
Teleskope und was man über sie wissen sollte ...

eine Zusammenfassung aus Literatur und Prospekten von Michael@Rieder.com <http://www.Michael.Rieder.com>

Unterschiedliche Typen

Es gibt verschiedene Möglichkeiten mit unterschiedlichen optischen Elementen ein Fernrohr herzustellen. Wir wollen hier nur die gebräuchlichsten Typen ansprechen, um Sie nicht unnötig zu verwirren.

Refraktoren	sind Linsenfernrohre
Reflektoren	sind Spiegelfernrohre
Katadioptrische Fernrohre	das Objektiv besteht aus Spiegeln und Linsen

Innerhalb dieser Gruppierung gibt es wieder Abarten, von denen wir ebenfalls nur die Gebräuchlichsten erwähnen wollen.

Reflektoren (Spiegelfernrohre)

Hier sprechen wir den am weitest verbreiteten Typ des Spiegelteleskops nach Newton an. Spiegelteleskope sind von vornherein achromatisch (farbfehlerfrei), weil die Lichtstrahlen lediglich reflektiert werden und kein Glas durchbrechen müssen. Trotzdem muß am Spiegel nur eine Fläche mit hoher Präzision bearbeitet werden (beim Linsenfernrohr mit normalem achromatischem Objektiv sind es vier Flächen). Dies wirkt sich natürlich auf den Preis aus. Man bekommt für die gleiche Summe einen wesentlich größeren Spiegel, als ein achromatisches Objektiv. Zwar nimmt der im einfallenden Licht sitzende Fangspiegel (Umlenkspiegel) ein bißchen Licht weg, - gravierender aber sind die Beugungserscheinungen, die durch den Fangspiegel und seine Halterung entstehen (man nennt das eine **Obstruktionsfläche**). Dieser kleine Nachteil wird aber dadurch bei weitem aufgehoben, daß man (immer gemessen am Preis) eine wesentlich größere Öffnung zur Verfügung hat. Für Gruppenbeobachtungen sind Newtons wegen ihres offenen Tubus nicht so geeignet wie z.B. ein Schmidt-Cassegrain. Dies hängt mit den thermischen Problemen und den damit verbundenen Luftturbulenzen zusammen.

Spiegelteleskope nach Newton erfreuen sich bei den Astro-Amateuren großer Beliebtheit und waren, bevor die Schmidt-Cassegrains auf den Markt kamen, am weitesten verbreitet.

Typ Newton

Newton Teleskope (auch bekannt als Katoptisches System) haben normalerweise einen konkav parabolischen Hauptspiegel. Ein um 45° gegen die optische Achse geneigter, kleiner, ebener Sekundär- od. Fangspiegel reflektiert die vom Hauptspiegel kommenden Strahlen um 90° seitlich aus dem Fernrohr-Tubus. Das Okular wird dann seitlich am oberen Rohrende angebracht.

Der Lichtverlust durch die Abschattung des Fangspiegels beträgt im allgemeinen nur etwa 7%.

Vorteile des Newton-Spiegelteleskops:

- Das preiswerteste Teleskop pro cm Öffnung verglichen mit Refraktoren und Katadioptrischen Systemen. Spiegel mittlerer bis großer Öffnungen können einfacher und günstiger hergestellt werden als Linsen.
- Ziemlich kompakt und portabel bis Brennweiten von ca. 1000mm.
- Dank kleinen Öffnungsverhältnissen ($f/4$... $f/8$) größeres Gesichtsfeld.
- Exzellent für Deep Sky Beobachtungen.
- Natürlich können auch Planeten und der Erdmond gut beobachtet werden.
- Gut für Deep Sky Astrofotografie (Lichtstärke, Öffnungsverhältnis).
- Keine chromatische Aberration, helle Bilder!

Nachteile des Newton-Spiegelteleskops:

- Da der Teleskop-Tubus offen ist muß das Teleskop der Umgebungstemperatur angepaßt sein um Luftturbulenzen im Tubusinnern zu vermeiden. Desweiteren können sich Staub, Schmutz und Feuchtigkeit auf den Spiegelflächen ablagern was die Leistung des Teleskops nach einiger Zeit etwas beeinträchtigen kann.
- Etwas empfindlicher in der Handhabung (Kollimation).
- Gekrümmtes Bildfeld (leichter Verzeichnungsfehler am Rand des Bildfeldes, Coma).
- Größere Öffnungen (> 20cm) erscheinen schnell als Kolosse.
- Im allgemeinen eher nicht für terrestrische Beobachtungen geeignet.
- Leichter Lichtverlust durch Abschattung des Fangspiegels (Obstruktion), was sich als geringerer Kontrast verglichen mit einem Refraktor gleicher Öffnung auswirkt.
- Kleiner Fokussier-Verstellbereich - eventuell kann bei Fokal-Fotografie die Kamera nicht scharf gestellt werden (Okularauszug läßt sich nicht sehr weit nach außen drehen).

Refraktoren (Linsenfernrohre)

sind schon vom Aussehen her jedermann bekannt, weil sie das klassische Fernrohr darstellen. Diese Fernrohre sind vor allem wegen ihrer Robustheit, Justierunempfindlichkeit und **Abbildungsqualität** beliebt. Da aber Refraktoren sogenannte **achromatische** (farbfehlerarme) Doppelobjektive haben müssen, sind diese Instrumente, vor allem wenn der Objektivdurchmesser über 80 bis 100 mm beträgt, sehr teuer.

Vorteile des Refraktors (Linsenteleskop) :

- sehr einfach und verlässlich in der Handhabung dank des simplen Designs.
- Kleine oder gar keine Wartung und Justage erforderlich.
- Exzellent für Mond, Planeten und Doppelsterne, besonders mit größeren Öffnungen.
- Gut für terrestrische Beobachtungen geeignet.
- Kontrastreiche Bilder da keine Abschattung eines Sekundärspiegels.
- Bei Achromaten sind die primären Farbfehler gut korrigiert, bei Apochromaten sind auch die sekundären Farbfehler korrigiert (ED's und Fluorit Objektive).
- Der geschlossene Tubus verhindert Luftturbulenzen im Innern des Teleskops und schützt die Optik.

Nachteile des Refraktors:

- Wesentlich teurer relativ zur Öffnung als Spiegelteleskope.
- Schwerer und länger als Newton oder Katadioptrische Systeme gleicher Öffnung.
- Die hohen Preise lassen keine sehr großen Öffnungen für Amateur-Astronomen zu (Budget).
- Weniger geeignet für kleine und schwache „Deep Sky“ Objekte wie z.B. Galaxien und Nebel wegen der kleineren Öffnung.
- In der Regel lange Brennweiten (f/11) was Astrofotografie erschwert.
- Chromatische Aberration, vorallem bei 2-linsigen Objektiven.

Katadioptrische Fernrohre

besitzen eine Kombination aus Spiegel und Linsen. Es gibt zwei bekannte Bauarten; das **Schmidt-Cassegrain (SCT)** und das **Maksutov-Cassegrain**.

Beim SCT tritt das Licht erst durch eine dünne, *asphärische* Schmidt-Korrektor Platte (-Linse), trifft dann auf den *sphärischen* Hauptspiegel, wird zurück auf einen kurz vor dem Brennpunkt des Hauptspiegels gelegenen *konvex-hyperbolischen* Sekundärspiegel (Fangspiegel) geworfen von wo es schließlich durch eine Öffnung im Hauptspiegel zu einem Bild vereinigt werden kann. Durch den Hilfsspiegel erfolgt gleichzeitig eine beträchtliche Verlängerung der Brennweite des Hauptspiegels. Das Okular kann wie beim Refraktor am Hinterende des Tubus angebracht werden.

Vor allem die Schmidt-Cassegrains haben für den Amateur so viele gute Eigenschaften, daß sie heute zu den meistgekauften Instrumenten gehören. Gute Abbildungsqualität paart sich mit extrem kurzer Baulänge. Dadurch sind die Geräte auch bei großer Öffnung noch gut transportierbar und preisgünstig. Ein kleines Beispiel mag dies veranschaulichen.

Ein Refraktor mit 200 mm Öffnung wäre ca. 3,3 Meter lang, würde dadurch eine Montierung benötigen, die (ohne Säule) an die 5 Ztr. wiegt, wäre nicht mehr transportabel und würde deshalb eine Kuppel oder Schutzhütte benötigen. Die Gesamtkosten lägen vorsichtig geschätzt bei ca. DM 80.000, bis DM 100.000,-.

Ein Schmidt-Cassegrain dieser Öffnung wiegt insgesamt (mit Montierung und Stativ) ca. 15 kg und kostet unter DM 5.000,-.

Dafür kann man leicht in Kauf nehmen, daß auch hier eine Obstruktionsfläche (Fangspiegel) vorhanden ist. Erst dieser Instrumententyp hat es dem Amateur ermöglicht, noch mit Öffnungen von 200 mm und mehr gut umzugehen.

Das **Maksutov-Cassegrain** ist ähnlich aufgebaut wie die SCT's mit etwa denselben Vor- und Nachteilen. Seine stark gekrümmte Meniskus-Korrektor Platte ist jedoch wesentlich dicker als die Schmidt-Korrektor Platte beim SCT. Der Sekundärspiegel ist in der Regel direkt auf die Meniskus-Platte aufgedampft.

Vorteile von Schmidt-Cassegrain Teleskopen:

- Bestes „allround“, allzweck Teleskop System. Kombiniert die optischen Vorteile von Linsen und Spiegeln während es ihre Nachteile „auslöscht“.
- Exzellent für Deep Sky Beobachtungen und Astrofotografie mit „schnellen“ Filmen.
- Sehr gut für Mond und Planetenbeobachtungen oder Fotografie.
- Sehr gut für terrestrische Beobachtungen geeignet.
- Lichtstärke im allgemeinen bei $f/10$. Für alle Arten von Fotografie geeignet. Generell ist von Lichtstärkeren SCT's abzusehen (etwas weniger Kontrast und höhere Aberrationsfehler). Um das Öffnungsverhältnis zu verkleinern kann man einen Focal-Reducer am Okularauszug anbringen, der das System auf $f/6,3$ reduziert und das Bildfeld ebnet!
- Geschlossener Tubus, keine Luftturbulenzen im Rohr und die Optik bleibt geschützt.
- Sehr kompakt und portabel (gefalteter Strahlengang).
- Ausser gelegentlichem Kollimieren sind keine weiteren Justierarbeiten erforderlich.
- Selbst große Öffnungen sind sehr preiswert.
- Riesenauswahl an Zubehör erhältlich.
- Beste „Nah-Fokus Eigenschaften“ von allen Teleskop Typen.

Nachteile von Schmidt-Cassegrain Teleskopen:

- Teurer als Newtons gleicher Öffnung
- Sieht nicht aus wie man sich ein „klassisches“ Teleskop vorstellt.
- Leichter Lichtverlust durch Abschattung des Fangspiegels (Obstruktion), was sich als geringerer Kontrast verglichen mit einem Refraktor gleicher Öffnung auswirkt.
- Komplexer Strahlengang erfordert exakte Kollimation.

Was sind denn nun die Kriterien eines Fernrohres und welche Zusammenhänge sind wichtig?

Die Öffnung

(=Durchmesser der Linse oder des Hauptspiegels)

Dies ist der wichtigste Faktor der beim Kauf eines astronomischen Fernrohres berücksichtigt werden muß. Die Hauptfunktion eines jeden Fernrohres ist Licht zu sammeln. Bei einer gegebenen Vergrößerung gilt immer, je größer die Öffnung, desto besser das Bild!

Je größer die Öffnung, desto mehr Licht kann das Teleskop sammeln und desto heller (besser) wird das Bild sein. Bei steigender Öffnung werden mehr Details sichtbar (Auflösungsvermögen) und die Abbildungseigenschaften werden ebenfalls besser.

Wählen Sie bei gegebenem Budget das Teleskop mit der grösst möglichen Öffnung.

Die Öffnungszahl, Öffnungsverhältnis (focal ratio, speed, f/stop)

gibt das Verhältnis von Objektivdurchmesser zu Objektivbrennweite an.

Als Beispiel:

Ein Objektiv mit 200 mm Durchmesser und 2000 mm Brennweite hat ein Öffnungsverhältnis von 1:10 oder auch 200 f/10. Da amerikanische Produkte in Zollmaßen angegeben werden, lautet die Angabe hier 8" f/10 (1 Zoll = 1" = 25,4 mm).

Viele Leute setzen das Öffnungsverhältnis mit der Bildhelligkeit gleich. Strikt gesagt ist dies jedoch nur wahr wenn das Teleskop fotografisch verwendet wird und auch dann nur bei sogenannten „extended“ oder „flächenhaften“ Objekten wie dem Mond und bei Gasnebeln!

Ob nun ein Teleskop visuell oder fotografisch eingesetzt wird, die Helligkeit der Sterne (punktförmige Lichtquellen) ist ausschließlich eine Funktion der Teleskop-Öffnung - je größer die Öffnung, desto heller das Bild.

Beim Beobachten „**flächenhafter**“ Objekte ist die scheinbare Helligkeit des Objekts, so wie es durch das Okular gesehen wird, nur abhängig von Öffnung und Vergrößerung des Teleskops! Also nicht vom Öffnungsverhältnis! Extended Objekte werden bei kleiner Vergrößerung immer heller erscheinen.

Fernrohre mit kleineren (schnelleren) Öffnungsverhältnissen liefern jedoch hellere Bilder von „**extended**“ Objekten **auf Film** und erlauben deshalb kürzere Belichtungszeiten!

Allgemein kann man sagen - der Hauptvorteil eines „schnelleren“ Öffnungsverhältnis (z.B. f/6,3 statt f/10) bei **visuellen** Anwendungen ist, daß es ein größeres Gesichtsfeld aufweist.

Brennweite

Die Brennweite ist die Distanz von der Linse (Objektiv) oder Hauptspiegel zur Fokalebene (Brennpunkt). Grundsätzlich gilt, je länger die Brennweite eines Teleskops ist, desto größer ist seine Vergrößerung und desto kleiner ist sein **Gesichtsfeld**! Beispiel; ein Teleskop mit einer Brennweite $f=2000\text{mm}$ hat die doppelte Vergrößerung und ein nur halb so großes Gesichtsfeld wie eines mit $f=1000\text{mm}$.

Falls die Brennweite eines Teleskops nicht bekannt ist, dafür aber das Öffnungsverhältnis (auch Lichtstärke, Öffnungszahl oder engl. „focal ratio“ genannt), so kann man die Brennweite aus Öffnung und Öffnungsverhältnis ausrechnen. Beispiel; Teleskop mit Öffnung=254mm und Lichtstärke f/10 ergibt $254\text{mm} \times 10 = 2540\text{mm}$

Die Vergrößerung.

Hier sollte man keinesfalls in die weitverbreitete Sucht verfallen, in Dimensionen zu denken, die sich zwar publikumswirksam lesen, aber völlig unsinnig sind. Es gibt für dieses Kriterium komplizierte Formeln, die sich aber zu einer leicht merkbaren Faustregel zusammenfassen lassen.

Ein Instrument, egal welcher Bauart, sollte man (bei Beobachtung von stellaren Objekten) soweit treiben, daß die normale Vergrößerung dem in Millimetern ausgedrückten Objektivdurchmesser entspricht (also bei einem Fernrohr mit 100mm Durchmesser 100 Fache Vergrößerung). Bei allergünstigsten Umweltbedingungen kann man diesen Betrag noch auf das Doppelte steigern. Unter günstigen Voraussetzungen versteht man klare Sicht, keine Aufhellung des Hintergrundes durch Stadtlicht, kein hoher Feuchtigkeitsgehalt der Luft, keine Luftturbulenzen, Beobachtungsrichtung nicht über Kamine oder wärmeabstrahlende Gebäude und schon gar kein Beobachtungsplatz am Fenster, so daß das Instrument Grenzluftschichten durchdringen muß.

Durch Wechsel des Okulars ändert sich die Vergrößerung eines Fernrohrs. Sie können die Vergrößerung für alle Ihre Okulare selbst nach folgender Formel berechnen:

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

Da die Objektivbrennweite eines bestimmten Gerätes immer gleich bleibt, hat man, je nach Okular, immer nur die Zahl unter dem Bruchstrich zu ändern. Bei überzogenen Vergrößerungen sagt der Fachmann, man befindet sich im Bereich der "**leeren Vergrößerungen**".

Um die am jeweiligen Abend beste Abbildungsqualität zu erreichen, tastet man sich immer langsam von schwachen Vergrößerungen an stärkere heran, **niemals umgekehrt**. Dazu ist natürlich ein größeres Okularsortiment sehr nützlich.

Das Auflösungsvermögen (Dawes limit)

ist ein echtes Qualitätsmerkmal der Optik und kann niemals die Angabe spektakulärer Vergrößerungen sein (siehe Abschnitt "Vergrößerung"), wie Sie sie bei Billigfernrohren immer wieder als Schlagzeile in den Prospekten lesen können. Wenn Sie z. B. bei einem Billigangebot lesen "*Fernrohr mit achromatischem Objektiv 50 mm \varnothing , $f = 900$ mm, bei Okular $f = 3$ mm 300 Fache Vergrößerung, mit Barlowlinse ausbaubar auf 600fache Vergrößerung*", dann haben Sie es mit Sicherheit mit einem Hersteller zu tun, der seine eigenen Produkte noch nie ausprobiert hat.

Was bedeutet Auflösung?

Die Qualität einer Optik läßt sich daran ablesen, ob sie dicht beieinander stehende Beugungsscheibchen noch trennt (z.B. Doppelsterne). Manche Sterne, die wir mit bloßem Auge, oder mit kleinen Fernrohren als einen Stern sehen, bestehen in Wirklichkeit aus zwei dicht beieinanderstehenden Sternen. Wenn ein Fernrohr diese beiden Sterne so zeigt, daß sie z. B. ganz deutlich eine 8 darstellen, so hat es diese Sterne getrennt. Nun hängt es davon ab, welchen Abstand diese Sterne (gemessen in Bogensekunden) voneinander haben, ob unser Fernrohr diese Sterne noch trennen kann.

Grundsätzlich gilt die Regel "**je größer der Objektivdurchmesser des Fernrohres, desto enger stehende Sterne trennt es**".

Voraussetzung dafür ist die Qualität der Optik. Selbstverständlich können bei guter Optik in Verbindung mit großer Öffnung nicht nur enger stehende Doppelsterne getrennt werden, es werden auch feinere Details erkennbar. Der theoretisch errechneten Trennschärfe stehen dann in der Praxis einige Einflüsse entgegen, für die Sie nicht die Optik verantwortlich machen dürfen. Zum Beispiel **Luftbeschaffenheit** in Beziehung auf **Turbulenzen** und **Feuchtigkeitsgehalt**, unterschiedliche Helligkeit der beobachteten Doppelsterne, Hintergrundhelligkeit, Lage des Beobachtungsobjektes (zenitnah oder horizontnah) und noch viele andere, von außen kommende Einflüsse.

Der errechnete Wert stimmt also selten mit der Praxis überein. Um aber überhaupt Instrumente verschiedener Größe miteinander vergleichen zu können, muß jeweils mit den Idealbedingungen gerechnet werden.

Die theoretische Formel dazu lautet:

$$\text{Auflösungsvermögen in Bogensekunden} = \frac{13,8 \text{ Bogensekunden}}{\text{Durchmesser des Objektives in cm}} \quad \text{oder} \quad \frac{4,56''}{\text{aperture}}$$

Beispiel:

Vergleich der Schmidt-Cassegrain Modelle 2044 und 2080

Beim Modell 2044 mit einem Objektivdurchmesser von 4" = 10,16 cm lautet die Formel $13,8 / 10,16 = 1,35$ Bogensekunden

Beim Modell 2080 mit einem Objektivdurchmesser von 8" = 20,32 cm lautet die Formel $13,8 / 20,32 = 0,679$ Bogensekunden

Sie ersehen daraus, welchen Einfluß die Größe des verwendeten Objektivs auf die Leistung des Fernrohrs hat, wobei man auch den Gewinn an Licht nicht außer acht lassen darf.

Kontrast

Hoher Kontrast ist erwünscht beim Beobachten kontrastarmer Objekte wie z.B. der Mond und die Planeten. Newton und Katadioptrische Teleskope haben Sekundärspiegel die den Hauptspiegel um einen kleinen Prozentsatz abschatten. Gewisse Bücher und Literatur läßt den Amateur-Astronomen manchmal fast glauben, daß der Kontrast eines Newton oder Katadioptrischen Teleskops durch die Obstruktion des Fangspiegels gewaltig vermindert würde, was jedoch nicht der Fall ist. (Es wäre drastisch wenn mehr als 25% der Fläche des Hauptspiegels verdeckt würde).

Um die Obstruktion des Sekundärspiegels zu berechnen verwendet man die Formel $r^2 \pi$. Berechnen Sie beide Spiegelflächen, die des Haupt- und des Fangspiegels. Dann können Sie den Prozentsatz der Fangspiegel-Obstruktion bestimmen.

Der Zustand der Luft (**Seeing**) ist der wichtigste Faktor der den Kontrast beim Beobachten von Planetendetails durch ein Teleskop negativ beeinträchtigen kann (Luftturbulenzen etc). Eine schlecht kollimierte Optik, Schmutz oder Taubeschlag können ebenfalls zu vermindertem Kontrast führen.

Lichtsammelvermögen (Light Gathering Power, Light Grasp)

Dies ist die Fähigkeit eines Teleskops Licht zu sammeln (verglichen mit dem Auge). Es ist direkt proportional zum Quadrat der Teleskop-Öffnung und läßt sich folgendermaßen berechnen;

$$\left(\frac{\text{Teleskop-Öffnung (mm)}}{7\text{mm (Augenpupille)}} \right)^2$$

Ein Teleskop mit 8 Zoll Öffnung hat demnach ein Lichtsammelvermögen von 843 $(203,2\text{mm} / 7\text{mm})^2 = 843$

Sternscheibchen (Airy Disk), Brilliance und Diffraktions-Ringe (Beugungsringe)

Wenn man einen scharf eingestellten Stern durchs Teleskop betrachtet wird man kein vergrößertes Bild dieses Sterns sehen können da sich Sterne, auch bei hoher Vergrößerung, nicht als Scheibchen oder „Ball“ abbilden lassen. Vielmehr sollen die Sterne als kleine, nadelscharfe Lichtpunkte abgebildet werden. Dies ist ganz einfach so weil die Sterne sehr, sehr weit von uns entfernt sind.

Vergrößert man jedoch ein solches Abbild eines Sterns um ca. 60 x den Durchmesser des Teleskops in Zoll und betrachtet das Bild sehr genau, dürfte man ein paar Ringe um den Stern sehen. Dies ist nicht die Sternscheibe die man sieht sondern den Effekt der Beugung des einfallenden Lichts an der kreisrunden Teleskop-Öffnung. Bei näherer Betrachtung und wenn der Stern in der Mitte des Bildfeldes steht, sollte dieses stark vergrößerte Sternabbild zwei Dinge aufweisen; eine zentrales, helleres „Scheibchen“ (sog. „**Airy Disk**“) und einen oder mehrere schwächere Ringe konzentrisch um das „Scheibchen“ herum (**Diffraktions-Ringe**).

Je größer die Öffnung des Teleskop ist, desto kleiner wird das zentrale „Sternscheibchen“. Theoretisch - wenn man die Teleskop-Öffnung verdoppelt, so wird auch sein Auflösungsvermögen um den Faktor ZWEI grösser. Sein Lichtsammelvermögen hingegen steigt um den Faktor VIER! Noch wichtiger - man reduziert auch das Abbild des „Sternscheibchens“ um den Faktor VIER was einen (subjektiven) gesamt „Gewinn“ an Brilliance der Sternabbildung von SECHZEHN ergibt!

Die Austrittspupille

ist das durch das Okular projizierte kleine Abbild der Eintrittspupille. Die Eintrittspupille wiederum ist nichts anderes als der Objektivdurchmesser.

Dividiert man die Eintrittspupille (Objektivdurchmesser) durch die Vergrößerung, so erhält man die Austrittspupille (oder ... dividieren Sie die Brennweite des Okulars (mm) durch das Öffnungsverhältnis des Teleskops). Diese entsteht kurz hinter dem Okular, und an diese Stelle hat man das Auge heranzuführen. Die richtige Stelle ist dort, wo das Gesichtsfeld nur noch durch die eingebaute Okularblende begrenzt wird. Sie werden sehen, daß Sie ganz automatisch und instinktiv diese Stelle suchen und finden werden.

Die Austrittspupille ist deshalb so wichtig, weil sie bei der Wahl der Vergrößerung ausschlaggebend ist. Ist die Fernrohr-Austrittspupille größer als ihre Pupille, so wirkt diese als Blende, die das Gesichtsfeld beschneidet. Die menschliche Pupille ist aber in ihrer Größe altersabhängig und hat ungefähr folgende Werte:

Lebensalter	10	20	30	40	50	60	70	80
Pupillengröße in mm	8	8	7	6	5	4	3	2,3

Sie ersehen daraus, daß Sie die Wahl der Austrittspupille (also der Vergrößerung) solchen Umständen anzupassen haben. Nehmen wir z. B. an, Sie wären 40 Jahre alt und hätten ein Meade Modell 2080 (200 mm Ø und 2000 mm Brennweite). In diesem Falle hätten Sie nach dem Durchschnittswert eine Pupille von 6 mm Ø, die Eintrittspupille dieses Fernrohres beträgt 200 mm. Welche Mindestvergrößerung wäre für Sie noch sinnvoll?

$$\text{Mindestvergrößerung} = \frac{\text{Eintrittspupille}}{\text{Augenpupille}} = \frac{200}{6} = 33,33 \text{ Fach}$$

Es wäre daher für Sie wenig empfehlenswert, schwächer als max. 34fach zu vergrößern. Welches Okular müßten Sie für die Mindestvergrößerung verwenden?

$$\text{Okularbrennweite} = \frac{\text{Fernrohrbrennweite}}{\text{Mindestvergrößerung}} = \frac{2000}{34} = 58,82 \text{ mm}$$

Ein Okular dieser Brennweite gibt es nicht, Sie würden dafür aus diesem Katalog das Okular mit $f = 40$ mm wählen (oder 55mm).

Gehen wir im gleichen Fall sofort auf die Suche nach der **Höchstvergrößerung**. Damit die Netzhaut Ihres Auges überhaupt etwas wahrnimmt, darf die Austrittspupille nicht unter 1 mm \varnothing sinken. Um das zu erzielen, müssen Sie nicht viel rechnen, Sie nehmen einfach die Öffnungszahl (siehe Erklärung weiter vorne), in unserem Beispiel 200 \varnothing und $f = 2000 \text{ mm} = 10$. Als Vergrößerung wählen Sie ein Okular $f = 10 \text{ mm}$, dies ergibt dann (siehe Formel bei "Die Vergrößerung") mit dem genannten Fernrohr eine 200fache Vergrößerung.

Noch stärkere Vergrößerungen können Sie zwar durch Überwechseln zu Okularen mit $f = 6$ oder $f = 4$ erzielen, aber der Fachmann spricht dann von **"toten"** oder **"leeren Vergrößerungen"**. Als Ausnahme gelten hier flächenhafte Objekte wie z.B. Planeten, Doppelsterne und Mond, wobei die Planeten schon mit Vorsicht zu genießen sind.

Wählen Sie also Ihre Okulare (je nachdem wieviele Sie kaufen) nach dem Gesichtspunkt aus, daß Sie ein Okular mit der Höchstvergrößerung (in Grundausstattung meist enthalten) und ein Okular der Mindestvergrößerung ($f=40\text{mm}$) brauchen und dann zwischen diesen beiden Grenzpunkten Okulare aussuchen, die Ihnen (je nach Anzahl) eine mehr oder minder große Abstufung bringen.

Bitte achten Sie darauf, daß Sie Ihr Fernrohr nie auf die Sonne richten, ohne einen Objektivfilter aufzusetzen. Selbst wenn Sie selbst nicht hindurchschauen und damit Ihre Augen nicht gefährden, können sich bei mehrlinsigen Okularen die Verkittungen lösen und diese dadurch völlig unbrauchbar werden.

Das Gesichtsfeld (- wahres und scheinbares)

Der Bildausschnitt den man durch ein Teleskop sieht wird **wahres Gesichtsfeld** genannt und in Winkelgraden angegeben. Je größer das Gesichtsfeld, desto mehr Himmel ist im Bildausschnitt.

Das Gesichtsfeld läßt sich berechnen indem man die Vergrößerung in das **scheinbare Gesichtsfeld** des gerade verwendeten Okulars dividiert. Wenn man zum Beispiel ein Okular mit einem scheinbaren Gesichtsfeld von 50° verwendet und die Vergrößerung des Teleskops mit diesem Okular ist 100 Fach, dann wäre das wahre Gesichtsfeld $0,5^\circ$ ($50/100 = 0,5$).

Hersteller geben das scheinbare Gesichtsfeld ihrer Okulare normalerweise in den Spezifikationen an. Je größer das scheinbare Gesichtsfeld eines Okulars ist, desto größer ist auch das wahre Gesichtsfeld durch das Teleskop (größerer Himmelsausschnitt). Des weiteren gilt - kleinere Vergrößerungen erlauben ein größeres Gesichtsfeld als große Vergrößerungen.

Die Bildhelligkeit (Max. Magnitude)

bei astronomischen Fernrohren ist differenziert zu betrachten. Man unterscheidet zwischen punktförmigen Objekten (Fixsterne) und flächenhaften Objekten (Mond und Erdbeobachtungen).

Bei den punktförmigen Objekten hängt die Bildhelligkeit fast ausschließlich von der Objektivgröße ab. Nun kommen aber subjektive Begriffe, wie z. B. die Qualität der Augen des Beobachters hinzu. Bleiben wir bei dem 40jährigen Beobachter mit dem Meade Modell 2080. Nehmen wir weiter an, daß dieser gerade noch Sterne der 5,5m mit bloßem Auge sehen kann. In diesem Falle würde der Beobachter folgende Berechnung machen:

m' = gerade mit bloßem Auge erkennbare Größenklasse (5,5)

A = Durchmesser der eigenen Pupille (6 mm)

D = Durchmesser des Objektivs vom Modell 2080 (200 mm)

m = Grenzgröße des Fernrohres

Formel:

$$m = m' + 2,5 \log. \left(\frac{D}{A} \right)^2 = 5,5 + 2,5 \log. \left(\frac{200}{6} \right)^2$$

$$\text{oder } 5,5 + 2,5 \log. (33,33)^2 \quad \text{oder } 5,5 + 2,5 \log. (1110)$$

siehe Logarithmentafel bei $1110 = 3,3 \times 2,5 = 8,25$.

$8,25$ plus $5,5 = 13,75$ max. 14

Ergebnis:

Sie sehen mit dem Modell 2080 noch Sterne der 14ten Größe = 14^m

Bei diesem rein theoretischen Wert müssen allerdings noch Abstriche gemacht werden: Die eigenen Augen, atmosphärische Bedingungen und viele andere, sich ständig ändernde Einflüsse. Denken Sie auch daran, daß man nur die Differenzhelligkeit vom Hintergrund zum Stern sehen kann. Ist der Hintergrund stark aufgeleuchtet, mindert sich dieser rechnerisch ermittelte Wert ebenfalls.

Bei Astro-Fotografie "sieht" das Instrument natürlich mehr, weil das Licht auf der Filmschicht angesammelt werden kann (Belichtungszeit), während im Auge, über das Leitfernrohr, nur der momentane Lichteinfall registriert wird. Fotografisch können Sie noch 2,5 Sterngrößenklassen dazurechnen, so daß Ihr Fotoapparat Sterne bis zur 16,5^m „sehen“ kann. Natürlich gilt das ebenfalls nur für gute Beobachtungsverhältnisse.

Die Optik des Fernrohres - und was Sie von ihr verlangen müssen

An eine Fernrohroptik müssen hohe Ansprüche gestellt werden. Die Optik muß so genau geschliffen sein, daß an keiner noch so kleinen Stelle der Fläche, ein Fehler auftritt, der größer als **1/4 der Wellenlänge von grünem Quecksilberlicht (=0,00052 mm)** ist. Diesen Grenzwert bezeichnet man als **Rayleigh Toleranz**.

Unsere Spiegel (Meade) liefern wir mit einer Genauigkeit von 1/10 der Wellenlänge von grünem Quecksilberlicht, sie bleiben also weit unter dem Muß-Wert. 1/10 Wellenlänge entspricht damit einer Genauigkeit über die ganze Fläche von 0,000052 mm. Als Beispiel wollen wir uns ein Haar ansehen. Im Schnitt mißt das Kopfhaar eines Menschen ca. $\frac{5}{100}$ mm. Will man die oben angeführte Genauigkeit erreichen, müßte man dieses Haar noch 961 mal spalten.

Fotografie mit dem Fernrohr

Es gibt drei Arten der von Amateuren angewendeten Astro-Fotografie, die wir hier kurz andeuten wollen.

1.) **Bei Großfeldfotografie** wird die Kamera mit einem der vorhandenen Kamera-Objektive rittlings auf das Fernrohr gesetzt. Das Fernrohr selbst dient hier nur als Leitfernrohr zur Nachführung. Bei dieser Art der Fotografie erhält man Aufnahmen mit großem Gesichtsfeld und der Vergrößerung, die das vorhandene Kameraobjektiv eben liefern kann. Am Hauptfernrohr wird in diesem Falle ein Fadenkreuzokular (möglichst ein beleuchtetes) eingesetzt. Man benötigt dazu (außer einer Kamera) nur eine Halterung die auf den Fernrohrtubus aufgesetzt wird und erlaubt, die Kamera anzuschrauben. Wir verwenden bei den Newton Teleskopen dazu eine Rohrschelle mit einem Gewindestummel mit Kontermutten Das Gewinde dieses Stummels hat das übliche Fotogewinde 1/4". Bei den Schmidt-Cassegrains handelt es sich um eine Art Sattel mit Gewindestummel, - die dafür nötigen Gewindebohrungen sind am Tubus des Gerätes bereits vorhanden.

2.) **Die Fokalfotografie** ist bei Amateuren am beliebtesten, weil sie bei wenig Aufwand gute Ergebnisse bringt. Hier dient das Fernrohr als Kameraobjektiv. Es wird weder ein Kameraobjektiv, noch ein Fernrohrkular verwendet. Das Objektiv des Fernrohres wirft das Bild des Objektes direkt auf die Filmschicht. Bei einem Fernrohr von 1000 mm Brennweite wird ein Gesichtsfeld von $\frac{1}{2}^\circ$ (z. B. Sonne und Mond) nicht ganz 9 mm groß abgebildet. Wäre die Brennweite nun 2 m wie z. B. beim Modell 2080, so wäre das Bild 18 mm groß und damit nahezu formatfüllend. Außer der Kamera benötigt man hier einen Adapter (Typ des Adapters je nach Instrument), der es erlaubt, die Kamera am Okularauszug des Fernrohres zu befestigen. Da die Kamera aber nun den Einblick in das Fernrohr verhindert, muß man zur genauen Nachführung entweder ein Leitfernrohr, oder eine Einrichtung (wie z. B. das außeraxiale Nachführsystem, Off-Axis-Guider) verwenden.

3.) **Die Projektionsfotografie** hat den Nachteil relativ langer Belichtungszeiten. Damit verbunden ist die exakte Nachführung des Fernrohres über eine längere Zeit. Das Kamera Objektiv ist zwar entfernt worden, aber ein Fernrohrokular wirkt wie das Objektiv eines Dia-Projektors. Je weiter die Kamera weg ist, desto größer, aber auch desto lichtschwächer, wird das Bild. Da das am Objektiv einfallende Licht immer gleich bleibt, es auf der Filmebene aber auf einen viel größeren Fleck verteilt wird als bei Fokalfotografie, entfallen auf den mm^2 automatisch weniger Lichtanteile.

Man benötigt auch hier einen Adapter um die Kamera am Okularauszug anzubringen. Dieser Adapter muß aber auseinanderschraubbar sein, damit man innen zuerst das Okular einsetzen und dann die Verlängerung aufschrauben kann, so daß die Kamera nach hinten versetzt wird. Im Prinzip funktioniert das wieder wie beim Dia-Projektor, wenn Sie die Leinwand weiter wegstellen (das Bild wird ebenfalls größer, aber lichtschwächer). Bei dieser Art der Fotografie ist natürlich ein Leitfernrohr erst recht notwendig, weil die Belichtungszeiten noch länger werden, als sie bei Astro-Fotografie ohnedies schon sind. Aus diesem Grund sind auch die Anforderungen an den Fotografen und an das Instrument, vor allem aber auch an die Montierung wesentlich höher, als bei visueller Beobachtung oder bei Fokalfotografie.

Die Okulare und was man über die Grundtypen wissen sollte

Bevor wir näher auf die von uns (Meade) angebotenen Okulare eingehen, geben wir Ihnen eine Übersicht aller gebräuchlichen Typen.

1.) **Das Huygens-Okular** hat eine plankonvexe Augenlinse und eine plankonvexe Feldlinse. Das Eigengesichtsfeld liegt zwischen 20° und ca. 35° . Da das Bild zwischen den Linsen auf der Blendenebene entsteht, ist das Okular nicht als Lupe verwendbar.

Das Huygens-Okular ist mit Chromasie (Farbfehlern) behaftet, die sich besonders bei Geräten mit großem Öffnungsverhältnis bemerkbar machen. Da das Auge sehr dicht an die Augenlinse gebracht werden muß, kann diese leicht durch die Wimpernhaare verschmutzt werden. Das Bild ist konvex, - so als würde man mit einem Dia-Projektor auf eine gewölbte Fläche projizieren. Dieses Okular ist verhältnismäßig billig herzustellen.

2.) **Das Mittenzwey-Okular** ist ein verbessertes Huygens-Okular mit einem Eigengesichtsfeld von 50° . Anstelle einer plankonvexen Feldlinse wird hier eine Meniskuslinse verwendet.

Das Bild liegt ebenfalls zwischen den beiden Linsen. Fadenkreuz- oder Skalenplättchen lassen sich daher nur auf der Blende zwischen den Linsen anbringen. Dies bedeutet aber, daß feine Schmutzteilchen auf dem Plättchen stark vergrößert werden und farbige Ränder entstehen können.

3.) **Das Ramsden-Okular** kann wie eine Lupe benutzt werden, da das Bild (und die Blende) vor der Feldlinse liegt.

Wie beim Huygens-Okular handelt es sich um zwei Plankonvexlinsen, bei denen sich jedoch die bauchigen Seiten zugekehrt sind. Auch diese Okulare liefern ein Eigengesichtsfeld zwischen 25° und 35° . Das Bild ist aber nicht so stark konvex wie beim Huygens-Okular.

4.) **Das Kellner-Okular** ist ein verbessertes Ramsden-Okular. Bei der Augenlinse handelt es sich um eine achromatische Doppellinse, die sowohl die Farbfehler behebt, als auch die Bildfeldwölbung stark verringert. Das Gesichtsfeld beträgt ca. 40° und ist nahezu verzeichnungsfrei.

5.) **Das orthoskopische Okular** zeichnet sich durch Farbreinheit und Reflexfreiheit aus und wirkt zusätzlich bildfeldebendend. Dieser Typ besteht aus 4 Linsen.

Die Bildfeldebene liegt ebenfalls vor der Feldlinse (wo auch die Blende sitzt). Der Abstand den das Auge zur Linse einnimmt ist größer und damit die Verunreinigung durch die Wimpernhaare geringer. Dieses Okular wird vor allem für starke Vergrößerungen (also für feine Details) eingesetzt. Das Eigengesichtsfeld liegt bei 40° bis 45° .

6.) **Das Erfle Weitwinkelokular** besteht aus einem fünfлинigen System. Die Bildfeldebene liegt vor der Feldlinse.

Die Erfle-Okulare haben die guten Eigenschaften der orthoskopischen Okulare und zusätzlich ein Eigengesichtsfeld von ca. 65°. Die Herstellung ist allerdings relativ teuer.

Nach dieser Übersicht folgt ein kurzer Abschnitt über die von uns angebotenen Okulare.

Die einfachen Typen führen wir nicht im Programm, weil wir das Ergebnis hochwertiger Objektive nicht mindern wollen. Im Gegensatz zu früher werden heute mit Sondergläsern und verfeinerter Schleiftechnik Okulare gefertigt, die an Qualität und Leistung kaum mehr verbessert werden können.

Die MEADE-Okulare

Alle angebotenen Okulare sind zwei- oder mehrfach vergütet und homofokal, d. h., daß man bei okularwechsel nur geringfügig oder gar nicht nachfokussieren muß. Alle Fassungen tragen ein Innengewinde, in das sich die Farbfilter, Polarisationsfilter und Nebelfilter einschrauben lassen.

3linsige Kellner-Okulare (siehe Grundtypen Nr. 4) tragen die Gravur MA vor der Brennweitenangabe (MA = amerik."modified achromatic"). Von diesem Typ gibt es auch ein Okular MA 40 mm mit extra großem Gesichtsfeld (Weitwinkelokular).

4linsige orthoskopische Okulare (siehe Grundtypen Nr. 5)

sind besonders für die Schmidt-Cassegrain Teleskope zu empfehlen, da sie eine gesichtsfeldebene Wirkung haben. Eigengesichtsfeld 45°.

5linsige Erfle Okulare (siehe Grundtypen Nr. 6) mit extrem großem Eigengesichtsfeld von 65°. Diese Spitzenoptiken tragen die Gravur "Wide Angle" und sind 7fach hart vergütet.

Das Sonderokular "Wide Angle 32 mm" hat einen Einsteckdurchmesser von 2 Zoll (50,8 mm) und läßt sich bei den Schmidt-Cassegrain Teleskopen Modell 2080 und 2120, sowie bei allen Newton Teleskopen, die den großen Okularauszug Modell 680 haben, verwenden. Dieses Okular hat für einen Erfle Typ eine extrem lange Brennweite (32 mm) und trotzdem noch ein Eigengesichtsfeld von 65°, deshalb müssen die Linsen einen Durchmesser haben, der sich nicht mehr in eine Fassung von 31,8 mm einbauen läßt.

Alle Newton Teleskope, die in der Standard-Ausführung einen anderen Okularauszug beinhalten, können nachträglich mit einem großen Okularauszug Modell 680 ausgerüstet werden, um die Verwendung dieses Okulares zu ermöglichen (es lohnt sich).

Zum Abschluß des Kapitels noch ein kleiner Tip:

Flecken und Verschmutzungen der optischen Teile sind beim Beobachten leicht festzustellen. Wenn Sie wissen wollen, ob das Okular oder das Objektiv verschmutzt ist, drehen Sie einfach das Okular. Wandern die Flecken beim Drehen mit, kann die Verschmutzung nur auf dem Okular sein. Bleibt der Fehler stehen, so liegt er am Objektiv oder an Reflexen im Tubus.

Literatur ...

- Meade Kataloge
- Celestron „Telescopes for Astronomy“
- Schau mal in die Sterne, Hans Oberndorfer
- dtv-Atlas zur Astronomie