

---

**SMART**

**Sammlung mathematischer Aufgaben  
als Hypertext mit T<sub>E</sub>X**

**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.

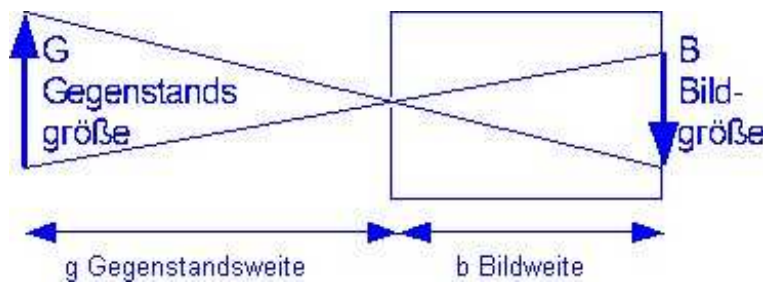
# Inhaltsverzeichnis

<b>I. Geometrische Optik</b>	<b>3</b>
1. Lichtstrahlen und Lichtbündel	4
2. Reflexion	5
3. Brechung	8
4. Linsen	10
5. Optische Instrumente	11
5.1. Lupe . . . . .	11
5.2. Kamera . . . . .	11
5.3. Diaprojektor . . . . .	11
5.4. Auge . . . . .	11
5.5. Fernrohr . . . . .	11
5.6. Mikroskop . . . . .	11
6. Farben	12
<b>II. Wellenoptik</b>	<b>13</b>
7. Beugung und Interferenz	14
8. Polarisierung	15
9. Dispersion	16

**Teil I.**  
**Geometrische Optik**

# 1. Lichtstrahlen und Lichtbündel

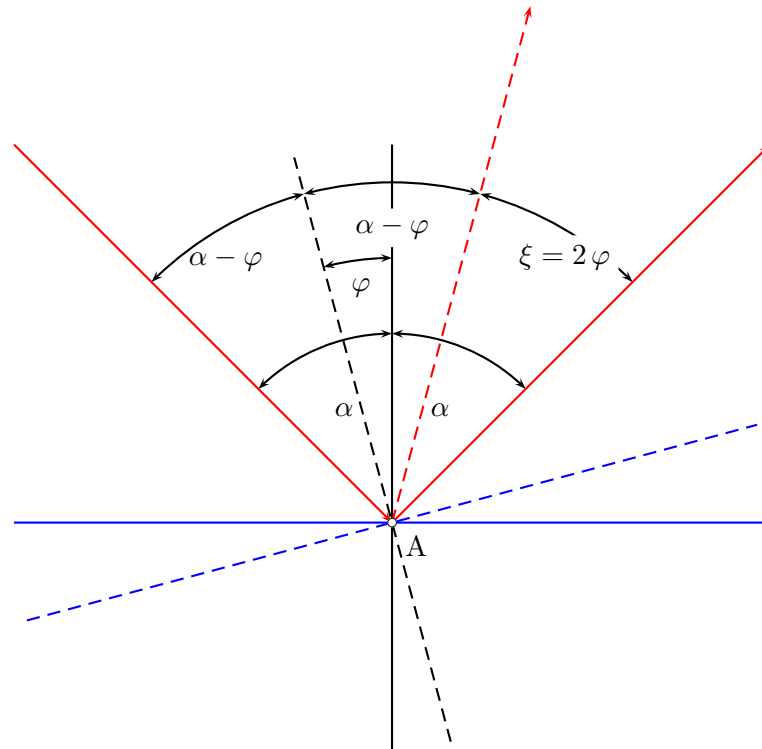
1. (a) Das Bild ist seitenverkehrt und steht auf dem Kopf.



- (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

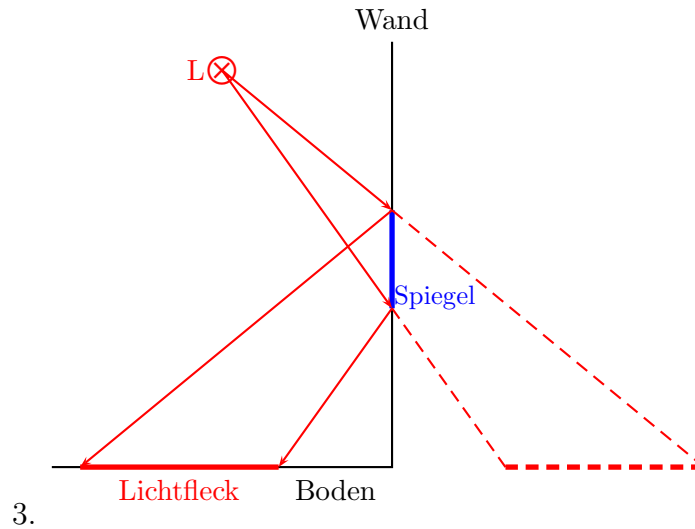
1.



2.

- Es wird zunächst der Spiegel mit zugehörigem Einfallslot, einfallendem Strahl und reflektiertem Strahl mit durchgezogenen Linien gezeichnet.
- Nun wird der um den Winkel  $\varphi$  gedrehte Spiegel, das um den Winkel  $\varphi$  gedrehte Lot und der am gedrehten Spiegel reflektierte Strahl mit gestrichelten Linien gezeichnet.
- Der Winkel zwischen einfallendem Strahl und dem Einfallslot wird mit  $\varphi$  bezeichnet.
- Der Einfallswinkel wird mit  $\alpha$  bezeichnet.
- Dann ist der Einfallswinkel des Lichtstrahls auf den gedrehten Spiegel  $\alpha - \varphi$ . Wegen dem Reflexionsgesetz wird dieser unter dem Winkel  $\alpha - \varphi$  reflektiert.
- Somit ist der Winkel zwischen dem ursprünglich reflektierten Lichtstrahl und dem Lichtstrahl, der an dem um den Winkel  $\varphi$  gedrehten Spiegel reflektiert wird  $2\varphi$  ( $\alpha - \varphi + \alpha - \varphi + \xi = 2\alpha \Rightarrow \xi = 2\varphi$ ).

## 2. Reflexion

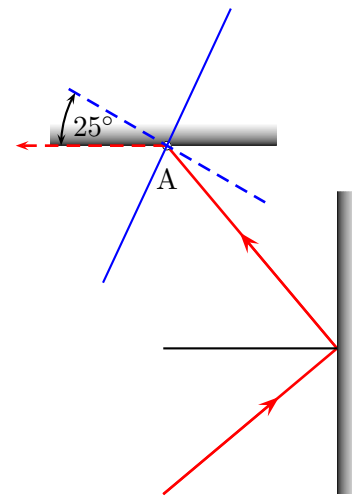


4. Hinweis: Es ist eine zeichnerische Lösung angesagt, wenn die Schüler noch keine Sätze über Winkel an und in geometrischen Figuren zur Verfügung haben.

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).

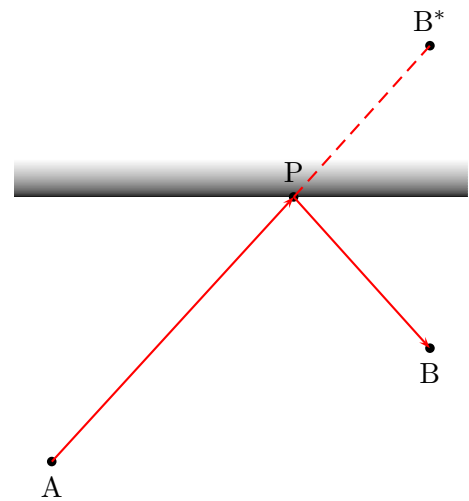
Diese Gerade ist das neue Einfallslot. Das Lot auf diese Gerade durch A ist die Projektion der neuen Spiegeloberfläche auf die Zeichenebene. Somit ist der gesuchte Winkel  $25^\circ$  (einfallender und neuer reflektierter Lichtstrahl schließen einen Winkel von  $130^\circ$  ein).

Es gibt noch eine zweite Lösung, wenn der gestrichelte rote Strahl um  $180^\circ$  gedreht wird.



## 2. Reflexion

5. 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

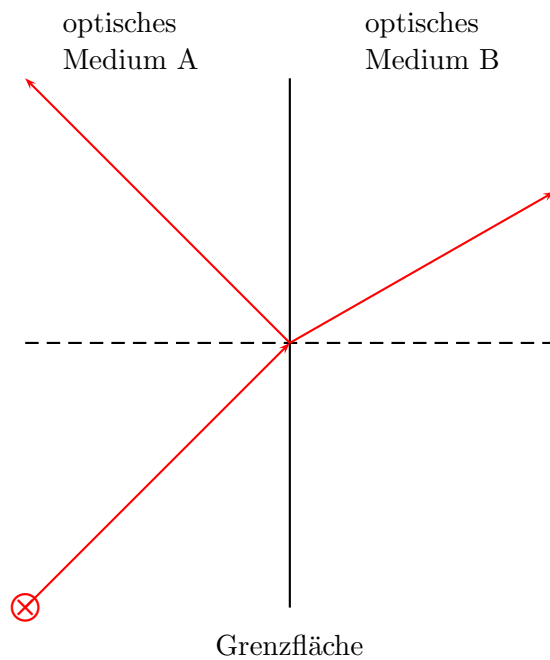
1. (a) Das Viereck  $ABCD$  hat bei  $B$  und  $D$  einen rechten Winkel. Da die Innenwinkelsumme in einem Viereck stets  $180^\circ$  ist, bleibt für  $\vartheta = 180^\circ - \varepsilon$ .

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.

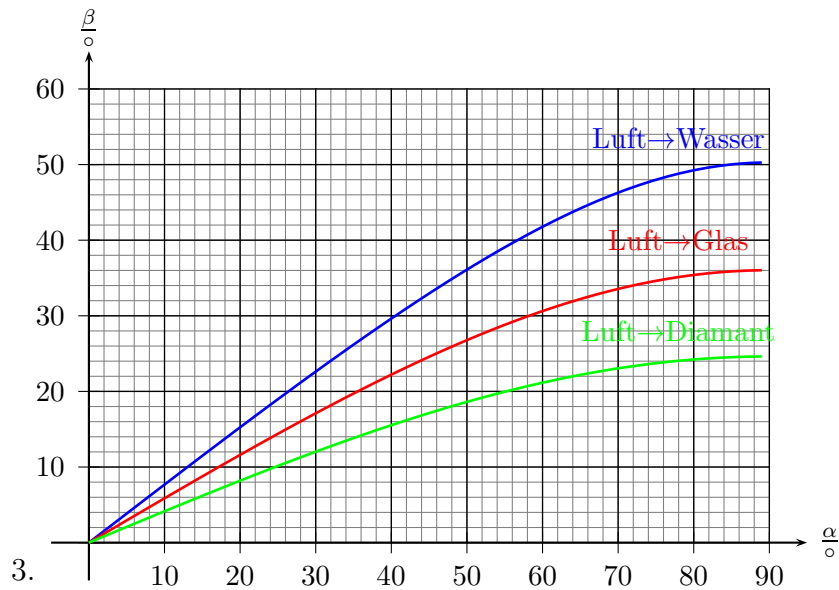
(c)  $\vartheta = (\beta - \beta') + (\gamma' - \gamma) = \beta + \gamma' - (\beta' + \gamma) = \beta + \gamma' - \varepsilon$

2. Medium B ist optisch dichter als Medium A.

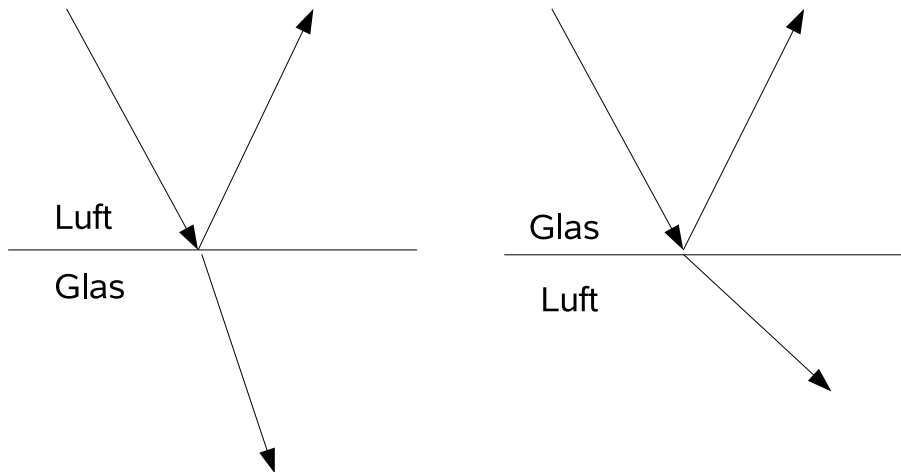




### 3. Brechung



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



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

1.
  - (a) 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  $f$ .
  - (b) 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.
  - (c) 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).
  
2.
  - (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. (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. (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. (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 legt eine längere Strecke zurück als der direkt reflektierte Strahl. Unter Berücksichtigung der anderen Ausbreitungsgeschwindigkeit im Kunststoff ergibt sich ein bestimmter effektiver Wegunterschied  $\Delta x$ . Wenn  $\Delta x$  ein Vielfaches von  $\lambda$  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. **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, beim dem verschiedene Linien eine deutlich erhöhte Intensität aufweisen.

Energiesparlampen haben mehrere breite Linien im Spektrum.

3. Z. B. Elektronenbeugungsröhre mit polymorphem Graphit.

## 8. Polarisation

1.  $E_1$  sei die Amplitude des Feldvektors nach dem ersten Filter und  $\varphi$  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