
Vorwort

Die Physik ist eine grundlegende Naturwissenschaft und Basis der meisten technischen Disziplinen; sie bezieht ihre Erkenntnisse aus der befruchtenden Wechselbeziehung zwischen Experiment und Theorie. Die *persönliche Begegnung* mit dem physikalischen Experiment im Rahmen eines Grundpraktikums ist daher ein wesentliches Ausbildungselement für alle angehenden Physiker, Naturwissenschaftler und Ingenieure. Hauptziel im physikalischen Grundpraktikum ist daher das Lernen durch *eigenes Tun*, das eine notwendige Ergänzung zu dem rezeptiven Lernen in Vorlesungen und aus Büchern darstellt. Im besten Falle kommt es zum Verstehen durch *Begreifen*.

Hieraus lassen sich als wichtigste **Ausbildungsziele** eines Physikalischen Grundpraktikums formulieren:

- Einführung in die *Physik als Erfahrungswissenschaft* durch die experimentierende Beschäftigung mit den Grundphänomenen der Physik, wozu im Praktikum vor allem auch die Messung physikalischer Größen und die Überprüfung physikalischer Gesetzmäßigkeiten zählt.
- Kennenlernen und Vertrautwerden mit wichtigen *Meßverfahren* und -geräten sowie deren Eigenschaften.
- Einführung in die *Methodik wissenschaftlicher experimenteller Arbeit*. Hierzu gehören insbesondere Versuchsplanung und -aufbau, Durchführung und Protokollierung der Messungen, eine geeignete Auswertung der Meßwerte sowie schließlich eine kritische Bewertung mit Fehlerbetrachtungen und die Diskussion der Meßergebnisse.

Damit diese Ziele erreicht werden und das Experimentieren sich nicht in einem bloßen Probieren erschöpft, muß ein Experimentator sowohl die physikalischen Zusammenhänge als auch die meßtechnischen Bedingungen überschauen. Für beides will dieses Praktikumsbuch eine Hilfe sein. Es ist entstanden aus den schriftlichen Anleitungen für das Physikalische Grundpraktikum an der Technischen Universität Berlin und wendet sich an **Studierende der Physik, der Natur- und Ingenieurwissenschaften** an Universitäten und Fachhochschulen. Für Physikstudierende erstreckt sich das Praktikum über drei Semester, während zukünftige Mathematiker, Informatiker, Mediziner und Naturwissenschaftler (wie Chemiker, Biologen und Geowissenschaftler) sowie Ingenieure (wie z. B. Bau-, Elektro-, Maschinenbau- und Wirtschaftsingenieure) eine ihrer Fachrichtung angepaßte Aufgabenauswahl für einen ein- bis zweisemestrigen Kurs treffen können.

Übersicht über die verwendeten Logos und deren Bedeutung

	Ziel Wichtigste Lernziele der Aufgaben oder Aufgabenteile.
	Literatur Hinweise auf einführende oder weiterführende Literaturquellen.
	Grundlagen Physikalisches Grundwissen zur Aufgabe.
	Zubehör Benötigte Apparate und Geräte.
	Meßaufgabe Vorschläge zur Durchführung von Experimenten und Messungen.
	Teilmeßaufgabe
	Auswertung Vorschläge zur Auswertung einer Meßaufgabe.
	Teilauswertung
Formel in rotem Rahmen gehört zum Grundwissen.	
Formel in grauem Rahmen ist wichtig.	

Zu **12 Kapiteln I-XII** sind die experimentellen Aufgaben aus **53 Themenkreisen** zusammengefaßt. Jeder Themenkreis enthält eine Zahl von **Teilaufgaben**, aus denen für einen Experimentiertermin eine Auswahl zusammengestellt werden kann. Für jede dieser experimentellen Teilaufgaben ist eine Gewichtung (z. B. 1/3, 1/2, 2/3, 1/1) angegeben, die den Zeitbedarf angibt. Während eines Praktikumstermins mit typisch 4 Stunden experimenteller Arbeit sollen Aufgaben im Umfang von 1/1 bearbeitet werden.

Studierende von Fachrichtungen, in denen wöchentlich weniger Praktikumsstunden erforderlich sind, bearbeiten Aufgaben mit einer entsprechend geringeren Gewichtung.

Die möglichen Kombinationen verschiedener Teilaufgaben erlauben den Praktikumsveranstaltern eine **Differenzierung** für die verschiedenen Fachrichtungen und schaffen zugleich auch ein wünschenswertes Auswahlangebot für die Studierenden.

Die Darstellung der 53 Themenkreise in diesem Buch ist stets in der gleichen Weise strukturiert. Diese Struktur wird durch **grafische Logos** visuell unterstützt. Der Formulierung des allgemeinen *Lernziels*  folgen zunächst Hinweise auf die *Literatur* , die zur ergänzenden Vorbereitung auf die Aufgabe herangezogen werden kann. Zur Erleichterung der Suche in Standardlehrbüchern sind jeweils *thematische Stichworte* angegeben. Zusätzlich werden spezielle Quellen genannt. Die anschließende Darstellung der *physikalischen Grundlagen*  enthält sowohl die für das Verständnis der zu untersuchenden Phänomene benötigten Grundlagen als auch die der verwendeten Meßverfahren. Dabei sind zum Grundwissen gehörende *Formeln* rot unterlegt, andere für die Aufgabe wichtige Formeln sind grau unterlegt. Besonders wichtiger Text ist als Merksatz rot gekennzeichnet. *Fettgedruckte* Worte bezeichnen Schlüsselbegriffe, die für den behandelten Stoff von grundlegender Bedeutung sind. *Kursivgedruckte* Worte bezeichnen andere wichtige Fachtermini, die oft an anderer Stelle ausführlich erläutert sind – siehe dazu das **Stichwortverzeichnis**.

Bei den experimentellen Aufgaben ist das *Lernziel*  der jeweiligen Teilaufgabe formuliert, gefolgt von Angaben zum Meßverfahren und zum *Handwerkszeug und Zubehör* . Die eigentlichen *Meßaufgaben* werden jeweils durch eine Stoppuhr  eingeführt. Schließlich gibt es noch Hinweise zur *Auswertung der Versuche* . Eine tabellarische Übersicht über die verwendeten Logos und deren Bedeutung, siehe Randspalte, findet sich auch auf dem beigefügten Lesezeichen, das zusätzlich mit einem Replika-Gitter für optische Beugungsexperimente ausgestattet ist.

Dieses Lehrbuch ist aus der Arbeit der Autoren als Praktikumsveranstalter erwachsen. Es stützt sich dabei auch auf die langjährigen Arbeiten von Kollegen, die das Physikalische Grundpraktikum in der Vergangenheit mit großem Engagement mit dem Ziel weiterentwickelt haben, den Studierenden eine inhaltlich und methodisch stets moderne experimentelle Einführung in die Physik zu geben. Stellvertretend für alle anderen sei hier Prof. Dr. Gerd Koppelman (†1992) erwähnt. Ihnen allen gilt unser Dank. Wir danken ferner mehreren Generationen engagierter wissenschaftlicher

Mitarbeiter, die durch ihre neuen Ideen bei der Weiterentwicklung der Praktikumsaufgaben und der zugehörigen Skripten Grundlagen für dieses Buch gelegt haben. In diesen Dank beziehen wir auch die vielen studentischen Mitarbeiter mit ein, die in der täglichen Arbeit bei der Betreuung der Praktikumsstudierenden für eine Fülle von Anregungen gesorgt haben. Schließlich sei dem Verlag, insbesondere Herrn Dr. Kölsch und Frau Treiber für ihre unermüdliche und konstruktive Förderung dieses Buchprojekts gedankt.

Wir wünschen uns, daß die künftigen Praktikumsstudierenden dieses Buch gerne und mit gutem Erfolg nutzen.

Berlin, Januar 2001

H. J. Eichler
H.-D. Kronfeldt
J. Sahm

34. Optische Geräte



Kennenlernen von Eigenschaften optischer Instrumente wie Auge, Lupe, Fernrohr, Dia-Projektor, Fotoapparat. Aufbau elementarer optischer Geräte.



Standardlehrbücher (Stichworte: Auge, Lupe, Okular, Fernrohr, Vergrößerungsvermögen, Auflösung, Pupille),

Einführung zu Themenkreis 33. Linsen,

Naumann/Schröder: Bauelemente der Optik.



Vergrößerung und Auge

Der **Schwinkel** ε ist der Winkel, unter dem ein Objekt dem Beobachter erscheint, Bild 34.1. Die Vergrößerung eines optischen Instrumentes ist definiert durch die

$$\text{Winkelvergrößerung} \quad \Gamma = \frac{\varepsilon'}{\varepsilon},$$

wobei ε der Schwinkel ohne Instrument und ε' der Schwinkel mit Instrument sind. Bei kleinen Winkeln gilt näherungsweise $\Gamma \approx \frac{\tan \varepsilon'}{\tan \varepsilon}$.

Die Vergrößerung darf nicht mit dem

$$\text{Abbildungsmaßstab} \quad \beta = \frac{y'}{y}$$

für ebene Bilder verwechselt werden (Bild 33.14 auf Seite 346).

Das optische Instrument **Auge**, das nahezu eine Kugel mit r ca. 12 mm ist, Bild 34.2, besteht im wesentlichen aus der lichtempfindlichen **Netzhaut** sowie aus einem Linsensystem, das aus der Hornhaut, der vorderen Augenkammer und der **Linse** gebildet wird. Die Brechkraft dieser Linse wird durch Muskeln geregelt. Dieses Linsensystem besitzt stets zwei unterschiedliche Brennweiten, da sich vor und hinter der **Augenlinse** verschiedene Medien mit unterschiedlichen Brechzahlen befinden. Bei **Akkommodation** (automatische Scharfstellung des Auges) auf ∞ ergibt sich vor dem Auge $f_{\infty} = 17$ mm und im Auge $f'_{\infty} = 23$ mm; beim Nahsehen ergeben sich Brennweiten von z. B. $f_{\text{Nah}} = 14$ mm und $f'_{\text{Nah}} = 19$ mm. Die Hornhaut wirkt durch ihre starke Krümmung als Sammellinse von ca. 40 Dioptrien und liefert den größten Beitrag zur Gesamtbrechkraft des

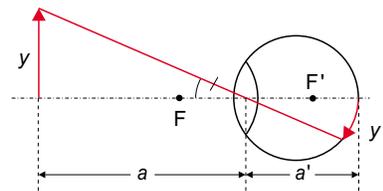
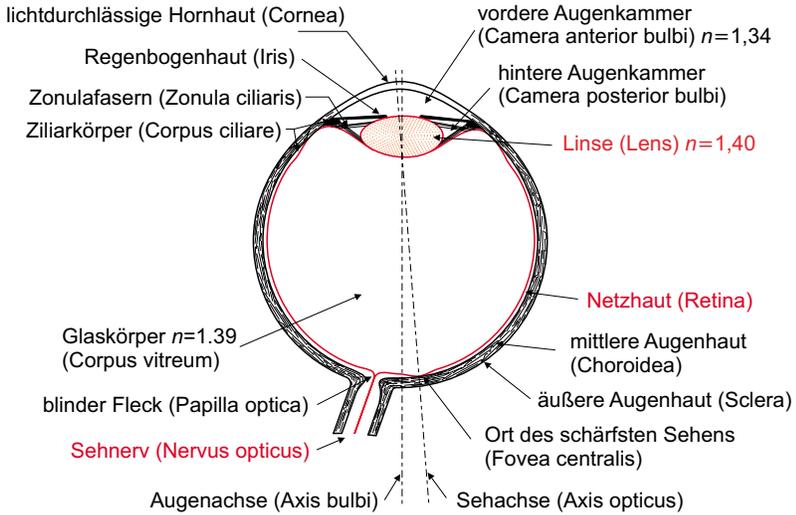


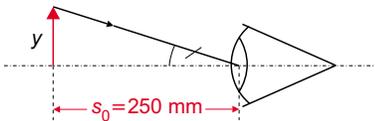
Bild 34.1. Schwinkel bei Betrachtung eines Gegenstandes mit dem Auge

Bild 34.2. Übersicht über den Aufbau des Augapfels (Bulbus oculi)

Auges. Die Linse mit einem Durchmesser von 10 mm beim Erwachsenen ist durch Zonulafasern in der hinteren Augenkammer aufgehängt. Die Regenbogenhaut bildet eine lichtdurchlässige Öffnung, die Pupille, die wie eine Blende beim Fotoapparat den gesamten Lichtfluß in das Auge regelt.

Der Durchmesser der **Pupille** d kann je nach Helligkeit zwischen ca. 2 mm (Tagesehen) und 7,5 mm (Nachtsehen) variieren. Die *Sehschärfe* des Auges ist bei $d = 3$ mm am größten, da bei größeren Werten bereits Farbfehler und die sphärische Aberration eine Rolle spielen. Bei kleineren Werten von d wächst der Einfluß der Beugung und verringert das **örtliche Auflösungsvermögen**, d. h. die Fähigkeit, zwei eng benachbarte Objektpunkte noch getrennt zu erkennen. Beim Pupillendurchmesser $d = 3$ mm ist dieses Auflösungsvermögen maximal, der noch auflösbare Winkelabstand beträgt $\varepsilon = 1$ Bogenminute $\approx 3 \cdot 10^{-4}$ rad. Die optische Abbildung im Auge erfolgt auf die *Netzhaut*, die mit speziellen Lichtempfängern, den *Stäbchen* für das Nachtsehen und den *Zapfen* für das Farbsehen, ausgestattet ist.

Optische Instrumente wie Lupe (Okular), Mikroskop und Fernrohr dienen der Vergrößerung des Seh winkels, unter dem das Auge sehr kleine, bzw. weit entfernte Objekte sieht. Für die Berechnung der Vergrößerung hat man eine **Bezugssehweite** bzw. *deutliche Sehweite* definiert, Bild 34.3:

**Bild 34.3.** Bezugssehweite bzw. deutliche Sehweite s_0

Bezugssehweite $s_0 = 250$ mm .



Lupe und Okular

Eine **Lupe** kurzer Brennweite, die dicht vor das Auge gehalten wird, ermöglicht die Betrachtung kleiner Gegenstände y aus Entfernungen s , die wesentlich kleiner als die *Bezugssehweite* des Auges s_0 sind, Bild

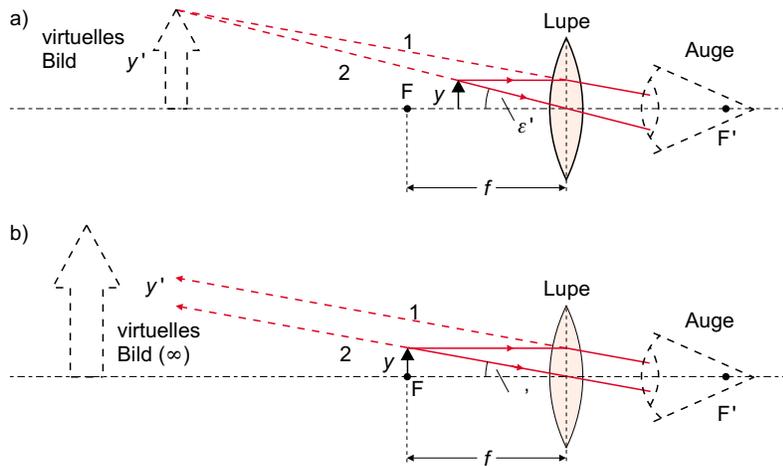


Bild 34.4. Beobachtung eines virtuellen Bildes durch eine Lupe. Eingezeichnet sind der Parallelstrahl (1) und der Mittelpunktssstrahl (2); (a) Objekt ist innerhalb der einfachen Brennweite, (b) Objekt ist im Brennpunkt F, das virtuelle Bild liegt dann sehr weit ("in unendlicher Entfernung") von der Lupe

34.4a. Man beobachtet ein virtuelles Bild y' . Bringt man den Gegenstand genau in die Brennebene der Lupe, so beobachtet man das virtuelle Bild y' im ∞ , Bild 34.4b. Als Winkelvergrößerung der Lupe Γ_L erhält man in diesem speziellen Fall die

$$\text{Lupenvergrößerung} \quad \Gamma_L = \frac{\varepsilon'}{\varepsilon} \approx \frac{y/f}{y/s_0} = \frac{s_0}{f} .$$

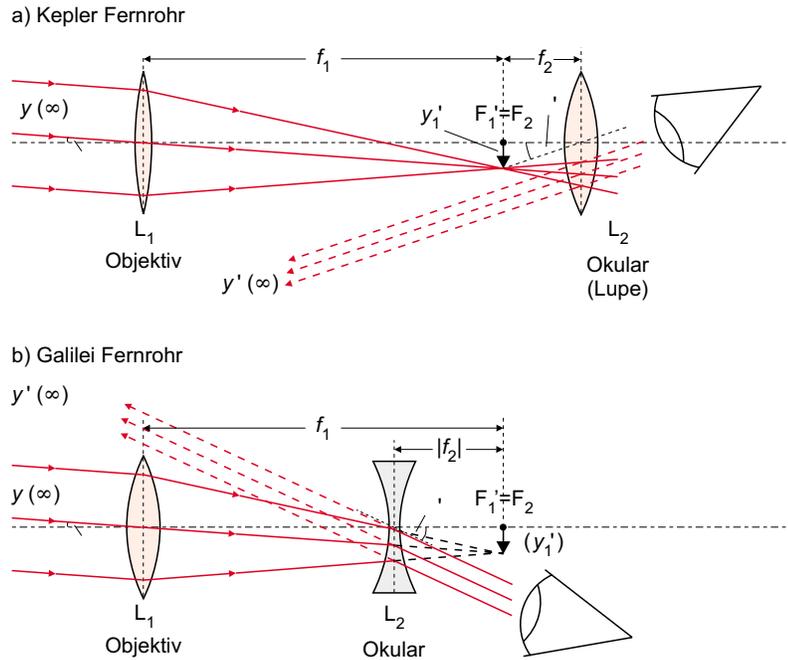
Dabei ist angenommen, daß das Objekt y ohne Lupe in der deutlichen Sehweite s_0 betrachtet wird. Wird die Brennweite der Lupe f klein gewählt, so erhält man, da f im Nenner steht und s_0 konstant ist, einen großen Wert für die Vergrößerung Γ_L . Eine kleine Brennweite erfordert allerdings kleine Krümmungsradien der Linsenoberfläche, was letztlich die Vergrößerung einer Lupe auf Werte kleiner als 100:1 begrenzt.

Okulare sind Lupen, die aus zwei oder mehr Linsen zusammengesetzt sind und mit denen reelle Zwischenbilder in optischen Geräten (z. B. Fernrohre, Mikroskope) vergrößert betrachtet werden. Als optische Kenngröße wird auch bei Okularen die Lupenvergrößerung benutzt. Steht auf einem Okular z. B. $8x$, d. h. $\Gamma_L = 8$, so ergibt sich mit $s_0 = 250$ mm eine Brennweite des Okulars von $f_{Ok} = 31,25$ mm.



Fernrohre nach Kepler und Galilei

Ein **astronomisches Fernrohr** oder **Keplersches Fernrohr** ist in Bild 34.5a gezeigt. Das **Objektiv**, Linse L_1 , entwirft von dem sehr weit (∞) entfernten Gegenstand y ein umgekehrtes reelles Bild der Größe y'_1 in seiner Brennebene. Dieses Zwischenbild wird durch ein **Okular**, Linse L_2 , als virtuelles Bild im ∞ betrachtet, wenn $F'_1 = F_2$ gilt. Es ergibt sich in diesem Spezialfall die folgende

Bild 34.5. (a) Astronomisches oder Kepler-Fernrohr und (b) Galilei-Fernrohr**Winkelvergrößerung eines Kepler (astronomischen) Fernrohres**

$$\Gamma_{\text{Kep}} = \frac{\varepsilon'}{\varepsilon} \approx \frac{y'_1/f_2}{y'_1/f_1} = \frac{f_1}{f_2} = \frac{f_{\text{Objektiv}}}{f_{\text{Okular}}} .$$

Das heißt die Fernrohrvergrößerung wird groß, wenn f_1 groß, f_2 hingegen klein ist. Die Baulänge ℓ des Kepler -Fernrohres ist einfach die Summe der beiden Brennweiten:

$$\text{Baulänge des Kepler-Fernrohres} \quad \ell = f_1 + f_2 .$$

Das Prinzip des **Galilei-Fernrohres** zeigt Bild 34.5b. Das *Objektiv*, Linse L_1 würde vom weit entfernten (∞) Gegenstand in der Brennebene ein reelles Bild der Größe y'_1 , wie beim Kepler-Fernrohr, entwerfen. Man bringt jedoch vor diese Ebene eine Zerstreuungslinse L_2 mit der negativen Brennweite f_2 gerade so an, daß die Brennpunkte F'_1 und F_2 zusammenfallen. Das Auge beobachtet dann, ebenfalls wie beim Kepler-Fernrohr, ein virtuelles Bild im ∞ , dieses ist hier jedoch aufrecht. Die

$$\text{Winkelvergrößerung eines Galilei-Fernrohres} \quad \Gamma_{\text{Gal}} = \frac{f_1}{|f_2|} ,$$

ist gleich der eines Keplerfernrohres, wenn die Absolutwerte der Brennweiten gleich sind. Für eine möglichst hohe Vergrößerung sind f_1 möglichst

groß und f_2 klein zu wählen. Das Galilei-Fernrohr findet eine praktische Anwendung im **Opernglas**, da die Baulänge hier gegenüber dem Kepler-Fernrohr entscheidend verkürzt ist und man ohne eine dritte Zusatzlinse (beim Kepler-Fernrohr wird noch eine sog. Umkehrlinse nötig) ein aufrechtes Bild erhält:

$$\text{Baulänge des Galilei-Fernrohres} \quad \ell = f_1' - |f_2| \quad .$$

Bei **Ferngläsern** werden als Kenngrößen die Winkelvergrößerung Γ und der Durchmesser D_{EP} der Eintrittspupille (im einfachsten Fall der Durchmesser der Objektivlinse) angegeben: 8×30 bedeutet, daß $\Gamma = 8$ und $D_{EP} = 30$ mm sind. Ferner ist oft noch das **Sehfeld** angegeben, z. B. als Felddurchmesser in 1000 m Abstand: *Objektfeld 120 m auf 1000 m*.

Fernrohre werden, neben der Beobachtung entfernter Objekte, z. B. auch zur Veränderung von parallelen Strahldurchmessern eingesetzt. Bild 34.6a zeigt eine **Strahleinengung** und Bild 34.6b eine **Strahlaufweitung**. So können z. B. parallele Laserstrahlen mit dem Verhältnis der Durchmesser von **Eintrittspupille** D_{EP} (im einfachsten Fall der Linsendurchmesser des Objektivs) und **Austrittspupille** D_{AP} (Linsendurchmesser des Okulars) aufgeweitet werden, Bild 34.6b. Aus Bild 34.6 folgt für die

$$\text{Strahlaufweitung bzw. -einengung} \quad \frac{D_{EP}}{D_{AP}} = \frac{f_1}{f_2} \quad .$$



Dia-Projektor

Bei einem **Dia-Projektor** wird durch ein (Projektions-Objektiv) das transparente Objekt (Diapositiv) stark vergrößert auf einen Projektionsschirm (Leinwand) abgebildet, Bild 34.7. Um das von der Lichtquelle ausgehende Licht möglichst gut auszunutzen und gleichzeitig das Dia gleichmäßig auszuleuchten, wird die Lampe mit einer weiteren Linse, dem **Kondensator**, in das Projektions-Objektiv abgebildet und das Dia dicht hinter dem Kondensator angeordnet. Man erhält demnach zwei verkettete Strahlengänge, den *Beleuchtungsstrahlengang* und den *Abbildungsstrahlengang*; diese Art der Beleuchtung und Abbildung wird als **Köhlerscher Strahlengang** bezeichnet. Zusätzlich wird oft noch mit einem Hohlspiegel ein Bild der Lampenwendel neben der Originalwendel erzeugt und so das rückwärts abgestrahlte Licht ebenfalls ausgenutzt.

Ein Diaprojektor erzeugt ein reelles, aber umgekehrtes Bild. Da man das Bild des Dias natürlich aufrecht sehen will, muß man es umgekehrt in den Dia-Projektor stecken; die Pfeilspitze des Dias zeigt deshalb in Bild 34.7 nach unten.

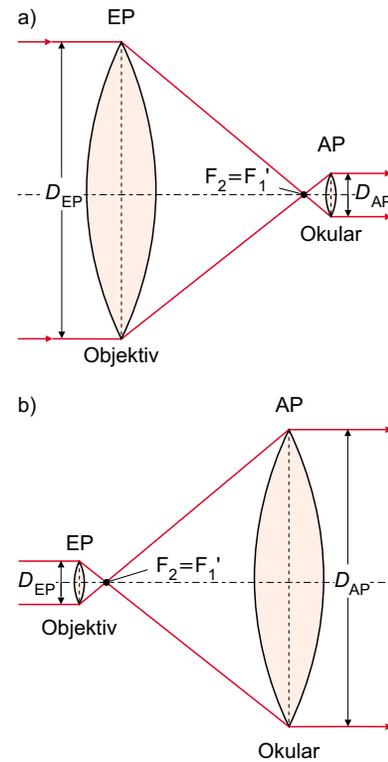
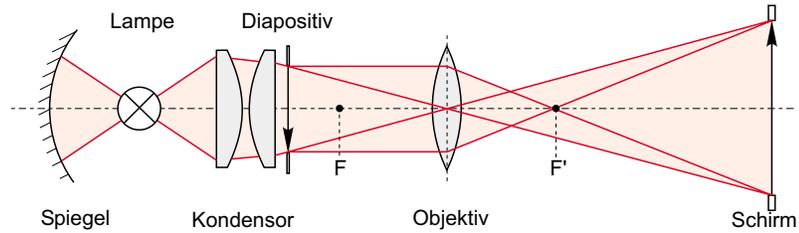


Bild 34.6. Fernrohr zur Laserstrahlaufweitung in den Strahlengang gestellt: (a) Strahleinengung, (b) Strahlaufweitung

Bild 34.7. Dia-Projektor mit Abbildungs- und Beleuchtungsstrahlengang

Fotoapparat

Ein **Fotoapparat** besteht aus dem *Objektiv*, einer in ihrem Durchmesser veränderlichen *Blende* und der Filmebene. Die weit verbreitete Kleinbildkamera besitzt ein Bildformat von 24 mm x 36 mm. Als Objektive kommen *Normalobjektive* mit Brennweiten von typisch 50 mm, *Weitwinkelobjektive* mit Brennweiten < 50 mm, *Teleobjektive* mit Brennweiten > 50 mm und *Vario- oder Zoomobjektive* mit veränderlichen Brennweiten z. B. 28 mm-250 mm zur Anwendung. Für die Größe der Blendenöffnung sind bestimmte **Blendenzahlen** k festgelegt:

Blendenzahl

$$k = \frac{f}{D_{EP}} \quad \text{mit} \quad k = 1 \quad 1,4 \quad 2 \quad 2,8 \quad 4 \quad 5,6 \quad 8 \quad 11 \quad 16 \quad \dots$$

mit der *Objektivbrennweite* f und dem Durchmesser der *Eintrittspupille* D_{EP} , die in der Regel durch den Durchmesser der Blende bestimmt ist. Aus der gegebenen Formel für die Blendenzahl $k = f/D_{EP}$ ergibt sich, daß der Durchmesser der verstellbaren Blende, z. B. einer *Irisblende*, um so kleiner ist, je größer die Blendenzahl ist.

Da die **Bildhelligkeit** H proportional zu dem durch die Linse tretenden Lichtstrom Φ ist, also proportional zur Flächengröße der Blende:

$$H \sim \Phi \sim \frac{\pi D_{EP}^2}{4} \quad ,$$

ist sie umgekehrt proportional zum Quadrat der Blendenzahl k :

$$H \sim \frac{1}{k^2} = \left(\frac{D_{EP}}{f} \right)^2 \quad .$$

Auch eine ideale Linse kann nur von *einer* Gegenstandsebene ein vollständig scharfes Bild liefern; gewöhnlich will man mit einem Fotoapparat jedoch Objekte abbilden, die eine gewisse *räumliche Tiefe* aufweisen. Liegt bei der Abbildung des Objektpunktes O die Filmebene ein kleines Stück t' hinter oder auch vor dem Bildpunkt O' , so wird anstelle eines Punktes ein kleiner *Zerstreuungskreis* mit dem Durchmesser δ registriert, Bild 34.8. Da $t'/a' = \delta/D_{EP}$ gilt, erhält man

$$t' = \frac{\delta f}{D_{EP}} = \delta k \quad , \quad \text{wenn} \quad a' \approx f \quad .$$

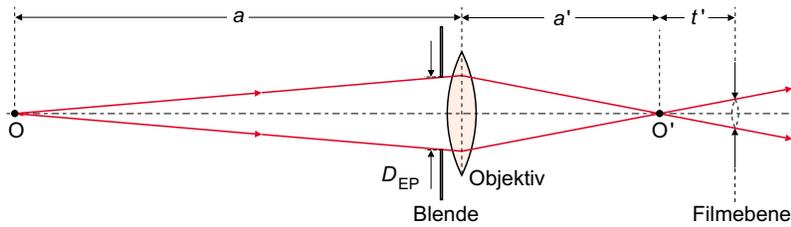


Bild 34.8. Abbildung im Fotoapparat. Unter Berücksichtigung der Schärfentiefe darf ein Bildpunkt O' um bis zu $\pm t'$ außerhalb der Filmebene liegen

Auch bei absolut scharfer Abbildung ist die Auflösung fotografischer Bilder durch die Körnigkeit des Filmes auf etwa $30\text{-}50\ \mu\text{m}$ begrenzt. Es genügt daher, daß der Durchmesser δ des *Unschärfenkreises* auf dem Film unterhalb dieser Auflösungsgrenze bleibt, d. h.

$$\delta \leq 50\ \mu\text{m} \quad .$$

Nach der Formel wird die **Schärfentiefe** $\pm t'$ um so größer, je kleiner der Blendendurchmesser D_{EP} bzw. je größer die Blendenzahl k ist. Entsprechend einer Bildweite $a' \pm t'$ im Bildraum lassen sich Objekte mit einer gewissen Tiefenausdehnung von $a_1 < a < a_2$ gleichzeitig hinreichend scharf abbilden. Nach der Abbildungsgleichung gilt:

$$\frac{1}{a_1} = \frac{1}{f} - \frac{1}{a' + t'} \quad \text{und} \quad \frac{1}{a_2} = \frac{1}{f} - \frac{1}{a' - t'} \quad .$$

34.1 Kepler- oder Astronomisches Fernrohr (1/3)



Aufbau eines Kepler-Fernrohres als astronomisches Fernrohr und mit Umkehrlinse. Beobachtung weit entfernter Objekte.



Sammellinsen mit verschiedenen Brennweiten, optische Bank oder Schiene auf einem Stativ, optische Reiter oder Kreuzmuffen, Linsenklammhalter oder Linsenhalter mit Schraubfassung und Zwischenringen, Lineal, Taschenlampe zur Orientierung im abgedunkelten Raum.



Kepler-Fernrohr

Es soll ein **Keplersches Fernrohr** oder *astronomisches Fernrohr* aus Einzellinsen aufgebaut und die Funktion dadurch geprüft werden, daß weit entfernte Objekte beobachtet werden. Die ungefähre Lage der optischen Teile ist auszumessen und zu skizzieren.



Eine Umkehrlinse wird eingebaut, um ein aufrechtes Bild eines weit entfernten Objektes zu erzielen. Man skizziere die Lage der optischen Bauteile.



Die Kenngrößen der Geräte wie Winkelvergrößerung Γ_{Kep} und Baulänge ℓ sind zu bestimmen. Wie unterscheiden sich die Bauformen mit und ohne Umkehrlinse?

34.2 Galilei-Fernrohr (Opernglas) (1/3)



Aufbau eines Galilei-Fernrohres und Verwendung als astronomisches Fernrohr (Beobachtung weit entfernter Objekte) und als Opernglas.



Sammel- und Zerstreuungslinsen mit verschiedenen Brennweiten, optische Bank oder Schiene auf einem Stativ, optische Reiter oder Kreuzmuffen, Linsenklemmhalter oder Linsenhalter mit Schraubfassung und Zwischenringen, Taschenlampe.



Galilei-Fernrohr

Es wird ein *Galilei-Fernrohr* mit den vorhandenen Linsen aufgebaut und die Funktion dadurch geprüft, daß weit entfernte Objekte beobachtet werden. Die ungefähre Lage der optischen Teile ist auszumessen und zu skizzieren.



Die Kenngrößen der Geräte wie Winkelvergrößerung Γ_{Gal} und Baulänge ℓ sollen bestimmt werden.



Das Galilei-Fernrohr soll als *Opernglas* ausprobiert werden, wobei sich die Entfernung zur Bühne ändern soll. Für Entfernungen z. B. von 1 – 100 m sollen einige Linsenstellungen bestimmt werden.



Die Ergebnisse sollen quantitativ diskutiert werden.

34.3 Dia-Projektor (1/3)



Aufbau und Erprobung eines einfachen Dia-Projektors. Verketteter Beleuchtungs- und Abbildungsstrahlengang.



Sammellinsen mit verschiedenen Brennweiten, optische Bank, optische Reiter, Linsenklemmhalter, weißer Schirm, Objektdias, Taschenlampe, Lichtquelle, z. B. eine Niedervolt-Lampe mit Lampengehäuse, Aufsteckkondensator und Netzgerät.



Es soll ein *Dia-Projektor* auf der optischen Bank aufgebaut und die Funktion geprüft werden. Die ungefähre Lage der optischen Teile ist auszumessen und zu skizzieren.

Man halte den *Köhlerschen Strahlengang* ein, indem man die Lampenwendel am Ort des Objektivs scharf abbildet.

Auf einer weit entfernten möglichst weißen Wand soll das Dia größtmöglichst abgebildet werden. Die ungefähre Lage der optischen Teile ist auszumessen.

34.4 Fotoapparat, Schärfentiefe (1/3)



Kennenlernen optischer Eigenschaften eines Fotoapparates. Durchführung von Experimenten zur Blendengröße, Bildhelligkeit und Schärfentiefe.



Sammel- und Zerstreuungslinsen mit verschiedenen Brennweiten, optische Bank, optische Reiter, Linsenklammhalter, Blendenblech, Irisblende, weißer Schirm, Lichtquelle, z. B. eine Niedervolt-Lampe mit Lampengehäuse, Aufsteckkondensator und Netzgerät, Taschenlampe.



Man baue den Strahlengang eines Fotoapparates nach Bild 34.8 auf. Zur Untersuchung der Schärfentiefe gehe man von einer Bildweite ca. 60 – 80 cm aus und bilde das Objekt, z. B. ein mm-Raster, zunächst mit voller Linsenöffnung (z. B. $D_{EP} = 40$ mm), dann mit vorgeschalteter Blende mittleren Durchmessers (z. B. $D_{EP} = 15$ mm) und schließlich mit einer Blende kleinen Durchmessers (z. B. $D_{EP} = 3$ mm) ab. Durch Verschieben des Schirmes schätze man in allen drei Fällen den Bereich der Schärfentiefe im Bildraum ab. Als Linsenbrennweite wählt man z. B. $f = 100$ mm.



Für die drei Blenden rechne man die Blendenzahlen k aus. Man zeige, in welchem Bereich vergleichsweise die Blendenzahlen für Kleinbildkameras liegen.

Ferner rechne man die Größe $(D_{EP}/f)^2$ aus, die zur Bildhelligkeit H proportional ist. Die Ergebnisse sollen in einer Tabelle zusammengestellt und diskutiert werden.

Man berechne für alle drei Fälle die Schärfentiefe und vergleiche sie mit den experimentell gewonnenen Werten. Welche Schärfentiefe ergibt sich für eine Kleinbildkamera ($f = 50$ mm), Blende 8 und eine Entfernung $a = 2,5$ m?