

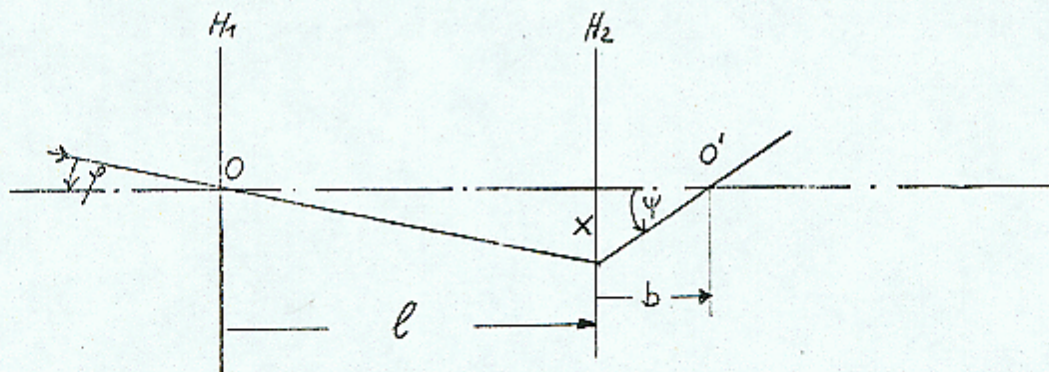
Praktikum Optik

Versuch Nr. 4

Messungen und Berechnungen an Fernrohren.

Versuchsanleitung:

1. Informieren Sie sich über die Vergrößerung optischer Instrumente (Anhang Seite 1 und 2)
2. Beschreiben Sie die Forderungen, die von einem Fernrohr erfüllt werden müssen!
3. Erklären Sie die Unterschiede im Aufbau und Strahlenverlauf zwischen einem Galileischen und Keplerschen Fernrohr!
4. Berechnen Sie die Vergrößerung $\Gamma_F = -\frac{\tan \psi}{\tan \varphi}$ beim astronomischen Fernrohr aus der nachfolgenden Skizze!



4.1 Bestimmen Sie dazu:

a) $l = f(f'_{\text{obj}}, f'_{\text{ok}})$

b) $\tan \varphi = f(x, l)$

c) $\tan \psi = f(x, b)$

4.2 Bestimmen Sie b aus der Abbildungsgleichung als Funktion von f'_{obj} und f'_{ok} , indem Sie für den Gegenstand O die Lage des Bildes O' berechnen!

- 4.3 Ermitteln Sie mit Hilfe des zweiten Strahlensatzes und Bild 6.3.1 (Anhang Seite 5) die Vergrößerung des Fernrohrs bei afokaler Einstellung in Abhängigkeit der Durchmesser Eintrittspupille und Austrittspupille.
5. Stellen Sie auf einer optischen Bank aus je einer Sammellinse (L_1^+) und einer Zerstreuungslinse (L_2^-) bzw. aus zwei Sammellinsen (L_1^+ , L_2^+) nacheinander teleskopische Folgen her (bei unbekanntem Brennweiten auf fernen Gegenstand scharf einstellen).
6. Durch Vergleich der Netzhautbilder einer im Abstand $|a| \gg |f_1' + f_2'|$ befindlichen Meßplatte bestimmen Sie die Vergrößerung der beiden Fernrohre. (Erläuterung Anhang Seite 6)
7. Stellt man in der Zwischenbildebene eines astronomischen Fernrohrs als Gesichtsfeldblende eine verstellbare Irisblende auf, so wird sich bei Veränderung des Blendendurchmessers auch das Gesichtsfeld ändern. Zwischen den Brennweiten f'_{ok} und f'_{ob} , dem Durchmesser der Gesichtsfeldblende D_{FB} und dem wahren Gesichtsfeldwinkel w sowie dem scheinbaren Gesichtsfeldwinkel w' bestehen die Beziehungen

$$D_{FB} = 2|f'_{ob}| \tan \frac{|w|}{2} = 2|f'_{ok}| \tan \frac{|w'|}{2}$$

Erläutern Sie diese Gleichung an einer entsprechenden Skizze!

8. Beim astronomischen Fernrohr stellen Sie in der Zwischenbildebene eine Irisblende auf und messen den scheinbaren Gesichtsfeldwinkel w' als Funktion des Blendendurchmessers D_{FB} . Bei unbekanntem Brennweiten Irisblende mit festeingestelltem engem Durchmesser zwischen L_1^+ und L_2^+ so lange verschieben, bis das Gesichtsfeld sowohl beim Durchblick durch das Okular als auch durch das Objektiv scharf begrenzt erscheint.

9. Den gemessenen Zusammenhang stellen Sie in einem $(\tan \frac{w'}{2}, D_{FB})$ -Diagramm zeichnerisch dar, zeichnen die ausgleichende Gerade ein und ermitteln aus deren Steigung die Brennweite des Okulars und nach Gleichung 4.2 und der ermittelten Vergrößerung (Aufgabenstellung 6) die Brennweite des Objektivs. Vergleichen Sie die so ermittelten Brennweiten mit denjenigen, die man am telezentrischen System abmessen kann.
10. Mittels der Abbildungsgleichung berechnen Sie für den Objektivrand als Eintrittspupille Größe und Lage der Austrittspupille.
11. Für ein Prismenfernrohr mit den Angaben: 8 x 40, 6,3⁰ sind zu berechnen (bestimmen):
- Vergrößerung
 - Durchmesser Eintrittspupille
 - Durchmesser Austrittspupille
 - Lichtstärke
 - Dämmerungszahl
 - Gesichtsfeldwinkel
 - Gesichtsfelddurchmesser in 1 km Abstand

Zur Definition der Vergrößerung optischer Instrumente

Vergrößerung optischer Instrumente

Die Vergrößerung Γ ist eine Kenngröße für optische Instrumente, die mit dem Auge zusammenwirken. Bei direkter Betrachtung eines Objektes (Bild 6.1.a) erscheint die Strecke y unter dem Winkel w . Da der Winkel w auch von der Objektweite a abhängt, ist er kein Maß für die Ausdehnung des Objektes. Durch ein optisches Instrument, etwa ein Fernrohr nach Bild 6.1.b, wird die Bildstrecke y' unter einem Winkel w' beobachtet. Ist $w' > w$, so „wird das Objekt durch das Instrument vergrößert abgebildet“. Als Definition der Vergrößerung wird deshalb festgelegt:

$$\Gamma' = \frac{\tan w'}{\tan w} \quad (6.1.)$$

Vergrößerung eines optischen Instruments

Dabei ist allgemein w als Winkel ohne Instrument, w' als Winkel mit Instrument zu bezeichnen. Die Vergrößerung ist also anders definiert als der Abbildungsmaßstab $\beta' = y'/y$, der ein Streckenverhältnis bei im Endlichen liegenden Bild- und Objektebenen angibt.

Mit welcher Gesamtvergrößerung muß man nun rechnen, wenn das Bild erst über mehrere, ggf. räumlich und zeitlich getrennte Abbildungsstufen („Abbildungskette“) zum Beobachter gelangt? Dies soll an einem Beispiel untersucht werden: Ein Architekt fotografiert ein Bauwerk mit einer Kamera (1), erhält so ein Diapositiv und betrachtet das Bild, das ein Projektor (2) auf einer Bildwand entwirft. Sieht er nun das Bild verkleinert oder vergrößert gegenüber der direkten Betrachtung des Bauwerks vom Kamerastandpunkt aus?

Bild 6.2. zeigt die Abbildungskette. Vom Kamerastandpunkt aus ergibt sich bei direktem Sehen $\tan w = y/a$. Die Kamera (1) mit der Objektivbrennweite $f_{(1)}$ liefert ein Dia mit dem Abbildungsmaßstab

$\beta'_{(1)} = f_{(1)}/(a - f_{(1)})$, wie aus Gl. (1.15.) folgt. Das Dia wird durch den Projektor (2) mit $\beta'_{(2)}$ auf die Bildwand projiziert. Für die gesamte Abbildungskette ergibt sich $\beta' = \beta'_{(1)} \cdot \beta'_{(2)}$, und für die Strecke auf der Bildwand $y' = y \cdot \beta'$. Sitzt der Beobachter nun im „Augenabstand“ a_A vor der Bildwand, so ist der Winkel für ihn $\tan w' = y'/a_A$, und damit die Vergrößerung

$$\Gamma' = \frac{f_{(1)} \cdot \beta'_{(2)} \cdot a}{a + f_{(1)}} \cdot \frac{a}{a_A} \quad (6.2.)$$

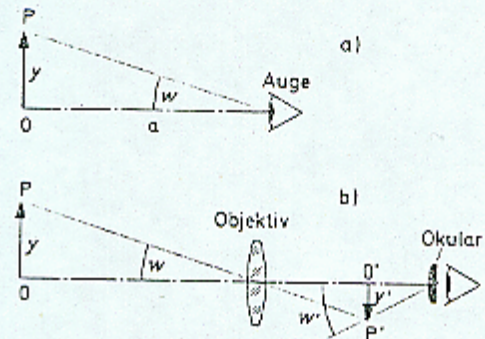


Bild 6.1. Zur Definition der Vergrößerung optischer Instrumente

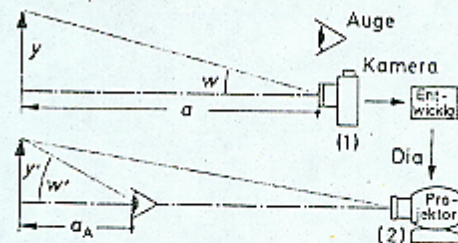


Bild 6.2. Vergrößerung bei einer Abbildungskette (Aufnahme bis Projektion)

$$1.15) \quad a = \bar{f} \left(1 - \frac{1}{\beta'} \right)$$

Allgemeine Funktion der optischen Instrumente. Wir wenden uns nun zur Besprechung der eigentlichen optischen Instrumente. Wie wir beim menschlichen Auge sehen, kann dieses von weiter entfernten Gegenständen Einzelheiten nicht mehr erkennen, wenn diese unter zu kleinem Schwinkel erscheinen. Andererseits kann das Auge kleine Gegenstände, auch wenn sie sich ihm beliebig nahebringen lassen, wegen seiner begrenzten Akkomodationsfähigkeit nur undeutlich und somit auch nicht in Einzelheiten wahrnehmen. Aufgabe der optischen Instrumente (Lupe, Mikroskop, Fernrohr)

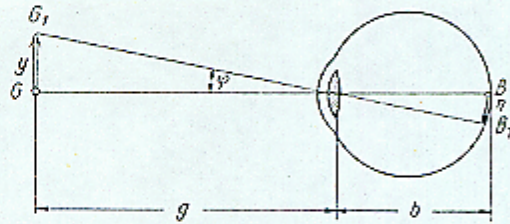


Abb. 137. Zur Definition des Schwinkels

ist es, in dieser Hinsicht zu helfen und von den zu fernem oder zu kleinen Gegenständen deutliche Bilder in der deutlichen Sehweite und unter hinreichend großem Schwinkel zu erzeugen. Dabei versteht man unter Schwinkel (auch scheinbare Größe des Gegenstandes genannt) den Winkel, unter dem ein Gegenstand GG_1 (Abb. 137) vom optischen Mittelpunkt des Auges aus gesehen wird. Da von der Größe

des Schwinkels die Größe des auf der Netzhaut entworfenen Bildes abhängt, haben in verschiedener Entfernung vom Auge befindliche Gegenstände doch die gleiche scheinbare Größe, wenn sie unter dem gleichen Schwinkel erscheinen.

Lupe, Mikroskop, Fernrohr bewirken in erster Linie eine Vergrößerung des Schwinkels. Es ist daher üblich, als Vergrößerungszahl eines Instrumentes das Verhältnis der trigonometrischen Tangente des Schwinkels φ mit Instrument zur Tangente des Schwinkels φ ohne Instrument zu bezeichnen, d. h.

$$(52) \quad v = \frac{\tan \varphi'}{\tan \varphi}$$

Dabei ist vorausgesetzt, daß beide Male das Objekt sich in der gleichen Entfernung vom Auge befindet.

Die Definition (52) der Vergrößerungszahl läßt sich folgendermaßen rechtfertigen: Aus Abb. 137 folgt

$$\tan \varphi = \frac{y}{g} = \frac{\eta}{b},$$

d. h. die Tangente des Schwinkels φ ist proportional der Größe y des Gegenstandes bzw. der Größe η des auf der Netzhaut entstehenden Bildes. Wird nun vom Gegenstand GG_1 nach Zwischenschaltung eines optischen Instruments in der gleichen Entfernung g vom Augenmittelpunkt ein Bild entworfen, das unter dem Schwinkel φ' erscheint, so gilt ebenfalls:

$$\tan \varphi' = \frac{y'}{g} = \frac{\eta'}{b}, \quad \text{d. h.} \quad \frac{\tan \varphi'}{\tan \varphi} = \frac{y'}{y} = \frac{\eta'}{\eta}.$$

Das Verhältnis der Tangenten der Schwinkel mit und ohne Instrument ist also gleich dem Verhältnis der linearen Dimensionen der auf der Netzhaut in beiden Fällen entstehenden Bilder, d. h. der vom Auge subjektiv empfundenen Vergrößerung, die man deshalb passend auch als „subjektive Vergrößerung“ bezeichnet.

Da es sich in der Regel um kleine Winkel handelt, setzt man häufig statt der Tangenten die Winkel selbst, so daß annähernd gilt:

$$v = \frac{\varphi'}{\varphi}$$

Fernrohre

Mit Fernrohren werden im allgemeinen entfernte Objekte beobachtet oder anvisiert, an die der Beobachter aus unterschiedlichen Gründen nicht zur direkten Nahbeobachtung herangelangen kann. Deshalb wird das Objekt durch das Objektiv stark verkleinert (weil $f_{ob} \ll |s|$) abgebildet, aber dieses Zwischenbild sieht man durch das Okular unter größerem Winkel als das Objekt bei der Beobachtung ohne Fernrohr.

DIN 58385 gibt eine Übersicht über Arten und Benennungen von Fernrohren mit einer Einteilung nach dem Verwendungszweck und nach Eigenschaften. Im wesentlichen kann man nach dem Verwendungszweck unterscheiden:

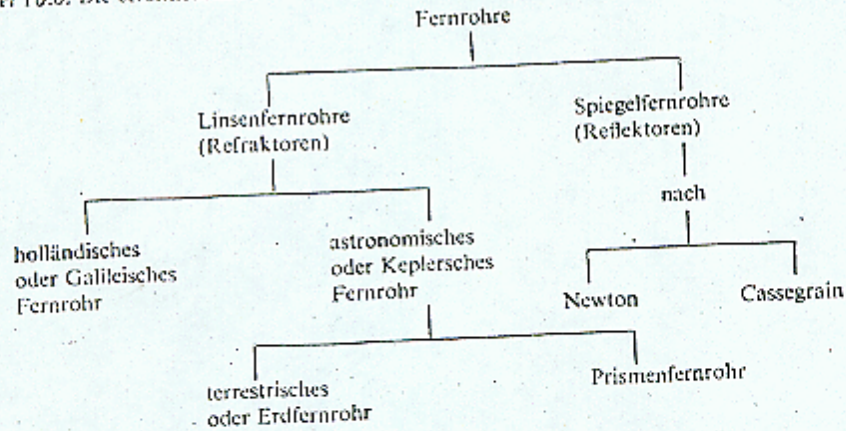
1. Fernrohre zum Beobachten von terrestrischen Objekten („Erdfernrohre“).
2. Fernrohre zum Beobachten von astronomischen Objekten („astronomische Fernrohre“).
3. Fernrohre für Sonderzwecke. Hierzu gehören alle Fernrohre für das Vermessungswesen, Ziel- und Richtfernrohre, Fernrohre für technische Meß- und Prüfaufgaben.

DIN 58386 legt die optischen Kenngrößen für Beobachtungs-, Ziel- und Prüffernrohre fest. Meßverfahren zur Bestimmung dieser Kenngrößen sind in DIN 58388 angegeben.

Arten der Fernrohre

Wenn durch ein Fernrohr ferne Dinge größer wiedergegeben werden sollen, dann müssen sie bei der Betrachtung mit dem Fernrohr unter einem größeren Winkel erscheinen als bei Betrachtung mit dem Auge allein. Da das Auge die Strahlenvereinigung auf der Netzhaut ohne zu akkomodieren vornehmen soll, sind von einem Fernrohr zwei Forderungen zu erfüllen.

Tafel 10.6. Die verschiedenen Fernrohrtypen



1. Die von den unendlich fernen Objekten parallel in das Fernrohr eintretenden Strahlen müssen dieses auch parallel wieder verlassen.
2. Die aus dem Fernrohr austretenden Strahlen müssen mit der optischen Achse einen größeren Winkel bilden als die eintretenden Strahlen.

Diese Forderungen können auf verschiedene Art gelöst werden. Wir unterscheiden daher nach dem optischen Aufbau und der Wirkungsweise verschiedene Fernrohrtypen (Tafel 10.6). Grundsätzlich besteht ein Fernrohr aus einem Objektiv und einem Okular. Als Objektiv können Linsen oder Spiegel verwendet werden. Nach diesem Unterscheidungsmerkmal spricht man im ersten Fall von *Linsenfernrohren* und im zweiten Fall von *Spiegelfernrohren*. Da die Linsenfernrohre auf der Refraktion des Lichtes (Lichtbrechung) beruhen, bezeichnet man sie auch als *Refraktoren* und die Spiegelfernrohre als *Reflektoren*, da bei ihnen die Reflexion zur Bilderzeugung ausgenutzt wird. Beide Typen treten wiederum in verschiedenen Ausführungen auf.

10.5.2. Linsenfernrohre

10.5.2.1. Holländisches oder Galileisches Fernrohr

Die ersten Fernrohre wurden in Holland um das Ende des 16. oder zu Anfang des 17. Jahrhunderts hergestellt. Als Erfinder gelten *Hans Lippershey* und *Zacharias Jansen*. Der italienische Naturforscher *Galileo Galilei* (1564 bis 1642), der davon gehört hatte, konstruierte das Fernrohr 1609 nach und wendete es zum erstenmal zur Erforschung des Sternenhimmels an.

Die ersten Fernrohre, die als holländische oder Galileische Fernrohre bezeichnet werden, bestehen aus einem sammelnden Objektiv und einem zerstreuenden Okular (Bild 10.50). Beide optischen Teile sind so zueinander angeordnet, daß der Bildbrennpunkt des Objektivs (F'_{Ob}) mit dem Objektbrennpunkt des Okulars (F_{Ok}) zusammenfällt. Man erreicht dadurch die Erfüllung der ersten an ein Fernrohr zu

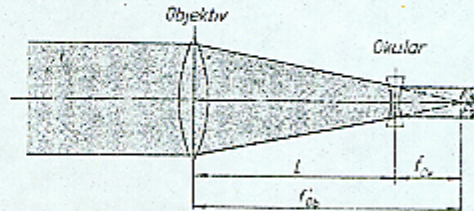


Bild 10.50
Optischer Aufbau des holländischen oder Galileischen Fernrohrs

stellenden Forderung, daß nämlich parallel in das Fernrohr eintretende Strahlen auch wieder parallel austreten. Liegt ein Objektpunkt im Unendlichen auf der optischen Achse, so fallen achsenparallele Strahlen auf das Objektiv. Durch dieses werden sie gesammelt und zielen alle nach F'_{Ob} , dem Bildbrennpunkt des Objektivs. Sie werden also zu bildseitigen Brennstrahlen. Da F'_{Ob} mit F_{Ok} zusammenfällt, sind sie aber zugleich objektseitige Brennstrahlen für das Okular. Demzufolge müssen sie nach dem Durchgang durch das Okular wieder achsenparallel verlaufen. Das Auge kann sie, ohne akkommodieren zu müssen, auf der Netzhaut vereinigen.

Bei einem ausgedehnten Objekt kommen auch Strahlen von einem im Unendlichen, aber seitlich der optischen Achse gelegenen Objektpunkt (Bild 10.51). Diese verlaufen untereinander wieder parallel, mit der optischen Achse bilden sie jedoch einen Winkel (σ). Durch das Objektiv werden die Strahlen nach dem Bildpunkt O' hin abgelenkt, der in der gemeinsamen Brennebene von Objektiv und Okular liegen würde. Die Strahlen werden jedoch von dem Okular aufgenommen und wieder parallel gerichtet. Mit der optischen Achse bilden sie dann den Winkel σ' . Da σ' größer ist als σ , sieht das Auge das im Unendlichen liegende Objekt vergrößert. Da-

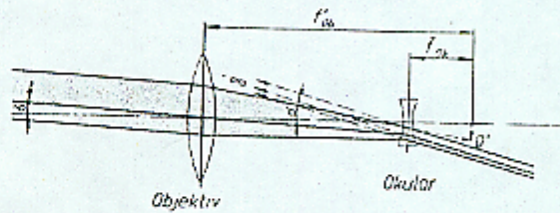


Bild 10.51
Abbildung eines seitlich der optischen Achse im Unendlichen liegenden Objektpunktes durch das holländische oder Galileische Fernrohr

mit ist auch die zweite an ein Fernrohr zu stellende Forderung erfüllt. Das Auge nimmt die parallel aus dem Fernrohr eintretenden Strahlen auf und sieht das Bild in der rückwärtigen Verlängerung, also wieder im Unendlichen.

Das holländische oder Galileische Fernrohr besteht aus einem sammelnden Objektiv und einem zerstreuenden Okular. Der Bildbrennpunkt des Objektivs fällt mit dem Objektbrennpunkt des Okulars zusammen. Dem Beobachter liefert es ein im Unendlichen liegendes virtuelles, vergrößertes und aufrechtes Bild.

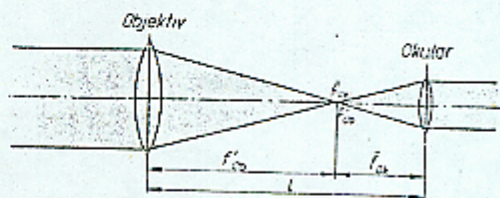


Bild 10.52
Optischer Aufbau des astronomischen oder Keplerschen Fernrohrs

Die Länge des holländischen oder Galileischen Fernrohrs (s. Bild 10.50) beträgt bei Verwendung der absoluten Werte

$$l = f'_{Ob} - f_{Ok} \quad (125.1)$$

Die technischen Lieferbedingungen für binokulare holländische Fernrohre mit mehrlinsigen Objektiven sind in TGI 4835 festzulegen

10.5.2.2. *Astronomisches oder Keplersches Fernrohr*

Das von *Johann Kepler* (1571 bis 1630) entwickelte und im Jahre 1611 beschriebene Fernrohr besitzt wie das holländische Fernrohr ein sammelndes Objektiv. Es hat jedoch im Gegensatz zu diesem ein Okular von ebenfalls sammelnder Wirkung (Bild 10.52). Dieser Fernrohrtyp wird nach seiner hauptsächlichsten Anwendung astronomisches Fernrohr oder nach dem Erfinder Keplersches Fernrohr genannt.

Der Bildbrennpunkt des Objektivs (F'_{Ob}) muß wieder mit dem Objektbrennpunkt des Okulars (F_{Ok}) zusammenfallen, damit die parallel eintretenden Strahlen das Fernrohr auch wieder parallel verlassen. Von dem Objektiv wird von dem unendlich fernen Objekt in der gemeinsamen Brennebene ein reelles, verkleinertes und umgekehrtes Bild erzeugt, das durch das Okular wieder ins Unendliche abgebildet wird (Bild 10.53). Die Strahlen, die in das Objektiv eintreten, haben zur optischen Achse eine Neigung von dem Winkel σ . Bei den aus dem Okular austretenden Strahlen beträgt dagegen die Strahlenneigung σ' .

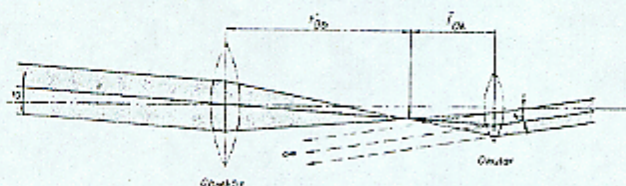


Bild 10.53
Abbildung eines im Unendlichen liegenden Objektes durch das astronomische oder Keplersche Fernrohr

σ' ist wieder größer als σ , demnach erscheint das Objekt bei Betrachtung durch das Fernrohr vergrößert. Das Bild ist jedoch gegenüber dem Objekt umgekehrt.

Das astronomische oder Keplersche Fernrohr besteht aus einem sammelnden Objektiv und einem sammelnden Okular, wobei der Bildbrennpunkt des Objektivs mit dem Objektbrennpunkt des Okulars zusammenfällt. Dem Beobachter erzeugt es ein im Unendlichen liegendes virtuelles, vergrößertes und umgekehrtes Bild.

Gegenüber dem holländischen Fernrohr ist das astronomische oder Keplersche Fernrohr länger gebaut. Es hat eine Baulänge (s. Bild 10.52) von

$$l = f'_{Ob} + f_{Ok}, \tag{125.2}$$

wobei die Brennweiten in ihren absoluten Werten einzusetzen sind.

Aufbau und Kenngrößen

Bild 6.31. zeigt den Grundaufbau eines Fernrohrs mit Positiv- oder Negativokular. In beiden Fällen ist die Ausgangseinstellung das afokale System, d. h., für $a = \infty$ wird auch $a' = \infty$; das Auge ist auf ∞ akkommodiert.

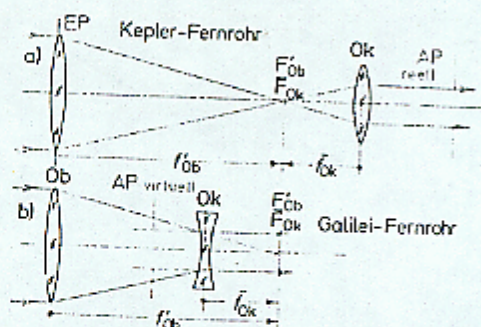


Bild 6.31. Linsenfernrohre. Abbildung eines auf der Achse im ∞ liegenden Objektpunktes

$$r'_{F\infty} = -\frac{f_{Ob}}{f_{Ok}}$$

Vergrößerung des Fernrohrs bei afokaler Einstellung

a. Bestimmung der Vergrößerungszahl

Wir stellen das Fernrohr auf einen senkrecht stehenden, etwa 10 m entfernten Maßstab ein und beobachten ihn mit dem einen Auge durch das Fernrohr, zugleich betrachten wir ihn unmittelbar mit dem anderen Auge, mit dem wir am Fernrohr vorbeisehen. Nach einiger Übung bringt man es so weit, daß man den Gegenstand und sein vergrößertes Bild genau übereinander sieht. Dann zählen wir ab, wieviel Teilstriche des Maßstabs auf einen Teilstrich des vergrößerten Bildes kommen. Decken sich n Teilstriche des direkt gesehenen Maßstabs mit N Teilstrichen des vergrößerten Maßstabs, dann ist

$$m = \frac{n}{N}.$$

10.5.2.4. Prismenfernrohr

Eine andere Lösung, die Bildaufrichtung des vom astronomischen Fernrohr erzeugten Bildes vorzunehmen, fand der Italiener Porro im Jahre 1854. Er brachte in den Strahlengang einen Prismensatz, der, wie aus Bild 10.55 zu sehen ist, angeordnet wurde.

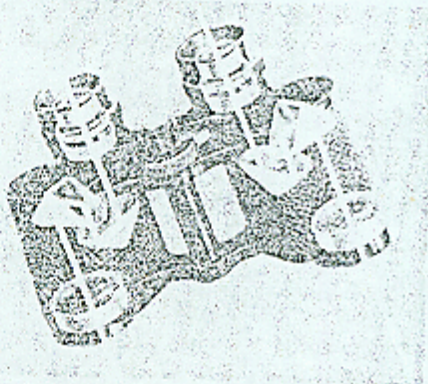


Bild 10.55
Strahlengang im Prismenfeldstecher

Er besteht aus zwei 90°-Prismen, wobei durch Totalreflexion der Strahlengang viermal um 90° abgelenkt wird. Während durch das erste 90°-Prisma die Bildumkehrung vorgenommen wird, dient das zweite 90°-Prisma lediglich dazu, die ursprüngliche Strahlenrichtung wieder herzustellen. Die Wirkungsweise des Porro-Systems wurde im Abschn. 3.3.7.1. näher beschrieben.

Durch den Einbau des Prismensatzes erreicht man beim Prismenfernrohr außer der Bildumkehrung durch die mehrmalige Knickung des Strahlenganges eine wesentlich kürzere Baulänge als beim astronomischen und vor allem beim terrestrischen Fernrohr.

Beim Prismenfernrohr wird die Bildumkehrung durch den Einbau eines aus zwei 90°-Prismen bestehenden Prismensatzes erreicht. Der Beobachter sieht dadurch ein im Unendlichen liegendes virtuelles, vergrößertes und aufrechtes Bild. Das Prismenfernrohr zeichnet sich durch seine kurze Baulänge aus.

Bildhelligkeit

Der Helligkeitseindruck, den wir von einem mit oder ohne Fernrohr betrachteten Objekt haben, ist abhängig von der Beleuchtungsstärke, die auf der Netzhaut unseres Auges entsteht. Diese und damit der Helligkeitseindruck wird um so größer sein, je mehr Licht in unser Auge eindringt. Da aber die Augenpupille eine regulierende Wirkung auf die Beleuchtung der Netzhaut ausübt, ist der Helligkeitseindruck auch vom Durchmesser der Augenpupille abhängig. Bei gegebenen Lichtverhältnissen stellt

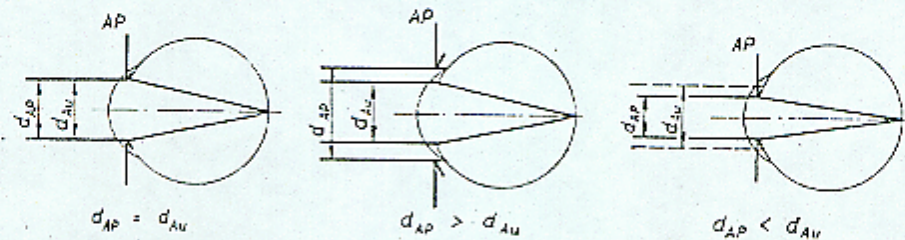


Bild 10.60. Abhängigkeit des Helligkeitseindrucks von der Austrittspupille des Fernrohrs und der Augenpupille

sich die Augenpupille auf einen bestimmten Durchmesser ein. Bei guten Lichtverhältnissen wird er klein sein, bei schlechten groß.

Bei Beobachtung durch ein Fernrohr können nun aber nur die Strahlen von der Augenpupille aufgenommen werden, die aus der Austrittspupille des Fernrohrs aus-

treten. Nach den Größenverhältnissen von Austrittspupille und Augenpupille hat wir drei Fälle zu unterscheiden. Die Austrittspupille kann in ihrem Durchmesser Vergleich zum Durchmesser der Augenpupille gleich groß, größer oder kleiner (Bild 10.60). Für die Helligkeit der Bilder ist entscheidend, welcher von beiden Durchmessern der kleinere ist. Sind beide Durchmesser gleich groß, sind Augenpupille und Austrittspupille im gleichen Maße für den Helligkeitseindruck bestimmend.

Die Helligkeit der durch ein Fernrohr beobachteten Bilder ist von der Größe der Austrittspupille des Fernrohrs oder der Größe der Augenpupille abhängig. Maßgebend ist stets die kleinere von beiden.

Betrachten wir ein fernes Objekt mit dem Auge allein, so sind die Lichtbündel, die Bilderzeugung vornehmen, vom Durchmesser der Augenpupille abhängig erzeugen einen ganz bestimmten Helligkeitseindruck. Betrachten wir das gleiche Objekt mit einem Fernrohr, so wird die Abbildung von Strahlenbündeln durchgeführt für deren Größe der Durchmesser der Eintrittspupille maßgebend ist. Die eintretenden Strahlen werden durch das Fernrohr auf den Durchmesser der Austrittspupille zusammengedrängt und treten aus dieser aus. Nehmen wir an, daß die Austrittspupille des Fernrohrs die gleiche Größe hat wie die Augenpupille und diesen Durchmesser übereinstimmt mit dem Durchmesser, den die Augenpupille bei Betrachtung des fernen Objektes ohne Fernrohr hat, dann ist die Fläche der Eintrittspupille um F^2 -mal größer als die Fläche der Austritts- bzw. Augenpupille. Demnach ist auch der Lichtstrom, der vom Fernrohr aufgenommen wird, F^2 -mal größer als der Lichtstrom, der vom Auge allein aufgenommen wird. Trotzdem sind die Bilder, die durch das Fernrohr gesehen werden, nicht heller als beim freien Sehen. Der Lichtstrom ist zwar um das Quadrat der Vergrößerung gesteigert, im gleichen Maße werden aber auch die von dem Fernrohr erzeugten Bilder gegenüber dem freien Sehen flächenmäßig größer. Da sich der um F^2 gesteigerte Lichtstrom auf ein F^2 größeres Bild verteilt, können die durch das Fernrohr betrachteten Dinge nicht heller sein als beim Betrachten mit unbewaffnetem Auge. Das trifft auch zu, wenn Austrittspupille und Augenpupille verschiedene Größen haben. Ist die Austrittspupille des Fernrohrs größer als die Augenpupille, dann können doch die Strahlenbündel zur Abbildung beitragen, die durch die Augenpupille gehen, und die Bilder mit und ohne Fernrohr können bestenfalls gleiche Helligkeit aufweisen, dagegen die Austrittspupille kleiner, dann wird die Augenpupille nicht ausgenutzt, die betrachteten Dinge erscheinen dunkler, als wenn sie mit dem Auge allein gesehen werden.

Flächenhafte Dinge werden bei Betrachtung durch ein Fernrohr dunkler oder höchstens gleich hell, aber niemals heller als bei Betrachtung ohne Fernrohr gesehen.

10.5.7. *Lichtstärke der Fernrohre*

Die Bildhelligkeit beim Betrachten flächenhafter Objekte durch ein Fernrohr allein von der Größe der Austrittspupille abhängig, sofern diese kleiner ist als Augenpupille. Man benutzt deshalb ihre Flächengröße zur Angabe der Lichtstärke der Fernrohre. Je größer die Austrittspupille ist, um so größer ist auch die Lichtstärke eines Fernrohrs. Da die Flächengröße der Austrittspupille mit dem Quadrat ihres Durchmessers wächst, ist zu folgern:

Die Lichtstärke eines Fernrohrs ist dem Quadrat des Durchmessers seiner Austrittspupille proportional.

Bezeichnen wir die Lichtstärke mit L , dann ist zu schreiben:

$$L = d_{AP}^2. \tag{131.1}$$

Tafel 10.7

Zusammenhang zwischen dem Durchmesser der Austrittspupille und der Lichtstärke

Durchmesser der Austrittspupille in mm	Lichtstärke des Fernrohrs	Durchmesser der Austrittspupille in mm	Lichtstärke des Fernrohrs
1	1	7	49
2	4	8	64
3	9	9	81
4	16	10	100
5	25	11	121
6	36	12	144

Da der Durchmesser eine geometrische Größe ist, spricht man genauer von geometrischer Lichtstärke. Kennen wir die Vergrößerung und den Durchmesser der Eintrittspupille eines Fernrohrs, so ist die Lichtstärke desselben leicht zu ermitteln. Ist zum Beispiel ein Prismenfernrohr mit 6×30 bezeichnet, so gibt der Ausdruck $6 \times$ die Vergrößerung und die Zahl 30 den Durchmesser der Eintrittspupille in Millimetern an. Nach der Beziehung

$$\Gamma_F = \frac{d_{EP}}{d_{AP}}, \tag{130.1}$$

ist

$$d_{AP} = \frac{d_{EP}}{\Gamma_F}, \tag{130.2}$$

für unser Beispiel demnach

$$d_{AP} = \frac{30}{6} = 5 \text{ mm},$$

und die Lichtstärke

$$L = 5^2$$

$$L = 25.$$

10.5.7.1. Dämmerungsschleistung

Da sich die Augenpupille in der Dämmerung und bei Nacht stark erweitert, müßte die Bildhelligkeit um so größer sein, je größer die Austrittspupille des Fernrohrs ist. Fernrohre mit Austrittspupillen über 5 mm Durchmesser wurden früher aus diesem

Grunde als Nachtfernrohre, mit Durchmessern unter 5 mm als Tagfernrohre bezeichnet. Heute ist man von dieser Unterscheidung abgekommen, da festgestellt werden konnte, daß für die Helligkeitsempfindung beim Dämmerungssehen physiologische Vorgänge im Auge eine Rolle spielen, bei der die Vergrößerung des Fernrohrs nicht vernachlässigt werden kann. Eine Maßzahl für die Dämmerungsschleistung ist in genügender Genauigkeit das Produkt aus der Fernrohrvergrößerung und dem Durchmesser der Eintrittspupille. Bezeichnet man die Dämmerungsschleistung mit L_{Dam} , dann ist

$$L_{\text{Dam}} = \Gamma_F d_{\text{EP}}. \quad (132.1)$$

Da Γ_F und d_{EP} zur Bezeichnung eines Fernrohrs dienen, ist die Dämmerungsschleistung von jedem Benutzer leicht selbst zu berechnen.

Bei geringer Helligkeit (Dämmerungssehen) beeinflussen Vergrößerung und Pupillendurchmesser die Detailerkennbarkeit. Deshalb wird für die Dämmerungsschleistung des Fernrohrs eine Dämmerungszahl Z angegeben:

$$Z = \sqrt{\Gamma_{F, \text{rel}} \cdot D_{\text{EP}}} \quad (6.34.)$$

Dämmerungszahl

D_{EP} in mm. Für das oben genannte Beispiel „8 x 30“ ergibt sich $Z = 15,5$.

10.5.8. Auflösungsvermögen astronomischer Fernrohre

Die Kenntnis über das Auflösungsvermögen ist für astronomische Beobachtungen von Wichtigkeit. Doppelsterne stehen so dicht beieinander, daß sie nur dann getrennt gesehen werden, wenn das Fernrohr eine bestimmte Leistung in bezug auf das Auflösungsvermögen besitzt.

Unter dem Auflösungsvermögen eines Fernrohrs versteht man den kleinsten Winkelabstand zweier Sterne, die durch das Fernrohr gerade noch getrennt wahrgenommen werden.

Aus nicht weiter zu erläuternden Ursachen ist dieser kleinste Winkelabstand vom wirksamen Objektivdurchmesser (Durchmesser der Eintrittspupille) abhängig und errechnet sich aus der Gleichung

$$\varphi = \frac{120''}{d_{\text{EP}}}, \quad (133.1)$$

wobei φ das Auflösungsvermögen des Fernrohrs bzw. der in Sekunden gemessene Winkel ist, den die zwei eben noch getrennt wahrnehmbaren Sterne bilden, d_{EP} gibt den Durchmesser der Eintrittspupille in mm an, und 120'' ist ein konstanter Wert.

Das Auflösungsvermögen eines astronomischen Fernrohrs ist um so größer, je größer die Eintrittspupille ist.