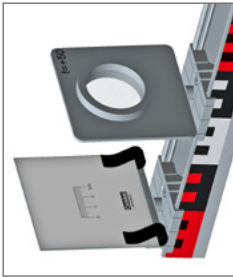
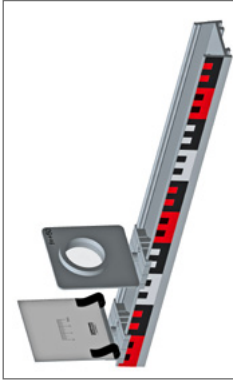
Es ergeben sich die folgenden Beobachtungen:

$F \triangleq$ „Brennpunkt“ $B \triangleq$ „Bild“ $G \triangleq$ „Gegenstand“

Abstand g Linse-Schirm	Eigenschaft des Bilds	Konstruktion	
<p>Innerhalb der Brennweite</p> <p>$0 < g < f$</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ vergrößert ▪ aufrecht ▪ virtuell ▪ seitenrichtig 		
<p>In der Brennweite</p> <p>$g = f$</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ kein scharfes Bild 		
<p>Zwischen einfacher und doppelter Brennweite einer Sammellinse</p> <p>$f < g < 2f$</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ vergrößert ▪ umgekehrt ▪ reell ▪ seitenvertauscht 		
<p>Außerhalb der doppelten Brennweite einer Sammellinse</p> <p>$2f < g$</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ verkleinert ▪ umgekehrt ▪ reell ▪ seitenvertauscht 		

Durchführung:

- Beobachte den auf den Schirm gedruckten Zentimetermaßstab mit der Sammellinse $f = 50\text{ mm}$.
- Variiere den Abstand von Linse und Schirm gemäß der Tabelle und notiere deine Beobachtungen.
- Konstruiere für jede Einstellung den Strahlengang durch die Sammellinse.
- Vergleiche die Konstruktion mit der Beobachtung.
- Setze in der letzten Spalte einen Haken, wenn Beobachtung und Konstruktion einander entsprechen.



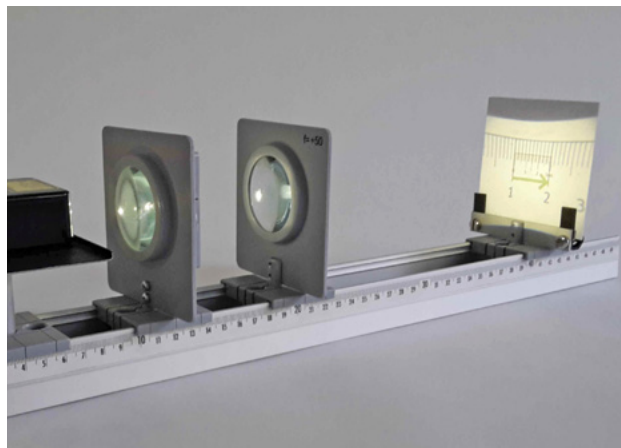
Abstand g Linse – Schirm	Beobachtungen	Konstruktion des Bildes (Maßstab 1:2)	korrekt
Innerhalb der Brennweite $0 < g < f$	<input type="checkbox"/> kein Bild <input type="checkbox"/> aufrechtes Bild <input type="checkbox"/> umgekehrtes Bild <input type="checkbox"/> verkleinertes Bild <input type="checkbox"/> gleich großes Bild <input type="checkbox"/> vergrößertes Bild		
In der Brennweite $g = f$	<input type="checkbox"/> kein Bild <input type="checkbox"/> aufrechtes Bild <input type="checkbox"/> umgekehrtes Bild <input type="checkbox"/> verkleinertes Bild <input type="checkbox"/> gleich großes Bild <input type="checkbox"/> vergrößertes Bild		
Zwischen einfacher und doppelter Brennweite einer Sammellinse $f < g < 2f$	<input type="checkbox"/> kein Bild <input type="checkbox"/> aufrechtes Bild <input type="checkbox"/> umgekehrtes Bild <input type="checkbox"/> verkleinertes Bild <input type="checkbox"/> gleich großes Bild <input type="checkbox"/> vergrößertes Bild		
Außerhalb der doppelten Brennweite einer Sammellinse $2f < g$	<input type="checkbox"/> kein Bild <input type="checkbox"/> aufrechtes Bild <input type="checkbox"/> umgekehrtes Bild <input type="checkbox"/> verkleinertes Bild <input type="checkbox"/> gleich großes Bild <input type="checkbox"/> vergrößertes Bild		

Op 1.11 Linsengleichung

Die Linsengleichung wird aus dem Abbildungsmaßstab hergeleitet und mit einem Maßstabsdia experimentell bestätigt.

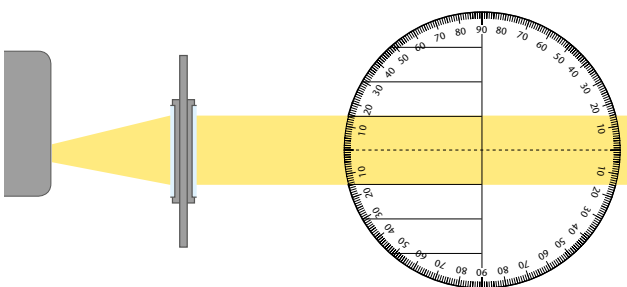
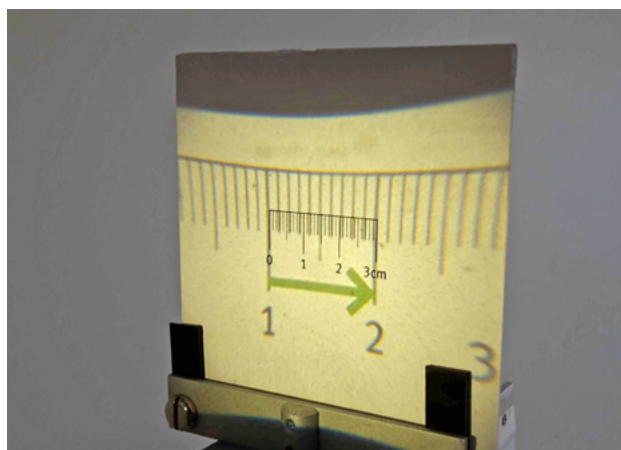
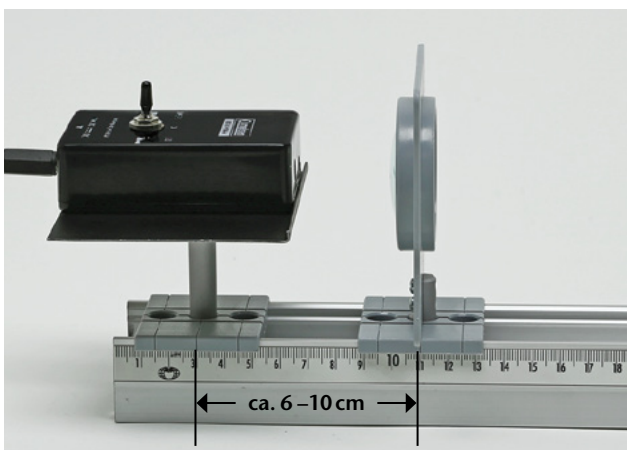
Material

Profilschiene	1
Schülerlampe LED / LASER.....	2
Lampentisch.....	9
Messtisch.....	10
Klemmschieber.....(4 x) ...	11
Linse, $f = +50\text{ mm}$	15
Kondensator.....	17
Dia Maßstab	19
Schirm- und Spiegelhalter.....	21
Schirm.....	24



Zusätzlich erforderlich: Lineal

Versuchsdurchführung



Für diesen Versuch wird ein paralleles Strahlenbündel benötigt. Zur Erzeugung dieses Bündels wird die LED-Lampe so auf dem Lampentisch positioniert, dass ihr Licht die Kondensatorlinse vollständig ausleuchtet. Dann verschiebt man den Kondensator auf die Position relativ zur Lampe, für die das Strahlenbündel weitgehend parallel wird (typisch 6–10 cm).

Dazu kontrolliert man die Bündelform mit dem Messtisch in einem Abstand von ca. 20–25 cm zur Lampe.

Ist der Kondensator korrekt eingestellt, wird das Dia des Maßstabs in den Dialhalter geschoben und an den Kondensator gesteckt. Abschließend wird der Messtisch durch die Linse ($f = +50\text{ mm}$) ersetzt.

Für die Messung werden Schirm und Linse derart positioniert, dass sich der Kondensator stets außerhalb der Brennweite befindet und das Bild auf dem Schirm scharf ist.

Als Gegenstand wird der 1 cm lange grüne Pfeil benutzt. Seine Projektion lässt sich auf dem Schirm gut mit dem aufgedruckten Zentimetermaßstab oder einem Lineal vermessen.

Auswertung

In diesem Experiment werden die in der Mathematik behandelten Strahlensätze benutzt, um die Bedingungen für eine scharfe Abbildung durch eine Sammellinse herzuleiten.

Benutzt man den auf dem Arbeitsblatt beschriebenen Ansatz und wendet den Strahlensatz an, lässt sich in wenigen Schritten aus der Gegenstandsweite g , der Bildweite b und der Brennweite f die Bedingung für eine scharfe Abbildung herleiten. Die auf dem Arbeitsblatt nicht aufgeführten Schritte zur Herleitung können dem Infokasten entnommen werden.

Die Linsengleichung als Resultat der Herleitung wird mit dem Aufbau sehr gut bestätigt.

Ausgehend vom Arbeitsblatt gilt

$$\frac{b}{g} = \frac{b-f}{f}$$

Ausschreiben der Differenz

$$\frac{b}{g} = \frac{b}{f} - \frac{f}{f}$$

Erweitern aller Brüche mit $\frac{1}{b}$ und Kürzen

$$\frac{1}{g} = \frac{1}{f} - \frac{1}{b}$$

Umstellen ergibt die Linsengleichung

$$\frac{1}{g} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

g in mm	b in mm	f in mm	$\frac{1}{g}$	$\frac{1}{b}$	$\frac{1}{g} + \frac{1}{b}$	$\frac{1}{f}$
68	220	50	0,015	0,005	0,019	0,020
100	116	50	0,010	0,010	0,020	0,020
67	291	50	0,010	0,000	0,020	0,020

Der Vergleich der letzten beiden Spalten bestätigt die hergeleitete Linsengleichung

$$\frac{1}{g} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}.$$

Der in Aufgabe 3 auf dem Arbeitsblatt gesuchte Zusammenhang ist die zur Herleitung der Linsengleichung benutzte Ausgangsgleichung. Für den Abbildungsmaßstab gilt demnach

$$\frac{B}{G} = \frac{b}{g}.$$

Auch dieser Zusammenhang lässt sich durch die Messung bestätigen.

G in mm	g in mm	b in mm	B in mm	f in mm	$\frac{B}{G}$	$\frac{b}{g}$
10	68	220	31	50	3,1	3,2
10	100	116	12	50	1,2	1,2
10	67	291	45	50	4,5	4,3

Ergänzend zu diesem Versuch:

Arbeitsblatt *Linsengleichung* (Seite 37)

In der geometrischen Optik lassen sich viele Strahlengänge mit Hilfe der Strahlensätze berechnen. Die *Linsengleichung* ist dabei von besonderer Bedeutung, da sie Gegenstands-, Bild- und Brennweite in Beziehung setzt.

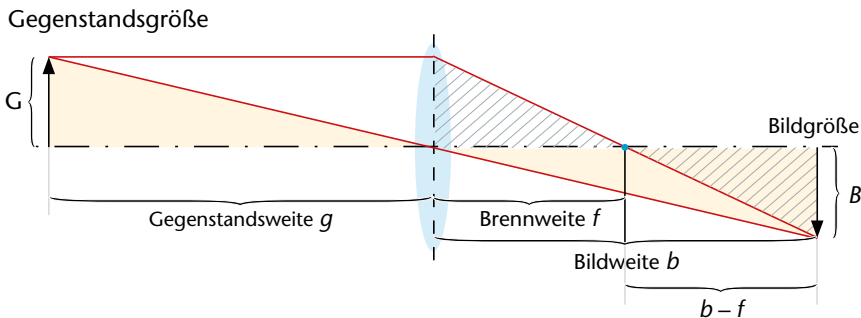


Foto mit freundlicher Genehmigung der Archenhold Sternwarte, Berlin

Ansatz Herleitung der Linsengleichung:

Strahlensatz mit gelben Dreiecken

$$\frac{B}{G} = \frac{b}{g}$$

Strahlensatz mit schraffierten Dreiecken

$$\frac{B}{G} = \frac{b-f}{f}$$

Gleichsetzen der beiden rechten Seiten

$$\frac{b}{g} = \frac{b-f}{f}$$

⋮

$$\frac{1}{g} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

Durchführung:

- Erzeuge paralleles Licht wie im Hinweis Kondensor beschrieben.
- Stecke das Dia des Maßstabs mit dem Halter an den Kondensor.
- Positioniere nun den Schirm und die Linse ($f = 50 \text{ mm}$) derart, dass das Dia nicht innerhalb der Brennweite und das Bild auf dem Schirm scharf ist. Notiere die Gegenstandsweite g , Bildweite b und die Länge des 1 cm langen Pfeils auf dem Schirm als Bildgröße B in der Tabelle.
- Finde weitere Konfigurationen, die ein scharfes Bild erzeugen, und notiere sie in der Tabelle.

G in mm	g in mm	b in mm	B in mm	f in mm	$\frac{1}{g}$	$\frac{1}{b}$	$\frac{1}{g} + \frac{1}{b}$	$\frac{1}{f}$
10				50				
10				50				
10				50				
10				50				
10				50				

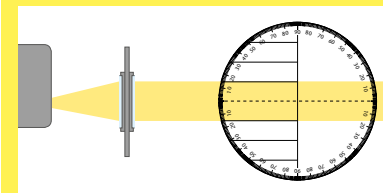
Auswertung:

1. Diskutiere, ob deine Messungen die Linsengleichung bestätigen.
2. Berechne jeweils das Verhältnis von Bildgröße und Gegenstandsgröße ($G = 10 \text{ mm}$). Dieses Verhältnis wird als „Abbildungsmaßstab“ bezeichnet.
3. Überprüfe anhand deiner Messdaten, ob ein Zusammenhang zwischen Abbildungsmaßstab, Gegenstandsweite und Bildweite besteht.

Hinweis: Kondensor

Positioniere die LED-Lampe und den Kondensor derart, dass die Kondensorlinse vom Lichtkegel der LED-Lampe vollständig ausgeleuchtet wird.

Durch Verschieben und Drehen des Kondensors kannst du einen parallelen Lichtstrahl erzeugen. Deine Einstellung überprüfst du, wie dargestellt, mit den Markierungen auf dem Messtisch.



Verlinkt

Kurzbeschreibung
Foto des Aufbaus
Materialliste

Op 1.12 Optische Geräte

- Op 1.12a Das Erdfernrohr
- Op 1.12b Das astronomische Fernrohr
- Op 1.12c Der Projektor
- Op 1.12d Das Lichtmikroskop

Das Vorstellen von optischen Geräten eignet sich sehr gut als Thema für Schülervorträge.

Im Anhang befinden sich entsprechende Arbeitsaufträge zum Erdfernrohr, dem astronomischen Fernrohr, dem Projektor sowie dem Mikroskop. Im Folgenden sind die Themen kurz aufbereitet.

Op 1.12a Das Erdfernrohr

Material

Profilschiene	1
Klemmschieber.....(2x) ...	11
Linse, $f = +200$ mm	13
Linse, $f = -100$ mm.....	16

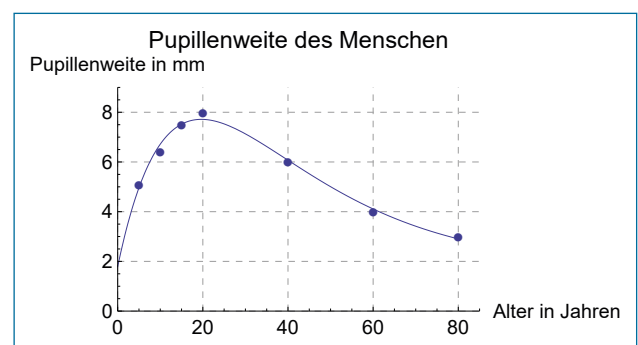
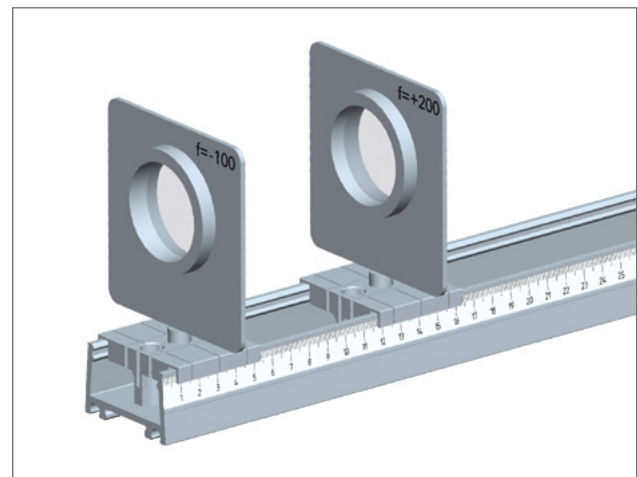
Das Erdfernrohr ist auch unter den Bezeichnungen *Fernglas* oder *Galileisches-Fernrohr* bekannt und nutzt als Objektiv eine Sammellinse.

Durch sie werden Lichtbündel aus großer Entfernung zum Brennpunkt abgelenkt. Vor der Vereinigung im Brennpunkt treffen die Lichtbündel auf eine näher angeordnete Zerstreuungslinse (das Okular). Dadurch entsteht kein Zwischenbild, sondern die Lichtbündel werden durch die als Okular fungierende Zerstreuungslinse wieder aufgeweitet und vergrößern somit den Sehwinkel für das Auge. Die Vergrößerung ergibt sich aus dem Quotienten der Objektiv- und Okularbrennweite:

$$V = \frac{f_{\text{Objektiv}}}{f_{\text{Okular}}}$$

Das auf der Netzhaut erzeugte Bild steht aufrecht und ist seitenrichtig. Für die Betrachtung von Objekten auf der Erde ist das gegenüber dem astronomischen Fernrohr ein Vorteil.

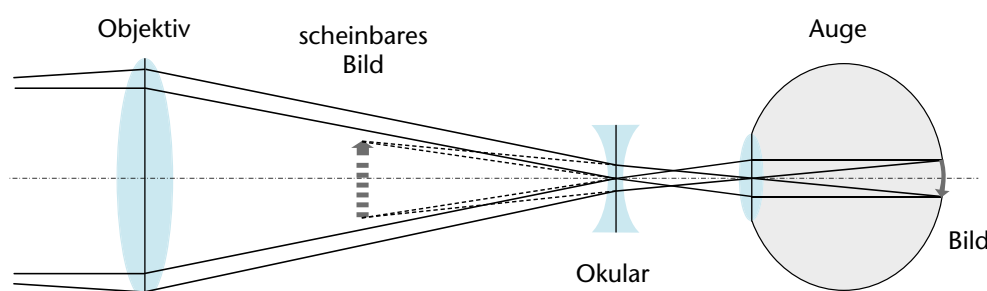
Bei Prismenferngläsern besteht auch das Okular aus einer Sammellinse, ähnlich dem astronomischen Fernrohr. Hier sorgt ein zwischen Okular und Objektiv angeordnetes Umkehrprisma für ein aufrechtes sowie seitenrichtiges Bild bei kompakter Bauweise.



Ferngläser werden in der Regel durch den Vergrößerungsfaktor und den Objektivdurchmesser gekennzeichnet. Für eine optimale Abbildungshelligkeit im Auge sollten die Austrittspupille und die Pupillenweite des Auges ungefähr gleich groß sein.

$$\text{Austrittspupille} = \frac{\text{Objektivdurchmesser}}{\text{Vergrößerungsfaktor}}$$

Fortsetzung siehe nächste Seite



Forts. 1.12a: Da die Pupillenweite bei Menschen sehr variiert und sich im Laufe des Lebens ändert, werden

Ferngläser mit unterschiedlichen Austrittspupillen angeboten.

Ergänzend zu diesem Versuch:

Stationskarte *Das Erdfernrohr* (Seite 42)

Op 1.12b Das astronomische Fernrohr

Material

- Profilschiene 1
- Klemmschieber.....(2x) ... 11
- Linse, $f = +200$ mm 13
- Linse, $f = +50$ mm 15

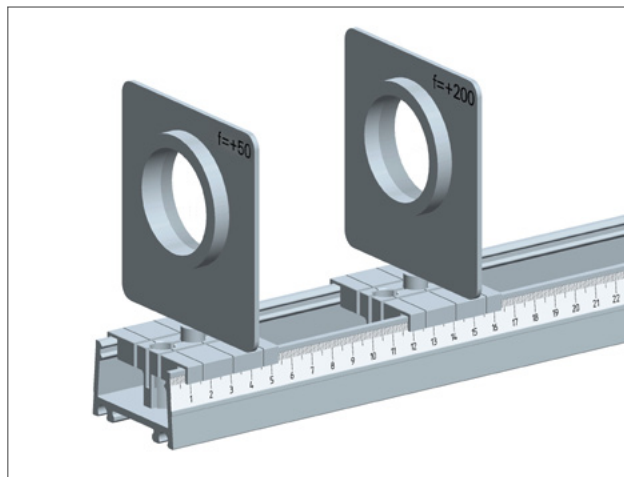
Das Auge hat eine begrenzte Akkommodationsfähigkeit und damit auch einen begrenzten Sehwinkel. Fernrohre dienen der Vergrößerung des Sehwinkels.

Das astronomische Fernrohr ist eine Kombination aus einer Sammellinse mit langer Brennweite als Objektiv und einer weiteren Sammellinse mit kurzer Brennweite als Okular. Das Okular wirkt wie eine Lupe, mit der das vom Objektiv erzeugte Zwischenbild vergrößert betrachtet wird.

Die Vergrößerung des Fernrohrs ergibt sich aus dem Quotienten der Objektiv- und Okularbrennweite:

$$V = \frac{f_{\text{Objektiv}}}{f_{\text{Okular}}}$$

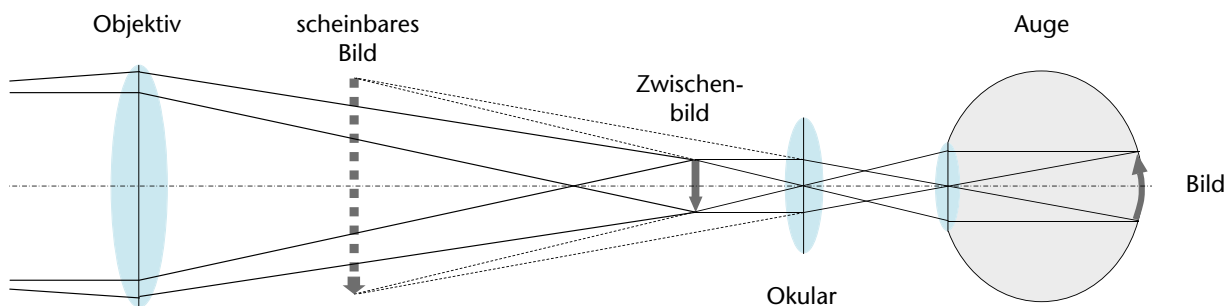
Das auf der Netzhaut erzeugte Bild steht auf dem Kopf und ist seitenverkehrt. Das ist jedoch für die Betrachtung von Himmelskörpern kein Nachteil.



Linsenteleskope bieten in der Regel einen besseren Kontrast und eine höhere Auflösung.

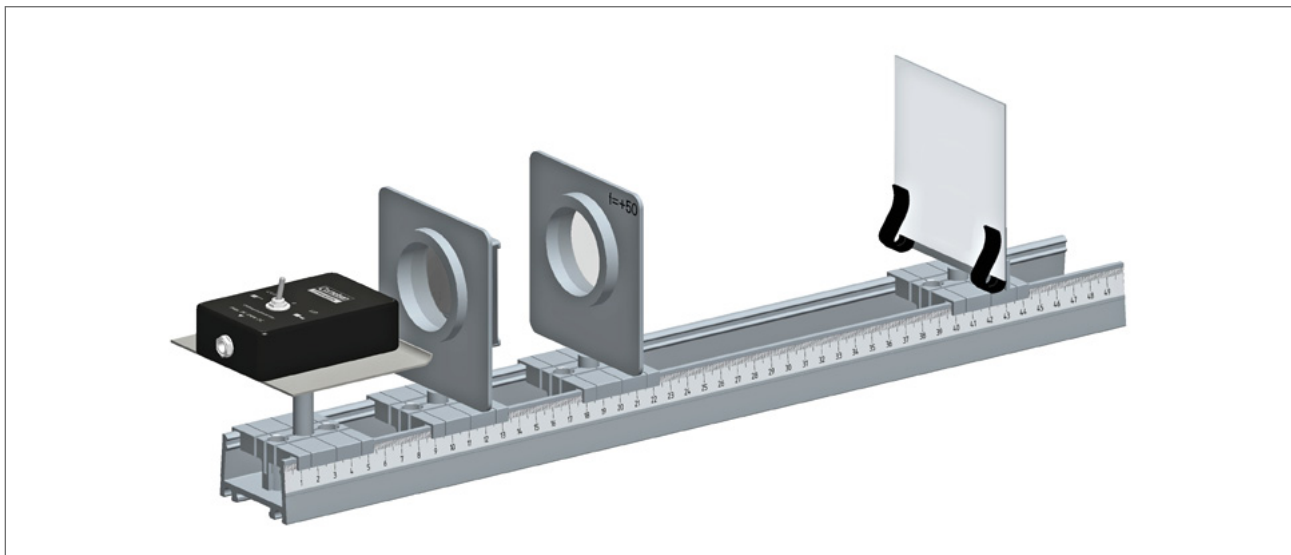
Nachteilig beim Einsatz von Linsen sind der durch die Brechung bedingte Farbfehler sowie der höhere Preis. Spiegelteleskope haben im Vergleich einen deutlich größeren Objektivdurchmesser, also eine größere Öffnung.

In der Anwendung eignen sich Linsenteleskope somit eher für Planetenbeobachtungen während Spiegelteleskope optimal für die Beobachtung von sogenannten Deep-Sky-Objekten wie Galaxien oder Nebeln sind.



Ergänzend zu diesem Versuch:

Stationskarte *Das astronomische Fernrohr* (Seite 42)



Op 1.12c Der Projektor

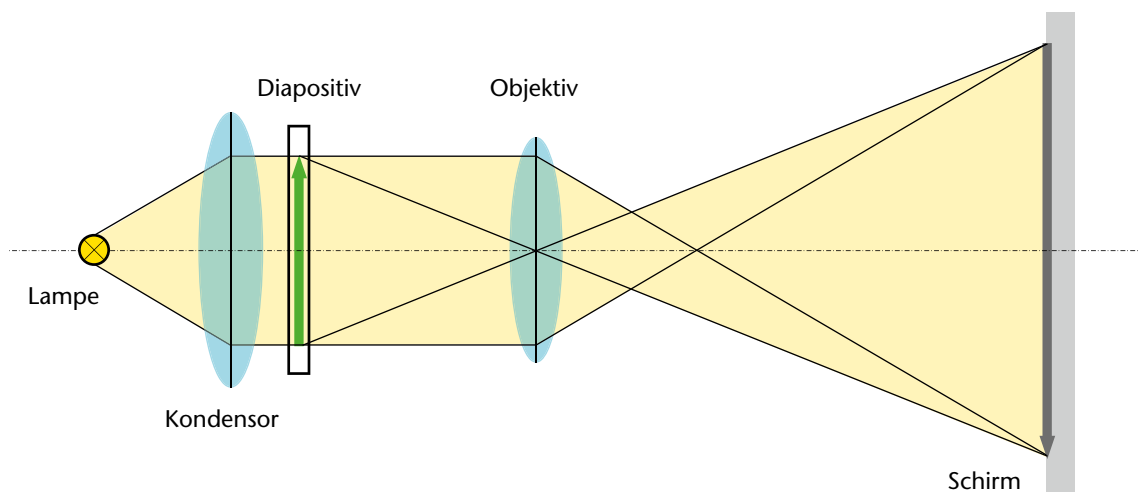
Material

Profilschiene	1
Schülerlampe LED / LASER.....	2
Lampentisch.....	9
Klemmschieber..... (4 x) ...	11
Linse, $f = +50$ mm	15
Kondensator	17
Dia Maßstab	19
Schirm- und Spiegelhalter.....	21
Schirm.....	24

Mit einem Projektor soll ein möglichst großes und scharfes Abbild eines Diapositivs auf einem Bildschirm oder einer Projektionswand erzeugt werden. Ein von einer Lichtquelle und einem Kondensator

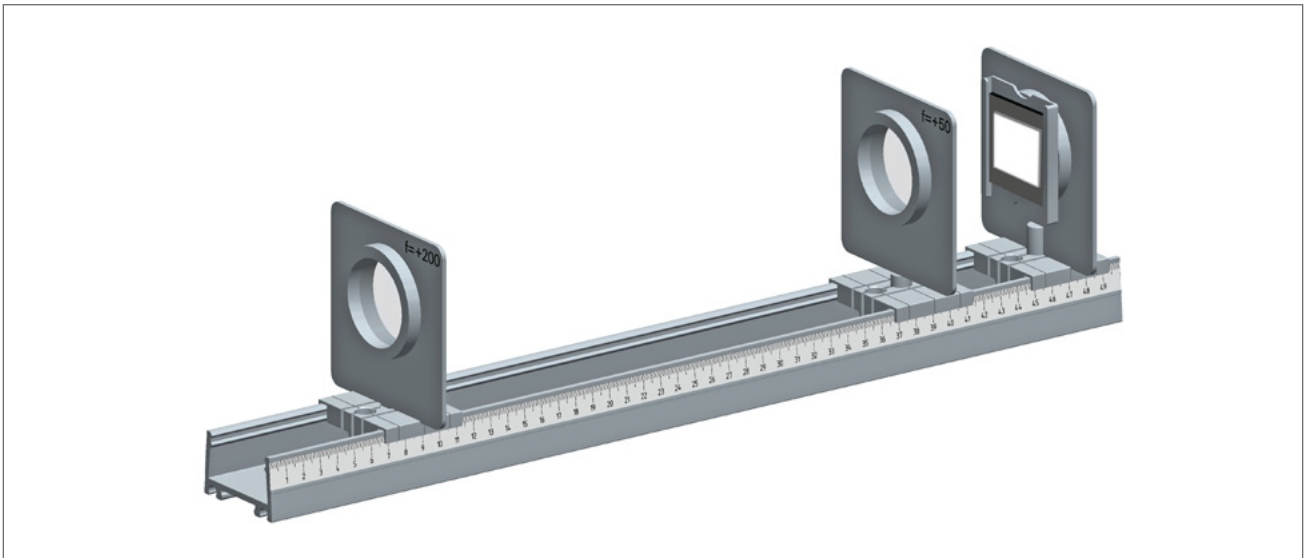
erzeugtes Lichtbündel aus parallelen Lichtstrahlen beleuchtet zunächst das Diapositiv auf seiner gesamten Fläche. Die vom Diapositiv je nach seinem Motiv durchgelassenen Lichtstrahlen durchlaufen danach die Objektivlinse und werden dabei zum Brennpunkt dieser Linse hin gebrochen. Auf dem außerhalb der Brennweite befindlichen Schirm entsteht ein reelles, stark vergrößertes, auf dem Kopf stehendes und seitenverkehrtes Abbild des Diapositivs.

Größe und Schärfe des Bilds sind von den jeweiligen Abständen zwischen Diapositiv, Objektivlinse und Schirm, sowie von der Qualität und Brechkraft der Objektivlinse abhängig.



Ergänzend zu diesem Versuch:

Stationskarte *Der Projektor* (Seite 43)



Op 1.12d Das Lichtmikroskop

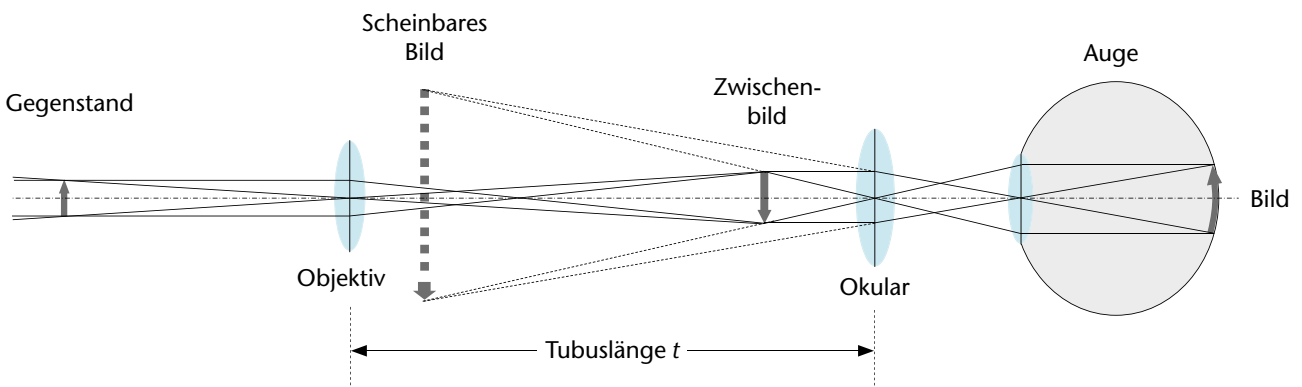
Material

- Profilschiene 1
- Klemmschieber..... (3 x) ... 11
- Linse, $f = +200$ mm 13
- Linse, $f = +50$ mm 15
- Blenden- und Diahalter..... 18
- Dia Maßstab 19

Das Lichtmikroskop ist ein optisches Gerät, mit dessen Hilfe stark vergrößerte Abbildungen von sehr kleinen Gegenständen auf der Netzhaut erzeugt werden können. Das Objektiv des Mikroskops erzeugt ein vergrößertes, reelles Zwischenbild des betrachteten Objekts.

Dieses Zwischenbild wird durch das als Lupe wirkende Okular betrachtet. Dabei wird vom Zwischenbild noch einmal ein vergrößertes virtuelles Bild erzeugt. Das Linsensystem eines Mikroskops ermöglicht somit durch seine zweimalige Vergrößerung die Betrachtung sehr kleiner Objekte. Um möglichst nahe an das abzubildende Objekt heran gehen zu können, muss das Objektiv eine sehr kleine Brennweite besitzen. Die Vergrößerung ergibt sich aus der Tubuslänge t und einer deutlichen Sehweite von 25 cm, zu

$$V = V_{\text{Objektiv}} \cdot V_{\text{Okular}} = \frac{t}{f_{\text{Objektiv}}} \cdot \frac{25 \text{ cm}}{f_{\text{Okular}}}$$



Ergänzend zu diesem Versuch:

Stationskarte *Das Lichtmikroskop* (Seite 43)

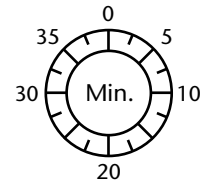


Arbeitsauftrag

Erarbeite einen Vortrag über das Erdfernrohr (Fernglas).
Die folgenden Punkte sollen im Vortrag behandelt werden:

- Stelle das Erdfernrohr vor.
- Demonstriere die grundlegende Funktionsweise anhand des unten dargestellten Experiments.
- Erkläre den Einsatz von Prismen beim Erdfernrohr.
- Diskutiere die Bedeutung von Vergrößerungszahl und Objektivdurchmesser eines Erdfernrohrs.

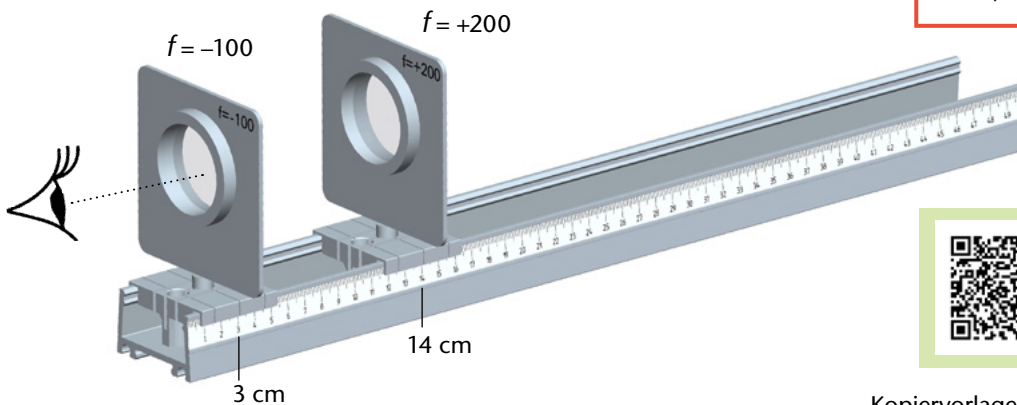
Vortragsdauer:



Material

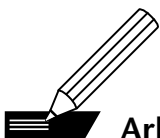
- Profilschiene 1
- Klemmschieber..... (2x) 11
- Linse, $f = +200$ mm 13
- Linse, $f = -100$ mm..... 16

Demonstrationsexperiment



Verlinkt
Kurz-
beschreibung
Prinzipskizze

Kopiervorlage © Cornelsen Experimenta

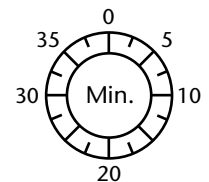


Arbeitsauftrag

Erarbeite einen Vortrag über das astronomische Fernrohr.
Die folgenden Punkte sollen im Vortrag behandelt werden:

- Stelle das astronomische Fernrohr vor.
- Erkläre die Funktionsweise anhand des unten dargestellten Demonstrationsexperiments.
- Erläutere die Funktion des Okulars und des Objektivs.
- Vergleiche das astronomische Fernrohr mit dem Spiegelteleskop.

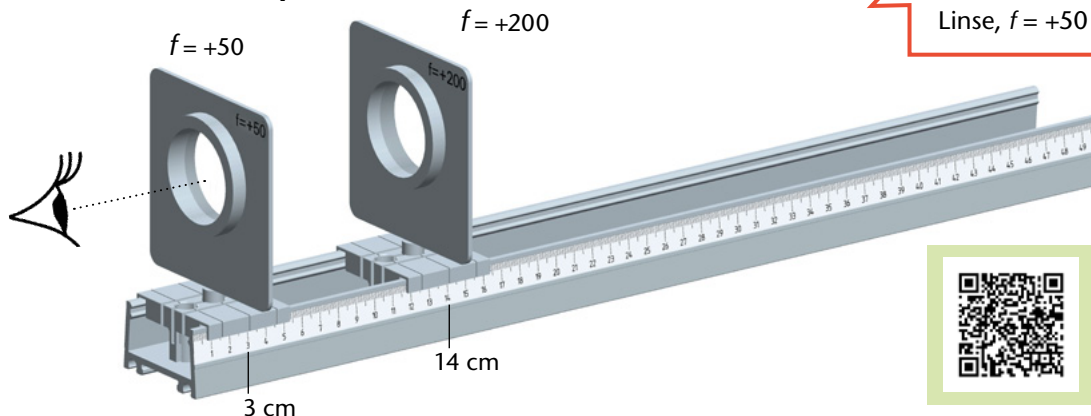
Vortragsdauer:



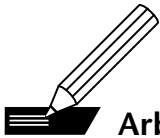
Material

- Profilschiene 1
- Klemmschieber..... (2x) 11
- Linse, $f = +200$ mm 13
- Linse, $f = +50$ mm 15

Demonstrationsexperiment



Verlinkt
Kurz-
beschreibung
Prinzipskizze



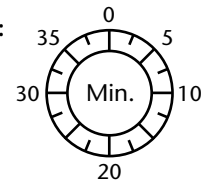
Arbeitsauftrag

Erarbeite einen Vortrag über den Projektor.

Die folgenden Punkte sollen im Vortrag behandelt werden:

- Stelle den Projektor vor.
- Erkläre die Funktionsweise anhand des unten dargestellten Demonstrationsexperiments.
- Erläutere die Funktion des Kondensors.
- Diskutiere die Orientierung des Dias und seiner Projektion auf dem Schirm.

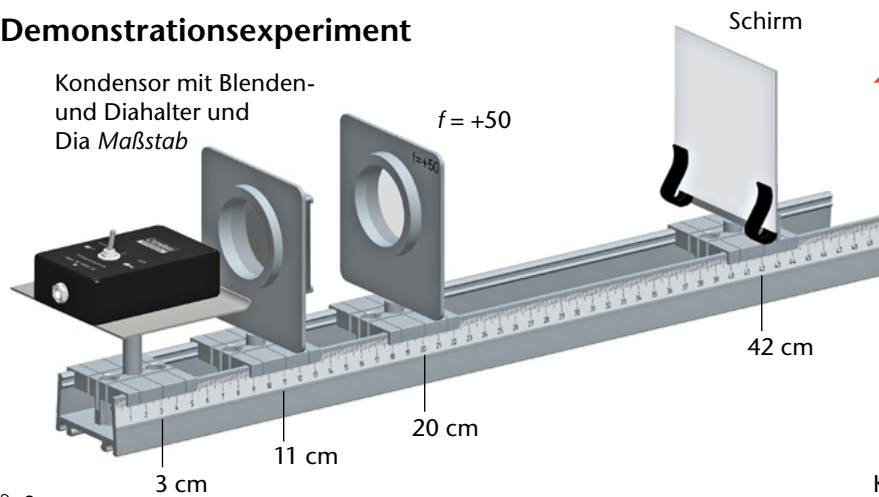
Vortragsdauer:



Material

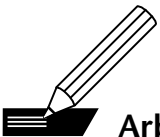
Profilschiene	1
Schülerlampe LED / LASER....	2
Lampentisch.....	9
Klemmschieber..... (4x)	11
Linse, $f = +50$ mm	15
Kondensor.....	17
Blenden- und Diahalter	18
Dia Maßstab	19
Schirm- und Spiegelhalter	21
Schirm.....	24

Demonstrationsexperiment



Verlinkt
Kurz-
beschreibung
Prinzipskizze

Kopiervorlage © Cornelsen Experimenta



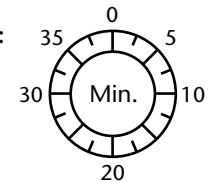
Arbeitsauftrag

Erarbeite einen Vortrag über das Lichtmikroskop.

Die folgenden Punkte sollen im Vortrag behandelt werden:

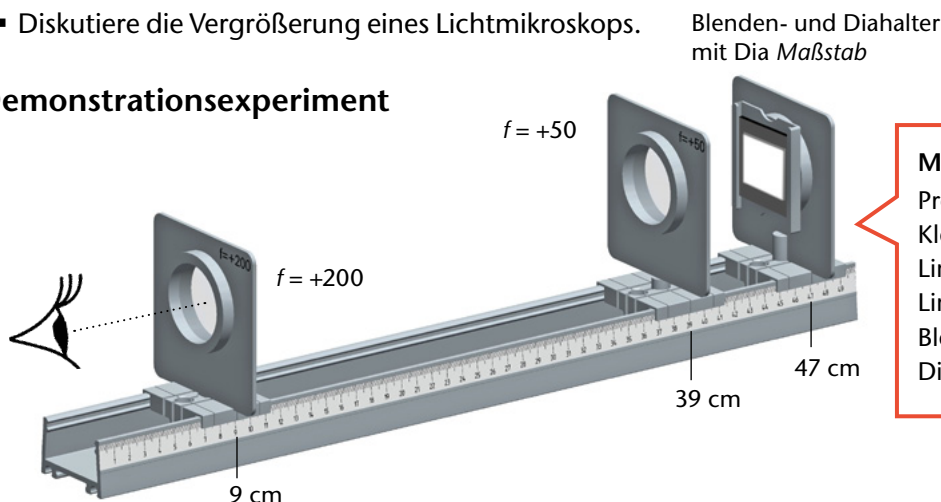
- Stelle das Lichtmikroskop vor.
- Erkläre die Funktionsweise anhand des unten dargestellten Demonstrationsexperiments.
- Erläutere die Funktion des Okulars und des Objektivs.
- Diskutiere die Vergrößerung eines Lichtmikroskops.

Vortragsdauer:



Verlinkt
Kurz-
beschreibung
Prinzipskizze

Demonstrationsexperiment



Material

Profilschiene	1
Klemmschieber..... (3x)	11
Linse, $f = +200$ mm	13
Linse, $f = +50$ mm	15
Blenden- und Diahalter	18
Dia Maßstab	19

Op 1.13 Licht und Farbe

Das Licht der LED wird mit einem Prisma in seine Spektralfarben zerlegt.
Der Versuch wird als Heftoptik durchgeführt.

Material

Schülerlampe LED / LASER.....	2
Satz <i>Optische Körper</i>	5
Prisma, gleichseitig	8
Kreuzständer	22
Schirm.....	24

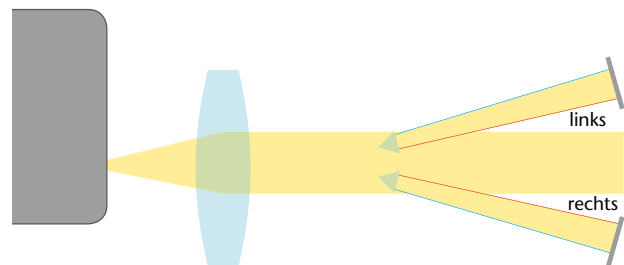
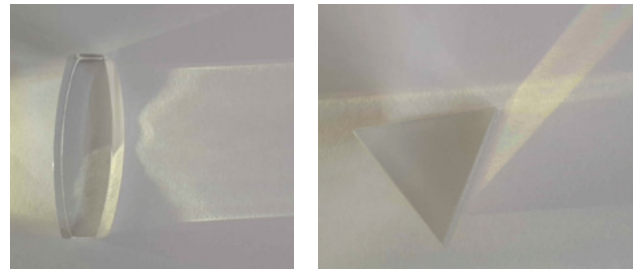
Versuchsdurchführung

Bei diesem Versuch empfiehlt es sich, die Unterlage der Heftoptik so zu wählen, dass die Projektionsebene auf Höhe der LED ist. Beim Aufbau wird die konvexe Schnittlinse benutzt, um mit dem Licht der LED ein paralleles Lichtbündel zu erzeugen.

Anschließend wird das Prisma so in das parallele Licht gestellt, dass von der hinteren Seite ein Lichtbündel mit schwachen farbigen Rändern abgestrahlt wird.

Anschließend wird die Lampe langsam von der Linse weggezogen, bis das Lichtbündel mit dem farbigen Rand in ein Farbspektrum übergegangen ist. Eventuell muss dabei die Lampe auch etwas gedreht werden.

Tipp: Mit dem aufrecht gestellten Universalspiegel lässt sich das störende direkte Licht der Lampe auf dem Schirm sehr gut ausblenden.

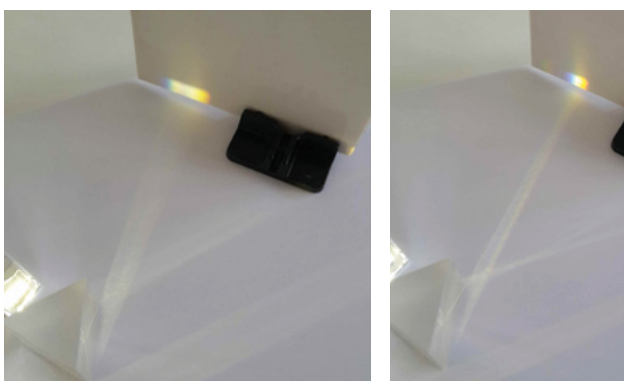
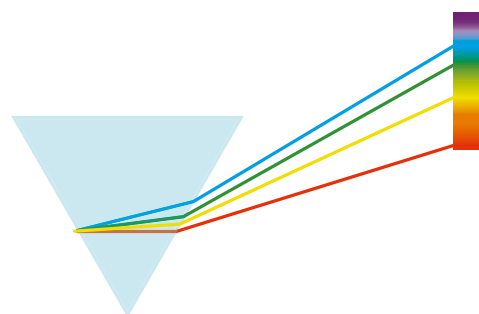


Auswertung

Im Prisma wird der Lichtstrahl zweimal gebrochen. Das erste Mal wird der Strahl beim Übergang Luft/Plexiglas zum Lot hin gebrochen. Bei der zweiten Brechung am Übergang Plexiglas/Luft wird er vom Lot weg gebrochen. Durch diese Brechungen kann man die Zerlegung des Lichts in die Spektralfarben beobachten.

Da die unterschiedlichen Farbanteile des weißen Lichts bei den beiden Brechungen unterschiedlich stark gebrochen werden, zeigt sich ein kontinuierliches Spektrum. Das menschliche Auge kann darin die Farbanteile Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau und Violett unterscheiden.

Der rote Anteil des weißen Lichts wird am wenigsten stark gebrochen, der violette Anteil wird am stärksten gebrochen. Demnach ergeben sie die beiden dargestellten möglichen Beobachtungen.

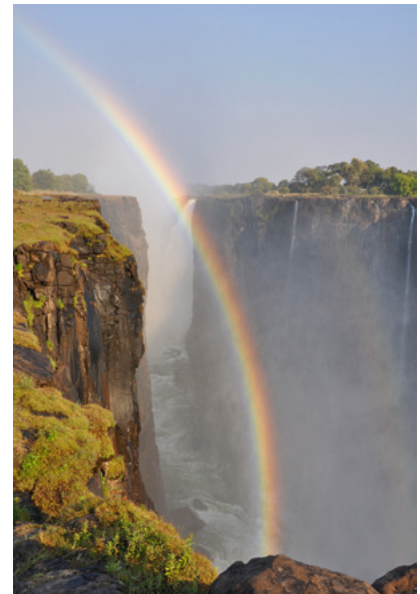


Ergänzend zu diesem Versuch:

Arbeitsblatt *Licht und Farbe* (Seite 45)

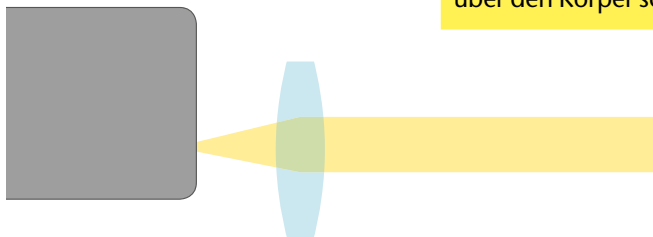
Ein Regenbogen entsteht, wenn eine Regenwand von der Sonne beschienen wird.

Um die Entstehung des Regenbogens zu verstehen, benötigt man die in diesem Experiment behandelte *Spektralzerlegung*.



Durchführung:

- ➔ Erzeuge mit dem LED-Licht deiner Schülerlampe und dem Linsenkörper paralleles Licht.

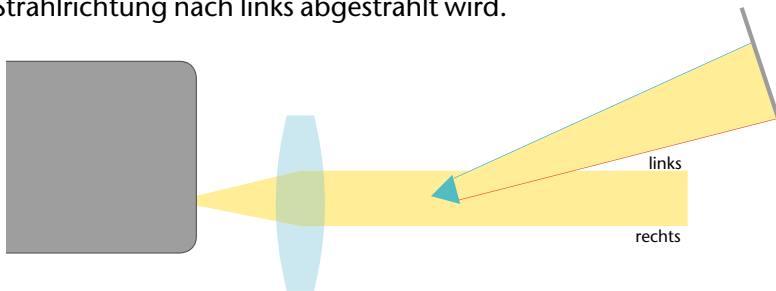


Raue Seite liegt auf!

Finde den Abstand zwischen Linse und Lampe, der ein paralleles Lichtbündel ergibt.

Verhindere beim Überprüfen, dass ein Teil des Lichtstrahls über den Körper scheint.

- ➔ Stelle das Prisma so in das parallele Licht, dass von der gesamten hinteren Seite ein Lichtstrahl mit schwachen farbigen Rändern in Strahlrichtung nach links abgestrahlt wird.



Definition:

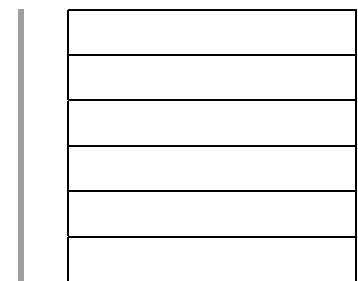
Das Licht einer *Spektralfarbe* lässt sich nicht in Licht verschiedener Farben aufspalten. Spektralfarben werden auch als *reine Farben* oder *Regenbogenfarben* bezeichnet.

- ➔ Stelle den Schirm so auf, dass er den Lichtstrahl mit dem farbigen Rand auffängt.
- ➔ Ziehe die Lampe nun langsam von der Linse weg, bis der Lichtstrahl mit dem farbigen Rand so gebündelt ist, dass nur noch farbiges und kein weißes Licht auf dem Schirm zu sehen ist. Eventuell musst du deine Lampe auch etwas drehen.

Auswertung:

1. Im Spektrum treten unter anderen die Farben Blau, Gelb, Grün, Orange, Rot und Violett auf. Trage diese Farben gemäß deiner Beobachtung in die freien Felder des Schemas ein. ➔
2. Gib an, welche dieser Farben am meisten gegenüber dem einfallenden weißen Lichtbündel gebrochen wird.
3. In einem zweiten Versuch soll der Lichtstrahl nach rechts abgestrahlt werden. Vermute, was auf dem Schirm zu sehen sein wird. Begründe deine Vermutung kurz.
4. Überprüfe anschließend deine Vermutung mit einem Experiment.
5. Untersuche mit den Farbfiltern den Strahlengang der Spektralfarbe beim Gang durch das Prisma.

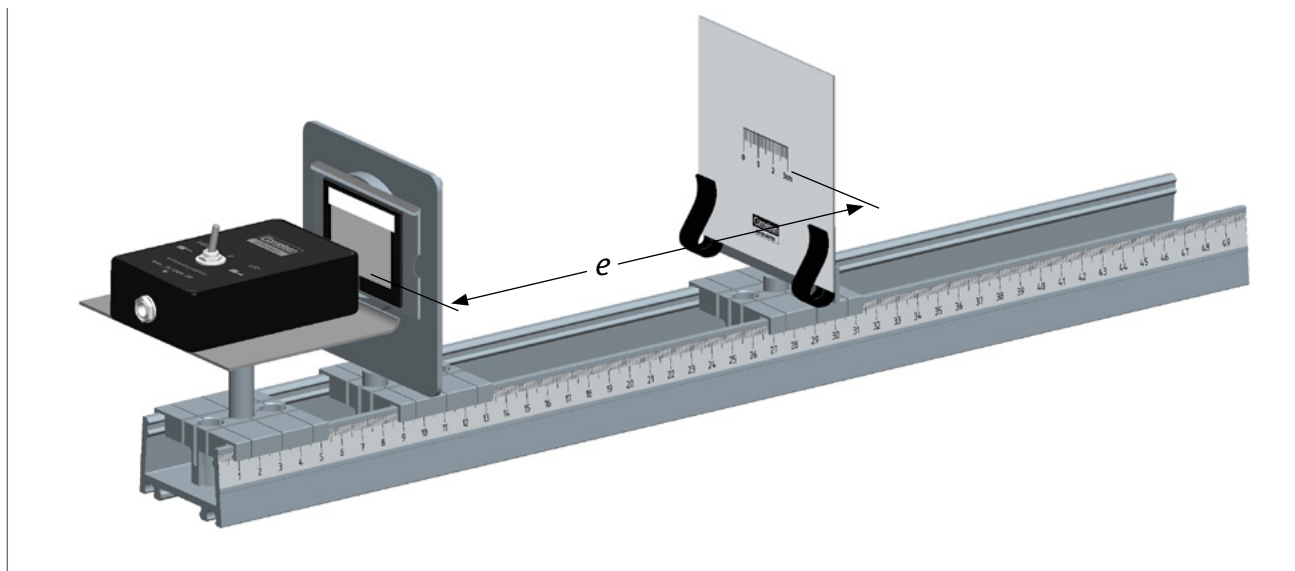
Spektrum des Lichts:



Schirm

Op2.1 Interferenz am Gitter

Mithilfe eines optischen Gitters wird die Wellenlänge des Lasers der Schülerlampe experimentell bestimmt.



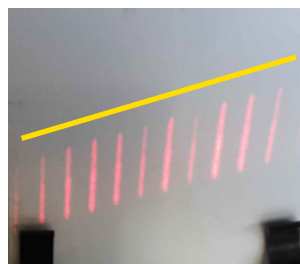
Material

Schülerlampe LED/LASER..... 2
Lampentisch..... 9
Klemmschieber..... (3 x) ... 11
Blenden- und Diahalter..... 18

Schirm- und Spiegelhalter.....21
Schirm.....24
Strichgitter,
80; 300; 600 Linien/mm ... 28–30

Versuchsdurchführung

Das Licht des Lasers durchleuchtet wie dargestellt ein Strichgitter. Das Gitter ist so zu drehen, dass die Linien auf dem Schirm ein horizontales Band ergeben. Anschließend werden die Interferenzerscheinungen auf dem Schirm mithilfe des aufgedruckten Maßstabs vermessen. Dabei sollte der Abstand zwischen Schirm und Gitter ausreichend groß sein, um die benutzte Näherung für kleine Winkel zu erlauben.



falsch

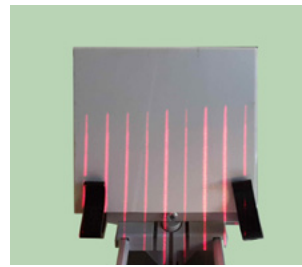


richtig

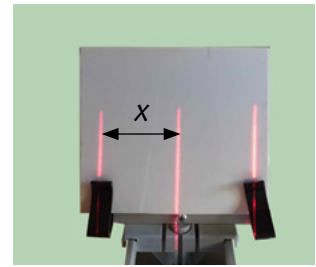
Auswertung

Mit zunehmender Liniendichte des Gitters rücken die Maxima im Interferenzmuster weiter auseinander. Die Beobachtung der Intensitätsabnahme bei Maxima höherer Ordnungen wird durch die Optik der Laserdiode gestört. Dafür lässt sich die Wellenlänge der Laserdiode mit dem in der Abbildung hergeleiteten Zusammenhang $\lambda = g \frac{x}{e}$ recht genau berechnen.

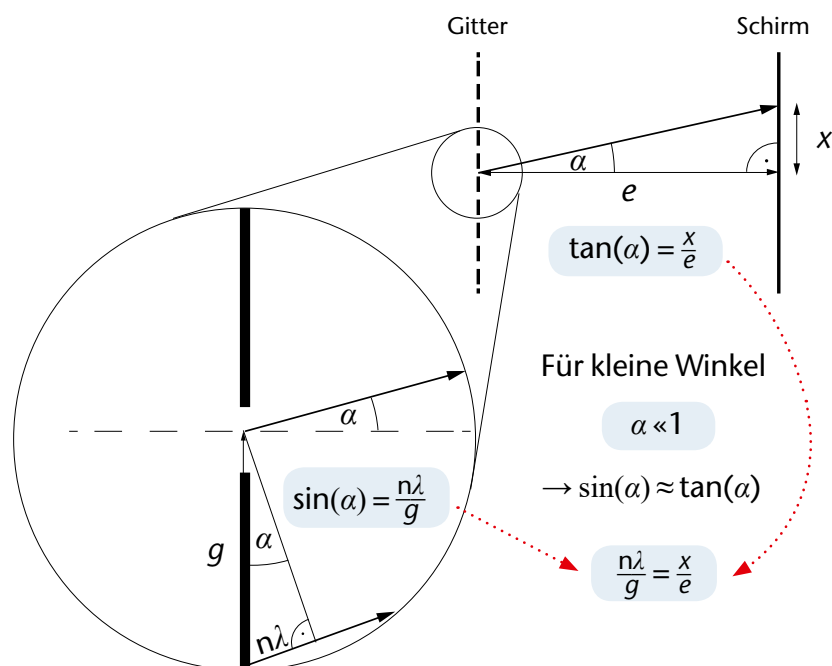
Das bestätigt der Vergleich der Messwerte mit der auf dem Typenschild angegebenen Wellenlänge von 635 nm.



Gitter 80 Linien / mm



Gitter 300 Linien / mm



Gittertyp	80 Linien/mm	300 Linien/mm	600 Linien/mm
Linienabstand g in μm	12,50	3,33	1,67
Schirmabstand e in m	0,33	0,33	0,14
Abstand Maxima x in m	0,017	0,064	0,058
Wellenlänge λ in nm	644	646	692
Fehler $\delta\lambda$ in %	1	2	9

Ergänzend zu diesem Versuch:

Arbeitsblatt „Interferenz am Transmissionsgitter“ (Seite 48)

Überlagern sich Lichtstrahlen eines Lasers wieder, nachdem sie unterschiedliche Wege gegangen sind, kommt es zu spezifischen Interferenzmustern. Mithilfe dieser Muster lässt sich die Wellenlänge des Lichts mit einem Lineal bestimmen, obwohl diese enorm klein ist.

Achte darauf, dass die Linie des Lasers vertikal ausgerichtet ist und die Beschriftung des Dias nach oben zeigt.



Durchführung:

- Baue das Experiment gemäß der Abbildung auf.
- Berechne die Gitterkonstante g für die folgenden drei Gitter.

Gittertyp	80 Linien/mm	300 Linien/mm	600 Linien/mm
g in mm			

- Untersuche den Einfluss der Gitterkonstanten auf das Interferenzmuster. Positioniere dazu den Schirm so, dass du mindestens drei Linien auf dem Schirm siehst.

Auswertung:

1. Skizziere zu dem jeweiligen Gitter einen Ausschnitt des Musters. Notiere jeweils den Abstand der Maxima und den Abstand e zwischen Schirm und Gitter, ergänze die Werte in deiner Skizze.

$g =$

$e =$

$g =$

$e =$

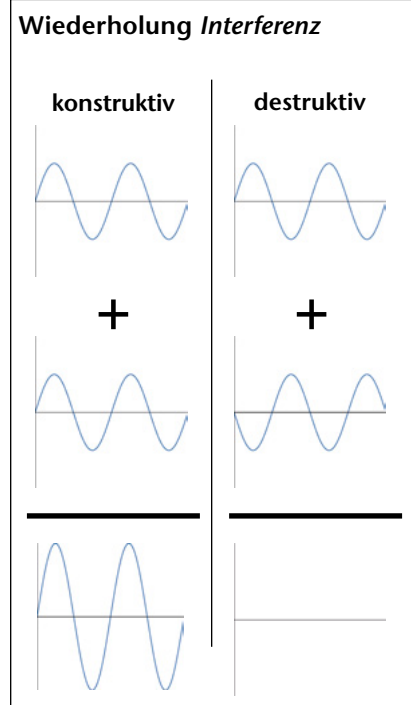
$g =$

$e =$

2. Markiere in deiner Skizze die Stellen der konstruktiven und destruktiven Interferenz.
3. Berechne mit deinen Daten die Wellenlänge des Lasers. Überprüfe dein Ergebnis mithilfe der Daten auf dem Typenschild.



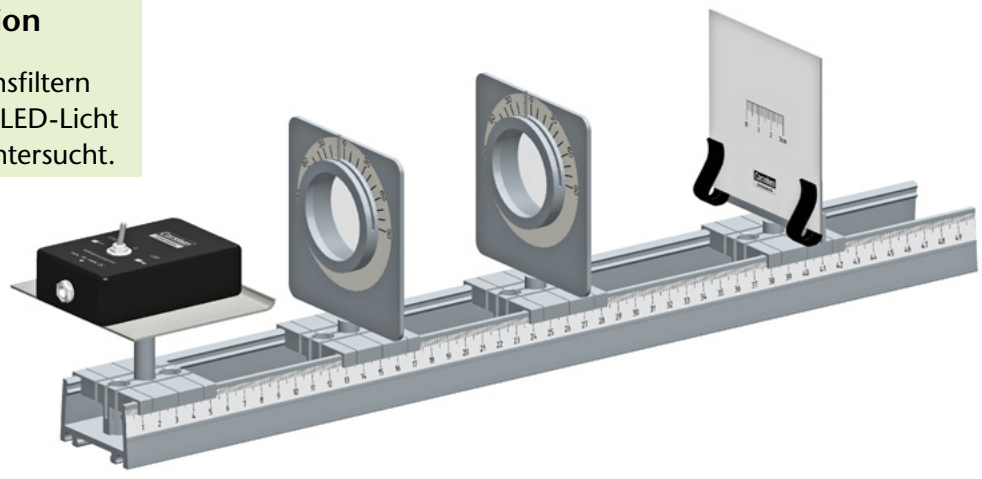
Messhinweis
Um die Messgenauigkeit zu erhöhen, kannst du...
... den Abstand mehrerer Maxima messen.
... den Abstand zwischen Schirm und Gitter vergrößern. Vergiss dabei nicht den Abstand in der Skizze zu notieren.



Verlinkt
Kurzbeschreibung
Foto des Aufbaus
Materialliste
Prinzipskizze

Op2.2 Polarisation

Mit zwei Polarisationsfiltern wird das Laser- und LED-Licht der Schülerlampe untersucht.



Material

- Profilschiene 1
- Schülerlampe LED / LASER..... 2
- Lampentisch..... 9
- Klemmschieber..... (4x) ... 11

- Schirm- und Spiegelhalter..... 21
- Schirm..... 24
- Polarisationsfilter..... 26

Versuchsdurchführung

Der Versuch wird gemäß der Abbildung aufgebaut. Dabei wird im ersten Teilversuch bei der Untersuchung der Polarisation des Laserlichts nur ein Polari-

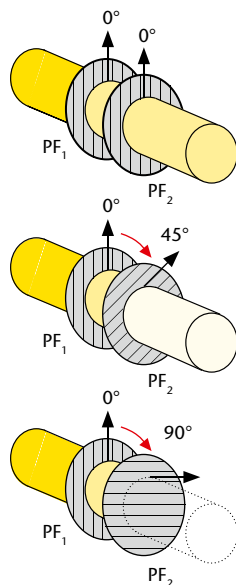
sationsfilter benötigt. Um das Licht der Lampe abzu-dunkeln, werden beide Polarisationsfilter benötigt.

Auswertung

Der Stellhebel des Polarisationsfilters zeigt in Richtung der Transmissionsachse. Ist das einfallende Licht in dieser Richtung polarisiert, wird es fast vollständig vom Filter durchgelassen.

Da das LED-Licht unpolarisiert ist, nimmt die Helligkeit nach dem ersten Filter bereits deutlich ab.

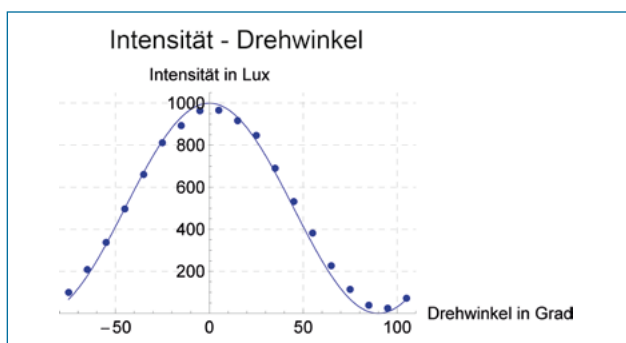
Setzt man nun einen zweiten Filter als Analysator in den weiteren Strahlengang, hängt die durchgelassene Lichtintensität



von der relativen Winkellage der Transmissionsachsen der beiden Filter zueinander ab. Für parallele Transmissionsachsen ist die Intensität maximal, während für senkrechte Auslöschung eintritt.

Im Gegensatz zur LED ist das Licht der Laser-Diode gut linear polarisiert und lässt sich deshalb mit nur einem Polarisationsfilter untersuchen. Die Polarisationssebene des Laserlichts liegt parallel zur p-n-Übergangsschicht der Diode. Die bei senkrechter Orientierung des Filters verbleibende Restintensität stammt aus dem kleinen unpolarisierten Anteil von Licht aus spontaner Emission.

Als Erweiterung des Versuchs kann die durchgelassene Intensität mit einem Beleuchtungsstärke-Sensor in Abhängigkeit von der Filterorientierung (Winkel α gegen die Richtung mit der maximalen Intensität I_{max}) gemessen werden. Dabei sollte der Zusammenhang $I(\alpha) = I_{max} \cdot \cos^2(\alpha)$ mit hoher Genauigkeit bestätigt werden.



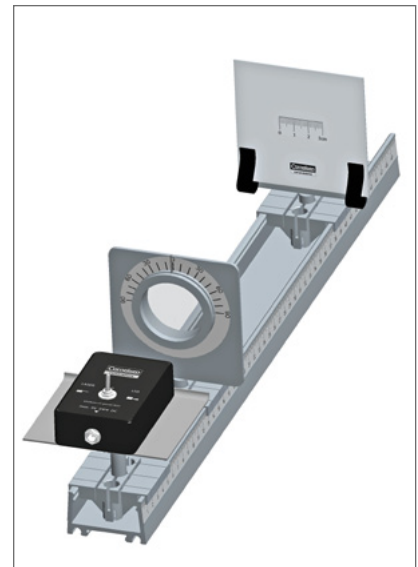
Ergänzend zu diesem Versuch:

Arbeitsblatt *Polarisation des Lichts* (Seite 50)

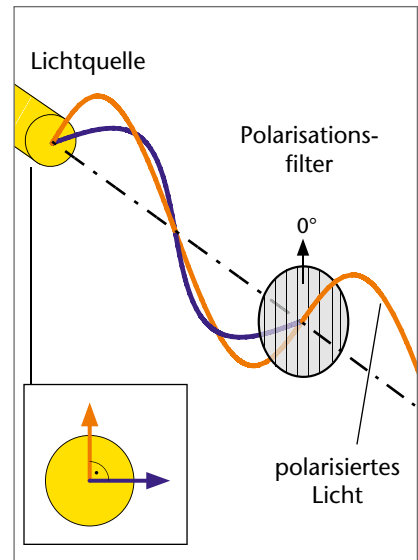
Licht kann als eine elektromagnetische Welle verstanden werden. Dabei ist die Richtung, in der das elektrische Feld schwingt, ausschlaggebend für die Polarisation. Schwingt das elektrische Feld immer in die gleiche Richtung, spricht man von *linear polarisiertem* Licht.

Durchführung:

- ➔ Baue das Experiment gemäß Abbildung auf.
- ➔ Beobachte das Licht des Lasers nach dem Durchgang durch einen Polarisationsfilter. Notiere deine Beobachtungen für verschiedene Winkel des Polarisationsfilters.



Winkel Polfilter	Beobachtungen



- ➔ Wiederhole das Experiment mit dem Licht der LED.
- ➔ Vergleiche die Intensität des Lichts einer LED mit und ohne Durchgang durch einen Polarisationsfilter.
- ➔ Füge einen zweiten Polarisationsfilter in den Aufbau ein.
- ➔ Finde verschiedene Einstellungen der Polarisationsfilter, für die das Licht einer LED maximal geschwächt wird.

Einstellungen für maximale Schwächung des LED Lichts:

Winkel Polfilter 1					
Winkel Polfilter 2					

Definition:

Ein **Polarisationsfilter** lässt nur Licht einer bestimmten Polarisationsrichtung durch, also Licht, dessen elektrisches Feld in einer bestimmten Richtung schwingt. Hinter dem Filter hat man also linear polarisiertes Licht.

Auswertung:

1. Formuliere eine Bedingung für die maximale Schwächung von Licht beim Durchgang durch zwei Polarisationsfilter.
2. Diskutiere gemäß deiner Beobachtungen Gemeinsamkeiten und Unterschiede des Lichts eines Lasers mit dem einer LED hinsichtlich der Polarisation.



Verlinkt
Kurzbeschreibung
Materialliste

Op 2.3 Polarisierungseffekte

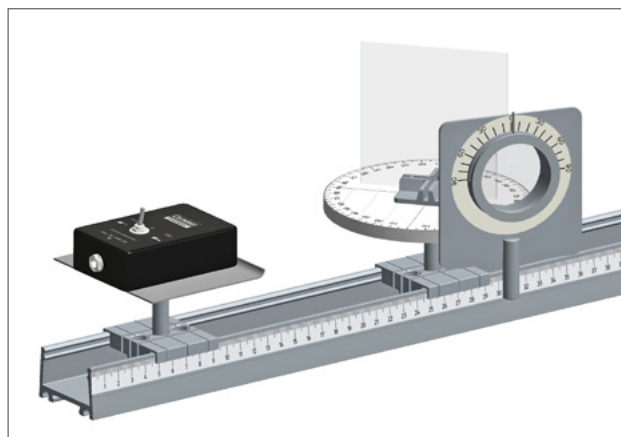
Drei Versuche zur *Polarisation*.

Op 2.3a Polarisation bei Spiegelung (Brewster-Winkel)

Op 2.3b Spannungsdoppelbrechung

Op 2.3c Chromatische Polarisation (LCD-Bildschirme)

Op 2.3a Polarisation bei Spiegelung (Brewster-Winkel)



Material

Profilschiene 1
 Schülerlampe LED / LASER 2
 Lampentisch 9
 Messtisch 10

Klemmschieber (2 x) ... 11
 Kreuzständer 22
 Schirm, Klarglas 25
 Polarisationsfilter 26

Versuchsdurchführung

Das von einer Glasplatte reflektierte Bild der LED wird für verschiedene Einfallswinkel mit einem Polarisationsfilter untersucht. Dabei wird der Polarisationsfilter für jeden Einfallswinkel so eingestellt, dass die

Helligkeit des reflektierten Lichts minimal ist. Um den Winkel möglichst einfach bestimmen zu können, sollten Auge, LED sowie das beobachtete Bild möglichst auf einer Höhe sein.

Auswertung

Für (nicht zu flache und nicht zu steile) eingestellte Einfallswinkel α wird ein Helligkeitsminimum für die Drehposition des Filters gefunden, bei der die Transmissionsachse in der durch ein- und ausfallenden Lichtstrahl aufgespannten Ebene liegt.

Dabei hängt die Tiefe des Minimums vom Einfallswinkel ab. Der Winkel, bei dem das tiefste Helligkeitsminimum beobachtet wird, wird *Brewster-Winkel* θ_B genannt. Bei diesem Winkel ist das von der Glasplatte reflektierte Licht vollständig senkrecht zur Einfallsebene polarisiert.

Für Abweichungen von diesem Winkel nimmt der linear polarisierte Anteil ab. Für eine Reflektorscheibe aus Glas ($n_{\text{Glas}} \approx 1,5$) in Luft ($n \approx 1,0$) beträgt der Brewster-Winkel θ_B

$$\theta_B = \arctan\left(\frac{n_{\text{Glas}}}{n_{\text{Luft}}}\right)$$

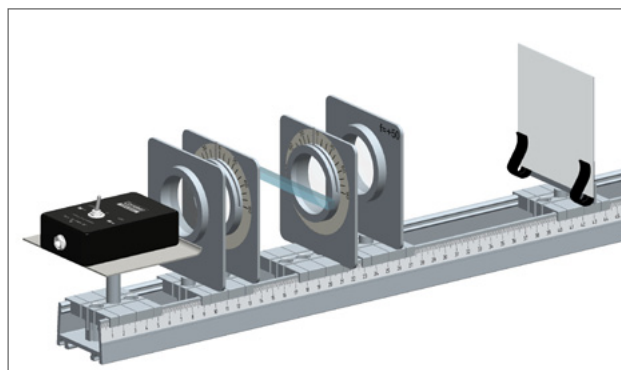
$$\theta_{B,\text{Glas}} \cong \arctan\left(\frac{1,5}{1}\right)$$

$$\theta_{B,\text{Glas}} \cong 60^\circ.$$

Op 2.3b Spannungsdoppelbrechung

Material

Profilschiene 1
 Schülerlampe LED / LASER 2
 Acrylglasstab 6
 Lampentisch 9
 Klemmschieber (5 x) ... 11
 Linse, $f = +50$ mm 15
 Kondensator 17
 Schirm- und Spiegelhalter 21
 Schirm 24
 Polarisationsfilter 26



Versuchsdurchführung

Für diesen Versuch wird ein paralleles Strahlenbündel benötigt. Zur Erzeugung dieses Bündels wird die LED-Lampe so auf dem Lampentisch positioniert, dass ihr Licht die Kondensorlinse vollständig ausleuchtet. Dann verschiebt man den Kondensator auf die Position relativ zur Lampe, für die das Strahlenbündel weitgehend parallel wird (typisch 6–10 cm). Dazu kontrolliert man die Bündelform mit dem Messtisch in einem Abstand von ca. 20–25 cm zur Lampe.

Ist der Kondensator korrekt positioniert, ersetzt man den Messtisch durch den Schirm, vor den man im Abstand der Brennweite ($f = +50 \text{ mm}$) eine weitere

Sammellinse stellt. Zwischen diese und die Kondensorlinse werden jetzt die beiden Polarisationsfilter so gebracht, dass zwischen sie noch das zu durchstrahlende Objekt passt.

Die Transmissionsachsen der Filter werden nun senkrecht zueinander gestellt, sodass Auslöschung eintritt. Nun wird der Acrylglasstab zwischen die Polarisationsfilter gehalten und langsam durch Verbiegen unter mechanische Spannung gesetzt. Die Abbildung auf dem Schirm kann durch geringfügiges Verschieben der zweiten Linse scharf gestellt werden.

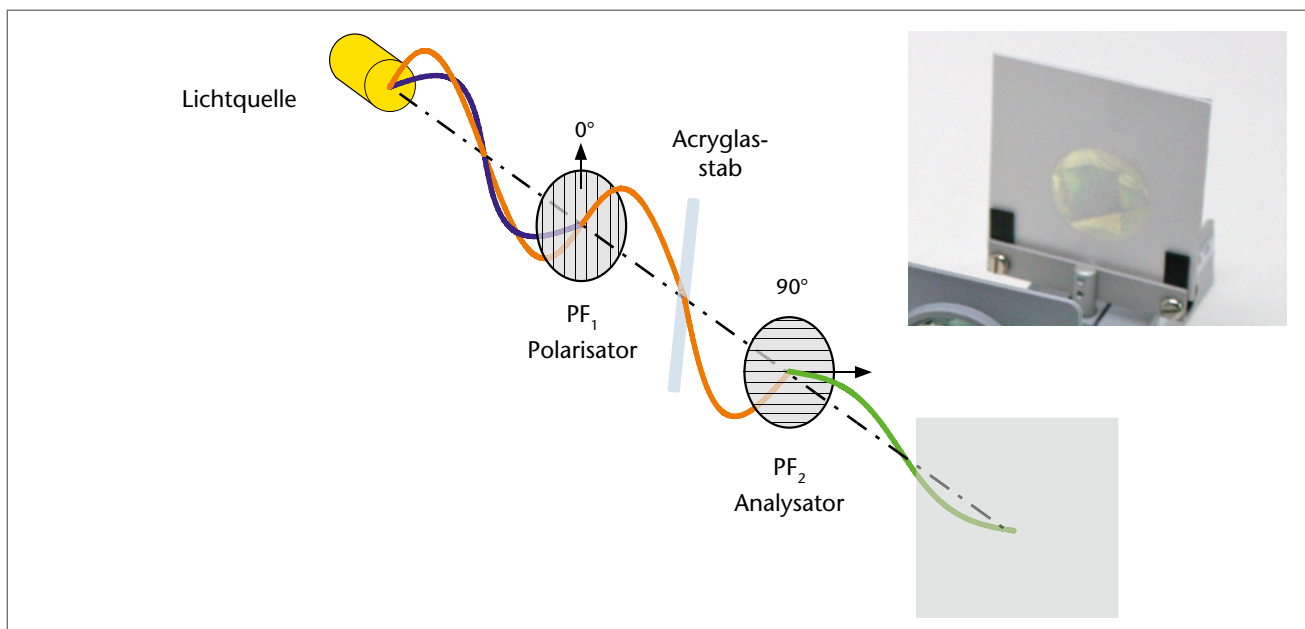
Auswertung

Wie im Versuch zur Polarisation bereits beobachtet, tritt hinter zwei Polarisationsfiltern mit senkrecht zueinander stehenden Transmissionsachsen eine Auslöschung des Lichts auf.

Bringt man einen Körper aus Acrylglas zwischen beide Filter und setzt diesen unter mechanische Spannung, lassen sich farbige Lichterscheinungen auf dem Schirm beobachten. Ursächlich dafür ist die Eigenschaft von Acrylglas, unter Spannung an bestimmten Stellen optisch anisotrop zu werden.

Dadurch wird die Polarisation des durch den Stab an dieser Stelle durchtretenden Teilbündels geändert. Ein Lichtbündel mit geänderter Polarisation kann aber im zweiten Polarisationsfilter nicht mehr komplett ausgelöscht werden und trägt daher zum Bild auf dem Schirm bei.

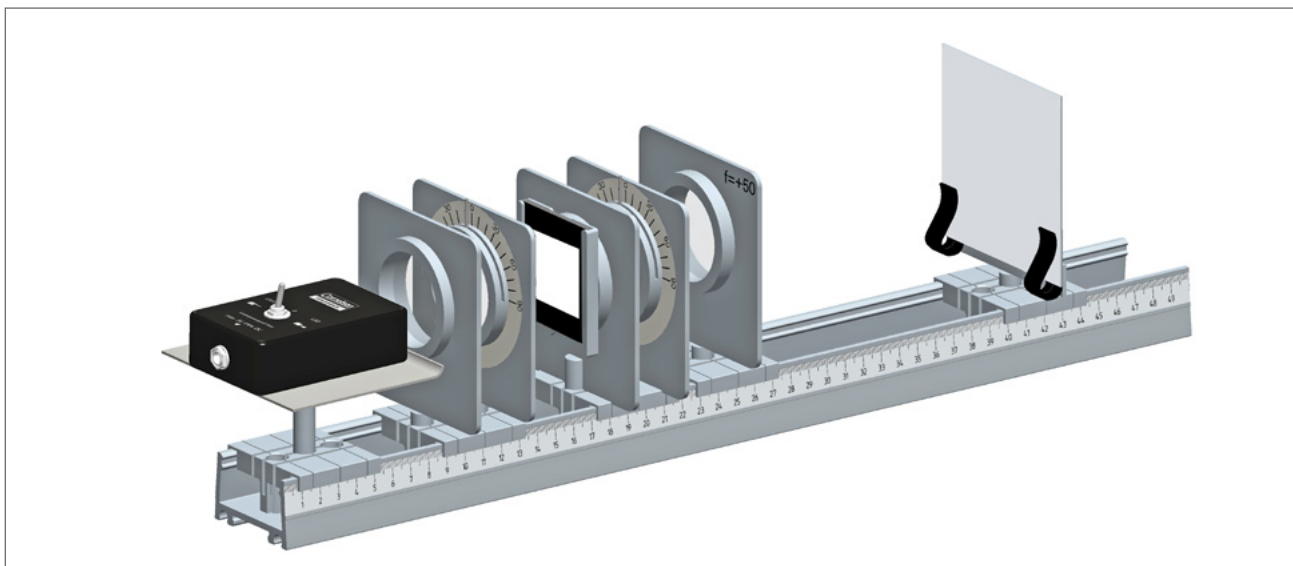
Da alles Licht dieses Bündels gemeinsam auf dem Schirm abgebildet wird, ergeben sich dort Interferenzfarben, die die lokal im Material aufgetretenen mechanischen Spannungen charakterisieren.



Tipp Neben doppelbrechenden Stoffen können auch optisch aktive Stoffe, wie beispielsweise eine Zuckerlösung, die Polarisationsebene drehen. Füllt man eine konzentrierte Zuckerlösung in die Küvette und fügt diese zwischen zwei gekreuzte Polarisationsfilter, so wird eine leichte Aufhellung auf dem Schirm sichtbar. Die optisch aktive Zuckerlösung

dreht die Polarisationsebene um einen Winkel, der von der Konzentration der Lösung abhängig ist. Erst wenn der Analysator um diesen Winkel nachgestellt wird, tritt wieder Auslöschung ein.

Der Winkel, um den die Polarisationsebene gedreht wird, kann als Maß für die optische Aktivität und Konzentration der Zuckerlösung dienen.



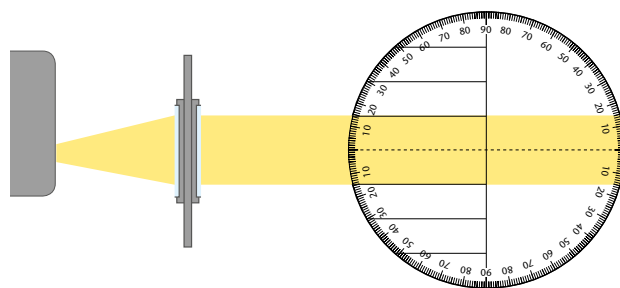
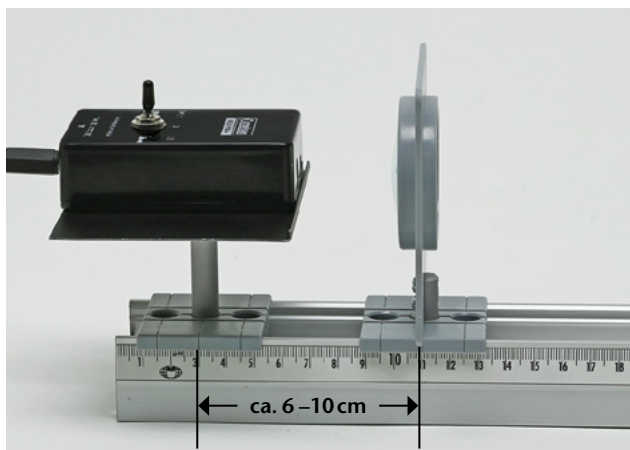
Op 2.3c Chromatische Polarisation (LCD-Bildschirme)

Material

Profilschiene	1
Schülerlampe LED / LASER	2
Lampentisch	9
Klemmschieber	(5 x) ... 11
Linse, $f = +50$ mm	15
Kondensor	17

Blenden- und Diahalter	18
Schirm- und Spiegelhalter	21
Schirm	24
Polarisationsfilter	26
Dia Glimmerscheibe	27

Versuchsdurchführung



Für den Versuch wird ein paralleles Strahlenbündel benötigt.

Dazu wird die Lampe so auf dem Lampentisch positioniert, dass das Licht der LED die Linse des Kondensors komplett ausleuchtet. Anschließend verschiebt man den Kondensor auf den Abstand zur Linse (ca. 6–10 cm), für den das Strahlenbündel möglichst parallel ist. Dazu kontrolliert man die Strahlform während des Verschiebens mit dem Messtisch. Ist der Kondensor korrekt positioniert, wird der Messtisch durch den Schirm ersetzt. Abschließend

werden die beiden Polarisationsfilter sowie die Linse zwischen Schirm und Kondensor angeordnet.

Die Stellhebel der beiden Polarisationsfilter werden um 90° gegeneinander verstellt und die Filter an den vorgegebenen Positionen auf die Klemmschieber des Kondensors und der Linse mit aufgesteckt. In den freien Klemmschieber zwischen den Polarisationsfiltern wird der Blenden- und Diahalter eingesteckt und mit der Glimmerscheibe versehen. Die Abbildung auf dem Schirm wird durch geringfügiges Verschieben der Linse scharf eingestellt und

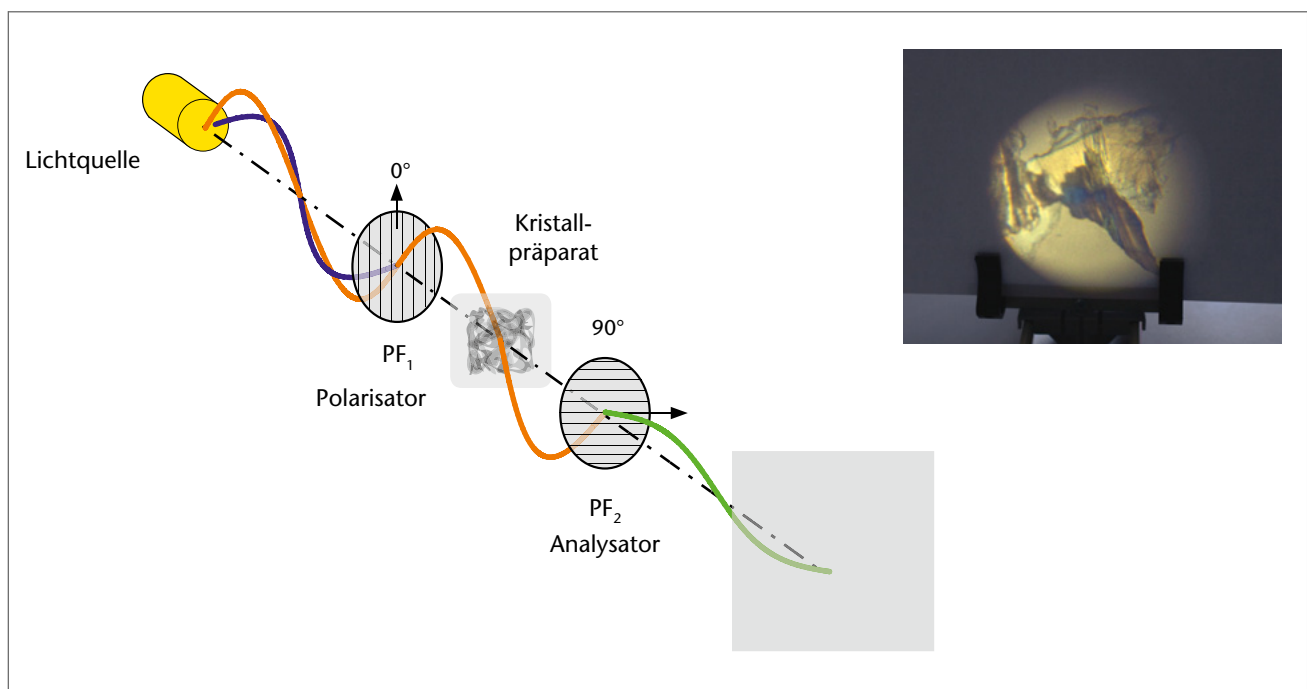
begutachtet. Anschließend wird ein Polarisationsfilter langsam von seiner Stellung ausgehend in

beide Drehrichtungen verstellt. Die Auswirkungen werden aufmerksam auf dem Schirm beobachtet.

Auswertung

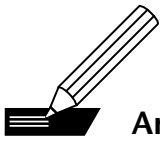
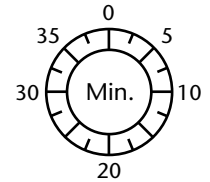
Wird ein Kristallpräparat (Glimmerscheibe) in den Strahlengang von polarisiertem Licht gestellt, so kommt es zu Doppelbrechungen. Diese treten an den einzelnen Stellen der Glimmerscheibe je nach Schichtdicke und Kristallstruktur mit unterschiedlicher Intensität und verschiedenen Gangunterschieden auf.

Je nach Stellung des Polarisators und des Analysators zueinander sind entsprechende Aufhellungen, Verdunkelungen und die durch Interferenzen erzeugten Farberscheinungen im Abbild des Kristallpräparats auf dem Schirm zu erkennen.



Ergänzend zu diesem Versuch:

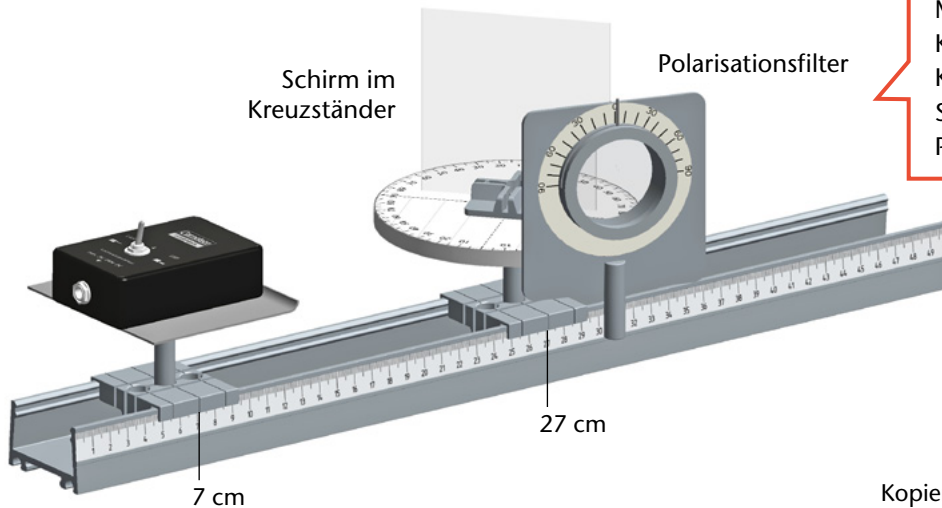
Stationskarten *Polarisationseffekte* (Seite 55, 56)

**Arbeitsauftrag:**

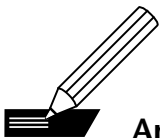
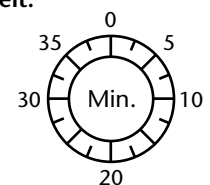
- ➔ Baue das Experiment gemäß der Abbildung auf.
- ➔ Betrachte das von einer Glasplatte reflektierte Licht einer LED mit einem Polarisationsfilter. Beobachte das reflektierte Bild der LED für verschiedene Winklereinstellungen des Polarisationsfilters und notiere deine Beobachtung.
- ➔ Prüfe den Brewster-Winkel für Glas von 60° experimentell.

Material

Profilschiene	1
Schülerlampe LED/LASER....	2
Lampentisch	9
Messtisch	10
Klemmschieber (2 x)	11
Kreuzständer	22
Schirm, Klarglas	25
Polarisationsfilter	26



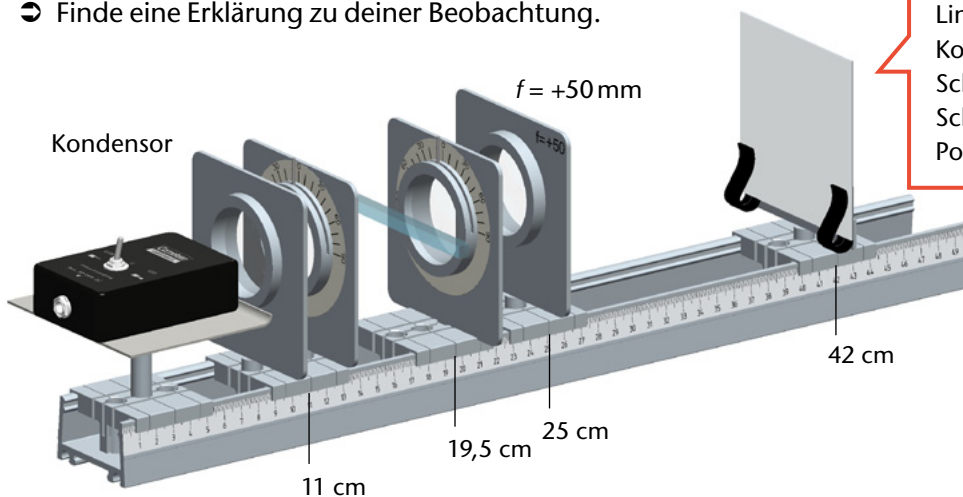
Kopiervorlage © Cornelsen Experimenta

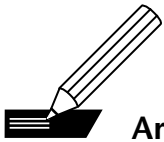
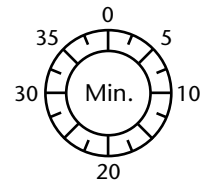
**Arbeitsauftrag:**

- ➔ Baue das Experiment gemäß der Abbildung auf.
- ➔ Stelle die beiden Polarisationsfilter so ein, dass das Licht der LED maximal geschwächt wird.
- ➔ Halte den Acrylglasstab zwischen beide Polfilter. Beobachte das Bild auf dem Schirm während du den Stab biegst.
- ➔ Finde eine Erklärung zu deiner Beobachtung.

Material

Profilschiene	1
Schülerlampe LED/LASER....	2
Acrylglasstab	6
Lampentisch	9
Klemmschieber..... (5 x)	11
Linse, $f = +50$ mm	15
Kondensator	17
Schirm- und Spiegelhalter ..	21
Schirm	24
Polarisationsfilter	26

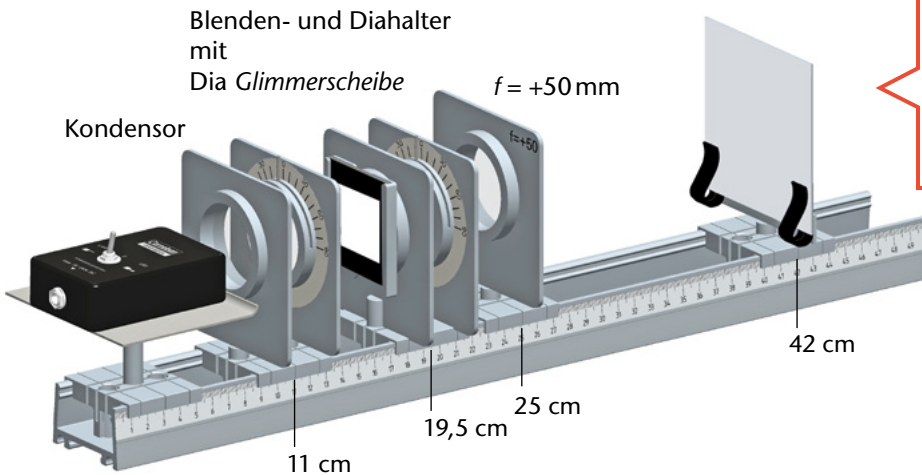




Arbeitsauftrag:

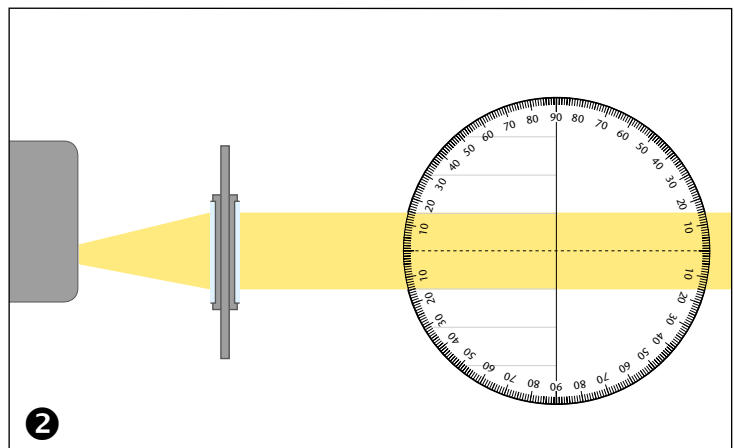
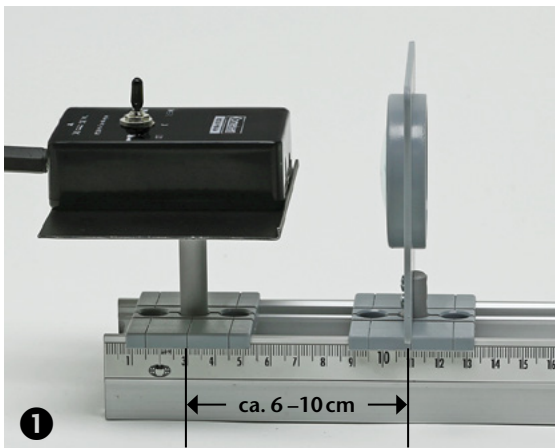
- Baue das Experiment gemäß der Abbildung auf.
- Beobachte das vom Glimmer erzeugte Bild für verschiedene Einstellungen der Polarisationsfilter.
- Diskutiere den Zusammenhang zwischen Wellenlänge und Polarisation.

Profilschiene	1
Schülerlampe LED/LASER....	2
Lampentisch.....	9
Klemmschieber..... (5 x)	11
Linse, $f = +50$ mm	15
Kondensator.....	17
Blenden- und Diahalter	18
Schirm- und Spiegelhalter ..	21
Schirm.....	24
Polarisationsfilter	26
Dia Glimmerscheibe	27



Kopiervorlage © Cornelsen Experimenta

Hilfe: Kondensator



- Positioniere die LED-Lampe und den Kondensator derart, dass die Kondensatorlinse vom Lichtkegel der LED-Lampe vollständig ausgeleuchtet wird.
- Durch Verschieben und Drehen des Kondensators kannst du einen parallelen Lichtstrahl erzeugen. Deine Einstellung überprüfst du mit den Markierungen auf dem Messtisch. Die optimale Konfiguration ist in Abbildung 2 dargestellt.

Definition:
 Der **Kondensator** dient zur Erzeugung eines parallelen Strahlverlaufs.
 Für sichtbares Licht ist der einfachste Kondensator eine Sammellinse.
 Du benutzt als Kondensator die nicht beschriftete Linse **17**.



Op2.4 LED und Laser – Kohärenz, Polarisation und Monochromatik

Die Übung der Experimente zur Wellenoptik kann durch den Vergleich der beiden Lichtquellen Laserdiode und LED erfolgen. Dabei werden für beide Lichtquellen erneut die Eigenschaften *Kohärenz*, *Polarisation* und *Monochromatisch* untersucht und in einer Tabelle zusammengefasst.

Lösungen

	Definition	Experiment	Vermutung und Ergebnis	
			LED	Laser
Kohärenz	Haben zwei Wellen eine feste Phasenbeziehung zueinander, bezeichnet man sie als <i>kohärent</i> oder <i>interferenzfähig</i> .	Versuch <i>Gitter</i>	NEIN	JA
Polarisation	Wenn bei einem Lichtstrahl die Schwingungsebenen des elektrischen Felds aller Photonen parallel verlaufen, ist das Licht linear polarisiert. Bei zirkular polarisiertem Licht dreht sich die Ausrichtung der Polarisation mit konstanter Winkelgeschwindigkeit.	Versuch <i>Polarisation</i>	NEIN	WEITESTGEHEND
Monochromatisch	Monochromatisches Licht ist Licht einer bestimmten Wellenlänge, Frequenz und Farbe. Da perfekte Monochromie nicht realisierbar ist, wird in der Praxis ein kleiner Wellenlängen- oder Frequenzbereich als Spektralfarbe angenommen.	Versuch <i>Spektrum mit Laserlicht und LED</i>	NEIN	JA

Ergänzend zu diesem Versuch:

Arbeitsblatt *LED und Laser – Kohärenz, Polarisation und Monochromatik* (Seite 58)

Aufgabe

➔ Untersuche, ob das Licht der LED und des Lasers auf die Eigenschaften *Kohärenz, Polarisation* und *Monochromatik*. Gehe dazu wie folgt vor.

1. Erkläre die Eigenschaften mit deinen eigenen Worten.
2. Vermute, welche Eigenschaften das Licht der jeweiligen Lichtquelle hat.
3. Plane ein Experiment zur Überprüfung der jeweiligen Eigenschaft.
4. Überprüfe deine Vermutung mit deinem Experiment.

	Definition	Experiment	Vermutung	LED	Vermutung und Ergebnis	Laser
Kohärenz						
Polarisation						
Monochromatisch						

Cornelsen Experimenta GmbH
 Holzhauser Straße 76
 13509 Berlin

Name: _____

Schule: _____

Anschrift: _____

Bestelldatum: _____

Unterschrift/Stempel des Auftraggebers

Best.-Nr.	Anzahl	Artikelbezeichnung
SEG Optik 2.0 (47530):		
13707		Kreuzständer, schwarz
13733		Schirm, weiß, mit Maßstab
17715		Petrischale mit Mittelsteg, Kunststoff
40810		Profilschiene mit Skala, Aluminium, 500 mm
40820		Klemmschieber
47045		Farbfilter Primärfarben (rot, grün, blau)
47094		Universalspiegel
47134		Linse, gefasst, bikonvex, f = +50 mm, mit kurzem Stab
47135		Linse, gefasst, bikonvex, f = +100 mm, mit kurzem Stab
47136		Linse, gefasst, bikonvex, f = +200 mm, mit kurzem Stab
47138		Linse, gefasst, bikonkav, f = -100 mm, mit kurzem Stab
47241		Prisma, gleichseitig, 25 / 25 mm
47256		Schirm- und Spiegelhalter, mit kurzem Stab
47410		Maßstab in Diarahmen
47510		Optische Körper (Satz 6 Stück)
47511		Acrylglasstab
47512		Messtisch
47517		Blenden- und Diahalter, mit kurzem Stab
47535		Schülerlampe LED/Laser
47536		Lampentisch
51904		Mignonbatterie, 1,5 V, Alkaline, Satz 4 Stück

Best.-Nr.	Anzahl	Artikelbezeichnung
68534		Steckernetzgerät, 3 Volt
475151		Kondensator für Schülerlampe, mit kurzem Stab
475351		Batteriehalter mit Anschlussschnur

Schriftliches Material:

475305		Versuchsanleitung <i>SEG Optik 2.0</i>
475303		Einräumplan <i>SEG Optik 2.0</i>

Aufbewahrung:

48225		Kunststoffkasten, 140/50/25 mm
75038		Aufbewahrungswanne hoch, rot
75041		Klemmdeckel
475301		Schaumstoffeinsatz
475308		Textaufkleber <i>SEG Optik 2.0</i>

Ergänzung Wellenoptik (47540):

47065		Schirm, Klarglas
47407		Glimmerscheibe, dünn, in Diarahmen
47282		Strichgitter, 300 Linien
47283		Strichgitter, 600 Linien
47285		Strichgitter, 80 Linien
47344		Polarisationsfilter, mit Skala und kurzem Stab (2 Stück)

Aufbewahrung:

431501		Kunststoffkasten, 64/64/15 mm
475309		Textaufkleber <i>SEG Optik 2.0/Wellenoptik</i>
475408		Textaufkleber <i>SEG Wellenoptik</i>

Cornelsen Experimenta GmbH
Holzhauser Straße 76
13509 Berlin

Für Bestellungen und Anfragen:
Service Tel.: 0800 435 90 20
Tel.: +49 (0)30 435 902-0
Service Fax: 0800 435 90 22
Fax: +49 (0)30 435 902-22

E-Mail:
info@cornelsen-experimenta.de

Cornelsen Experimenta online
www.cornelsen-experimenta.de