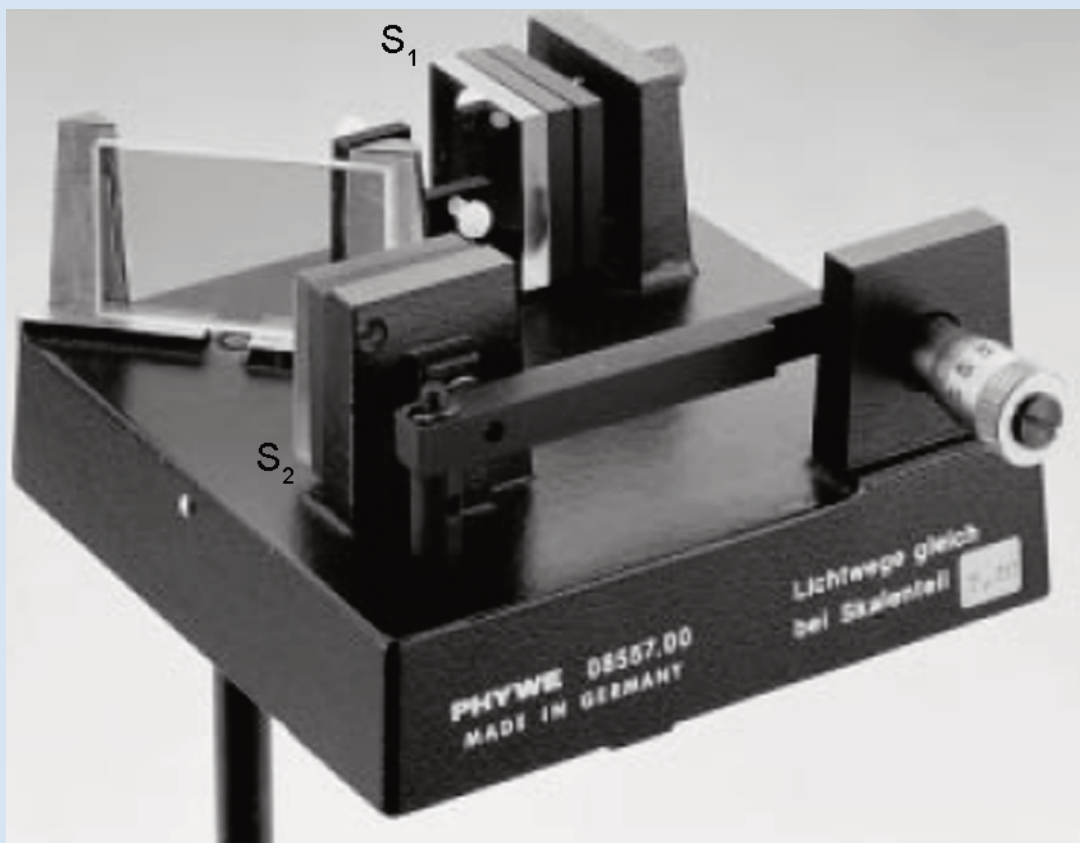


# Talentecamp Physik

## 2007/2008

### Ein Streifzug durch die Optik

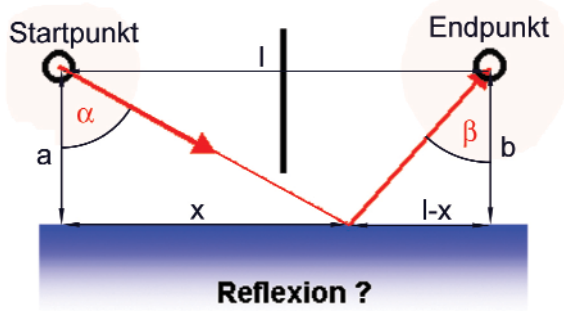
Optische Phänomene und ihre Anwendungsmöglichkeiten



Mag. Otto Dolinsek

# Einführung in die Geometrische Optik

**Prinzip von Fermat:** Das Licht wählt sich zwischen zwei Orten stets den Weg mit der kleinsten Lichtlaufzeit.



$$t = t_1 + t_2 = \frac{\sqrt{a^2 + x^2}}{c} + \frac{\sqrt{b^2 + (l-x)^2}}{c} \rightarrow \text{Minimal}$$

$$\frac{dt}{dx} = t' = \frac{x}{\sqrt{a^2 + x^2}} - \frac{l-x}{\sqrt{b^2 + (l-x)^2}} = 0$$

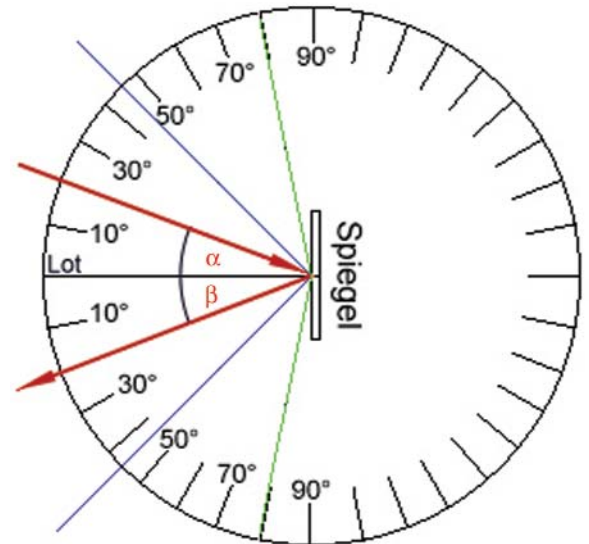
$$\sin \alpha = \sin \beta \Rightarrow \alpha = \beta$$

## Das Reflexionsgesetz:

Ein Lichtstrahl wird auf einer Grenzfläche so reflektiert, dass er in der Einfallsebene bleibt. Das Lot auf die Grenzfläche und der einfallende Strahl bilden die Einfallsebene.

Der Einfallswinkel  $\alpha$  entspricht dem Reflexionswinkel  $\alpha'$ .

$$\alpha = \beta$$



## Das Brechungsgesetz:

**Aufgabenstellung:** Der Lebensretter muss in kürzester Zeit den Unfallsort erreichen! Welchen Weg soll er wählen?

Versuche die Strecke x zu ermitteln!

Am Land bewegt sich der Rettungsschwimmer mit der Geschwindigkeit  $c_1$ , im Wasser mit der Geschwindigkeit  $c_2$ .

Folgende Daten dienen der Berechnung:

- $c_1 = 3 \text{ m/s}$
- $c_2 = 0,7 \text{ m/s}$
- $l = 100 \text{ m}$
- $a = 50 \text{ m}$
- $b = 70 \text{ m}$

Ansatz:  $t = t_1 + t_2 \rightarrow \text{Minimum}$

**Methode I:** Mathematische Lösung  $\rightarrow$  Differenzieren

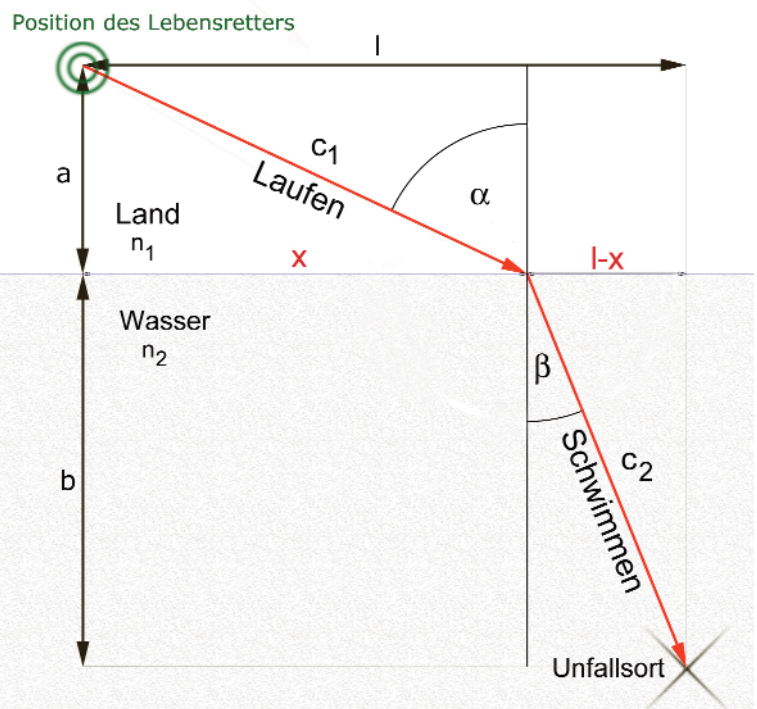
$$t = t_1 + t_2 = \frac{\sqrt{a^2 + x^2}}{c_1} + \frac{\sqrt{b^2 + (l-x)^2}}{c_2}$$

$$\frac{dt}{dx} = t' = \frac{x}{c_1 \cdot \sqrt{a^2 + x^2}} - \frac{l-x}{c_2 \cdot \sqrt{b^2 + (l-x)^2}} = 0$$

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

**Methode II:**

In einer Excel Anwendung durchläuft die Variable x alle Werte von 0 bis  $l=100 \text{ m}$ , wobei t ausgedrückt wird. (Lösung  $x=85,6 \text{ m}$ )



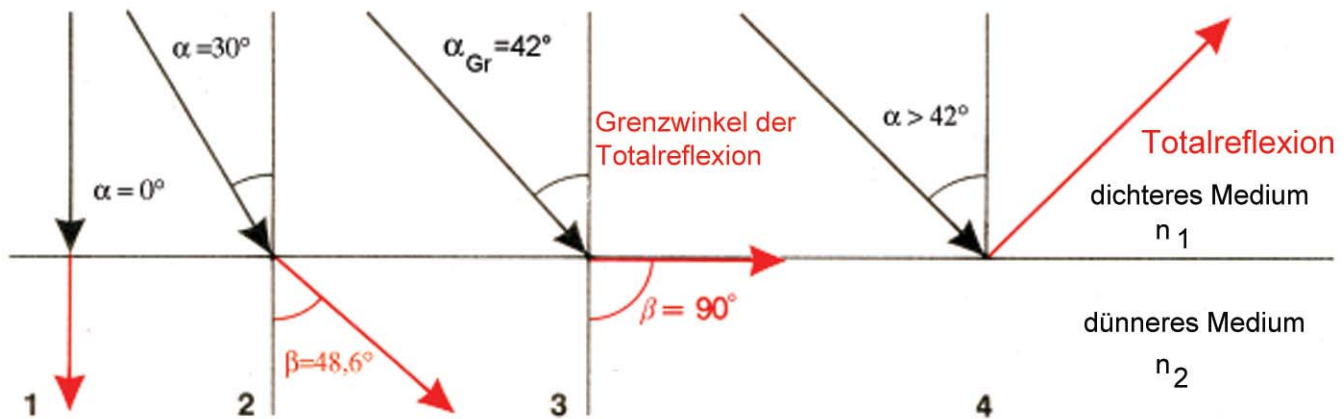
## Snelliussches Brechungsgesetz:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_1}{c_2} = \frac{n_2}{n_1} = n_{1,2}$$

$c_1, c_2$  Lichtgeschwindigkeiten in den Medien  
 $n_1, n_2$  absolute Brechzahlen der Medien  
 $n_{1,2}$  relative Brechzahl

Arbeitsblätter: Winkelspiegel, Brechzahlbestimmung (Glaskörper, Prisma), Dispersion

## Totalreflexion:



Beim Übergang eines Lichtstrahls von einem optisch dichteren in ein optisch dünneres Medium (z.B. von Wasser in Luft) erfolgt bei senkrechtem Einfall keine Brechung (Bild 1). Für kleinere Winkel wird das Licht vom Lot weggebrochen (Bild 2). Der Einfallswinkel bei dem der Brechungswinkel  $\beta = 90^\circ$  wird, heißt Grenzwinkel  $\alpha_{Gr}$  der Totalreflexion (Bild 3). Er ist dann erreicht, wenn das Licht so flach auf die Grenzfläche trifft, dass es das dichtere Medium nicht mehr verlassen kann. Jenseits dieses Winkels ( $\alpha > \alpha_{Gr}$ ) wird das Licht in das dichtere Medium zurückreflektiert (Bild 4). Diese Erscheinung nennt man Totalreflexion, die zu keinerlei Energieverlusten führt. Für den Grenzwinkel  $\alpha_{Gr}$  gilt:

$$\frac{\sin \alpha_{Gr}}{\sin \beta} = \frac{\sin \alpha_{Gr}}{\sin 90^\circ} = \sin \alpha_{Gr} = \frac{n_2}{n_1}$$

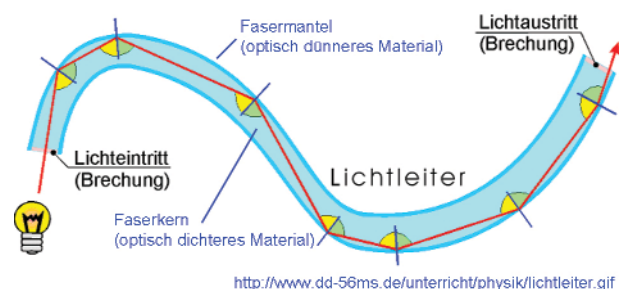
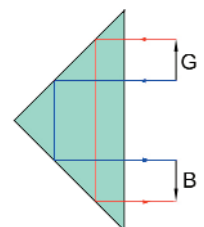
Handelt es sich beim dünneren Medium  $n_2$  um Luft, so kann  $n_2 = 1$  gesetzt werden. Somit wäre über die Messung des Grenzwinkels die Brechzahl des dichteren Mediums  $n_1$  bestimmbar.

### Beobachtungen:

- Die Totalreflexion ist Ursache für Naturerscheinungen wie die Fata Morgana oder scheinbar nasse Straßen in der Sommerhitze. Hier entstehen Spiegelbilder durch Totalreflexion zwischen kühlen und heißen Luftschichten.
- Auch das Funkeln von geschliffenen Diamanten ist der Totalreflexion zuzuschreiben. Wegen der hohen Brechzahl von Diamant kommen Lichtstrahlen zwar leicht in den Edelstein hinein, aber erst nach einer mehr oder minder großen Zahl von Totalreflexionen wieder aus dem Stein hinaus.

### Anwendungen:

- Totalreflektierende Prismen, die zur Bildumkehr verwendet werden können.
- Eine wichtige Anwendung der Totalreflexion stellen die sogenannten Lichtleiter dar. Es handelt sich hierbei in der Regel um transparente, flexible Materialien relativ hoher optischer Dichte, in die Licht eingekoppelt und durch Totalreflexion weitergeleitet wird. Vielleicht kennst du die sogenannten Lichtleiter-Lampen, bei denen die Lichtquelle in einem Gehäuse versteckt ist und das Licht durch Glas- oder Kunststofffasern nach außen geleitet wird.
- Bei der Endoskopie (oft wird auch von "Spiegelung" gesprochen) werden Körperhöhlen oder Hohlorgane wie z.B. Luftröhre, Nase, Magen oder Darm von innen betrachtet. Das Endoskop ist meist flexibel und besteht aus einer Beleuchtungseinrichtung mit Kaltlicht und einem optischen System, das die Information vom Organ zum Arzt überträgt. Für beide Zwecke werden Lichtleiter eingesetzt. Oft dient das Endoskop nicht nur zur Diagnostik (Untersuchung) des Menschen, sondern immer häufiger auch zur Therapie. Dazu gibt es die Möglichkeit kleine Gerätschaften (Laser, Zange u.ä.) über den flexiblen Schlauch an das Organ heranzuführen.
- Auch bei der Nachrichtenübertragung werden Glasfasern eingesetzt. Da das Licht, welches durch die Fasern geleitet wird, eine wesentlich höhere Frequenz hat als die elektrischen Signale welche durch die Kupferkabel geleitet werden, gelingt es sehr viel Information durch eine dünne Glasfaser zu schicken. Man sagt, dass sich dadurch ein etwa 10 Tonnen schweres Kupferkabel durch eine Glasfaser der Masse 1 kg ersetzen lässt. Allerdings muss man schon bedenken, dass zur Weiterleitung des Lichtes die Glasfaser allein nicht ausreicht (man braucht immer wieder Signalverstärker usw.). Glasfaserkabel bieten hohe Übertragungsraten bei geringem Platzbedarf, zudem große Überreichweite, Unempfindlichkeit gegenüber äußeren Störfeldern sowie Abhörsicherheit. Sie ermöglichen die Integration sämtlicher heute bekannter Telekommunikationsdienste auf einer Anschlussleitung.
- Beim Mikroskopieren gibt man einen Tropfen Wasser auf das Deckglas des Objektträgers um die Bildhelligkeit zu steigern.



<http://www.dd-56ms.de/unterricht/physik/lichtleiter.gif>

## Bildkonstruktionen und Abbildungsgleichungen

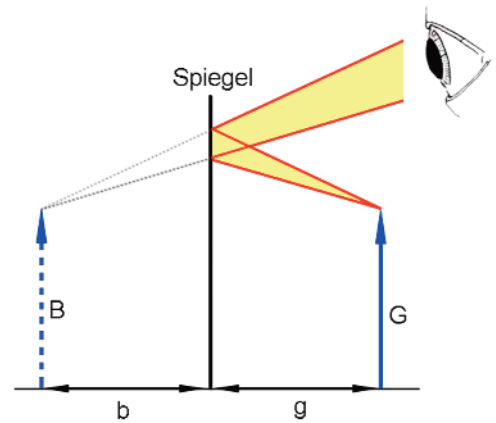
### a) Der ebene Spiegel:

Das Bild B eines Gegenstandes ist immer hinter dem Spiegel und seitenverkehrt. Die Bildgröße B entspricht der Gegenstandsgröße G. Die Bildweite b ist gleich groß wie die Gegenstandsweite g

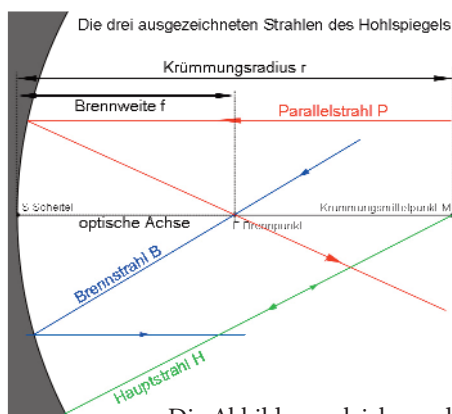
$$B=G, b=g$$

Divergente Lichtstrahlen erzeugen stets virtuelle (scheinbare oder imaginäre) Bilder. Alle von einem Gegenstandspunkt kommenden Strahlen werden so reflektiert, dass die rückwärtige Verlängerung der reflektierten Strahlen einander im zugehörigen Bildpunkt des Gegenstandes schneiden.

Virtuelle Bilder können im Gegensatz zu reellen Bildern nicht auf einem Schirm aufgefangen werden.



### b) Der Hohlspiegel (Konkavspiegel):



Nur achsennahe Strahlen dienen zur Abbildung. Parallel einfallende achsennahe Strahlen werden im Brennpunkt F gesammelt.

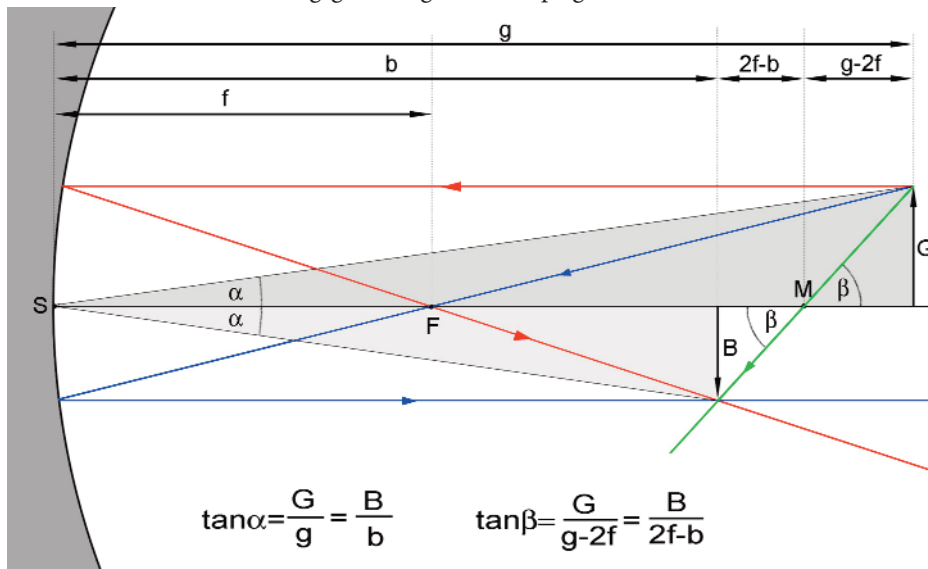
Es gilt:

$$f=r/2$$

Eine Weiterentwicklung des Hohlspiegels ist der Parabolspiegel. Der Vorteil besteht darin, dass achsenferne parallele Strahlen im Brennpunkt gesammelt werden.

Anwendungen: Autoscheinwerfer, Parabolempfangsantenne, Rasierspiegel, Augenspiegel, Spiegelteleskope, ...

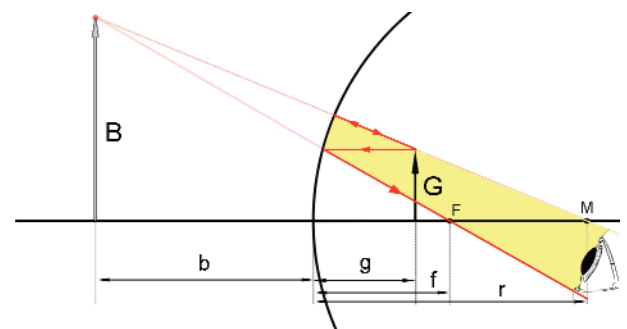
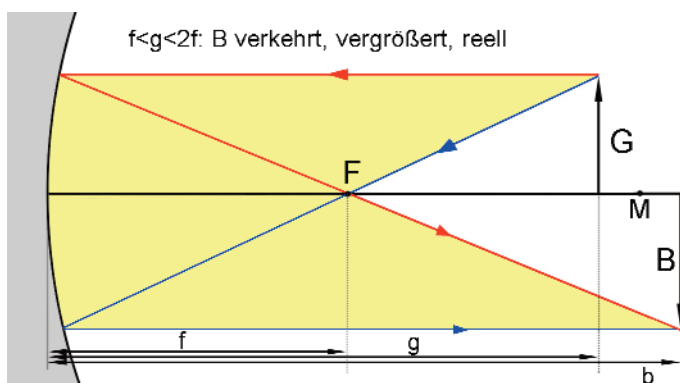
Die Abbildungsgleichung des Hohlspiegels lässt sich mit ähnlichen Dreiecken aus der Abbildungsskizze herleiten.



$$\begin{aligned} \frac{G}{B} &= \frac{g}{b} = \frac{g-2f}{2f-b} \\ g(2f-b) &= (g-2f)b \\ 2gf - gb &= gb - 2fb \\ 2gf &= -2gb - 2fb \quad / : fbg \\ \frac{1}{f} &= \frac{1}{g} + \frac{1}{b} \end{aligned}$$

$g > 2f$ :

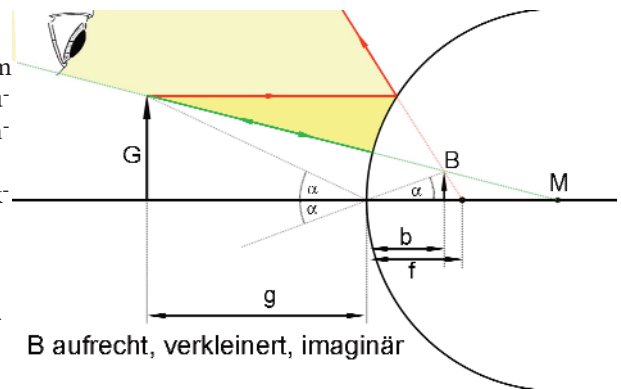
B ist reell, verkehrt und verkleinert. Bei reellen Bildern schneiden sich die Strahlen wirklich. Die Lichtstrahlen sind konvergent. Das Bild kann auf einem Schirm dargestellt werden.



$g < f$ : B aufrecht, vergrößert, imaginär

### c) Der Wölbspiegel (Konvexspiegel)

Parallelstrahlen werden divergent reflektiert. Sie scheinen aus einem scheinbaren Brennpunkt hinter dem Spiegel zu kommen, der Zerstreuungspunkt Z heißt. Der Brennstrahl B läuft scheinbar durch den Brennpunkt und wird als Parallelstrahl reflektiert. Der Hauptstrahl geht scheinbar durch M und wird in sich selbst reflektiert.



Für die Herleitung der Abbildungsgleichung verwenden wir die Absolutbeträge der Strecken g, b und f! Aus den ähnlichen Dreiecken folgt:

**B aufrecht, verkleinert, imaginär**

$$\tan \alpha = \frac{G}{g} = \frac{B}{b} \Rightarrow \frac{G}{B} = \frac{g}{b}$$

$$\frac{G}{g+2f} = \frac{B}{2f-b} \Rightarrow \frac{G}{B} = \frac{g+2f}{2f-b} = \frac{g}{b}$$

$$b(g+2f) = g(2f-b) \Rightarrow bg + 2bf = 2gf - bg \Rightarrow 2bg + 2bf = 2gf \quad / : fbg$$

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

Das Bild B liegt stets hinter dem Spiegel, weshalb die Bildweite negativ anzusetzen ist. Damit ergibt sich die Abbildungsgleichung

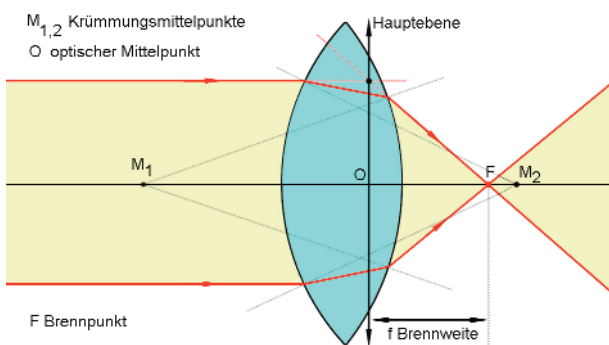
$$\frac{1}{f} = -\frac{1}{b} - \frac{1}{g} \Rightarrow -\frac{1}{f} = \frac{1}{b} + \frac{1}{g}$$

zu

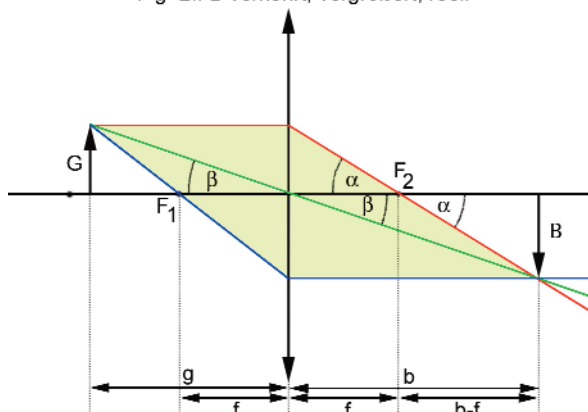
Achtung bei Rechnungen mit der Abbildungsgleichung: g positiv, f positiv, b negativ einsetzen oder die Abbildungsgleichung für Absolutbeträge verwenden!

### d) Die Sammellinse (Konvexlinse)

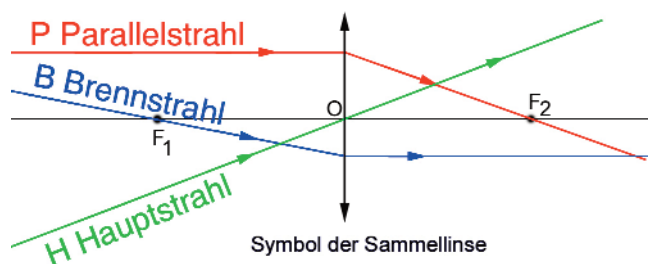
Ein parallel zur optischen Achse einfallender Lichtstrahl wird beim Eintritt in die Linse zum Lot und beim Austritt vom Lot gebrochen. Die zweimalige Brechung ersetzt man durch eine Einfachbrechung an der Hauptebene. Die Vereinfachung ist durch die 3 ausgezeichneten Strahlen ersichtlich.



$f < g < 2f$ : B verkehrt, vergrößert, reell



**Die drei ausgezeichneten Strahlen der Sammellinse**



Symbol der Sammellinse

$$\tan \beta = \frac{G}{g} = \frac{B}{b} \Rightarrow \frac{G}{B} = \frac{g}{b}$$

$$\tan \alpha = \frac{G}{f} = \frac{B}{b-f} \Rightarrow \frac{G}{B} = \frac{f}{b-f}$$

$$\frac{g}{b} = \frac{f}{b-f} \Rightarrow g(b-f) = bf$$

$$gb - gf = bf \quad / : bfg$$

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

## Lupe:

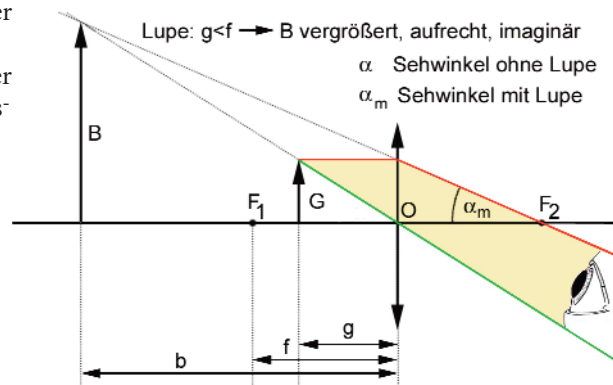
Eine Lupe ist eine Sammellinse mit kleiner Brennweite, bei der sich der abzubildende Gegenstand innerhalb der Brennweite  $f$  befindet. Die Lupe vergrößert den Sehwinkel. Um die Winkelvergrößerung einer Lupe zu berechnen, wählt man die deutliche Sehweite als Gegenstandsweite  $g=s=25\text{cm}$ .  $\alpha$  entspricht dem Sehwinkel ohne Lupe, somit gilt

$$\tan\alpha = G/s$$

Die Winkelvergrößerung  $W$  ist definiert durch

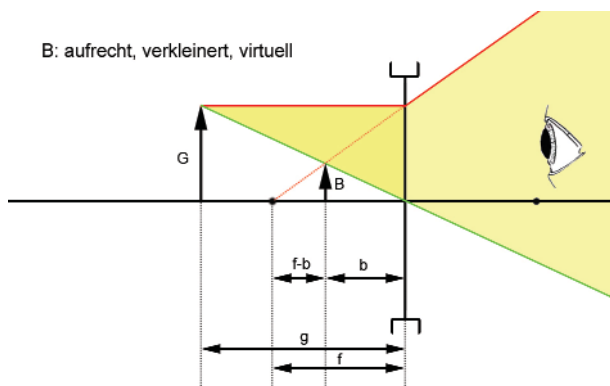
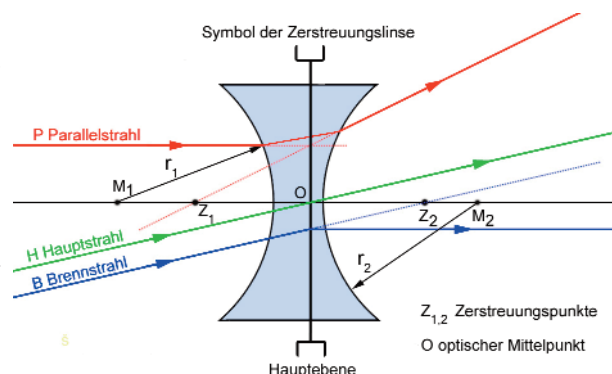
$$W = \frac{\tan\alpha_m}{\tan\alpha} = \frac{\frac{G}{f}}{\frac{G}{s}} = \frac{s}{f}$$

Für  $s=25\text{cm}$  (deutliche Sehweite) und einer Brennweite von  $f=5\text{cm}$  ergibt sich eine Winkelvergrößerung von  $W=25/5=5$ . Leselupen haben Winkelvergrößerungen zwischen 2 und 6.



## e) Zerstreulinse:

Ist die Linse in der Mitte dünner als am Rand, so nennt man sie Konkavlinse. Die zweifache Brechung ersetzt man durch eine einzige Brechung an der Hauptebene. Die 3 ausgezeichneten Strahlen dienen zur Bildkonstruktion bei optischen Instrumenten. Die Herleitung der Abbildungsgleichung mit Absolutbeträgen. Um auf eine leicht merkbare Abbildungsgleichung zu kommen, setzt man die Bildweite stets negativ ein (Gegenstand  $G$  und Bild  $B$  liegen immer auf der gleichen Seite der Linse).



$$\tan\beta = \frac{G}{g} = \frac{B}{b} \Rightarrow \frac{G}{B} = \frac{g}{b}$$

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

$$\frac{g}{b} = \frac{f}{f-b} \Rightarrow g(f-b) = bf$$

$$gf - gb = bf \quad / : bfg$$

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

$$b \text{ negativ} \Rightarrow \frac{1}{f} = -\frac{1}{b} - \frac{1}{g}$$

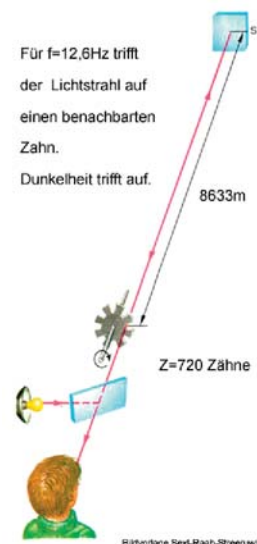
$$-\frac{1}{f} = +\frac{1}{b} + \frac{1}{g}$$

Anwendungen: Fernrohre, Mikroskope, Diaprojektoren, ..

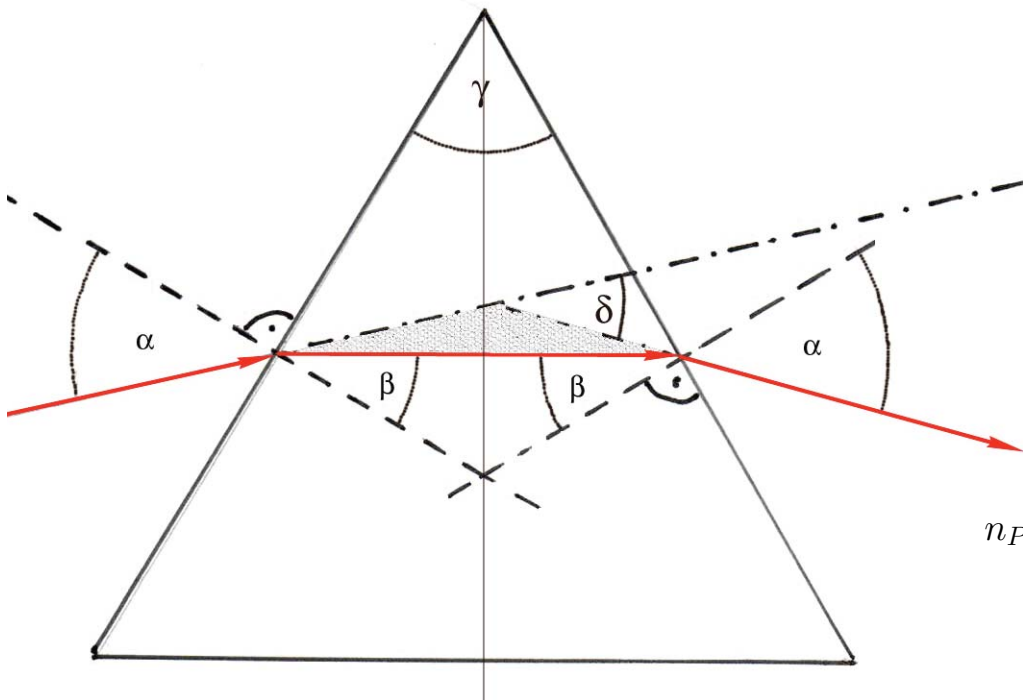
## Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit nach Fizeau

1849 bestimmte der Franzose H. Fizeau auf experimentelle Weise die Geschwindigkeit von weißem Licht. Der Lichtweg des Lichtstrahls führte durch einen um  $45^\circ$  geneigten Halbspiegel, durch ein Zahnradsystem hin zu einem 8.633 km entfernten ebenen Spiegel S. Dort wurde er zurück reflektiert und konnte auf einem Schirm beobachtet werden. Nun setzte Fizeau das Zahnradsystem in Bewegung, dabei traf ein zurückgeworfener Lichtstrahl abwechselnd auf einen Zahn oder eine Lücke. Fizeau beobachtete dementsprechend, dass das Licht an und aus ging. Jetzt erhöhte er die Drehzahl des Zahnrades, bis das Licht ständig aus war, also immer auf ein Zahn traf. Bei 12,6 Umdrehungen trat das erste Mal Dunkelheit auf. Mit den Daten  $s=8633\text{ m}$ ,  $f=12,6\text{ Hz}$  und der Zähnezahl  $Z=720$  ermittelte Fizeau die Lichtgeschwindigkeit von  $c=313274\text{ km/s}$  und lag dem eigentlichen Wert von  $c=299\,711\text{ km/s}$  (in Luft) sehr nahe.

Überprüfe den Wert von Fizeau durch eine Rechnung!



## Prisma - Brechzahlbestimmung



$$\alpha = \frac{\delta + \gamma}{2}$$

$$\beta = \frac{\gamma}{2}$$

$$n_{\text{Prisma}} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{\sin \frac{\delta + \gamma}{2}}{\sin \frac{\gamma}{2}}$$

Bei einem Prisma erreicht die Ablenkung  $\delta$  eines Lichtstrahles ihren kleinsten Wert, wenn Einfalls- und Austrittswinkel gleich sind, d. h. wenn der Strahl das Prisma symmetrisch durchläuft, wobei der im Prisma verlaufende Strahl senkrecht zur Winkelhalbierenden des brechenden Winkels  $\gamma$  steht.

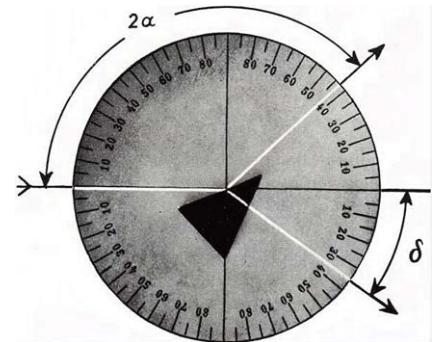
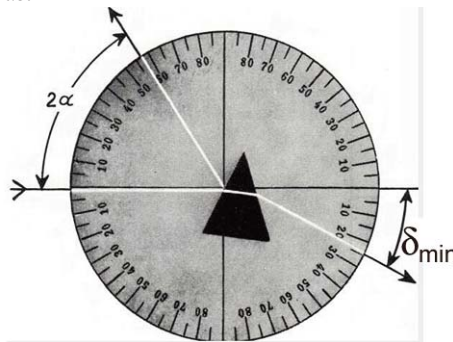
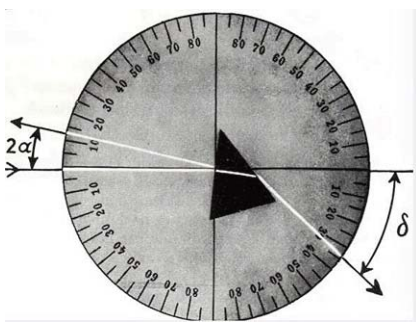
**Materialliste:** optische Scheibe, Lampe, Spaltblende, 1 Prisma, 1 Netzgerät

Aufgabenstellung:

Beweise für den symmetrischen Strahlenverlauf die Aussagen für  $\alpha$  und  $\beta$ !

Bestimme durch Messung den brechenden Winkel  $\gamma$  und den Minimalwinkel  $\delta$ !

Berechne die Brechzahl  $n$  des Prismas!



**Ausführung:**

$\delta_{\min} =$

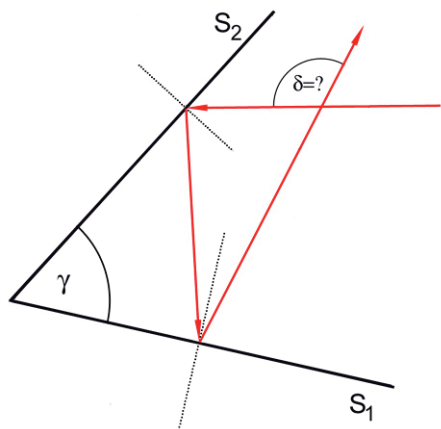
$\gamma =$

$n_{\text{Prisma}} =$

**Erkenntnis:**

## Der Winkelspiegel

Beim Winkelspiegel sind zwei ebene Spiegel  $S_1$  und  $S_2$  unter einem Winkel  $\gamma$  gegeneinander geneigt.

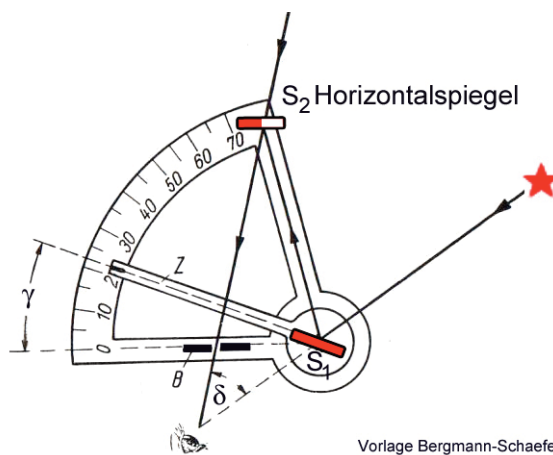


Bestimme den Winkel  $\delta$  zwischen den Lichtstrahlen in Abhängigkeit von  $\gamma$ !

$\delta = \dots\dots\dots$

### Anwendungen:

- Wählt man für  $\gamma = 45^\circ$ , so stehen einfallender und reflektierter Strahl aufeinander senkrecht. Mit diesem Winkelspiegel kann man zwei zueinander senkrechte Winkel abstecken. Man hält den Winkelspiegel so, das man über ihn hinwegsieht und die eine Richtung im Auge hat und durch Hineinblicken in den Spiegel sieht man gleichzeitig in die andere Richtung.
- Eine weitere Anwendung ist der **Spiegelsextant**.  
Der Spiegel  $S_2$  ist nur an seiner unteren Hälfte versilbert, weshalb man über die Blende B mittels eines Fernrohres (nicht im Bild) den Horizont anvisieren kann. Über den Spiegel  $S_1$  wird das Objekt (Stern) in die Horizontalebene gedreht. Der mit dem Spiegel  $S_1$  verbundene Zeiger Z gibt die Winkelstellung der Spiegel zueinander an. Der Höhenwinkel  $\delta$  entspricht dem doppelten Wert des Winkels  $\gamma$ .  
Der Vorteil des Sextanten rührt daher, dass nur  $\frac{1}{6}$  des Kreisumfangs ( $60^\circ$ ) ausreichen, um Winkel bis zu  $120^\circ$  zu messen.
- Tripelspiegel:** Ordnet man drei Spiegel an den Ecken eines Würfels an, so laufen die einfallenden Lichtstrahlen parallel zu den herauskommenden Strahlen. Man benutzt Tripelspiegel als Rückstrahler für Warnzwecke.
- Ein **Kaleidoskop** ist ein in der Regel 12 bis 15 cm langes Rohr, an dessen einem Ende sich meist zwischen zwei Glasplatten kleine, farbige Objekte befinden. Häufig werden Plättchen aus farbigem Glas verwendet. Das andere Ende bildet eine gelochte Scheibe zum Durchsehen. Im Rohr selber sind längs drei (manchmal auch vier) Spiegel angebracht, in denen sich die Gegenstände spiegeln, so dass beim Drehen des Rohres immer neue symmetrische farbige Muster sichtbar werden.



### Mehrfachbilder im Winkelspiegel

Allgemein sieht man bei einem Winkelspiegel mit dem Winkel  $\gamma$  insgesamt  $n = 360/\gamma$  Bilder (den Gegenstand mit eingerechnet).  
Für  $\gamma = 60^\circ$  ergeben sich  $n = 360/60 = 6$  Bilder.  
Versuche die Bilder zu zeichnen!

## Bestimmung der Brennweite einer Sammellinse

### Methode nach Bessel:

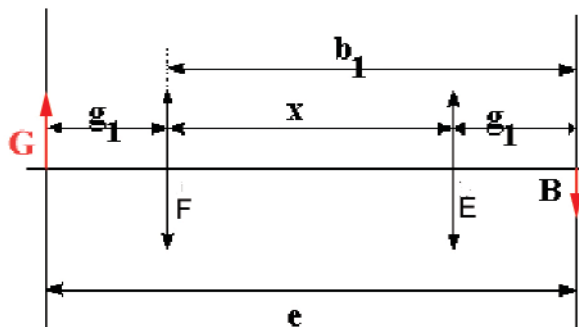
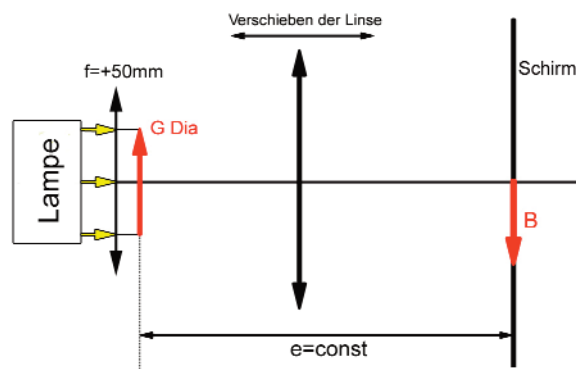
**Material:** Lichtquelle 12V~, 2 Sammellinsen ( $f=50\text{mm}$ , ?), optische Schiene, Schirm, Dia, Blendenhalter, Reiter für d. Schiene, Maßband, Netzgerät, Kabelbox

**Versuchsaufbau:** Lampe auf der Schiene befestigen. Mit der Linse  $f=50\text{mm}$  Glühfaden an der fernen Wand des Physiksaales abbilden. Vor der Linse  $f=50\text{mm}$  wird das Dia zur Abbildung befestigt. Der Schirm wird am Ende der Schiene aufgesetzt. Zwischen Dia und Schirm wird die Linse, deren Brennweite man bestimmen will, montiert.

### Theoretische Überlegungen:

Durch Verschieben der Linse wird das Dia am Schirm scharf abgebildet. Dies ist zweimal möglich, ein verkleinertes Bild in E, ein vergrößertes in F. Nun werden die Abstände  $e$  (Abstand vom Dia zum Schirm) und  $x$  (Entfernung zwischen E und F) gemessen.

Aus den gemessenen Werten  $x$  und  $e$  ergibt sich die Brennweite  $f$  aus folgenden Überlegungen:



$$e = g_1 + b_1$$

$$x = b_1 - g_1$$

$$e + x = 2b_1 \Rightarrow b_1 = \frac{e + x}{2}$$

$$e - x = 2g_1 \Rightarrow g_1 = \frac{e - x}{2}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{g_1} + \frac{1}{b_1} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{2}{e - x} + \frac{2}{e + x}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{2(e + x) + 2(e - x)}{(e - x)(e + x)} \Rightarrow f = \frac{e^2 - x^2}{4e}$$

### Durchführung:

|                 | e (gemessen) | x (gemessen) | f (berechnet) |
|-----------------|--------------|--------------|---------------|
| Versuchsserie 1 |              |              |               |
| Versuchsserie 2 |              |              |               |
| Versuchsserie 3 |              |              |               |
| Versuchsserie 4 |              |              |               |
| Versuchsserie 5 |              |              |               |

Berechne den Mittelwert  $\bar{f}$ !

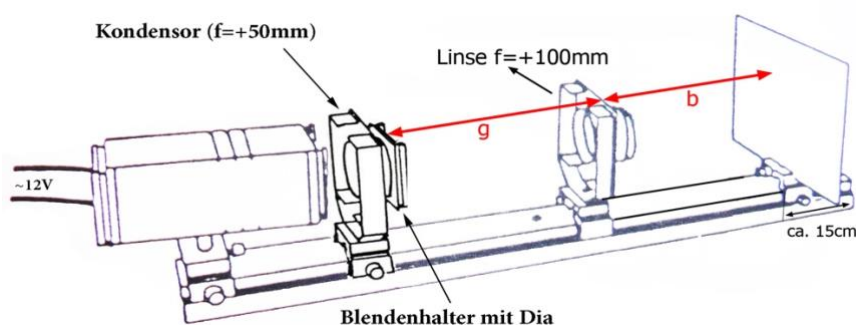
|                                                                                   |                              |        |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|--------|
|  | <b>Schülerversuch: Optik</b> |        |
|                                                                                   | Name:                        | Datum: |

## Brennweitebestimmung nach Abbe

Für die Bestimmung der Brennweite einer einzelnen Linse benötigt man einen Gegenstand  $G$  (Dia), eine Lichtquelle mit der  $f=+50\text{mm}$  Sammellinse, einen Schirm und die Linse, deren Brennweite bestimmt werden soll. Die Position der Linse wird auf einer optischen Bank fixiert. Gegenstand und Schirm werden so positioniert, dass man ein scharfes, verkehrtes, vergrößertes, reelles Bild  $B$  erhält. Eine weitere Scharfstellung wird für einen um  $d$  verschobenen Gegenstand  $G$  vorgenommen. Das Bild  $B'$  ist nun verkleinert, verkehrt und reell. Aus  $d$ , der Gegenstandsgröße  $G$  und den beiden Bildgrößen  $B$  und  $B'$  ergibt sich die Brennweite  $f$  zu

$$f = \frac{d}{\frac{G}{B'} - \frac{G}{B}}$$

**Materialliste:** 1 optische Bank, Experimentierleuchte, Stativstange 10cm, Reiterset, 1 Schirm weiß, 1 Diapositiv, Linsenset, Netzgerät, Kabelbox, Maßrollband



### 1. Aufbau und Durchführung:

- Die Experimentierlampe wird auf der optischen Bank befestigt!
- Die Sammellinse ( $f=+50\text{mm}$ ) wird direkt vor der Lampe montiert!
- Die Sammellinse  $f=100\text{mm}$  wird in der Mitte der optischen Bank (siehe Abbildung) platziert!
- Der Glühfaden wird mittels der Sammellinse  $f=+50\text{mm}$  im Zentrum der Linse  $f$  abgebildet! Dazu hebt bzw. senkt man die Linse  $f=+50\text{mm}$ !
- Der Schirm wird ca. 15cm vor dem Ende der optischen Schiene montiert!
- Das vergrößerte Bild  $B$  erhalten wir durch Verschieben der Linse!  
Die Bildgröße  $B$  wird gemessen und in die Tabelle eingetragen.
- Die Linse  $f$  wird um die Strecke  $d$  verschoben. Mit dem Schirm sucht man das verkleinerte, verkehrte, reelle Bild  $B'$ .  
Mit dem Taschenrechner berechnet man die Brennweite der Linse  $f$ !

| G<br>Gegenstandsgröße | B<br>vergrößertes<br>Bild | B'<br>verkleinertes<br>Bild | d<br>Verschiebung | f<br>Brennweite |
|-----------------------|---------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------------|
|                       |                           |                             |                   |                 |

**Erkenntnis:**

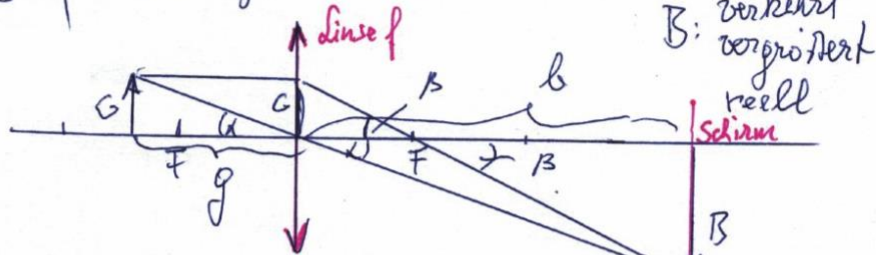
Ableitung der Formel!

$$f = \frac{d}{\frac{G}{B'} - \frac{G}{B}}$$

$B'$  kleines Bild  
 $B$  ... großes Bild

Ableitung von Otto Dolinsek

①

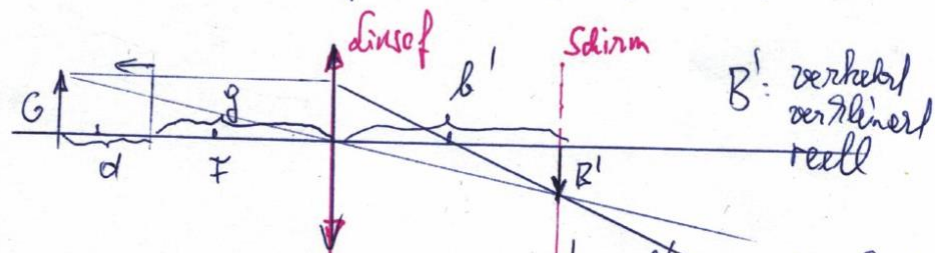


$$1. \tan \alpha = \frac{G}{g} = \frac{B}{b} \Rightarrow \frac{G}{B} = \frac{g}{b} \Rightarrow f = \frac{G}{B} \cdot b$$

$$2. \tan \beta = \frac{G}{f} = \frac{B}{b-f} \quad \frac{G}{B} = \frac{f}{b-f}$$

$$3. \frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b} \Rightarrow \frac{b}{f} = \frac{b}{g} + 1 \Rightarrow \frac{b}{f} = \frac{B}{G} + 1$$

②



$$4. \frac{1}{f} = \frac{1}{g+d} + \frac{1}{b'}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{g+d} + \frac{G}{B'} \cdot \frac{1}{(g+d)}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{g+d} \left( 1 + \frac{G}{B'} \right) \Rightarrow \frac{g+d}{f} = \left( 1 + \frac{G}{B'} \right) \Rightarrow g+d = f \left( 1 + \frac{G}{B'} \right) \Rightarrow$$

$$d = f \left( 1 + \frac{G}{B'} \right) - g \Rightarrow d = f + f \frac{G}{B'} - g \quad \text{ad 1)}$$

$$d = f + f \frac{G}{B'} - \frac{G}{B} \cdot b$$

$$d = f \left( 1 + \frac{G}{B'} - \frac{G}{B} \cdot \frac{b}{f} \right) \Rightarrow$$

$$d = f \left( 1 + \frac{G}{B'} - \frac{G}{B} \cdot \left( \frac{B}{G} + 1 \right) \right) \quad \text{ad 3)}$$

$$d = f \left( 1 + \frac{G}{B'} - 1 - \frac{G}{B} \right)$$

$$d = f \left( \frac{G}{B'} - \frac{G}{B} \right) \Rightarrow f = \frac{d}{\frac{G}{B'} - \frac{G}{B}}$$

## Historischer Überblick

Die Physik unterscheidet drei Gebiete der "Optik" (d.h. die Lehre allen (physikalisch) sichtbaren Lichtes):

- ☐ „geometrische Optik“ ( $\lambda \ll d$ : Wellenlänge des Lichtes ist klein gegenüber der Größe  $d$  der Objekte, die Lichtenergie ist klein zur Empfindlichkeit der Apparaturen)
- ☐ „Wellenoptik“ für Phänomene des mikroskopischen Bereichs (z.B. Beugung, Interferenz und Hologramm  $\rightarrow \lambda \approx d$ )
- ☐ „Quantenoptik“ (liefert eine einheitliche Beschreibung von Teilchen- und Wellenbild des Lichtes)

Historisch gesehen hat die Vorstellung vom Wesen des Lichtes zwischen der Korpustheorie und der Wellentheorie hin und her geschwankt. Newton stellte 1669 eine Korpustheorie auf, in der er annahm, dass das Licht aus sehr kleinen Teilchen besteht, die von den Lichtquellen ausgesandt werden und sich mit großer Geschwindigkeit geradlinig ausbreiten. In dieser Theorie konnten die Erscheinungen der Reflexion und Brechung des Lichtes erklärt werden, nicht jedoch die Interferenzerscheinungen. Dieser Theorie stellte daher Huygens 1677 eine Wellentheorie entgegen. Hiernach stellt Licht elastische Wellen dar, die sich in einem das Weltall erfüllenden Medium, dem sog. „Lichtäther“, ausbreiten. Damit konnten zwar alle Phänomene wie Reflexion, Brechung, als auch Interferenz und Beugungerscheinungen (Young 1807, Fresnel 1815) und die Polarisierbarkeit befriedigend erklärt werden, jedoch fehlte dieser Theorie der Nachweis des postulierten Lichtäthers. Diese Schwierigkeit hat schließlich Maxwell 1871 in seiner elektromagnetischen Lichttheorie und H. Hertz 1886 experimentell bestätigen können.

Die Wellentheorie des Lichtes kann jedoch keinen Aufschluss über alle Phänomene geben, bei denen Licht mit Materie in Wechselwirkung tritt wie bei der Emission und Absorption von Licht, der Lichtstreuung, der Fluoreszenz usw. Zur Erklärung dieser Phänomene wird ein korpustularer Charakter („Photonentheorie des Lichtes“) angenommen.

## Das elektromagnetische Spektrum

Im kurzwelligeren Bereich schließt sich

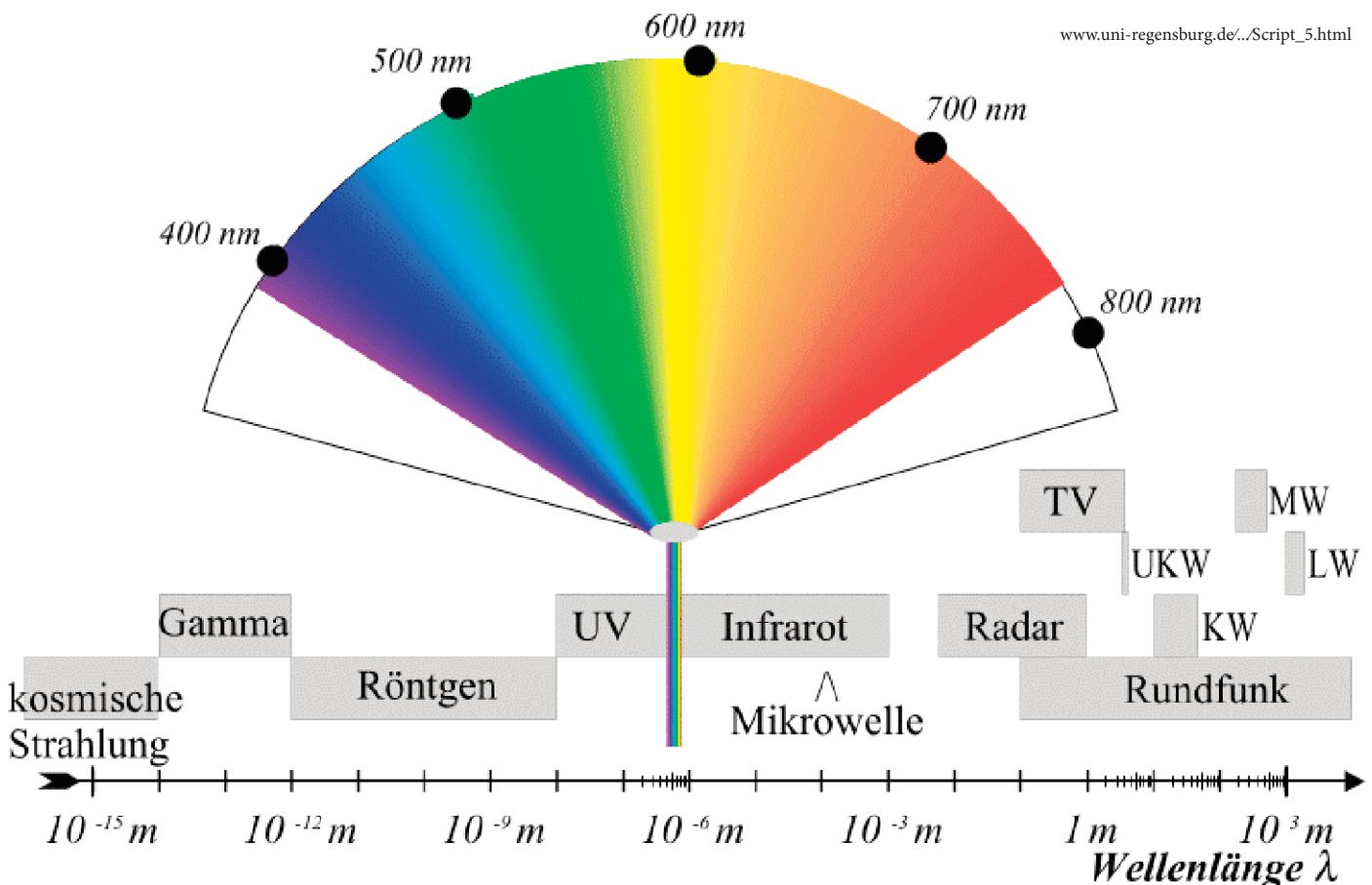
- ♦ die ultraviolette (UV bis  $10^{-8}$  m),
- ♦ die Röntgen- (bis  $10^{-12}$  m),
- ♦ die Gamma- (bis  $10^{-14}$  m) und
- ♦ die kosmische Strahlung (kleiner  $10^{-14}$  m) an.

Im langwelligeren Bereich grenzt die

- ♦ Ultra- oder infrarote (IR bis max.  $10^{-3}$  m) einschließlich der Wärmestrahlung (Mikrowelle um  $10^{-4}$  m oder 2640 GHz)
- ♦ Radarwellen ( $3 \cdot 10^{-3}$  m bis 1 m) und der

♦ Richtfunk, Satellitensteuerung und Rundfunk an:

- UHF ("Ultra-High-Frequency") von  $10^{-1}$  m—1 m (3000 MHz—300 MHz)
- VHF ("Very-High-Frequency") von 1 m—3 m (oder 300 MHz—100 MHz)
- UKW ("Ultra-Kurz-Welle") von 2,7 m—3,43 m (oder 108 MHz—87 MHz)
- KW ("Kurz-Welle") in verschiedenen Bändern von 11,5 m—50 m (oder 26,1 MHz—5,9 MHz)
- MW ("Mittel-Welle") von 186,9 m—571,5 m (oder 1605 kHz—525 kHz)
- LW ("Lang-Welle") von 1053 m—2000 m (oder 285 kHz—150 kHz).
- Oberhalb dieser Grenzen finden wir das „Hintergrundbrummen“ (Ober- und Grundfrequenzen) von schnell laufenden Elektromotoren wie
- das Trägersignal unseres Wechselstromes aus der Steckdose.



## Wellenoptik (Basiswissen):

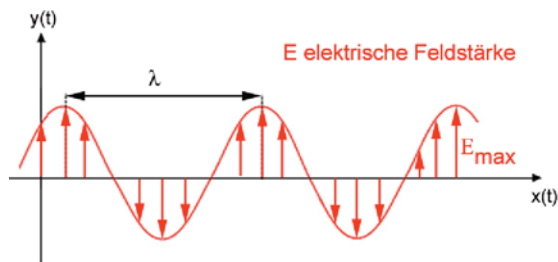
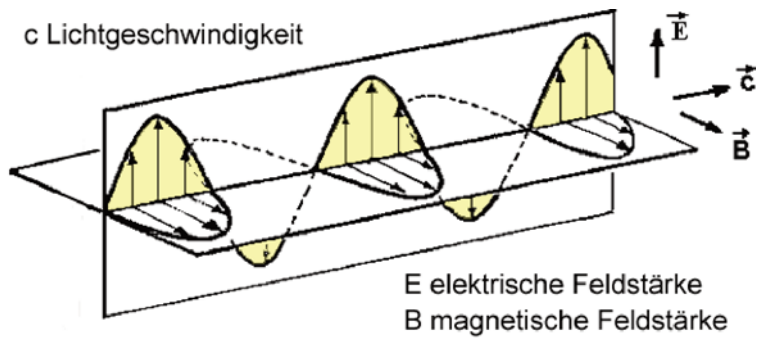
Das Licht ist eine elektromagnetische Transversalwelle. E- und B-Welle stehen senkrecht aufeinander und bewegen sich mit Lichtgeschwindigkeit fort. Das Licht braucht kein Medium zur Fortpflanzung.

Für optische Zwecke wird nur die E-Welle betrachtet.

Eine Lichtwelle ist **linear polarisiert**, wenn der elektrische Feldvektor E in einer Ebene schwingt.

Unter der Wellenlänge  $\lambda$  versteht man den Abstand zwischen zwei Punkten, die in gleicher Phase schwingen.

Die maximale Auslenkung aus der Ruhelage einer Schwingung wird Amplitude, eine beliebige Auslenkung Elongation genannt.



$\lambda$  Wellenlänge  
T Schwingungsdauer  
f Frequenz der Strahlung  
c Lichtgeschwindigkeit

E Energie eines Energiequants  
h Plancksches Wirkungsquantum  
 $h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$   
 $E = h \cdot f$

$$c = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot \frac{1}{T} = \lambda \cdot f$$

Der Gangunterschied d zweier Wellen mit gleicher Wellenlänge entspricht der Strecke, die man eine Welle verschieben muss, damit gleichartige Schwingungszustände zur Deckung kommen. Je nach Gangunterschied ergibt sich **konstruktive bzw. destruktive Interferenz**.

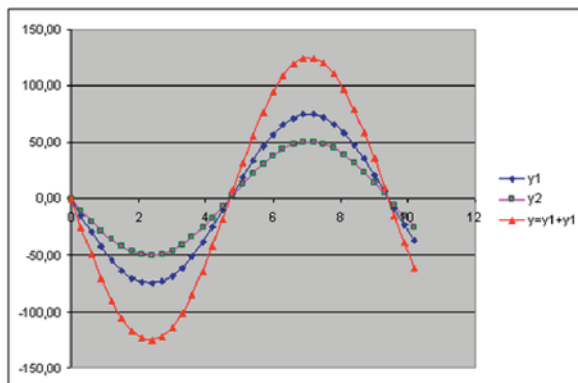
Die **Wellengleichung** lautet:  $y = A \cdot \sin\left(\omega\left(t - \frac{x}{v}\right) + \varphi\right)$

y Elongation des Oszillators  
v Wellengeschwindigkeit  
 $\varphi$  Phasenverschiebung

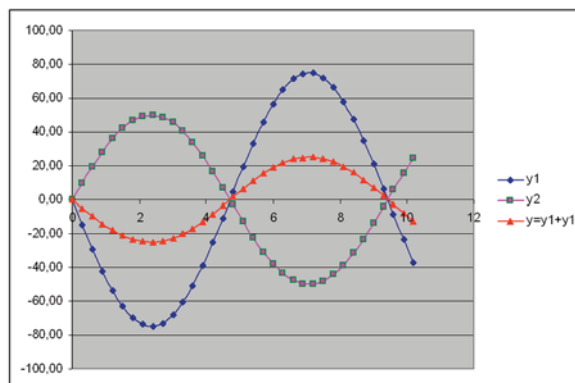
$\omega = 2\pi f$  Kreisfrequenz  
x Ort des Oszillators

Übung mit Excel: Versuche die Interferenzen grafisch darzustellen!

Konstruktive Interferenz:  $d=0, \lambda, 2\lambda, \dots n\lambda$



Destruktive Interferenz:  $d = \lambda/2, 3\lambda/2, \dots (2n+1)\lambda/2$



## Emission und Absorption des Lichtes

Wechselt ein Elektron von einem höheren Energieniveau auf ein niedrigeres Energieniveau, so gibt es die Energiedifferenz  $\Delta E = h \cdot f$  in Form von Strahlung ab.

Die abgestrahlten Energiebeträge sind sehr klein, daher verwendet man eine kleinere Energieeinheit, das Elektronenvolt eV:  $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ .

Die Verweildauer eines Elektrons im angeregten Zustands beträgt etwa  $10^{-8} \text{ s}$ .

Die Wellenzüge, die von der Leuchtdiode oder einer Glühlampe ausgesandt werden, sind sehr kurz. Das führt dazu, dass Interferenz nicht beobachtet werden kann, weil der eine Wellenteil den Schirm schon erreicht hat und dort einen Leuchtpunkt hinterlässt, während der andere noch auf dem Weg dorthin ist.

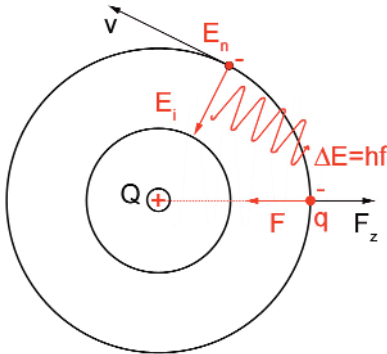
Beim Laser sind die Wellenzüge länger, weshalb räumliche und zeitliche Kohärenz auftreten und Interferenzen leichter beobachtet werden können.

Umgekehrt kann durch Absorption des Lichtes die Energie  $E = h \cdot f$  auf ein Elektron übertragen werden. Dabei bewegt sich das Elektron in ein höheres Energieniveau. Es verharrt dort ca.  $10^{-8} \text{ s}$  und fällt in ein niedrigeres Energieniveau zurück. Die abgegebene Strahlung hat nicht mehr die gleiche Richtung wie die absorbierte.

Im durchgehenden Licht fehlt eine Frequenz f (Beispiel: Fraunhofersche Linien). Diese Spektren werden Absorptionsspektren genannt.

## Balmer Serie

### Theorie zum Bohrschen Atommodell



$m = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$  Masse des Elektrons  
 $q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$  Ladung des Elektrons  
 $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ ..}$  Feldkonstante  
 $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$  Plancksches Wirkungsquantum  
 $Z = 1$  Ordnungszahl für Wasserstoff  
 $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$  1 Elektronenvolt

Für die Balmer Serie ist  $i=2$  und  $n=3, 4, 5, 6$ . Berechnungen mit Excel ergeben folgende Spektrallinienwellenlängen!

### 1 Coulombsche Anziehungskraft = Zentripetalkraft

$Q = Zq$  Ordnungszahl,  $q$  Elementarladung,  $Q$  Ladung des Atomkerns

$$\frac{mv^2}{r} = \frac{Qq}{4\pi\epsilon_0 r^2} = \frac{Zqq}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad (1)$$

$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ elektrische Feldkonstante}$

$r$  Bohrscher Atomradius,  $m$  Masse des Elektrons,  $v$  Geschwindigkeit des Elektrons

### 2 Quantenbedingung

$$2r\pi = n\lambda = n \frac{h}{mv} \quad (2)$$

$\lambda$  Wellenlänge des Elektrons, Plancksches Wirkungsquantum  $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$

$n \in \mathbb{N}$  Hauptquantenzahl

$$\text{Aus (1)} \Rightarrow v^2 = \frac{Zq^2}{4\pi\epsilon_0 r m} \quad \text{Aus (2)} \Rightarrow v = \frac{nh}{2r\pi m}$$

$$\Rightarrow r = \frac{n^2 h^2 \epsilon_0}{\pi m Z q^2} \Rightarrow v = \frac{Z q^2}{2 n h \epsilon_0}$$

### 3 Energiesatz

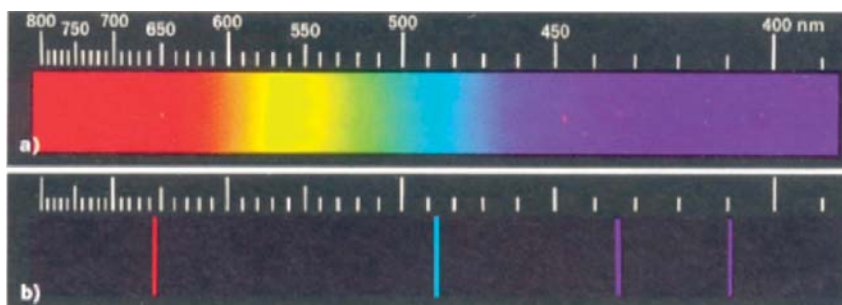
$$E_n = E_{kin} + E_{pot} = \frac{mv^2}{2} - \frac{Zq^2}{4\pi\epsilon_0 r} = -\frac{mZ^2 q^4}{8\epsilon_0^2 h^2} \cdot \frac{1}{n^2} \quad (3)$$

### 4 Quantensprung

$$\Delta E = E_n - E_i = \frac{mZ^2 q^4}{8\epsilon_0^2 h^2} \cdot \left( \frac{1}{i^2} - \frac{1}{n^2} \right) = hf \quad \text{für } n > i \quad (4)$$

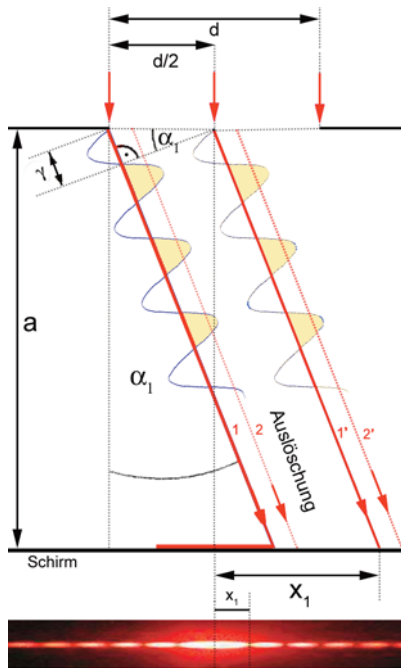
$$f = \frac{mZ^2 q^4}{8\epsilon_0^2 h^3} \cdot \left( \frac{1}{i^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad \text{Frequenz der Spektrallinie}$$

| Hauptquantenzahl n   | Schale        | Energie in Joule | Energie in eV |
|----------------------|---------------|------------------|---------------|
| 1                    | K             | -2,18E-18        | -13,60        |
| 2                    | L             | -5,45E-19        | -3,40         |
| 3                    | M             | -2,42E-19        | -1,51         |
| 4                    | N             | -1,36E-19        | -0,85         |
| 5                    | O             | -8,72E-20        | -0,54         |
| 6                    | P             | -6,05E-20        | -0,38         |
| <b>Balmer Serie:</b> |               |                  |               |
| Spektrallinie        | E=hf in Joule | f Frequenz in Hz | in nm         |
| $H_\alpha$           | 3,03E-19      | 4,57E+14         | 656,63        |
| $H_\beta$            | 4,09E-19      | 6,17E+14         | 486,39        |
| $H_\gamma$           | 4,58E-19      | 6,91E+14         | 434,28        |
| $H_\delta$           | 4,84E-19      | 7,31E+14         | 410,39        |



## Beugung

Die Beugung ist die „Ablenkung“ von Wellen (Transversalwellen, Longitudinalwellen) an einem Hindernis. Bei Beugungserscheinungen kann sich die Welle im geometrischen Schattenraum des Hindernisses (Spalt, Gitter, Fangspiegel usw.) ausbreiten. Beugung tritt auf, wenn die Dimension des das Hindernisses in der Größenordnung der Wellenlänge liegt.



### Beugung am Einfachspalt:

Eine monochromatische Welle wird an einer Öffnung mit der Breite  $d$  gebeugt.

|            |                                                             |
|------------|-------------------------------------------------------------|
| $\gamma$   | Gangunterschied                                             |
| $a$        | Schirmabstand                                               |
| $\alpha_1$ | Beugungswinkel zum 1. Beugungsminimum                       |
| $x_1$      | Abstand des Beugungsminimums 1. Ordnung von der Mittellinie |

Theorie: Der Strahl 1 der linken Spalthälfte interferiert mit dem Strahl 1' der rechten Spalthälfte. Der Gangunterschied beträgt  $\lambda/2$ , weshalb destruktive Interferenz auftritt. Für die Nachbarstrahlen 2 - 2', 3 - 3' usw. bleibt der Gangunterschied gleich. Alle Strahlen, die im Winkel  $\alpha_1$  durch den Spalt treten, löschen einander aus.

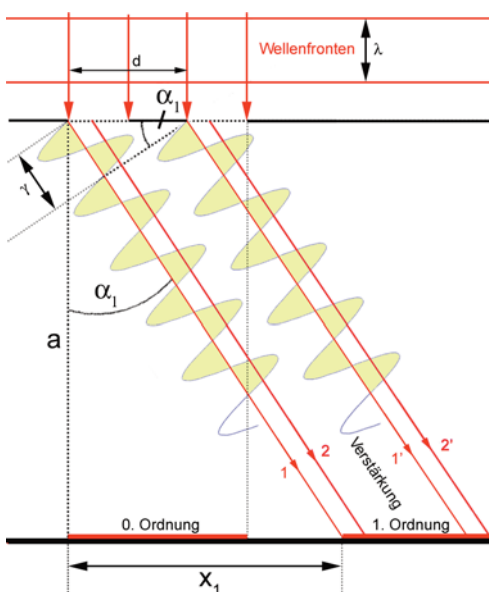
Beugungsbedingung für die Minima:

$$\tan \alpha_1 = \frac{x_1}{a} \Rightarrow \alpha_1 \text{ bestimmbar!}$$

$$\sin \alpha_1 = \frac{\gamma}{d} = \frac{\frac{\lambda}{2}}{d} = \frac{\lambda}{2d}$$

$$\text{Allgemein gilt für Beugungsminima: } \sin \alpha_k = \frac{k\lambda}{d} \quad k = 1, 2, 3, \dots$$

### Beugung am Doppelspalt:



Eine monochromatische Welle wird am Doppelspalt gebeugt.

|            |                                                        |
|------------|--------------------------------------------------------|
| $\lambda$  | Wellenlänge der monochromatischen Lichtquelle          |
| $d$        | Gitterkonstante                                        |
| $\gamma$   | Gangunterschied                                        |
| $a$        | Schirmabstand                                          |
| $\alpha_1$ | Beugungswinkel zum 1. Beugungsmaximum                  |
| $x_1$      | Abstand des Beugungsmaximums 1. Ordnung zur 0. Ordnung |

Theorie: Der Strahl 1 des linken Spaltes interferiert mit dem Strahl 1' des rechten Spaltes. Der Gangunterschied beträgt  $\lambda$ , weshalb konstruktive Interferenz auftritt. Für die Nachbarstrahlen 2 - 2', 3 - 3' usw. bleibt der Gangunterschied gleich. Alle Strahlen, die im Winkel  $\alpha_1$  durch den Doppelspalt treten, verstärken einander.

Beugungsbedingung für die Maxima:

$$\tan \alpha_1 = \frac{x_1}{a} \Rightarrow \alpha_1 \text{ bestimmbar!}$$

$$\sin \alpha_1 = \frac{\gamma}{d} = \frac{\lambda}{d}$$

$$\text{Allgemein gilt für Beugungsmaxima: } \sin \alpha_k = \frac{k\lambda}{d} \quad k = 0, 1, 2, 3, \dots$$

### Beugung am Strichgitter:

Die Beugungsbilder am Strichgitter sind intensiver, schärfer und besser aufgelöst. Die Beugungsbedingung für die Maxima lautet gleich wie beim Doppelspalt.

Beugt man weißes Licht, so erkennt man, dass die Farbe rot stärker gebeugt wird als die Farbe blau. Die 0. Ordnung ist weiß.

Aufgabenstellung: Wellenlängenmessung, Dickenmessung, Spektren in Emission und Absorption, ..

1. Ordnung

0. Ordnung

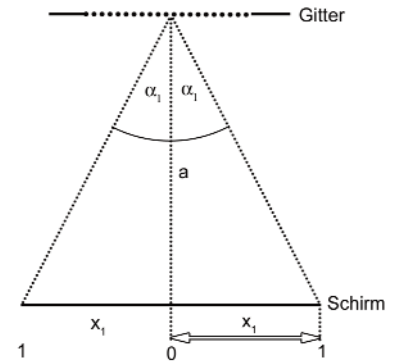
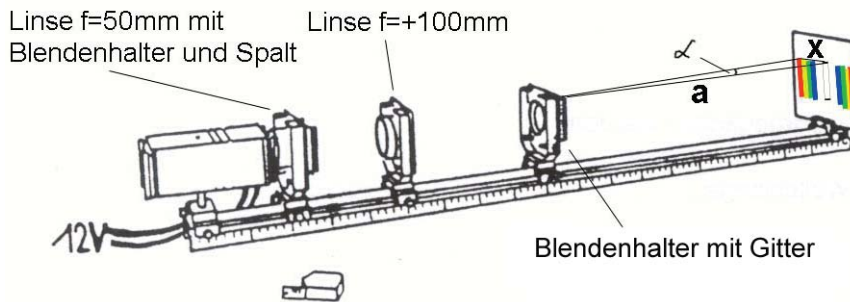
1. Ordnung



## Wellenlängungsmessung mittels Beugung am Strichgitter

Die Wellenlänge des verwendeten Lichtes ist zu bestimmen.

**Materialliste:** 1 Stativschiene, 1 Experimentierlampe, 1 Stativstange 10cm, 1 Reiterset, 1 Netzgerät, 1 Schirm weiß, Kabelbox, 2 Linsen- und Blendenhalter, 1 Gitter  $d=300\text{Striche/mm}$ , 1 Linse  $f=+50\text{mm}$ , 1 Linse  $f=+100\text{mm}$



Aufbau gemäß der Abbildung.

### Versuchsdurchführung:

- Paralleles Licht erzeugen (Glühfaden an ferner Wand mit  $f=+50\text{mm}$  abbilden).
- Spalt mit  $f=+100\text{mm}$  am Schirm abbilden.
- Gitter in den Strahlengang bringen (Blendenhalter direkt auf Linse  $f=+100\text{mm}$  anbringen).
- Beugungsmuster soll symmetrisch zur 0. Ordnung liegen.
- $a$ ,  $x_1$  messen und in die Tabelle eintragen ( $a$  Abstand Gitter-Schirm,  $x_1$  Abstand 0. Ordnung -1. Ordnung)
- Wellenlänge berechnen

$$\sin \alpha_1 = \frac{x_1}{\sqrt{a^2 + x_1^2}} = \frac{\lambda}{d} \Rightarrow \lambda = \frac{d \cdot x_1}{\sqrt{a^2 + x_1^2}}$$

| Farbe | $x_1$ | $\lambda$ |
|-------|-------|-----------|
| Blau  |       |           |
| Grün  |       |           |
| Gelb  |       |           |
| Rot   |       |           |

Erkenntnis:

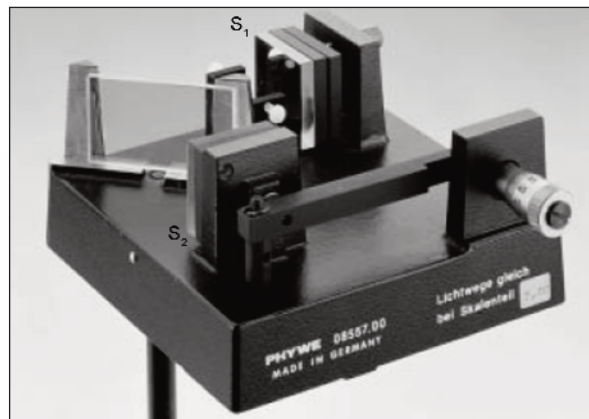
## Wellenmessung mit dem Interferometer nach Michelson

Im Interferometer nach Michelson wird ein Lichtbündel in zwei Teilbündel gleicher Intensität aufgespalten, die das Interferometer wieder gemeinsam verlassen. Der Gangunterschied beider Teilbündel um Vielfache der Wellenlänge kann durch das entstehende Interferenzmuster beobachtet werden.

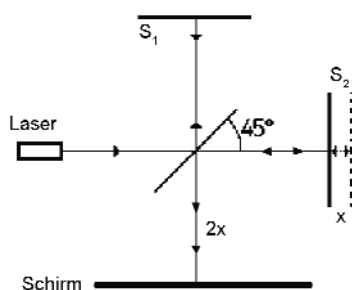
Die Änderung der Weglänge ist am Interferometer ablesbar und erlaubt bei Verwendung von monochromatischem Licht eine Bestimmung der Wellenlänge.

Der Spiegel  $S_2$  ist mit Hilfe einer Mikrometerschraube und einer 1:10 Hebelunterstützung parallel zu seiner Spiegelnormale verschiebbar.

Ein Teilstrich der Mikrometerschraube entspricht somit einer Spiegelverschiebung um  $1\mu\text{m}$ .



<http://www.phywe.de/download/products/0855700d.pdf>



Der Versuchsaufbau erfolgt gemäß der Abbildung. Der einfallende Laserstrahl wird durch einen halbdurchlässigen Spiegel, der  $45^\circ$  zum einfallenden Strahl geneigt ist, geteilt. Beide Strahlen werden nun an den Spiegeln reflektiert und am Schirm abgebildet. Der Spiegel  $S_1$  besitzt zwei Justierschrauben, mit deren Hilfe die Strahlen zur Deckung gebracht werden.

Eine Sammellinse ( $f=20\text{mm}$ ) wird in den Strahlengang gebracht, um das Laserlicht zu streuen und so deutlichere Interferenzen zu erhalten. Am Schirm kann man nun Interferenzmuster (Streifen, Kreise) beobachten. Durch Nachjustieren ergibt sich ein Interferenzbild von konzentrischen Kreisen.

Zur Bestimmung der Wellenlänge des Lichtes, geht man am besten von einem Interferenzmuster mit dunklem Zentrum aus und verschiebt den Spiegel  $S_2$  um die Wegstrecke  $x$ , so dass  $n$  durchlaufende Dunkelzonen zu beobachten sind; für die Wellenlänge gilt somit

$$n \cdot \lambda = 2 \cdot x \Rightarrow \lambda = \frac{2 \cdot x}{n}$$

### Aufgabenstellung:

In unserem Fall wurden  $n=100$  Ringwechsel gezählt.

Dabei wurde die Schraube  $x = \dots\dots\dots\mu\text{m}$  im Urzeigersinn weitergedreht.

Daraus ergibt sich die Wellenlänge  $\lambda = \dots\dots\dots\text{nm}$ .

## Beugung an einer CD

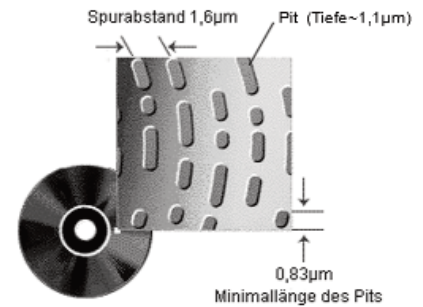
Die CD besitzt ein für Phasenreflexionsgitter charakteristische Reflexionsschicht (Aluminiumschicht). Die Struktur dieser Schicht ist verantwortlich für die bei Lichteinfall unübersehbaren Farberscheinungen (Spektralzerlegung des Lichtes). Da die Gitterkonstante  $d$  des CD-Gitters gerade dem Spurbabstand der CD entspricht, kann diese über folgenden Versuch bestimmt werden: Das Licht eines He-Ne-lasers ( $\lambda = 632,9\text{nm}$ ) wird senkrecht auf eine CD gelenkt. Aus dem Interferenzmuster, welches im Abstand  $a$  vom Gitter auf einem Schirm betrachtet wird, kann der Abstand  $x_1$  zwischen der 1-ten und 0-ten Ordnung entnommen werden.

Wenn der Laserstrahl in das Plastikmaterial eintritt, ändert sich seine Geschwindigkeit von  $300\,000\text{ km/s}$  auf circa  $190\,000\text{ km/s}$ .

Wie groß ist die Brechzahl der Plastikschicht (Polykarbonat)? ( $n = \dots\dots\dots$ )

Die Wellenlänge des Rotlichtlasers verkürzt sich in der Plastikschicht von  $780\text{nm}$  auf

Warum beträgt die Pittiefe ungefähr  $\frac{1}{4}$  der Wellenlänge im Plastikmaterial?



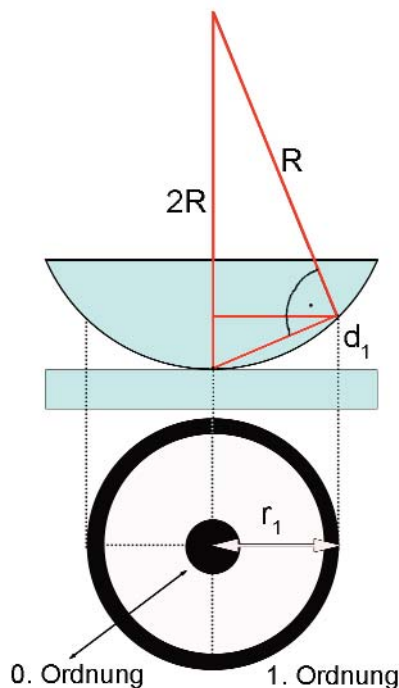
nm.

$$\lambda = \frac{d \cdot x_1}{\sqrt{a^2 + x_1^2}} \Rightarrow d = \frac{\sqrt{a^2 + x_1^2} \cdot \lambda}{x_1}$$

Bestimme durch eine einfache Messung den Spurbabstand einer CD!  
a= x<sub>1</sub>= λ=632,9nm

d=

## Das Newtonsche Farbenglas



Das Newtonsche Farbenglas dient zur Demonstration von Interferenzerscheinungen und zur Bestimmung der Wellenlänge.

Die destruktive Interferenzbedingung im reflektiertem Licht für die 1. Ordnung lautet:

$$2d_1 = \lambda \text{ oder Allgemein: } 2d_k = k\lambda \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

Höhensatz:

$$r_1^2 = d_1(2R - d_1) = 2d_1R - d_1^2 \quad d_1^2 \text{ klein von 2. Ordnung}$$

$$r_1^2 = 2d_1R$$

$$r_1^2 = \lambda R \text{ oder } r_k^2 = k\lambda R \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

Für das Farbenglas ist  $R = 12\text{cm}$ .

**Aufgabenstellung:**

Verwende den He-Ne Laser! ( $\lambda = 632,9\text{nm}$ )!

Bestimme die Dicke der Luftschicht  $d_1$ !

Warum sind bei weißem Licht Interferenzfarben sichtbar?