

OKULARE



Eigentlich sollte dies ein Prospekt über unsere neuen Okulare werden.

Zur Vorbereitung liest man alles verfügbare Material - auch das von der Konkurrenz. Man sucht nach geeigneter Literatur und stellt dann verblüfft fest, daß die Prospekte - auch die der renommiertesten US-Firmen - außer blumigen Redewendungen kaum etwas bieten, ja daß sogar konkrete Angaben vermieden werden, die eine Überprüfung der Prospekt Daten ermöglichen würden.

In der Literatur findet man ganze Bände über Fernrohrobjektive und Spiegelsysteme, deren Aufbau und Konstruktion, jedoch viel zu wenig über das zweitwichtigste optische Element nach dem Objektiv oder dem Spiegel, **das Okular**.

In dem Bemühen, vernünftige Informationen zu bieten, entstand aus dem schlichten Prospektblatt eine kleine Informationsschrift.

Auch die Tabelle mit den Daten unserer eigenen Okulare hat daraufhin negative – aber auch positive Wandlungen durchgemacht. Zur Kontrolle hat freundlicherweise Günther Miller/Sternwarteam Biberholz in Weßling das wahre Gesichtsfeld bei allen 2" und 1¼ Plössl-Modellen nach der Durchlaufmethode (siehe Seite 1) bestimmt.

Die folgenden Texte und Tabellen sollen Sie in die Lage versetzen, Okularkonstruktionen und Katalogdaten nach einfachen Kriterien zu prüfen. Die Daten unserer Okulare sind nämlich nach einigen der Tabellenwerte evtl. weniger gut als augenscheinlich baugleiche oder ähnliche Okulare -wohingegen sie bei der Prüfung am Fernrohr erstaunlicherweise oft **wesentlich besser** abschneiden.

Sie können jetzt die Daten anderer Hersteller selbst auf ihre Richtigkeit hin überprüfen und werden überraschende Entdeckungen machen.

Thomas Baader , München 1988

Inhalt:

- Kriterien zur Okularwahl
- Formeln mit Besprechung
- Okular-Brennweite
- Die Vergütung
- Der Augenabstand
- Die Bedeutung der Austrittspupille
- Die Minimalvergrößerung
- Die Maximalvergrößerung
- Okularwahl anhand der Austrittspupille
- Bestimmung des Eigengesichtsfeldes eines Okulares
- Gesichtsfeld-Bestimmungen mit der "Durchlaufzeit"
- Korrektur der Näherungsformeln
- Literaturverzeichnis



BAADER PLANETARIUM GmbH

Zur Sternwarte . 82291 Mammendorf . Tel. 08145 – 8802 . Fax 08145 – 8805

Okularauswahl:

Eine sinnvolle Okularauswahl gründet sich auf einige wenige Forderungen:

Das Okular ist so zu wählen, daß die volle Öffnung des Objektivs bzw. des Hauptspiegels ausgenutzt wird - andernfalls wird das volle Auflösungsvermögen des Teleskops nicht erreicht.

- Um die maximale Bildfeldhelligkeit zu erreichen, muß das gesamte Licht des Objektivs sowohl durch das Okular, als auch durch die Augenpupille fallen. Das an völlige Dunkelheit adaptierte Auge hat bei einem jungen Menschen einen Pupillendurchmesser von 8 mm. Ab dem dreißigsten Lebensjahr sinkt dieser Durchmesser üblicherweise um einen Millimeter pro Lebensjahrzehnt.

Das Lebensalter in Jahren	10	20	30	40	50	60	70	80
Durchmesser der Augenpupille in mm	8	8	7	6	5	4	3	2

- Die Maximalvergrößerung muß so bemessen sein, daß das Licht des Beugungsscheibchens eines Sterns nicht auf eine zu große Zahl von Sehzellen des Auges verteilt wird, weil dadurch kein Gewinn an Detail – sondern ein Lichtverlust auftritt.

- Der Beobachter sollte das **gesamte** Gesichtsfeld bequem einsehen können.

Formeln (vereinfachte Darstellung) :

	<p>1</p> $V = F_{ob} : F_{ok}$ <p>Beispiel: $V = 2800 : 40 = 70 \times$</p>	<p>2</p> $F_{ok} = F_{ob} : V$ <p>Beispiel $F_{ok} = 2800 : 70 = 40 \text{ mm}$</p>
	<p>3</p> $V = D_{ob} : AP$ <p>Beispiel: $V = 280 : 4 = 70 \times$</p>	<p>4</p> $AP = D_{ob} : V$ <p>Beispiel $AP = 280 : 70 = 4 \text{ mm}$</p>
	<p>5 (Näherungsformel)</p> $V = \phi_s : \phi_w$ <p>Beispiel: ($1^\circ = 60'$) $V = 3600 : 51,5 = 70 \times$</p>	<p>6 (Näherungsformel)</p> $\phi_w = \phi_s : V$ <p>Beispiel: $\phi_w = 60 : 70 = 0,86^\circ$ $(0,86 \times 60 = 51,5')$</p>
	<p>7</p> $f = F_{ob} : D_{ob}$ <p>Beispiel: $f = 2800 : 280 = 10$</p>	<p>8</p> $D_{ob} = F_{ob} : f$ <p>Beispiel: $D_{ob} = 2800 : 10 = 280 \text{ mm}$</p>

aus: "All about Telescopes" von Sam Brown

V = Vergrößerung
 D_{ob} = Objektivdurchmesser (Hauptspiegeldurchmesser)
 F_{ob} = Objektivbrennweite (Brennweite des Spiegelsystems)
 AP = Durchmesser der Austrittspupille

f = Öffnungsverhältnis
 F_{ok} = Okularbrennweite
 φ_s = Eigengesichtsfeld in Grad
 φ_w = wahres Gesichtsfeld

Die "interessanteste" Beziehung, die der angehende Amateur-Astronom lernt, heißt: **Vergrößerung = Fernrohrbrennweite dividiert durch die Okularbrennweite.**

Diese grundsätzliche Beziehung ist Nr. 1 auf der kleinen Formelsammlung. Die Umstellung Nr. 2 definiert die Brennweite des Okulars. Die Berechnungen mit der Austrittspupille (3/4) sind insbesondere nützlich, wenn man z. B. von einem Teleskop nur den Objektivdurchmesser kennt. Die Austrittspupille (AP) ist jene kleine helle Kreisscheibe, die man sieht, wenn man das mit einem Okular versehene Fernrohr gegen eine helle Fläche richtet und aus etwa 30 cm Abstand gegen das Okular blickt. Man kann die Austrittspupille auf einem hinter das Okular gehaltenen durchscheinenden (mm-) Papier scharf (!) abbilden und den Durchmesser mit einer Meßlupe (z.B. sog. Fadenzähler) oder einer Schiebelehre möglichst genau ermitteln.

Für die eigentliche Beobachtung wird man meistens die Beziehungen 5/6 heranziehen. Das scheinbare Gesichtsfeld eines Okulares (\emptyset_s) bleibt immer gleich. D.h. aus Formel 6 ergibt sich hinreichend genau das wahre Gesichtsfeld eines Teleskop-Systems. Nr. 5 fordert zur Verbindung mit anderen Teleskopdaten heraus:

Finden Sie z.B. für den Mond (\emptyset 0.5 Grad) die höchstmögliche Vergrößerung, die den Mond noch ganz zeigt.

Mit einem C11 sowie einem Okular-Eigengesichtsfeld von ca. 46 Grad (eudioskopische Plössl-Okulare) ergibt sich V_{\max} näherungsweise zu 46 Grad: 0,5 Grad (= Mond \emptyset) = 92 x (bzw. korrekt: $\tan 46 \text{ Grad}/2 : \tan 0,5/2 = 97x$ / Erklärung siehe Seite 7). Auf diese Weise lassen sich einige Anforderungen an eine sinnvolle Okularauswahl einfach errechnen. Strebt man z.B. bei einem C11 1 Grad Gesichtsfeld an, so stellt sich schnell heraus, daß dies, wenn überhaupt, nur mit 2" Okularen möglich ist.,

Auch die Mindestvergrößerung zum Trennen eines bestimmten Doppelsternes läßt sich einfach finden. Ein Sternabstand von 1,5" (Bogensekunden) ist erfahrungsgemäß gut zu trennen, wenn dieser Abstand auf die durchschnittliche Trennschärfe des Auges von 3 Bogenminuten aufgewertet wird (Hierbei ist vorausgesetzt, daß das verwendete Fernrohr 1,5" auflöst).

Dies geht bei kleinen Winkeln \emptyset_s einfach mit der Näherungsformel 5: $V = \emptyset_s / \emptyset_w$

3 Bogenminuten entsprechen 180 Sekunden (1' = 60 sec), $180" (\emptyset_s) : 1,5" (\emptyset_w) = 120x$, d. h. eine 120fache lineare Vergrößerung ist in diesem Falle - **bei einigermaßen ruhiger Luft!** - notwendig.

Die Okular-Brennweite:

Alle modernen Okulare sind mehrlinsig, es wird daher eine äquivalente Brennweite angegeben, die besagt, daß das Okular die gleiche Vergrößerung ergibt, wie eine einfache Linse von der entsprechenden Brennweite.

Die Vergütung:

Im Wellenlängenbereich von 550 nm hat das menschliche Auge seine größte Empfindlichkeit. Angaben über Brechzahlen von Glassorten, über Reflexionsverluste an optischen Flächen oder max. Transmission werden daher meistens für diesen Wellenlängenbereich gemacht. Z.B. hat das meist verwendete optische Glas BK-7 (Borronglas 7) bei dieser Wellenlänge eine Brechzahl von $n = 1,518$ und an jeder optischen Fläche gehen 4,26% des auftreffenden Lichtes durch Reflexion verloren. D.h. bei einem sechslinsigen unvergüteten Erfle-Okular würde sich ein Lichtverlust von 25% ergeben (Die sechs Linsen sind in der Regel zu 3 Gruppen [3x1 verkittetes Linsenpaar] zusammengefaßt, d.h. der Reflexionsverlust beträgt jeweils 4,26% von der jeweiligen Resthelligkeit ~ca. 25%).

Mit mehrschichtvergüteten Glasflächen beträgt der Lichtverlust dagegen weniger als 4% und es sind auch keine störenden Reflexe von hellen Objekten im Bildfeld sichtbar. Damit u.a. erklärt sich,

warum Okulare früher mit möglichst wenigen Linsen auskommen mußten - bzw. warum es so wichtig ist, daß alle Linsenflächen eines Okulars vergütet sind.

Achten Sie daher darauf, daß teure Okulare möglichst "multicoated", d.h. mehrschichtvergütet sind. Ein Lampenreflex muß beim Prüfen des Okulares eine der Linsengruppenzahl entsprechende Kette zart rot & grün getönter Abbilder der Lampe erzeugen. Unvergütete Flächen reflektieren in der Farbe der Prüflampe, nur matter. Blaugetönte Reflexe bedeuten eine einfache Magnesium-Fluorid (MgF_2)-Vergütung.

Um die Bezeichnung "multicoated" rechtmäßig zu tragen, sollte bei einem teuren Okular z.B. nicht nur die erste augenseitige Fläche mehrschicht-vergütet sein! Hier gilt - wie bei allen anderen optischen Geräten – „**nicht anschaun, sondern durchschaun**“. (Zitat Fraunhofer!)

Der Augenabstand:

Das Okular erzeugt ein verkleinertes Bild der Eingangsöffnung des Teleskopes. Diese Abbildung heißt Austrittspupille.

Bei Spiegelteleskopen ist in dem kleinen Lichtfleck noch der Schatten des Sekundärspiegels – und jedes anderen Hindernisses im Strahlengang (Fangspiegelstreben usw.) sichtbar.

Der Abstand von der augenseitigen Linse des Okulars zur Austrittspupille ist der Pupillenabstand bzw. die Augenruhe. Idealerweise sollte diese Distanz ca. 12 mm, bzw. ca. 18 mm für Brillenträger betragen. Mit kürzeren Okularbrennweiten nimmt der Pupillenabstand ab. Deshalb werden z.B. Erfle-Okulare nur bis zu Brennweiten von 16 mm hergestellt.

Für die Beobachtung soll das Auge möglichst genau an der Austrittspupille – oder wenig dahinter sein. Zu nah am Okular ergibt sich ein Blinkeffekt, wobei ganze Partien des Gesichtsfeldes plötzlich unsichtbar werden und ein "blinder Fleck" mit der kleinsten Augenbewegung im Gesichtsfeld **tanzt**.

Bei zu großem Augenabstand fallen Lichtstrahlen vom Gesichtsfeldrand gar nicht erst ins Auge - das Bildfeld behält zwar seine Helligkeit und Auflösung, wird jedoch wesentlich kleiner.

Bei einigen Okularkonstruktionen mit kürzeren Brennweiten ist dieser Effekt trotz hervorragender Katalogdaten und extrem hoher Preise geradezu vorprogrammiert.

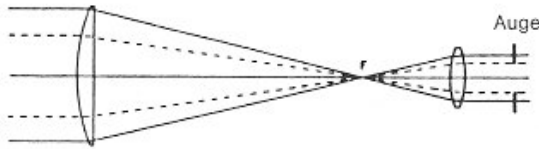
Es lassen sich zwar auch bei Okularbrennweiten unter 20 mm extrem große Eigengesichtsfelder erzeugen (bis über 80Grad). Der Beobachter muß jedoch "absolut genau" in der richtigen Einblickposition verharren. Ein noch so kleines Schwanken "des Kopfes **oder** des Fernrohres" führt dazu, daß man (wie vorher bereits erklärt) entweder nur ein kleines zentrales Feld - oder ein ringförmiges Feld mit dunkler Mitte sieht! Ohne ein fest montiertes Fernrohr ist ein solches Okular in jedem Fall eine riskante Investition. So ein - recht teures - Okular sollte man immer erst ausleihen, um zu prüfen, ob man mit dem Effekt leben kann, ohne die Freude an dem nur theoretisch nutzbaren großen Gesichtsfeld zu verlieren.

Auch 4-linsige Plössl-Okulare von renommierten Firmen haben zwar in der Regel einen für Brillenträger sehr bequemen Augenabstand - der Normalsichtige hat jedoch mit dem großen Augenabstand zu kämpfen, weil bei langbrennweitigen Okularen dieser Bauart das Auge im Leeren schwebt und die Austrittspupillen-Position durch die Körperbewegung dauernd verloren geht. Zudem behindert einfallendes Seitenlicht sowie Reflexe an der augenseitigen Okularfassung die vollständige Adaption (Dunkelanpassung des Auges).

Wir unterscheiden daher zwischen Okularen mit "nervösem" und solchen mit "augenfreundlichem" Einblickverhalten. In letztere Kategorie fallen unsere kurzbrennweitigen Ortho-, langbrennweitigen Erfle- und vor allem unsere **5-linsigen, eudiaskapischen Plössl-Okulare**, deren augenseitige

Fassung darüber hinaus als **Seitenlichtschutz** und Brauenaufgabe ausgebildet ist! Darüber hinaus wird jedes 1¼ Okular mit Gummiaugenmuschel geliefert.

Die Bedeutung der Austrittspupille:



Die gestrichelten Linien zeigen, wie sehr sich die effektive Öffnung eines Fernrohres verkleinert, wenn die Austrittspupille des Okulares größer ist als die Augenpupille und somit ein großer Teil des Lichtbündels an der Iris verlorengeht.

Ein paralleles, axiales Lichtbündel wird von einem Objektiv fokussiert und verläßt das Okular erneut als paralleles, konzentriertes Bündel. Auch alle außeraxialen Lichtstrahlen vereinigen sich hinter dem Okular zur sog. Austrittspupille. (Die Distanz der Austrittspupille von der letzten augenseitigen Linse des Okulars ergibt den Augenabstand.)

Gemäß der Skizze und der Formelsammlung läßt sich einfach berechnen, daß es keinen Sinn hat, z.B. ein kurzbrennweitiges Teleskop mit besonders langbrennweitigen Okularen auszurüsten!

Beispiel: Newton-Spiegel mit Durchmesser = 150 mm und Brennweite = 600 mm; f/4
Okularbrennbrennweite Fok = 40 mm

Nach der Formelsammlung (1/4) ergibt sich der Durchmesser der Austrittspupille zu $AP = 10$ mm! Eine durchschnittliche Augenpupille von 6,5 mm Öffnung kann folglich mit dem gleichen Gerät nach: $Dob = V \times AP / 15 \times 6,5 = 97,5$ nur 97,5 mm der Spiegelöffnung ausnützen. Das Bildfeld ist zwar sehr schön groß, zeigt aber plötzlich keine schwachen Sterne mehr! Aus einem 6" Newton-Teleskop ist effektiv ein 4" Gerät geworden - noch dazu mit einem im Verhältnis riesengroßen Fangspiegel.

Die Minimalvergrößerung:

Zu kleine Vergrößerungen - bzw. die zu große Austrittspupille - bewirken besonders bei Spiegelfernrohren wegen der zentralen Abschattung durch den Sekundärspiegel stark irritierende Erscheinungen.

Das Lichtbündel AP hat ja - bedingt durch den Fangspiegel - ein "Loch" in der Mitte. Wenn also die Austrittspupille zu groß wird, kann das Loch - besonders bei älteren Beobachtern - die gesamte Pupille überdecken! In der Bildmitte sieht man dann einen diffus abgegrenzten Schatten, auf den sich das Auge obendrein zu fokussieren versucht. Wenn man dann im Bemühen, besser zu sehen, das Auge unwillkürlich näher an das Okular (vor die Austrittspupille) bringt, wird die Sache noch schlimmer: Nun sieht der Beobachter zwar Objekte am Rande des Gesichtsfeldes - sobald er jedoch die Pupille auf diese Sterne richtet, werden sie unsichtbar, und andere Sterne erscheinen am Sehfeldrand. Auf diese Weise ist es unmöglich, irgendein Objekt im Gesichtsfeld direkt zu sehen, bzw. in Ruhe zu betrachten.

Die Minimalvergrößerung für ein beliebiges Fernrohr wird demnach durch den Pupillendurchmesser des dunkeladaptierten Auges bestimmt, der hier einmal mit einem mittleren Wert von 6,5 mm angenommen wird:

$$\text{Minimalvergrößerung } V_{\min} = \frac{\text{Objektivdurchmesser EP}}{\text{AP max} = 6,5 \text{ mm}}$$

Für unser Newtonteleskop ergibt sich somit

$$V_{\min} = 150 \text{ mm} / 6,5 = 23 \times$$

und die Okularbrennweite $F_{\text{ok}} = F_{\text{obj}} / V = 600 / 23 = 26 \text{ mm}$.

Hier soll nun gezeigt werden, wie man über das Maß der Austrittspupille AP und die Öffnungszahl N direkt zur gesuchten Okularbrennweite F_{ok} kommt: Wie die Formelsammlung zeigt, ergibt sowohl das Verhältnis Eintrittspupille EP (= Objektivdurchmesser) zu Austrittspupille AP, als auch das Verhältnis Objektivbrennweite F_{obj} zu Okularbrennweite F_{ok} die Vergrößerung des Teleskops: $EP/AP = F_{\text{obj}}/F_{\text{ok}} = V$

Stellt man die Formel um, ergibt sich $F_{\text{ok}} = (F_{\text{obj}}/EP) \times AP$

Nun ist aber der Quotient F_{obj}/EP die Öffnungszahl N (entspricht der Blende beim Fotoapparat und ist der Kehrwert des Öffnungsverhältnisses), also ist die gesuchte Okularbrennweite $F_{\text{ok}} = N$ mal AP.

Damit kommen wir in unserem Beispiel des Newtonteleskops wieder zur Okularbrennweite $F_{\text{ok}} = N \times AP = 4 \times 6,5 = 26 \text{ mm}$.

Die Maximalvergrößerung:

Die Frage "wieviel vergrößert dieses Fernrohr?" wird dem Fernrohrbesitzer oder-verkäufer immer wieder gestellt, und es ist regelmäßig schwierig zu erklären, daß hohes Lichtsammelvermögen, hohe optische Auflösungskraft, verbunden mit hoher Qualität der optischen und mechanischen Teile des Fernrohrs, wichtiger sind, als hohe und höchste Vergrößerungen.

Die obere Grenze der Fernrohrvergrößerung hängt von den jeweils herrschenden Sichtbedingungen ab. In den klaren, kühlen Nächten mit herrlich funkelnden Sternen ist die Luft so unruhig, daß nur schwache Vergrößerungen einigermaßen brauchbare Bilder ergeben. Dagegen sind Wetterlagen mit einem gewissen Maß an Dunst oder starkem Taufall, wie sie z.B. bei sog. Inversionen (Temperaturumkehr: kalte Luft unten - warme Luft oben) auftreten, für die Beobachtung der Planeten oder enger Doppelsterne mit entsprechend hohen Vergrößerungen ideal, weil die Atmosphäre dann nicht in Bewegung ist.

Ein weiteres Kriterium für die höchste sinnvolle Vergrößerung ist die Auflösungskraft des Auges, die bei einem Pupillendurchmesser von 3 mm ihren Höchstwert hat, und dabei das Öffnungsverhältnis (Blende) 1:7 gegenüber 1:3,2 wenn die Augenpupille 6,5 mm weit geöffnet ist. Die Erfahrung zeigt jedoch, daß bei besten Sichtverhältnissen bis auf 1 mm Austrittspupille heruntergegangen werden kann, um z.B. enge Doppelsterne an der Grenze des Auflösungsvermögens des Teleskops noch zu trennen.

Begründung:

Mit höherer Vergrößerung wird zunächst ein Gewinn an Bilddefinition auftreten. Die Grenze ist jedoch erreicht, wenn der Durchmesser der Austrittspupille auf 1 mm Durchmesser gesunken ist. Bei der entsprechenden Vergrößerung wird das Abbild eines punktförmigen Objektes (das Beugungsscheibchen eines Sternes) eben noch in der Größe eines Elementes der Netzhaut im Auge abgebildet. Das Auge sieht folglich bei dieser Vergrößerung einen Stern noch punktförmig. Darüber hinausgehende Vergrößerungen verteilen das Licht nur auf mehrere Zellen der Netzhaut, führen folglich zu einem Verlust an Bildhelligkeit - ohne Gewinn an Auflösung!

Kürzerbrennweitige Okulare bzw. kleinere Austrittspupillen ergeben sog. leere Vergrößerungen. Nur in Nächten mit extrem guter Luftruhe kann man guten Gewissens höhere Vergrößerungen empfehlen, weil dann (und nur dann) schwache Sterne (d. h. punktförmige Lichtquellen) vor dem, durch die hohe Vergrößerung, dunkleren Himmelhintergrund besser hervortreten.

Okularauswahl anhand der Austrittspupille:

Ein sinnvoller Vergrößerungsbereich ergibt sich als:

- Mindestvergrößerung V_{min} = Objektivdurchmesser (mm) / 6,5 mm
- Optimalvergrößerung V_{opt} = Objektivdurchmesser (mm) / 3 mm
- Höchstvergrößerung V_{max} = Objektivdurchmesser (mm) / 1 mm

In der Praxis hat es sich bewährt, zumindest 2 Zwischenvergrößerungen zu haben, die die Austrittspupillen 4 und 2 mm ergeben, entsprechend der folgenden Reihe der

Austrittspupillen 6.5 4 3 2 1 mm

Für die weitverbreiteten 8 Zoll Schmidt-Cassegrain Spiegellinsenteleskope mit dem Öffnungsverhältnis 1: 10 ergibt sich nach unserer einfachen Formel Okularbrennweite $F_{ok} = N \times AP$ dann direkt ein Okularsortiment mit den

Brennweiten 65 40 30 20 10 mm

So hat Herr Miller, der auch die Gesichtsfelder unserer Okulare geprüft hat, fürs eine Sternwarte Am Biberholz in Weßling sein Celestron 8 mit folgenden Okularen aus unserem Sortiment ausgestattet:

60mm,5-Linser,eudiaskopischesPlössl	2"	Durchmesser	33 x Vergrößerung
40 mm, 7-Linser, Erfle, Weitwinkel	2"	Durchmesser	50 x Vergrößerung
30 mm, 5-Linser, eudiaskopisches Plössl	1¼ "	Durchmesser	67 x Vergrößerung
20 mm, 5-Linser, eudiaskopisches Plössl	1¼ "	Durchmesser	100 x Vergrößerung
15 mm, 5-Linser, eudiaskopisches Plössl	1¼ "	Durchmesser	133 x Vergrößerung
10 mm, 5-Linser, eudiaskopisches Plössl	1¼ "	Durchmesser	200 x Vergrößerung

Zu den empfohlenen 5 Okularen hat unser Kunde noch das 15 mm-Okular dazu genommen und seinen 4-fach Okularrevolver mit den vier 1¼" Okularen, wie er meint, optimal bestückt. (Es soll aber nicht verschwiegen werden, daß das 40 mm Weitwinkelokular bei ihm recht häufig den Platz am Okularauszug einnimmt, da es bei fast gleichem Gesichtsfeld eine wesentlich höhere Vergrößerung bietet, als das 60 mm Plössl-Okular).

Ein Erfle-Okular kann zwar aufgrund des größeren Eigengesichtsfeldes und der höheren Linsenzahl niemals die absolute Randschärfe und das helle Bildfeld eines hochkorrigierten 5-linsigen Plössl-Okulares liefern; dennoch gerät besonders für ältere Beobachter das 2", 40 mm Erfle-Okular zur regelrechten Offenbarung, denn es liefert ein großes Gesichtsfeld und gleichzeitig hohe Vergrößerung - mit relativ kleiner Austrittspupille, die bei Schmidt-Cassegrain-Geräten nahe dem höchsten Auflösungsbereich des Auges liegt. Dieses Okular bietet somit auch bei nicht völlig dunkel adaptiertem Auge (Seitenlicht!) ein hervorragendes Bild!

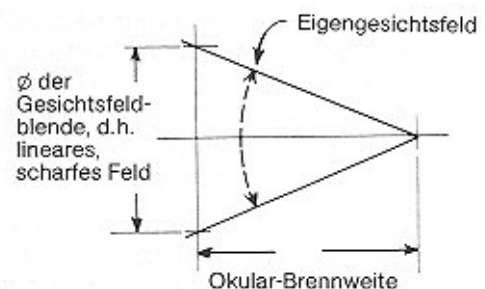
Wenn die Investition in ein 2" Zenitprisma und ein 2" Okular zu teuer erscheint, so bietet das 35 mm **eudiaskopische Plössl-Okular** mit Abstand das größte Gesichtsfeld, das mit einem 1¼ Okular erreichbar ist.

Bestimmung des Eigengesichtsfeldes (Os):



Bei älteren oder einfachen Okularen fehlt häufig die "Gesichtsfeldblende". Das Eigengesichtsfeld bzw. der scheinbare Gesichtsfeld Durchmesser (ϕ_s) eines Okulares läßt sich dennoch messen. Man führe einen 90 Grad geknickten Streifen Transparentpapier in die offene Seite der Okularsteckhülse ein, bis man den umgeklappten Streifen scharf sieht. Man variiert die Länge des eingeknickten Abschnittes so lange, bis beide Enden gerade noch - **scharf** - zu sehen sind. Die so bestimmte Länge des Papierabschnittes entspricht dem linearen Gesichtsfeld. Aus der folgenden Skizze läßt sich das Eigengesichtsfeld in Grad mit Hilfe eines Geodreiecks sehr genau ermitteln.

Lassen Sie sich daher auch bei unbekanntem modernen Okularen den genauen Durchmesser der Gesichtsfeldblende geben. Mit Zeichenstift und Geodreieck können Sie sehr einfach feststellen, ob der Anbieter das Eigengesichtsfeld - und damit letztlich das wahre, erreichbare Gesichtsfeld - korrekt angibt! Bei konsequenter Prüfung wird klar, daß die Angaben zum Eigengesichtsfeld bei vielen Anbietern schlicht falsch sind, bzw. daß manche angegebenen Gesichtsfelder gar nicht in Okulare mit 1¼" Steckfassungen unterzubringen sind. Dies betrifft nicht solche Okularbauarten, wo im Okular selbst eine Barlowlinse eingebaut ist; hier sind Gesichtsfelder bis ϕ_s 80 Grad möglich und nach der "Durchlaufmethode" (s.u.) nachprüfbar.



Bestimmung des Gesichtsfelddurchmessers, des "Wahren Gesichtsfeldes" der Okulare.

Die bewährte Methode nutzt die Tatsache, daß ein Stern am Himmelsäquator (Deklination=0) sich infolge der Erddrehung in 1 Sternzeitsekunde um 15 Bogensekunden nach Westen bewegt.

Man läßt nun einen solchen "Äquatorstern" bei abgeschaltetem Stundenantrieb quer durch die **Mitte** des Okulargesichtsfeldes "laufen". Man stoppt die Zeit T die der Stern vom östlichen bis zum westlichen Rand des Gesichtsfeldes braucht und hat damit die Durchgangszeit T, die mit 15 multipliziert den wahren Gesichtsfelddurchmesser in Bogensekunden ergibt. Zur Umrechnung in Bogenminuten teilt man das Produkt durch 60:

$$\phi_w = T \cdot \frac{15}{60} = \frac{T}{4}; \text{ Beispiel: } 2", 40 \text{ mm Erfle-Okular am C14: } T = 149 \text{ s; } \phi_w = \frac{149}{4} = 37,25 \approx 37'$$

Zu dieser kleinen Arbeit möchten wir Sie ermuntern, denn Sie erhalten neben den notwendigen Meßwerten oft einen genaueren Eindruck von der grundsätzlichen Anwendbarkeit Ihrer Okulare, als es die normale Beobachtung mit sich bringt.

Es wird Ihnen ggfs. drastisch vor Augen geführt, daß eine vernünftige Messung gerade bei Okularen mit den viel beschworenen extrem großen Eigengesichtsfeldern (um 80 Grad) schwierig ist, weil hier die richtige Einblickposition zwangsläufig so eng ausgelegt sein muß, daß das Bildfeld beim leisesten Schwanken verschwindet bzw. daß das große Feld nur durch Rotation der Pupille zu überblicken ist, weil es nicht auf einmal auf der Netzhaut abgebildet werden kann. Dieser Versuch, "schräg" in das Okular zu blicken, führt fast zwangsläufig zum Verlust der Einblickposition, d. h. zu wiederholten Meßvorgängen und ganz allgemein zu einem "nervösen" Einblickverhalten.

Das Gegenteil bezeichnen wir als "augenfreundliches" Einblickverhalten und haben deshalb stets Erfle-Konstruktionen vorgezogen, die heute wegen höherer Randunschärfe abqualifiziert werden. Bei einem solchen Urteil wird vernachlässigt, daß es der Sehgewohnheit des menschlichen Auges bzw. u. a. der Anordnung der Sehzellen entspricht, daß eine leichte Randunschärfe in der Regel gar nicht wahrgenommen wird, so lange das Auge nur - ohne große Pupillenbewegung - das Gesichtsfeld voll überblicken kann und ein Schwanken des Beobachters oder des Fernrohres nicht sofort den Verlust des Bildfeldes bewirkt!

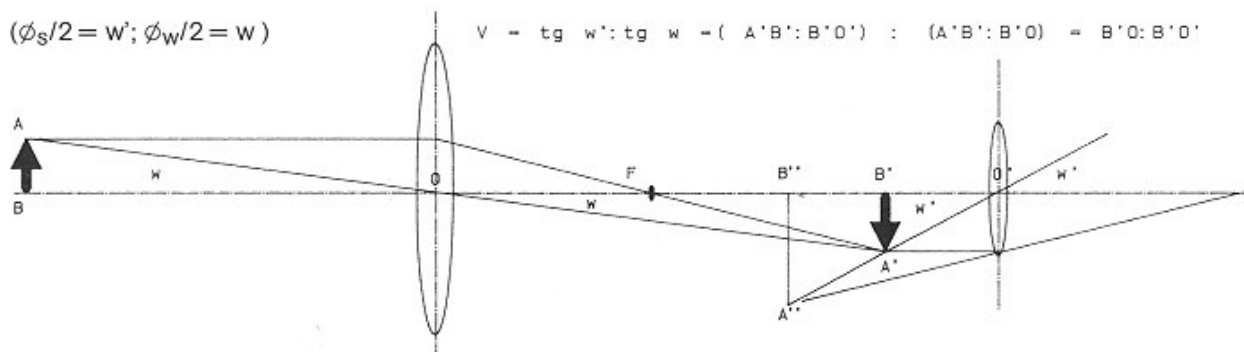
Der Unterschied zwischen einem in dieser Hinsicht "guten" bzw. "schlechten" Okular wird oft recht unverblümt von Leitern der Astro-Kurse an Gymnasien ausgedrückt, die bei Verwendung eines "nervösen" Okulares ggfs. von allen 14 Schülern eines Kurses zu hören bekommen: "ich seh' ja gar nichts..."

Besonders wegen der Verwendung an Schulen und Volkssternwarten achten wir darauf, daß alle unsere Okulare ein **augenfreundliches Einblickverhalten** haben müssen!

Korrektur der Näherungsformeln

Die Formeln 5/6 in der Tabelle auf Seite 2, aber auch die o.g. genäherte Berechnung des wahren Gesichtsfeldes sind vereinfacht wiedergegeben. Es ist z.B. nicht korrekt, für V einfach den Quotienten der ganzen Winkel zu ziehen. Zumindest bei Weitwinkelokularen mit $\phi_s > 55$ Grad sollte man sich daher die folgende Beziehung vergegenwärtigen.

Unter der Vergrößerung versteht man beim Fernrohr nicht das Verhältnis der Größe des Bildes zur Größe des Gegenstandes, wie beim Mikroskop, sondern das Verhältnis der trigonometrischen Tangenten der Sehwinkel von Bild und Gegenstand. Der Gegenstand AB erscheint von der Mitte des Objektivs aus unter dem Winkel AOB, der mit w bezeichnet sei. Dann ist auch der Winkel A'O'B' = w. Das Bild A'B' bzw. A''B'' erscheint dem Beobachter unter dem Winkel A'O'B'', der mit w' bezeichnet werden soll. Dann ist die Vergrößerung:



Bezeichnet man die Brennweite des Objektivs mit Fobj, die des Okulars mit Fok, so ist nach obigen Ausführungen bei der Beobachtung eines weit entfernten Gegenstandes $B'O = F_{obj}$ und $B'O' = f_{ok}$, also $V = F_{obj} / F_{ok}$, woraus bekanntlich die Vergrößerung eines Fernrohres berechnet werden kann, wenn die Brennweiten des Objektivs und des Okulars bekannt sind.

Quelle: Cuno Hoffmeister, Die Instrumente, im Handbuch für Sternfreunde, Hrsg. Robert Henseling

Der korrekte Rechenweg für das wahre Gesichtsfeld ϕ_w

Es gilt: Ein Stern am Himmelsäquator (Deklination=0 Grad) bewegt sich infolge der Erddrehung in 1 Sternzeitsekunde um 15 Bogensekunden nach Westen.

1 Sternzeitsekunde = 1 Sekunde mittlerer Sonnenzeit / 0,997271.

Durchmesser des wahren Gesichtsfeldes ϕ_w

$$\phi_w = \frac{\text{Durchgangsdauer } T \text{ [s]} \cdot 15}{0,997271 \cdot 60} = \frac{T \text{ [s]}}{0,997271 \cdot 4} \text{ [Bogenminuten]}$$

Beispiel: 40 mm, 2", Erfle am Celestron 8: Durchgangsdauer: gestoppte 290 Sekunden.

$$\phi_w = \frac{290}{0,997271 \cdot 4} = 72,7 \text{ Bogenminuten}$$

Ist kein geeigneter Äquatorstern sichtbar, kann auch mit jedem anderen Stern oder Planeten gemessen werden; es muß dann aber auf $\delta = 0$ umgerechnet werden; nach der einfachen Formel: $T = T' \cdot \cos \delta$ [s]

Beispiel: Am gleichen Fernrohr wie oben wurde mit dem hellen Stern Wega eine Durchgangsdauer T' von 372 Sekunden gestoppt. (α Lyrae, $\delta = 38^\circ 44'$)

$$T = T' \cdot \cos \delta = 372 \cdot \cos 38^\circ 44'; T = 290 \text{ Sekunden}$$

Der korrekte Rechenweg für das scheinbare Gesichtsfeld ϕ_s :

a) aus dem Durchmesser der Gesichtsfeldblende und der Okularbrennweite:

$$\phi_s = 2 \arctan \frac{\text{Halber Durchmesser der Gesichtsfeldblende}}{\text{Okularbrennweite}}$$

Beispiel: 35 mm Okular mit 1/4" Steckhülse Gesichtsfeldblende gemessen: 29 mm

$$\phi_s = 2 \arctan \frac{29/2}{35} = 2 \cdot \arctan 0,41428 \quad \phi_s = 45,0 \text{ Grad}$$

b) aus der Durchgangsdauer T und der Vergrößerung V :

Aus der Beziehung $V = \frac{\tan s/2^\circ}{\tan w/2^\circ}$ folgt $\tan s/2^\circ = \tan w/2^\circ \cdot V$

$$\tan s/2 = \tan \left(\frac{T}{0,997271 \cdot 4 \cdot 2 \cdot 60} \right)^\circ \cdot V \quad s = 2 \arctan \left[\tan \left(\frac{T}{0,997271 \cdot 4 \cdot 2 \cdot 60} \right)^\circ \cdot V \right]$$

$$s = 2 \arctan \left[\tan \left(\frac{T}{478,69} \right)^\circ \cdot V \right]$$

Beispiel: 35 mm Okular am Refraktor 80 x 910 mm. $T = 443$ Sekunden, $V = 26x$

$$\text{Eigengesichtsfeld } \phi_s \text{ in Grad: } \phi_s = 2 \cdot \arctan \left[\tan \left(\frac{T}{478,69} \right)^\circ \cdot V \right] = 2 \cdot \arctan \left[\tan 0,925^\circ \cdot V \right]$$

$$\phi_s = 2 \cdot \arctan \left[0,01615 \cdot 26 \right] = 2 \cdot \arctan 0,41999$$

$$\phi_s = 2 \cdot 22,78^\circ = \underline{\underline{45,6^\circ}}$$

Die Vergrößerung ergibt sich aus der Formel Nr. 1 (s. Seite 2): $V = F_{ob} : F_{ok}$

und hier gilt es nun zu beachten, daß sich bei Maksutov- und Schmidt-Cassegrain-Teleskopen (z.B. Questar, Celestron, Meade), bei denen die Fokussierung durch axiale Verstellung des Hauptspiegels geschieht, gleichzeitig auch die Objektivbrennweite F_{ob} (und damit die Größe der Austrittspupille AP) ändert - und zwar so erheblich, daß ein Übergehen dieser Tatsache zu einer groben Verfälschung des Rechenergebnisses führen würde.

In diesen Fällen ermittelt man die Vergrößerung besser über die Formel Nr.3: $V = D_{ob} / AP$, wobei dann die Austrittspupille AP besonders genau gemessen werden muß!

Leichter ist es natürlich das gesuchte Eigengesichtsfeld an einem Refraktor oder Newton-Teleskop zu ermitteln, weil hier die Objektivbrennweite konstant ist und V ohne großen Aufwand errechnet werden kann.

Literaturverzeichnis:

1. Astronomische Amateurgeräte, Beschreibung und Gebrauchsanweisung, Carl Zeiss (Jenoptik Jena GmbH) 1959.
2. Astronomisches Handbuch, herausgegeben vom Bund der Sternfreunde durch Robert Henseling, Frankh'sche Verlagshandlung 1925, Kapitel: die Instrumente, Cuno Hoffmeister.
3. Handbuch für Sternfreunde, Herausgeber G. D. Roth, dritte Auflage, Springer Verlag 1981, Kapitel: Die optischen Beobachtungsinstrumente, WJahn.
4. Amateur Astronomer's Handbook, J. B. Sidgwick, Dover Publications Inc., New York 1980.
5. Astronomy - a complete manual of amateur Astronomy, P. Clay Sherrod, Prentice Hall Inc., Inglewood Cliff, New Jersey 1981.
6. Das Fernrohr des Sternfreundes, Rudolf Brandt, Frankhsche Verlagshandlung, Stuttgart 1967.
7. Das Fernrohr und der Sternenhimmel, Rudolf Brandt, Erich Pause und Georg Börner, Zeitschriftenverlags KG, Weimar 1941.
8. Kleine praktische Astronomie, Paul Ahnert, Joh. Ambrosius, Barth Verlag, Leipzig 1974.
9. Leitfaden der astronomischen Beobachtung, H. Grammatzki, Ferd. Dümmlers Verlag, Berlin und Bonn 1928.
10. The Amateur Astronomers Handbook, Jarnes Muirden, 3rd edition, Harper & Row publishers, New York 1983.
11. All about Telescopes, Sam Brown, Edmund Scientific Co., New York 1975.
12. Amateur Telescope Making, Herausgeber A. G. Ingalls, Scientific American Inc. eighteenth printing 1980, Bd. 11 187 ff u. 623ff, Bd. 111 479ff.

PS. Wenn Sie "rechenfaul" sind, jedoch einen PC oder programmierbaren Taschenrechner besitzen, dann speichern Sie doch einfach dieses kleine Basic-Programm ab. Wenn Sie sich jetzt die Mühe machen für jedes Ihrer Okulare die Durchgangszeit t zu bestimmen, erhalten Sie die wichtigsten Okulardaten auf Knopfdruck. Viel Spaß!

```
REM Vergroesserung, Wahres & Eigengesichtsfeld von Okularen, Methode 1
20 PRINT "Geben Sie die = Objektivbrennweite FOB in mm ein"
30 INPUT FOB
40 PRINT "Geben Sie die Okularbrennweite FOK in mm ein"
50 INPUT FOK
60 PRINT "Geben Sie die Durchgangszeit T(s) eines Sterns mit Dekl.0 ein"
70 INPUT T
80 LET V = FOB / FOK
90 PRINT "Vergroesserung="V"-fach"
100 LET WG=T/.997271/4
110 PRINT "Wahres Gesichtsfeld="WG"Bogeninuten"
120 PI=3.141592654#
130 LET W=V*TAN(WG*PI/21600)
140 LET WS=2*180/PI*ATN(W)
150 PRINT "Eigengesichtsfeld="WS"Grad"
160 PRINT "Weitere Okulare berechnen j/n ?"
170 INPUT F$
180 IF F$="j" THEN GOTO 20
190 END
```

Sternwarte Am Biberholz, Weißling



copyright Baader Planetarium GmbH, München 1988 und 2001

Das Kopieren und die - auch auszugsweise - Verwendung aller Teile dieses Textes ohne Angabe unserer Urheberschaft ist ausdrücklich untersagt und wird bestraft. Wir behalten uns alle Rechte vor. Angaben zu unseren eigenen Okularen können keinesfalls auf andere Typen oder Hersteller übertragen werden.

BAADER PLANETARIUM GmbH