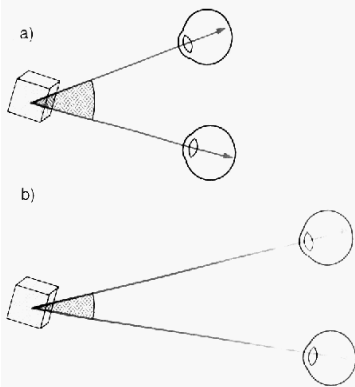


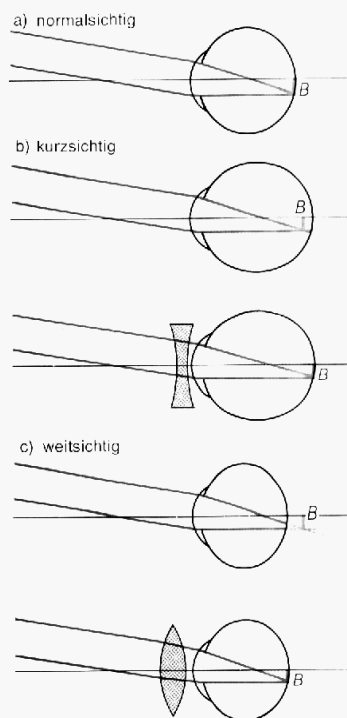
Das Auge

Abb. 1



1 Die Konvergenz der Blickrichtungen hängt von der Entfernung ab

2 Auge bei entspanntem Ziliarmuskel



Die schützende Hülle des Augapfels bildet die Lederhaut (**Abb. 2**). Sie ist weiß, nur vorne ist sie durchsichtig und heißt dort *Hornhaut*. Sie leistet den Hauptbeitrag zur Brechkraft (über 40 Dioptrien), da sie an die Luft grenzt. Die farbige *Regenbogenhaut* oder *Iris* ist ein dünner, ringförmiger Muskel mit einer runden Öffnung, der *Pupille*. Er verengt sich bei höherer Lichtintensität und beim Sehen auf geringe Entfernungen. Hinter der Iris kommt die Kristalllinse, die von einem ringförmigen Muskel, dem *Ziliarmuskel* rundum gehalten wird. Auf der Rückseite des Augapfels entsteht ein reelles, umgekehrtes Bild der Gegenstände auf der Netzhaut. Wenn der die Linse umgebende Ziliarmuskel entspannt ist, werden weit entfernte Gegenstände scharf abgebildet. Sehen wir Gegenstände in geringerer Entfernung, so zieht der Ringmuskel

sich zusammen, und die Kristalllinse wölbt sich stärker. Der Brechwert des optischen Systems nimmt zu. Diesen Anpassungsvorgang nennt man *Akkommodation*. Die geringste Entfernung, auf die das Auge akkommodieren kann, beträgt beim jungen Menschen ca. 10 cm. Diese Entfernung wächst mit zunehmendem Alter.

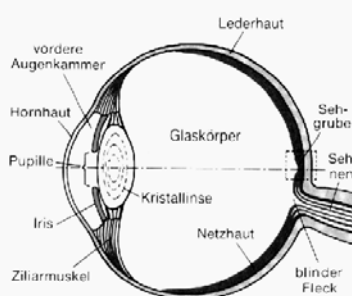
Fehlsichtige Augen. Beim normalen Auge liegt der Fernpunkt im Unendlichen, d. h., im entspannten Auge konvergiert parallel einfallendes Licht auf der Netzhaut. Ist der Augapfel zu lang oder der Brechwert der Linse zu groß, so konvergieren die Strahlen vor der

Netzhaut. Weit entfernte Gegenstände sieht man unscharf. Das Auge ist *kurzsichtig*. Zur Korrektur muß eine Brille mit Zerstreuungslinse getragen werden (**Abb. 1.2 b**). Ist der Augapfel zu kurz oder die Brechkraft der Linse zu klein, so erscheint das Bild entfernter Gegenstände hinter der Netzhaut. Um sie zu sehen, muß das Auge bereits akkommodieren. Der Nahpunkt liegt weiter weg als normal. Das Auge ist *weitsichtig*. Zur Korrektur trägt man eine Brille mit Sammellinse (**Abb. 1.2c**). Während des ganzen Lebens verhärtet die Kristalllinse von innen heraus zunehmend. Dies führt zur *Alterssichtigkeit*. Kurzsichtige Menschen, die zugleich alterssichtig sind, brauchen zwei Brillen ("Zweistärkengläser"), für die Ferne eine Zerstreuungslinse zum Lesen eine Sammellinse.

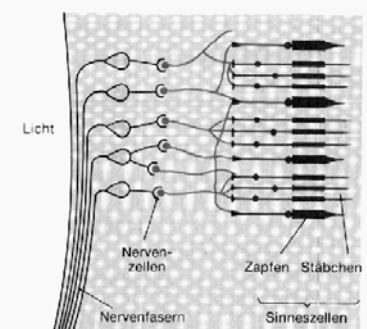
Die Netzhaut (Abb. 2.2). Im menschlichen Auge sind etwa 7 Millionen Zapfen und 120 Millionen Stäbchen. Bei normaler Helligkeit sehen wir farbig nur mit den Zapfen, bei geringer Helligkeit sind die Zapfen unempfindlich. Wir sehen dann nur mit den Stäbchen schwarzweiß. Auf der Achse der Augenlinsen befindet sich in der Netzhaut der "*gelbe Fleck*". Hier befinden sich nur Zapfen, die aber besonders dicht stehen. Blicken wir auf einen Gegenstand, so gelangt sein Bild unwillkürlich an diese besonders empfindliche Stelle. Wir *fixieren* ihn.

Abbildung 2 Aufbau des Auges

1 Horizontaler Schnitt durch das rechte Auge



2 Schnitt durch die Netzhaut – Das Licht fällt durch die Schicht der Nervenfasern



Das Fernrohr

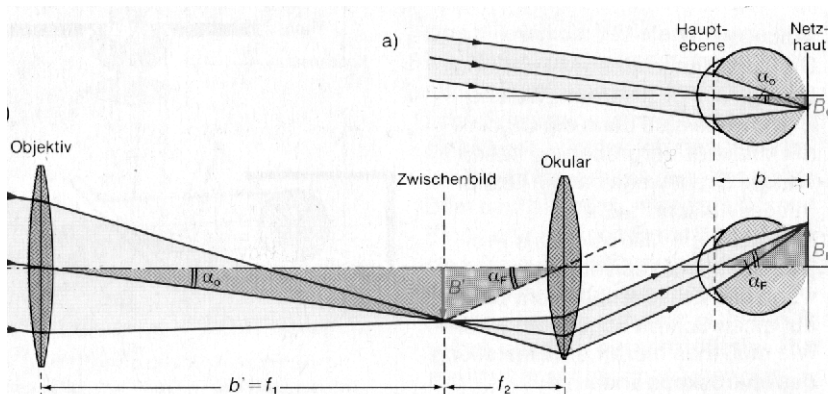


Abbildung 1 Bildentstehung beim astronomischen Fernrohr

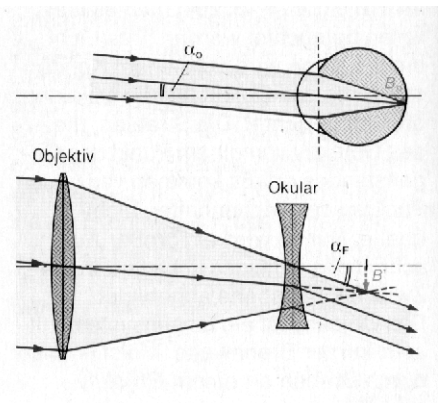


Abbildung 2 Strahlengang im galileischen Fernrohr

Das astronomische Fernrohr. Beim Fernrohr erzeugt ein langbrennweitiges Objektiv ein möglichst großes Bild entfernter Gegenstände. Dieses wird mit einer Lupe betrachtet. Die Fernrohrvergrößerung beträgt

$$v_f = \frac{\text{Objektivbrennweite}}{\text{Okularbrennweite}}$$

Abbildung 4 zeigt die Ansicht eines Fernrohrs. Das Okular steckt in einem ausziehbaren Teil des Rohres. Auf diese Weise wird scharf gestellt bzw. auf Gegenstände eingestellt, die nicht in unendlicher Entfernung sind.

Wie beim Mikroskop muß auch hier das Okular eine Feldlinse enthalten, die die vom Zwischenbild divergierenden Bündel auf die meist sehr kleine Okularöffnung richtet.

Bildaufrichtende Fernrohre. Bei der astronomischen Beobachtung stört es nicht, daß man den Gegenstand umgekehrt sieht. In anderen Fällen ist eine Bildumkehr notwendig.

Im **Galileischen** oder **holländischen Fernrohr** (**Abbildung 2**) ist das Okular eine Zerstreuungslinse. Ihre hintere Brennebene fällt mit der des Objektivs zusammen. Das vom Objektiv her einfallende Bündel trifft die Linse vor seinem Schnittpunkt und verläßt die Linse als Parallelbündel, jedoch unter einem größeren Winkel α . Auf der Netzhaut entsteht ein vergrößertes, aufrechtes Bild. Bei geringer Vergrößerung sind solche Fernrohre kürzer. Bei einfachen Ferngläsern, z.B. Operngläsern, wird diese Bauart verwendet.

Spiegelteleskope. In der Astronomie werden große Objektivöffnungen gebraucht, da viele Objekte sehr lichtschwach sind. Dann verwendet man als Objektiv häufig Hohlspiegel zur Bilderzeugung. Das Zwischenbild liegt vor dem Spiegel. Wie man es trotzdem beobachten kann, zeigt **Abbildung 3**. Im Newtonschen Spiegelteleskop wird das Bild durch einen schräg gestellten Spiegel in das seitlich sitzende Okular reflektiert.

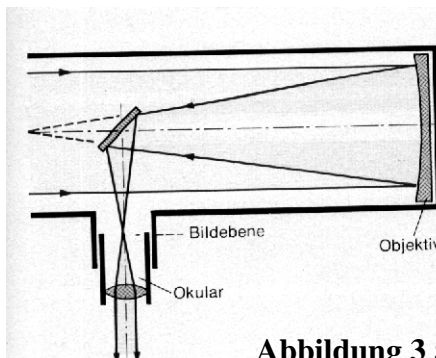


Abbildung 3 Spiegelteleskop

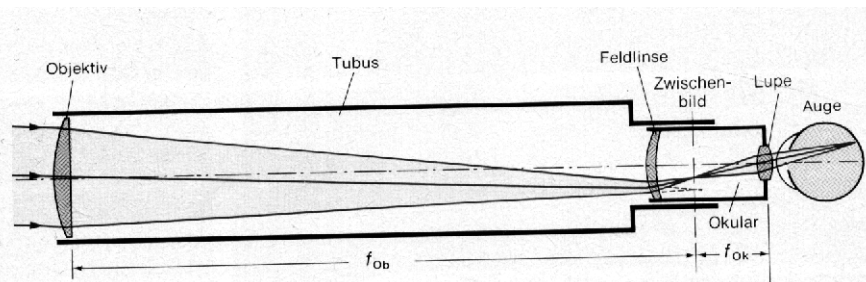


Abbildung 4 Astronomisches Fernrohr

Der Fotoapparat

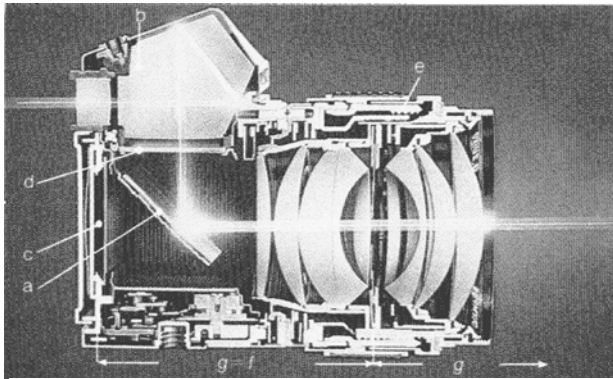


Bild 1 Schnitt durch eine Spiegelreflexkamera
a) Klappspiegel, b) Umlenkprisma, c) Film und Verschluss, d) Mattscheibe, e) Entfernungseinstellung

Der Fotoapparat. Bild 1 zeigt eine *Spiegelreflexkamera* im Schnitt. Bei ihr dient die Aufnahmelinse zugleich als Sucher. Vor der Aufnahme lenkt der Spiegel die Sicht so um, daß das Bild des Objekts auf der Unterseite des Umlenkprismas entsteht. Durch die Lupe sieht man genau das Bild, das später auf dem Film ist. Zur Aufnahme klappt der Spiegel hoch, und vor dem Film öffnet sich für kurze Zeit der *Verschluss*.

Objektive und Entfernungseinstellung. Das abbildende Linsensystem wird *Objektiv* genannt. Es besteht aus mehreren Linsen und kann auch Beleuchtungswege, die unter großen Winkeln gegenüber der Achse stehen (beim Normalobjektiv ca. 25°), in die Bildebene abbilden. Das Normalobjektiv hat bei vielen Kameras eine Brennweite von 50 mm. So groß ist dann der Abstand zwischen Objektiv und Film, wenn weit entfernte Gegenstände (ca. $g = 1000 \cdot f$) abgebildet werden. Neben dem Normalobjektiv (N) verwendet man Teleobjektive (T) und Weitwinkelobjektive (W). In **Bild 3** vergleichen wir diese Objektive. Weitwinkelobjektive haben eine kleinere Brennweite und damit eine kleinere Bildweite als Normalobjektive. Sie bilden einen größeren Ausschnitt des entfernten

Objekts in stärkerer Verkleinerung auf den Film ab. T-Objektive (telos, griech.: fern) haben eine größere Brennweite. Das Bild erscheint in größerem Maßstab als beim N-Objektiv; jedoch wird ein kleinerer Ausschnitt erfasst.

Die Schärfentiefe. Das Objektiv kann nur jeweils eine Ebene des Gegenstandsbereiches scharf in die Filmebene abbilden, größere oder kleinere Entfernung statt scharfer Bildpunkte *Zerstreuungskreise*. (**Bild 2.1**). Man erhält eine scharfe Abbildung der Gegenstände innerhalb eines bestimmten Entfernungsbereiches, der *Schärfentiefe* des Objektivs. Diese hängt vom Durchmesser d der Objektivöffnung ab, die durch eine *Irisblende* verändert werden kann. In **Bild 2.1** ergeben die beiden Punkte P und R bei weit geöffneter Blende auf dem Film große Zerstreuungskreise. Sie liegen außerhalb der Schärfentiefe. Bei enger Blende liegen P' und R' ebenfalls nicht in der Filmebene, aber die schmälere Sichtbegrenzungen erzeugen kleinere Zerstreuungskreise. Die Schärfentiefe des Objektivs ist größer.

Belichtung. Die Aufnahme erfolgt durch den Vorgang der *Belichtung*. Hierfür kann am Verschluss der Kamera eine bestimmte *Belichtungszeit* T eingestellt werden (i.a. zwischen 1 s und $1/1000$ s). Diese hängt außer von der Helligkeit des Objekts noch von der Brennweite f und dem Durchmesser d der Objektivöffnung ab. Der Quotient d/f wird als *Lichtstärke* bezeichnet. Für ein Objektiv mit z.B. $f = 50$ mm, $1:2,8$ ist $d/f = 1:2,8$. Objektive mit großer Lichtstärke (z.B. $d/f = 1:2$) ermöglichen Aufnahmen bei geringer Helligkeit oder bei kurzer Belichtungszeit (Sport).

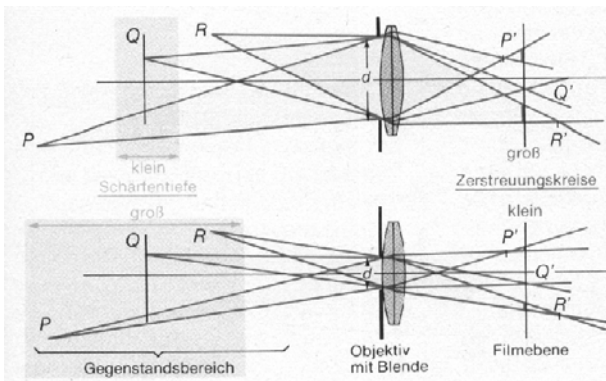


Bild 2 Schärfentiefe bei geöffneter (1) und geschlossener (2) Blende

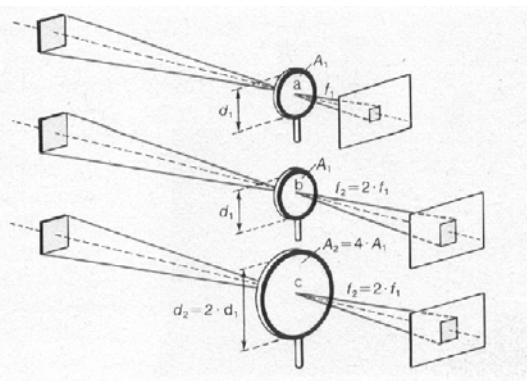


Bild 3 Vergleich von Normal- (N), Weitwinkel- (W) und Tele-Objektiv

Der Projektor

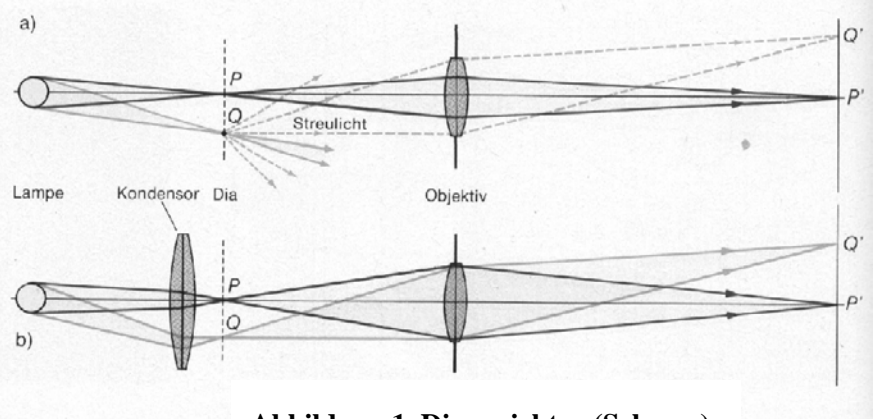
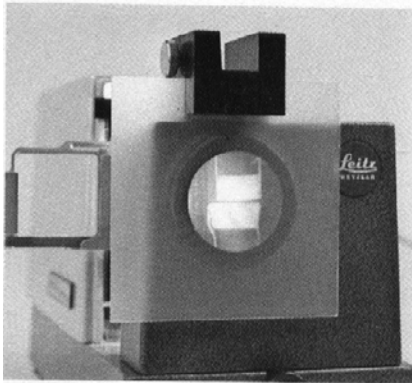


Abbildung 1 Diaprojektor (Schema)

Diaprojektor. Optisch ähnelt der Diaprojektor dem Fotoapparat mit umgekehrtem Abbildungsweg. Die Abbildung erfolgt auch hier durch ein hochwertiges *Objektiv*. Das Dia befindet sich nahe seiner Brennebene. Die Scharfstellung erfolgt durch Drehen des Objektivs in einem Gewinde. Damit das Bild in der Stellung des Originals erscheint, muß das Dia seitenverkehrt und auf dem Kopf stehend in den Projektor geschoben werden.

re Helligkeit und Größe des Dias aus. Das Dia ist eine Schreibfolie, die unmittelbar auf dem Kondensor liegt. Der Kondensor ist eine gepresste *Zonenlinse*, deren ringförmige Zonen nach außen zunehmend prismatische Form haben. Das zweilinsige Objektiv enthält den Umlenkspiegel (**Abb. 2**)

Das Beleuchtungssystem. Für die Abbildung muß das Dia hell von hinten beleuchtet werden. Doch genügt dies allein nicht. Wie **Abb. 1** zeigt, würde zwar der Punkt *P* und seine Umgebung hell abgebildet, vom Objektiv aus gesehen liegt die Lampe dagegen nicht hinter dem seitlichen Punkt, sondern nur die beleuchtete Rückwand des Lampengehäuses. Das Objektiv liefert damit nur ein lichtschwaches Bild *Q'*. Damit das Dia vollständig für das Objektiv beleuchtet wird, muß unmittelbar vor dem Dia eine Beleuchtungslinse, der *Kondensor* (lat.: Verdichter), angeordnet sein. Er muß die Lichtquelle durch das Dia hindurch auf die Objektivöffnung abbilden. Damit liegt das Objektiv genau im Verschwimmpunkt der Lampe, d. h. die Glühwendel der Lampe erscheint vom Ort des Objektivs aus über die ganze Kondensorfläche ausgebreitet. (**Abb 1.b**). Der Randbereich des Dias wird nun ebenso hell abgebildet wie die Mitte. Hinter der Lichtquelle befindet sich noch ein Hohlspiegel. Er erzeugt dicht neben dem Glühfaden der Lampe ein weiteres Bild desselben als zweite Beleuchtung.

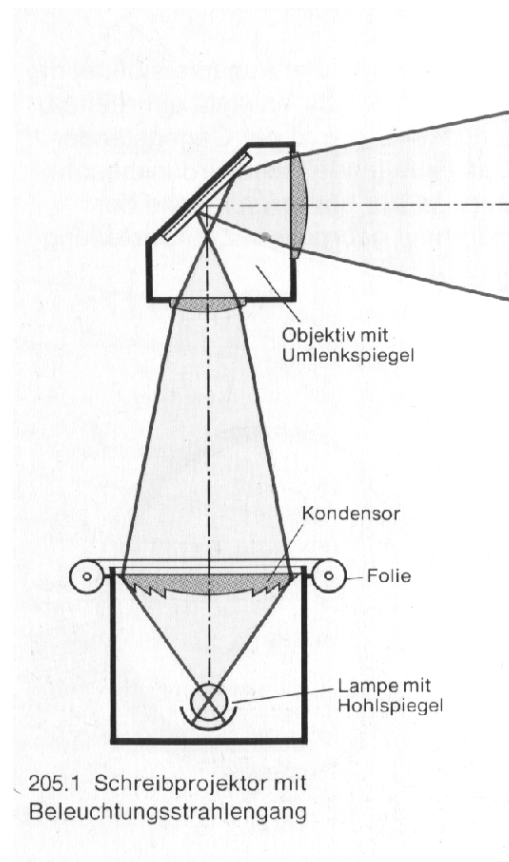


Abbildung 2 Tageslichtprojektor

Der Schreibprojektor. Der Schreib- oder Tageslichtprojektor zeichnet sich durch besonde-

Optische Instrumente

Die Mikroskopvergrößerung. Bei einem Mikroskop ist die Bildweite b' des Zwischenbildes durch den Bau des Gerätes fest vorgegeben. Sie heißt optische Tubuslänge und beträgt häufig $b' = t = 15 \text{ cm}$. Man erhält nur ein stark vergrößertes Zwischenbild, wenn g klein ist. Dies erfordert eine kleine Brennweite f_1 (meist nur wenige Millimeter) des Objektivs. Im Mikroskop betrachtet man mit einer Lupe ein stark vergrößertes, reelles Bild eines Objekts. Die Vergrößerung ergibt sich aus dem Abbildungsmaßstab V_{ob} des Objektivs und der Normalvergrößerung des Okulars: $V_{\text{m}} = V_{\text{ob}} V_{\text{ok}}$.

Der Aufbau des Mikroskops (Abbildung 2). Das Licht einer Lampe wird von einem Kondensor durch das Objekt auf die Ob-

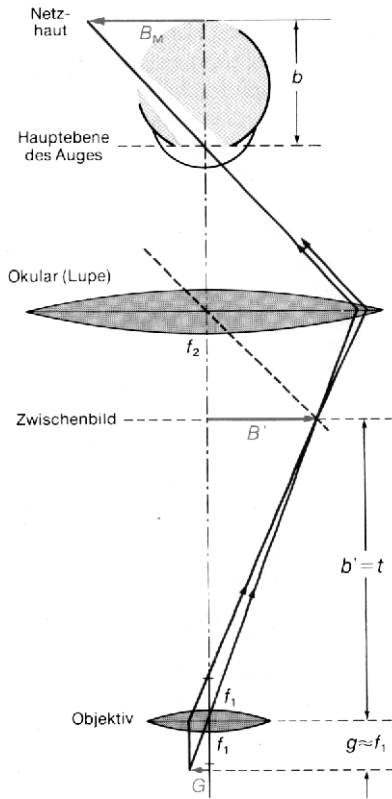
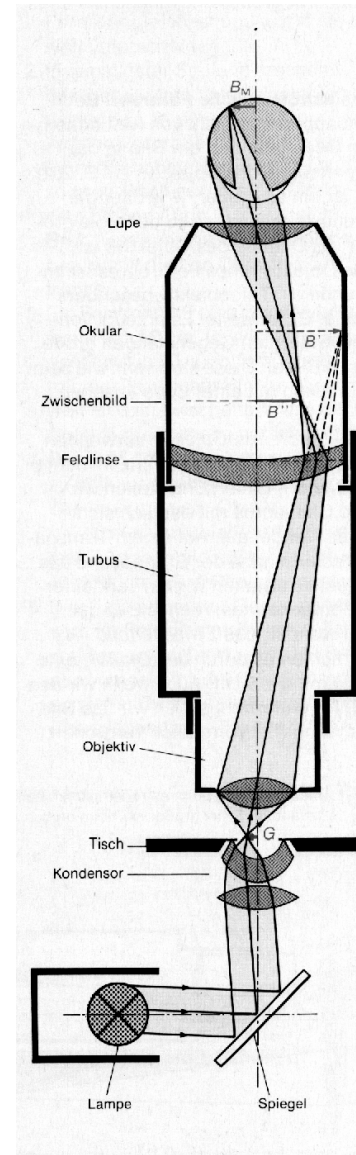


Abbildung 1 Das Prinzip des Mikroskops (Bildkonstruktion mit Parallel und Hauptstrahl)



jektiv-Öffnung gerichtet. Die Strahlen, die das Objektiv von einem Punkt des Gegenstandes erfaßt, kommen von vielen Punkten der flächenhaften Lichtquelle. Nur so wird ein großer Ausschnitt des Objektes lichtstark in die Zwischenbildebene abgebildet. Zur Betrachtung des Zwischenbildes genügt eine einfache Lupe nicht. Die meisten vom Zwischenbild divergierenden Lichtbündel würden die Lupe nicht treffen. Das Auge würde nur einen kleinen mittleren Bereich des Zwischenbildes sehen (vgl. Diaprojektor ohne Kondensor). Hier ist eine Beleuchtungslinse, die Feldlinse, erforderlich, die das Licht aller Punkte des Zwischenbildes auf die eigentliche Lupe richtet. Sie muß zum Unterschied von einem Kondensor von großer optischer Güte sein, weil sie an der Abbildung des Gegenstandes mitwirkt.

Abbildung 2 Aufbau eines Mikroskops