
SMART

**Sammlung mathematischer Aufgaben
als Hypertext mit T_EX**

Optik (Physik)

herausgegeben vom

Zentrum zur Förderung des
mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts
der Universität Bayreuth*

1. Mai 2010

*Die Aufgaben stehen für private und unterrichtliche Zwecke zur Verfügung. Eine kommerzielle Nutzung bedarf der vorherigen Genehmigung.

Inhaltsverzeichnis

I. Geometrische Optik	3
1. Lichtstrahlen und Lichtbündel	4
2. Reflexion	5
3. Brechung	10
4. Linsen	14
5. Optische Instrumente	16
5.1. Lupe	16
5.2. Kamera	16
5.3. Diaprojektor	16
5.4. Auge	16
5.5. Fernrohr	16
5.6. Mikroskop	16
6. Farben	17
II. Wellenoptik	18
7. Beugung und Interferenz	19
8. Polarisierung	22
9. Dispersion	23

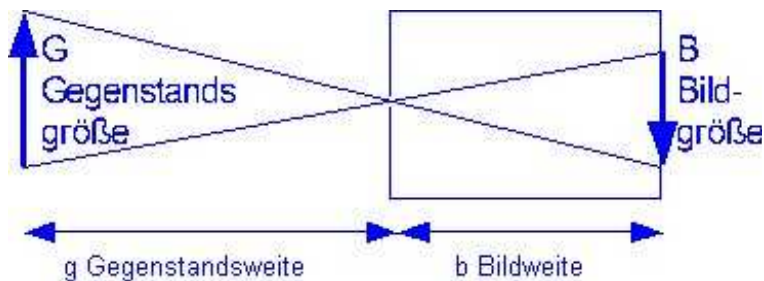
Teil I.
Geometrische Optik

1. Lichtstrahlen und Lichtbündel

- (a) Beschreibe anhand einer Skizze, wie das Bild einer Lochkamera entsteht.
- (b) Wie hängt die Bildgröße von der Gegenstandsgröße, Bildweite und Gegenstandsweite ab?
- (c) Welche Eigenschaften des Bildes lassen sich verbessern und wie kann man diese Verbesserung erreichen? Bedenke dabei auch die Nachteile!

Quelle: Julia Pürkner

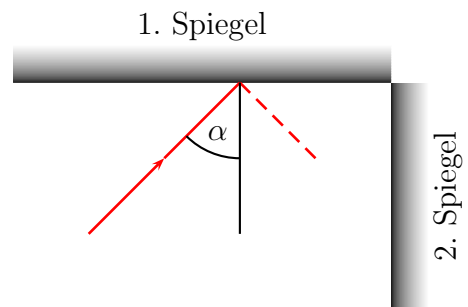
Lösung: (a) Das Bild ist seitenverkehrt und steht auf dem Kopf.



- (b) $\frac{B}{G} = \frac{b}{g}$; d. h. $B > G$, wenn $b > g$, $B = G$, wenn $b = g$, $G > B$, wenn $g > b$.
- (c) Man kann die Schärfe verbessern, wenn man die Lochblende verkleinert. Dann ist das Bild jedoch lichtschwächer. Man erhält ein helleres Bild, wenn man die Lochblende vergrößert. Das Bild wird dann jedoch unschärfer.

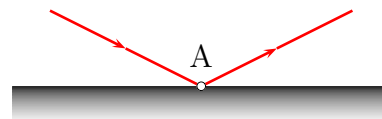
2. Reflexion

1. Zeichne den weiteren Verlauf des Lichtstrahls für $\alpha = 30^\circ$, $\alpha = 45^\circ$ und $\alpha = 75^\circ$. Welche besondere Lagebeziehung haben der auf den ersten Spiegel einfallende Lichtstrahl und der an dem zweiten Spiegel reflektierte Lichtstrahl?

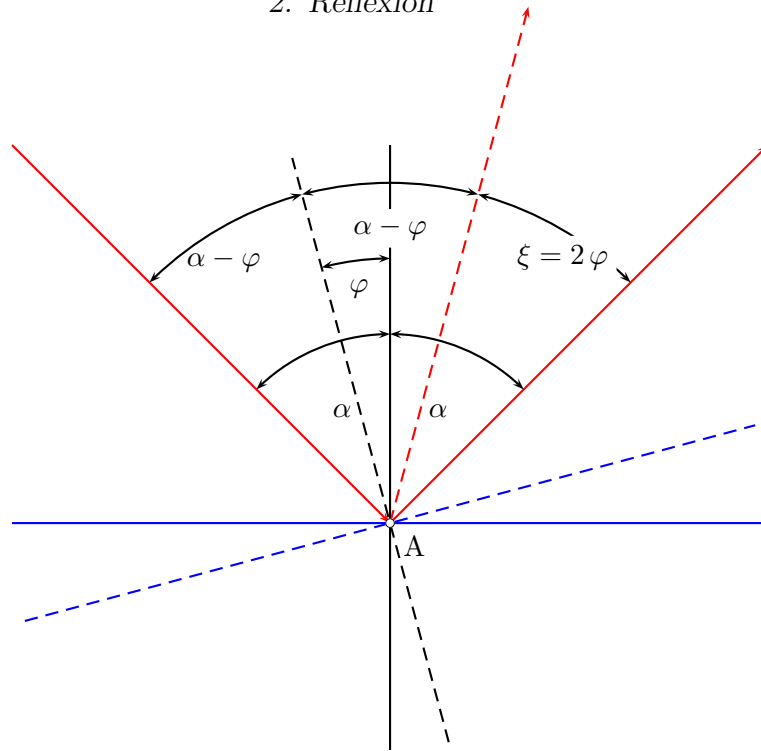


Lösung:

2. Der Spiegel wird um die Achse die senkrecht auf der Zeichenebene steht und durch A verläuft, um den Winkel φ gedreht. Um welchen Winkel wird der ursprünglich reflektierte Lichtstrahl dabei gedreht?



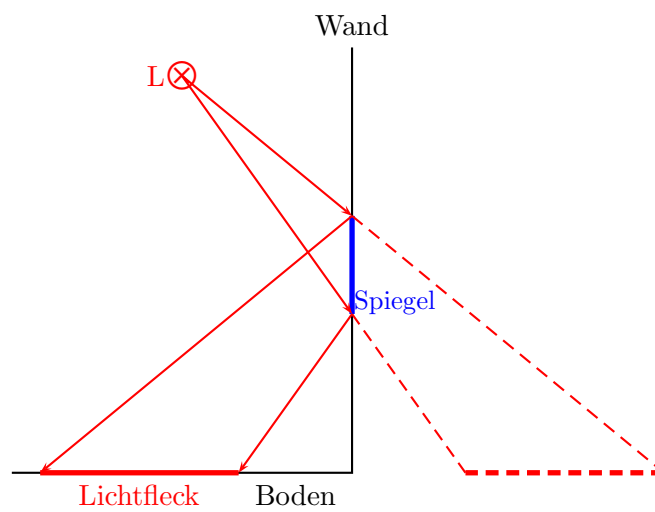
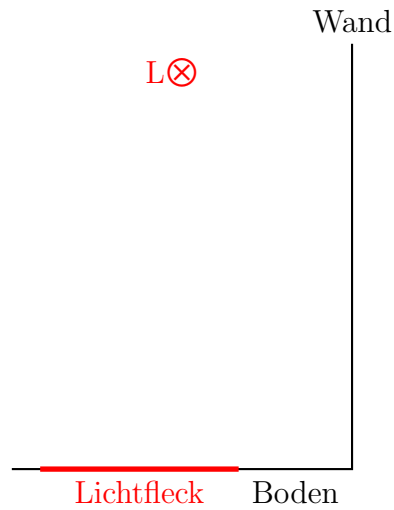
2. Reflexion



Lösung:

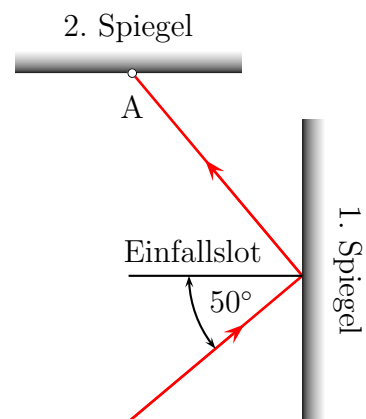
- (a) Es wird zunächst der Spiegel mit zugehörigem Einfallslot, einfallendem Strahl und reflektiertem Strahl mit durchgezogenen Linien gezeichnet.
 - (b) Nun wird der um den Winkel φ gedrehte Spiegel, das um den Winkel φ gedrehte Lot und der am gedrehten Spiegel reflektierte Strahl mit gestrichelten Linien gezeichnet.
 - (c) Der Winkel zwischen einfallendem Strahl und dem Einfallslot wird mit φ bezeichnet.
 - (d) Der Einfallswinkel wird mit α bezeichnet.
 - (e) Dann ist der Einfallswinkel des Lichtstrahls auf den gedrehten Spiegel $\alpha - \varphi$. Wegen dem Reflexionsgesetz wird dieser unter dem Winkel $\alpha - \varphi$ reflektiert.
 - (f) Somit ist der Winkel zwischen dem ursprünglich reflektierten Lichtstrahl und dem Lichtstrahl, der an dem um den Winkel φ gedrehten Spiegel reflektiert wird 2φ ($\alpha - \varphi + \alpha - \varphi + \xi = 2\alpha \Rightarrow \xi = 2\varphi$).
3. Das Licht einer Lampe L fällt auf einen Spiegel an der Wand und erzeugt dann einen Lichtfleck auf dem Boden. Zeichne den Spiegel und den Weg des Lichts in die Skizze ein.

2. Reflexion



Lösung:

4. Ein Lichtstrahl trifft unter dem Einfallswinkel von 50° auf einen festen, ebenen Spiegel und läuft dann gegen einen zweiten ebenen Spiegel. Um welchen Winkel musst du den zweiten Spiegel um die Achse A drehen, damit der Lichtstrahl nach dieser zweiten Reflexion parallel zum eingezeichneten Lot verläuft?



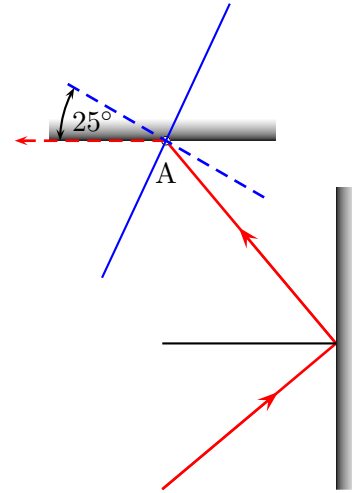
2. Reflexion

Lösung: Hinweis: Es ist eine zeichnerische Lösung angesagt, wenn die Schüler noch keine Sätze über Winkel an und in geometrischen Figuren zur Verfügung haben.

Zuerst konstruiert man die Winkelhalbierende zwischen dem auf A treffenden Lichtstrahl und der Richtung, die der Strahl nach Reflexion am gedrehten Spiegel haben soll (diese ist gestrichelt eingezeichnet).

Diese Gerade ist das neue Einfallslot. Das Lot auf diese Gerade durch A ist die Projektion der neuen Spiegeloberfläche auf die Zeichenebene. Somit ist der gesuchte Winkel 25° (einfallender und neuer reflektierter Lichtstrahl schließen einen Winkel von 130° ein).

Es gibt noch eine zweite Lösung, wenn der gestrichelte rote Strahl um 180° gedreht wird.



5. Du stehst im Punkt A und richtest einen Laserpointer auf den Spiegel. Auf welchen Punkt auf dem Spiegel musst du zielen, damit der am Spiegel reflektierte Laserstrahl durch den Punkt B verläuft?

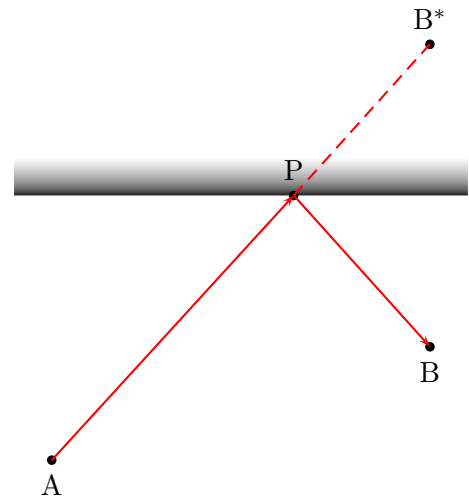


•
A

•
B

2. Reflexion

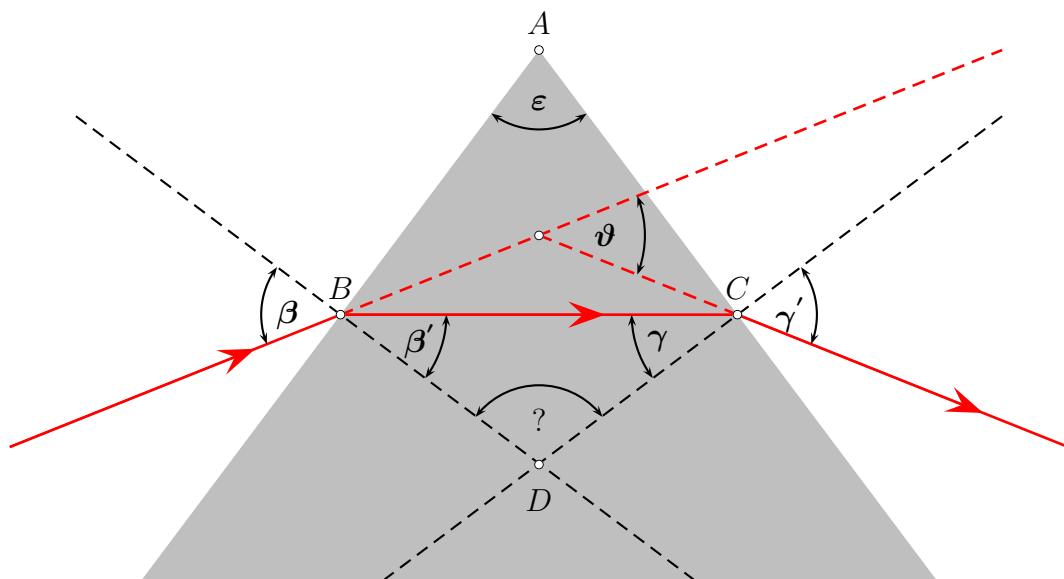
Lösung: Man muss auf den bezüglich der Spiegelfläche zu B symmetrischen Punkt B^* zielen. Den gesuchten Punkt P auf der Spiegelfläche erhalten wird dann, indem wir die Projektion der Spiegelfläche auf die Zeichenebene mit der Strecke $[AB^*]$ schneiden.



3. Brechung

- In der unten stehenden Abbildung fällt ein Lichtstrahl von links auf ein gleichschenkliges Prisma mit Spitze A und ist nach dem Austritt um den Winkel ϑ gegenüber der ursprünglichen Richtung abgelenkt.

Dieser Winkel soll nun mit den anderen in der Zeichnung vorkommenden Winkeln ausgedrückt werden.



- Drücke den Winkel $?$ und anschließend $\beta' + \gamma$ unter Verwendung von ε aus.
- Um welchen Winkel wird der von links einfallende Lichtstrahl im Punkt B und um welchen Winkel im Punkt D gedreht?
- Wie kann man nun ϑ ausdrücken?

Lösung: (a) Das Viereck $ABCD$ hat bei B und D einen rechten Winkel. Da die Innenwinkelsumme in einem Viereck stets 180° ist, bleibt für $? = 180^\circ - \varepsilon$.

Und somit ist $\beta' + \gamma = \varepsilon$

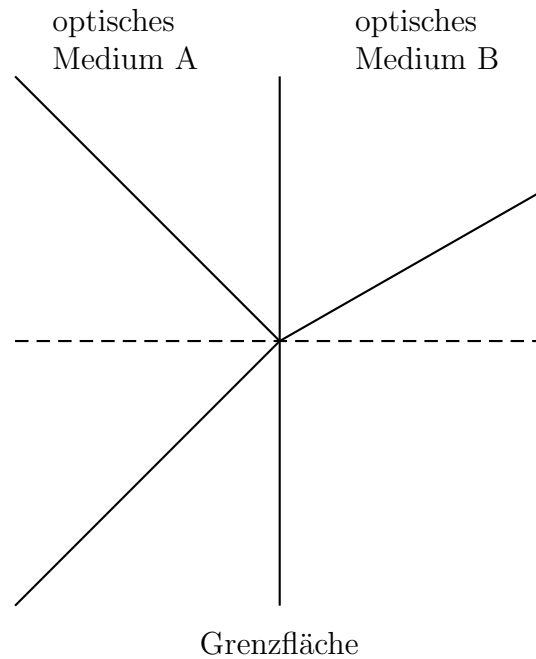
(b) Im Punkt B wird der Lichtstrahl um den Winkel $\beta - \beta'$ und im Punkt D um den Winkel $\gamma' - \gamma$ gedreht.

$$(c) \vartheta = (\beta - \beta') + (\gamma' - \gamma) = \beta + \gamma' - (\beta' + \gamma) = \beta + \gamma' - \varepsilon$$

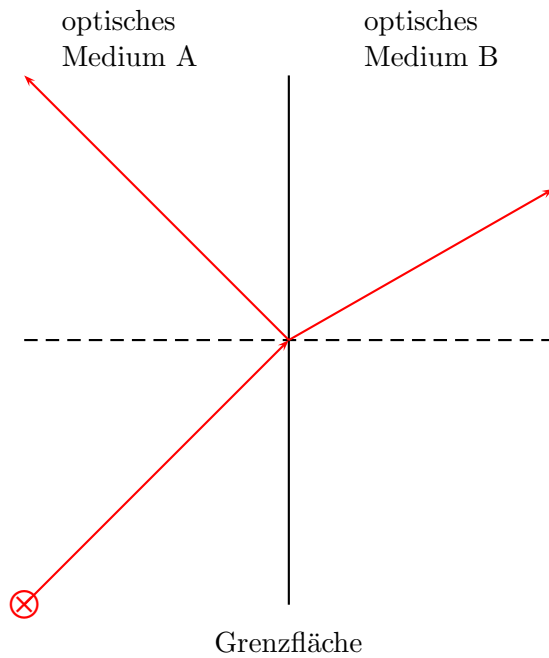
3. Brechung

2. Beim Übergang des Lichtes von einem optischen Medium in ein anderes beobachtet man die gezeichneten Lichtstrahlen. Beantworte die folgenden Fragen und gib jeweils eine Begründung an:

- (a) Welches Medium ist optisch dichter?
- (b) In welcher Richtung verläuft das Licht?
- (c) Wo ist die Lichtquelle?



Lösung: Medium B ist optisch dichter als Medium A.



3. Ein Versuch zur Untersuchung des Brechungsverhaltens von Licht beim Übergang von Luft in Wasser, Luft in Glas bzw. Luft in Diamant erbrachte folgende Ergebnisse.

3. Brechung

Dabei bezeichnet α den Einfallswinkel und β den Brechwinkel.

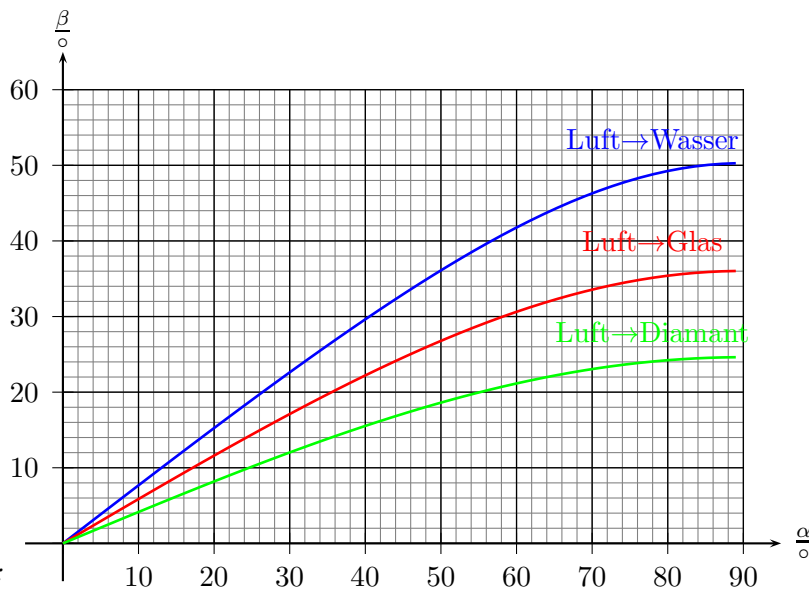
Wasser	$\frac{\alpha}{^\circ}$	0	10	20	30	40	50	60	65	70	75	80	85
	$\frac{\beta}{^\circ}$	0	8	15	23	29	36	42	44	46	48	49	50

Glas	$\frac{\alpha}{^\circ}$	0	10	20	30	40	50	60	65	70	75	80	85
	$\frac{\beta}{^\circ}$	0	6	12	17	22	27	31	32	34	35	35	36

Diamant	$\frac{\alpha}{^\circ}$	0	10	20	30	40	50	60	65	70	75	80	85
	$\frac{\beta}{^\circ}$	0	4	8	12	17	19	21	22	23	24	24	25

Trage die Messwerte auf mm-Papier in gemeinsames Diagramm ein!

Format: DIN A4 hoch, auf beiden Achsen 1 cm für 10°.

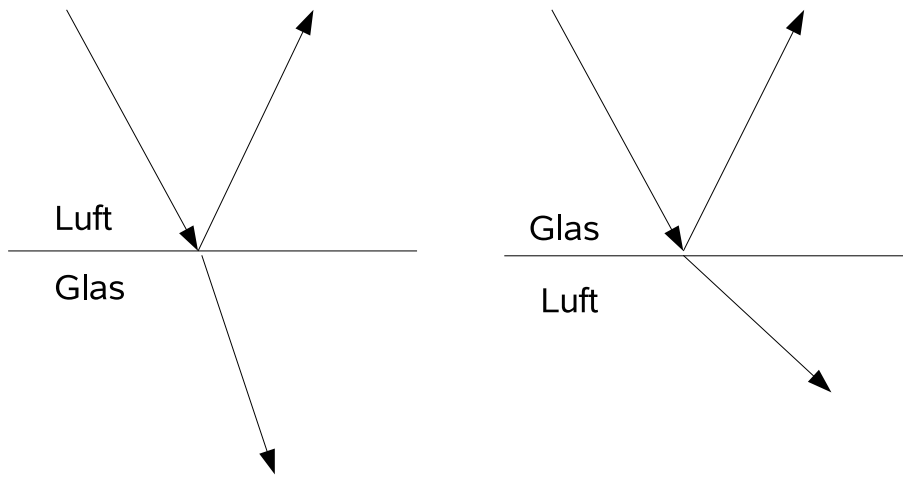


Lösung:

4. Wie kann man experimentell das Verhalten von Licht beim Übergang von Glas nach Luft untersuchen? Skizziere einen möglichen Versuchsaufbau und beschreibe die Beobachtung.

Lösung: Z. B. Lichtstrahl auf Glaskörper (Grenzschicht) fallen lassen:

3. Brechung



An jeder Grenzfläche tritt Reflexion auf. Beim Übergang von Luft nach Glas (dichteres Medium) wird der Strahl zum Lot hin gebrochen. Beim Übergang von Glas (dichteres Medium) nach Luft wird der Strahl vom Lot weg gebrochen. Wird dabei der Grenzwinkel überschritten gibt es keinen gebrochenen Strahl mehr (Totalreflexion).

4. Linsen

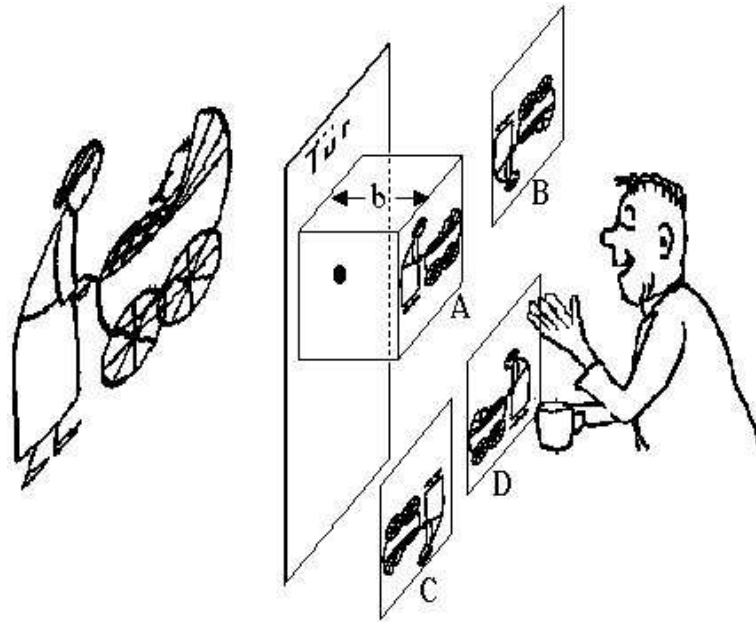
- Beschreibe, wie man die Brennweite f einer Sammellinse bestimmen kann.
 - Ein leuchtender Gegenstand wird vor der Sammellinse aufgestellt. In welchem Bereich steht der Gegenstand, wenn sein scharfes Bild (reell) gleich groß auf dem Bildschirm zu sehen ist. Wie groß ist der Abstand des Bildes von der Linse?
 - Was ändert sich an der Abbildung von Teilaufgabe (b), wenn der Gegenstand nun weiter von der Linse entfernt wird?

Quelle: Julia Pürkner

- Lösung:*
- Man lässt paralleles Licht auf die Linse fallen (Linsenebene senkrecht zu den Strahlen). Mit Hilfe eines Schirms stellt man den Brennpunkt fest. Der Abstand Brennpunkt-Linse ist die Brennweite f .
 - In diesem Fall ist die Gegenstandsweite g gleich der doppelten Brennweite. Auch das Bild des Gegenstandes ist auf der anderen Linsenseite in der Entfernung $b = 2f$ zu beobachten.
 - Die Bildweite verkleinert sich. Bei sehr weit entfernten Gegenständen ist die Bildweite b ungefähr gleich der Brennweite. Die Bildgröße B verkleinert sich im Vergleich zu Teilaufgabe (b).

- Herr Schlaumeier hat in seine Wohnungstür ein kleines Loch gebohrt und im Abstand b hinter dem Loch eine Mattscheibe aufgestellt. Nun beobachtet er Frau Bolte.

4. Linsen



- (a) Welches der Bilder A, B, C oder D sieht Herr Schlaumeier auf der Mattscheibe? Erläutere kurz deine Antwort!
- (b) Da das Bild etwas unscharf und lichtschrach ist, setzt Herr Schlaumeier in das Loch eine Linse mit $f=500\text{mm}$. Sieht er damit ein vergrößertes oder verkleinertes Bild, wenn Frau Bolte $5,0\text{m}$ vom Loch entfernt ist? Begründe deine Antwort!

Quelle: Julia Pürkner

- Lösung:* (a) Das Bild C ist richtig, da das Bild, welches die Lochkamera entwirft, höhen- und seitenverkehrt ist.
- (b) Gegenstände werden verkleinert, wenn die Gegenstandsweite g größer als die doppelte Brennweite ($2f = 2 \cdot 50 \text{ cm} = 100 \text{ cm}$) ist. Da Frau Bolte $g = 500 \text{ cm}$ entfernt ist, entsteht ein verkleinertes Bild.

5. Optische Instrumente

5.1. Lupe

5.2. Kamera

5.3. Diaprojektor

1. Beim Diaprojektor wird ein durchleuchtetes Bild mit einer Linse auf einer Leinwand abgebildet.
 - (a) Das Bild auf der Leinwand ist zunächst zu klein, aber scharf. Was muss man mit dem Projektor tun, damit das Bild größer wird?
 - (b) Das Vorgehen von Teilaufgabe (a) war erfolgreich, das Bild wurde größer. Was ist nun aber schlecht?
 - (c) Durch welche Änderung am Projektor kann man auch den Nachteil aus Teilaufgabe (b) beheben?

Quelle: Julia Pürkner

- Lösung:*
- (a) Man muss den Projektor weiter von der Wand entfernen.
 - (b) Das Bild ist unscharf geworden.
 - (c) Man muss den Abstand zwischen dem Dia (Gegenstand) und dem Objektiv (Linse) verändern. Genauer: Man muss den Abstand zwischen Dia und Objektiv verkleinern.

5.4. Auge

5.5. Fernrohr

5.6. Mikroskop

6. Farben

1. Sonnenlicht

Die Sonne ist für das irdische Leben unverzichtbar. Allerdings wird auch sehr häufig vor Gefahren der Sonnenstrahlung gewarnt. Dabei wird auf verschiedene Anteile der Sonnenstrahlung, deren Eigenschaften und Wirkungen Bezug genommen.

- (a) Nenne die verschiedenen Anteile des Sonnenlichts. Wonach unterscheidet man diese?
- (b) Als Folge der Wechselwirkung des Sonnenlichts mit Materie lassen sich Wirkungen wie der Sonnenbrand, die Fotosynthese und die starke Erwärmung eines Körpers beobachten. Ordne diesen drei Wirkungen die dafür verantwortlichen Anteile des Sonnenlichts zu.
- (c) Geldscheine werden mit Hilfe von ultraviolettem Licht auf Echtheit geprüft. Beschreibe eine Möglichkeit für den Nachweis des UV-Anteils in der Sonnenstrahlung mit Hilfe eines Geldscheines.

Quelle: Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss, Beschluss vom 16.12.2004

Lösung: (a) Es werden für den Menschen sichtbare und unsichtbare Anteile unterschieden.

Unsichtbare Anteile: Infrarot (Wärmestrahlung) und Ultraviolett

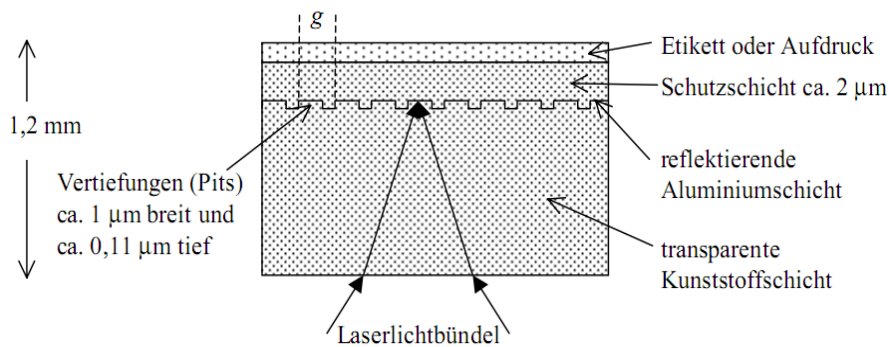
Sichtbare Anteile: Farbspektrum

- (b)
 - Sonnenbrand, Ursache: ultraviolette Strahlung
 - Fotosynthese, Ursache: Teile des sichtbaren Lichtes
 - Starke Erwärmung von Körpern, Ursache: infrarote Strahlung

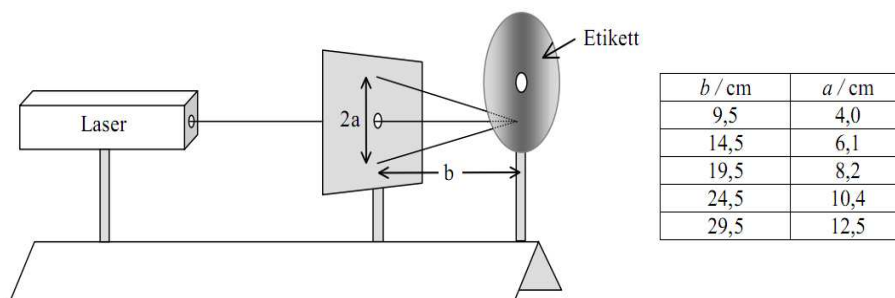
Teil II.
Wellenoptik

7. Beugung und Interferenz

1. Auf einer CD werden Informationen digital durch unterschiedlich lange, spiralförmige Vertiefungen (so genannte Pits) gespeichert, die sich mit einem Laser, z. B. in einem CD-Spieler auslesen lassen.



Um Informationen zum Aufbau einer CD zu gewinnen, wird eine CD in einem Experiment mit monochromatischem Licht der Wellenlänge $\lambda = 632,8\text{nm}$ bestrahlt. Das Experiment liefert Informationen über den Abstand der Spurlinien.



- (a) Beschreiben Sie das zu beobachtende Schirmbild.
- (b) Zeigen Sie, dass bei der untersuchten CD der Wert von g innerhalb des Toleranzbereichs des von der deutschen Norm angegebenen Wertes von $g = (1,6 \pm 0,1)\mu\text{m}$ liegt. Beschreiben Sie mögliche Fehlerquellen.

Brechungseffekte beim Übergang von Luft in die Kunststoffschicht müssen nicht berücksichtigt werden.

- (c) Betrachtet man den Aufbau der CD, wäre es denkbar, dass die Beobachtungen durch eine Interferenz hervorgerufen werden, die durch Reflexion an der Ober- bzw. Unterseite der transparenten Kunststoffschicht entsteht.

7. Beugung und Interferenz

Beschreiben Sie qualitativ an Hand einer Skizze, wie es zu einer konstruktiven Interferenz an dünnen Schichten kommen kann.

Es gibt mehrere Gründe, warum es sich bei dem vorggeführten Experiment nicht um eine Interferenz an einer dünnen Schicht handeln kann. Führen Sie einen dieser Gründe aus.

nach: EPA Physik, Beschluss der KMK vom 5.2.04

- Lösung:*
- (a) Auf dem Schirm zeigen sich Interferenzmuster, wie sie von Einzel- und Doppelspalten bekannt sind. Das Muster kommt durch Gangunterschiede zustande. Die zu beobachtenden Maxima sind Orte konstruktiver Interferenz.
 - (b) Aus der Messung ergeben sich für g folgende Werte: $1,631\mu\text{m}$, $1,632\mu\text{m}$, $1,632\mu\text{m}$, $1,619\mu\text{m}$ und $1,622\mu\text{m}$, was im Toleranzbereich liegt. Fehlerquellen: Längenmessung
 - (c) Ein Teil des Lichtes von der Quelle dringt in die CD ein und wird an der hinteren Seite reflektiert. Dieser Teil liegt eine längere Strecke zurück als der direkt reflektierte Strahl. Unter Berücksichtigung der anderen Ausbreitungsgeschwindigkeit im Kunststoff ergibt sich ein bestimmter effektiver Wegunterschied Δx . Wenn Δx ein Vielfaches von λ ist, kommt es zu konstruktiver Interferenz und es ist unter einem bestimmten Winkel bei einer bestimmten Dicke ein Maximum zu erkennen.

Mögliche Gründe:

Bei der beschriebenen Interferenz gibt es nur eine Richtung, unter der die reflektierte Welle erscheint, während beim Experiment in mehrere Richtungen Abstrahlung erfolgt, die auch noch symmetrisch liegen.

2. Wenn man eine CD in den Händen hält, fallen sofort die sichtbaren farbigen Spektren auf. Halten Sie die Ihnen zur Verfügung gestellte CD waagrecht mit dem Etikett nach unten, so dass das Licht der Deckenlampe Spektren erzeugt. Kippen Sie die CD nun so zur Lampe hin, dass sich die Spektren gut beobachten lassen.

- (a) Beschreiben sie die Farberscheinungen und erläutern Sie das Zustandekommen. Gehen Sie hierbei insbesondere auf die Reihenfolge der Farben ein. Ergänzen Sie Ihre Erläuterungen gegebenenfalls mit qualitativen Skizzen.
- (b) Ersetzt man die normale Raumbeleuchtung durch eine Quecksilberdampf Lampe, so erkennt man im Wesentlichen nur noch die Farben Gelb, Grün und Blau.

Die Gerätekarte zur Hg-Lampe gibt an, dass die Lampe in sechs Wellenlängen ($407,7\text{nm}$, $435,8\text{nm}$, $491,6\text{nm}$, $546,1\text{nm}$, $579,0\text{nm}$ und $579,1\text{nm}$) strahlt.

Erläutern Sie die scheinbare Diskrepanz und die Unterschiede zwischen den im Licht der Deckenlampe beobachteten Spektren und den Spektrallinien der Hg-Lampe.

- (c) Untersuchen Sie mit der CD das Spektrum anderer Lichtquellen.

nach: EPA Physik, Beschluss der KMK vom 5.2.04

7. Beugung und Interferenz

Lösung: **Anmerkung:** Für die Bearbeitung der Aufgabe ist eine CD notwendig, die im Licht einer Glühlampe beobachtet werden muss.

- (a) Die Farben ergeben sich aus der Spektralzerlegung des „weißen“ Lichtes. Blau wird weniger abgelenkt als Rot.
- (b) Die Wellenlängen $579,0\text{nm}$ und $579,1\text{nm}$ lassen sich nicht getrennt wahrnehmen. Die Wellenlängen $407,7\text{nm}$ und $435,8\text{nm}$ liegen im UV-Bereich und sind mit dem Auge nicht erkennbar.

Der Hauptunterschied zwischen den Spektren der Glühlampe und dem Spektrum der Hg-Lampe liegt darin, dass die Glühlampe kontinuierlich abstrahlt und damit im Gegensatz zum diskreten Spektrum der Hg-Lampe ein kontinuierliches Spektrum liefert.

- (c) Z. B.

Leuchtstoffröhren liefern kontinuierliches Spektrum, bei dem verschiedene Linien eine deutlich erhöhte Intensität aufweisen.

Energiesparlampen haben mehrere breite Linien im Spektrum.

- 3. In Anlehnung an die Photonstruktur von Licht postulierte de Broglie Welleneigenschaften von Elektronen. Beschreiben Sie ein Experiment zum Nachweis der Elektronenbeugung.

nach: EPA Physik, Beschluss der KMK vom 5.2.04

Lösung: Z. B. Elektronenbeugungsröhre mit polymorphem Graphit.

8. Polarisation

1. Es fällt unpolarisiertes Licht auf eine Kombination zweier Polfilter, deren Durchlassrichtungen einen Winkel $\psi \leq 90^\circ$ miteinander einschließen. Zwischen die beiden Filter wird ein dritter Polfilter gebracht. Zeige, dass man hinter der Anordnung dieser drei Polfilter genau dann ein Maximum für die Amplitude des elektrischen Feldvektors erhält, wenn der Winkel, den der erste und der zweite Polfilter miteinander einschließen $\frac{\psi}{2}$ ist.

Lösung: E_1 sei die Amplitude des Feldvektors nach dem ersten Filter und φ der Winkel den die Durchlassrichtungen des ersten und des mittleren Polfilters miteinander einschließen.

Dann gilt für die Amplitude nach dem Durchgang durch die drei Polfilter

$$f(\varphi) = E_1 \cos \varphi \cos(\psi - \varphi), \quad \text{mit } \varphi \in \left[0; \frac{\psi}{2}\right]$$

Nun erhält man

$$f'(\varphi) = \cos \varphi \sin(\psi - \varphi) - \sin \varphi \cos(\psi - \varphi) = 0 \quad \Rightarrow \quad \tan \varphi = \tan(\psi - \varphi)$$

Mit der Substitution $\varphi^* = \varphi - \frac{\psi}{2}$ erhalten wir

$$\tan\left(\frac{\psi}{2} + \varphi^*\right) = \tan\left(\frac{\psi}{2} - \varphi^*\right)$$

Diese Gleichung hat offensichtlich die Lösung $\frac{\psi}{2}$. Da für $\varphi^* \in [0; \psi]$ $\tan\left(\frac{\psi}{2} + \varphi^*\right)$ streng monoton wachsend und $\tan\left(\frac{\psi}{2} - \varphi^*\right)$ streng monoton fallend sind, ist dies auch die einzige Lösung der Gleichung.

Außerdem ist $f''\left(\frac{\psi}{2}\right) = -2$, also haben wir für $\varphi = \frac{\psi}{2}$ wirklich ein Maximum.

9. Dispersion