

Die Bedeutung der Austrittspupille und der max. Pupillenweite des Betrachters bei der teleskopischen Himmelsbeobachtung

Hans-Georg Pellengahr

Als **Austrittspupille (AP)** wird bei Teleskopen und Ferngläsern der **Durchmesser des Lichtstrahls bezeichnet, der das Okular verlässt.**

Wenn man sein Fernglas / Teleskop auf ein helles Objekt richtet und dann aus einiger Entfernung in das Okular blickt, zeigt sich die AP darin als helle Scheibe. Ihr Durchmesser ist abhängig von der Lichtstärke des Teleskops und der verwendeten Vergrößerung.

Die **Vergrößerung (V)** ergibt sich aus dem Verhältnis der Objektivbrennweite f_{obj} und der Okularbrennweite f_{ok} gemäß der Formel:

$$V = f_{\text{obj}} / f_{\text{ok}}$$

(z. B.: $V = 1.000 \text{ mm} / 10 \text{ mm} = 100 \times$ (100-fache Vergrößerung)).

Setzt man die **Öffnung (D)** des Fernglases / Teleskops ins Verhältnis zur Vergrößerung (V) so lässt sich die Austrittspupille wie folgt berechnen:

$$AP = D / V$$

Beispielrechnungen:

Fernglas 8 x 20; AP = 2,5 mm (20/8)

Fernglas 7 x 50; AP = 7,0 mm (50/7)

Miyauchi Großfernglas 20/26/37 x 100
je nach verwendeten Okularen

V = 20 x; AP = **5,0 mm (100/20)**

V = 26 x; AP = **3,8 mm (100/26)**

V = 37 x; AP = **2,7 mm (100/37)**

Die Berechnungen für das Miyauchi-Großfernglas zeigen, wie sich die Austrittspupille in Abhängigkeit von den verwendeten Okularen und der damit erzielten Vergrößerung verändert: je höher die Vergrößerung, desto kleiner die Austrittspupille und desto geringer zugleich die durch das Instrument zur Verfügung gestellte Lichtmenge.

So liefert das 8-fach vergrößernde 8 x 20 Fernglas aufgrund seiner kleinen Öffnung von 20 mm lediglich eine AP von 2,5 mm. Das Miyauchi Großfernglas (Öffnung 100 mm) stellt dem Beobachter bei sogar noch etwas größerer AP (2,7 mm) demgegenüber eine 37-fache Vergrößerung zur Verfügung.

Während ein handelsüblicher Feldstecher im Regelfall nur eine feste Vergrößerung liefert, können wir die Vergrößerung bei der Himmelsbeobachtung mit einem Teleskop oder auch z. B. dem o. a. Großfernglas durch Okularwechsel verändern und unseren Beobachtungszielen anpassen.

Dabei sollten wir uns über die folgenden optischen Zusammenhänge und Grenzen im Klaren sein:

Jedes Instrument hat eine **sinnvolle Minimal-** und eine **sinnvolle Maximalvergrößerung**. Dazwischen liegt die sog. **Optimalvergrößerung**.

Diese hängen ab von der Öffnung und der Brennweite unseres Teleskops; beide Werte lassen sich zusammenfassen in der **Lichtstärke / Öffnungszahl** bzw. dem **Öffnungsverhältnis**, d. h., dem Verhältnis von Objektivbrennweite und Teleskopöffnung (D), s. nachfolgende Formel:

$$L = f_{\text{obj}} / D$$

(z. B.: Refraktor mit 100 mm Öffnung und 1.000 mm Objektivbrennweite: $1.000 \text{ mm} / 100 \text{ mm} = 10$ [= **Lichtstärke od. Öffnungszahl 10**, stattdessen spricht man auch vom **Öffnungsverhältnis**, hier = $f/10$])

In **Abhängigkeit** von der zur Verfügung stehenden **Teleskopöffnung** und der verwendeten **Vergrößerung** ($V = f_{\text{obj}} / f_{\text{ok}}$) wird dem Beobachter über eine **bestimmte Austrittspupille** eine **bestimmte Lichtmenge** zur Verfügung gestellt.

Aus der nachfolgenden **Tabelle 1** können Sie die **mit Okularen ab 2,5 mm bis 40 mm Brennweite an Teleskopen mit Öffnungsverhältnissen von f/4 bis f/10 erzielbare Austrittspupille** ablesen.

Tabelle 1

f_{ok}	Austrittspupille (AP) in mm bei einem Teleskop-Öffnungsverhältnis von					
	f/4	f/4,5	f/5	f/6	f/8	f/10
2,5	0,6	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25
4,0	1,0	0,9	0,8	0,7	0,5	0,4
5,0	1,3	1,1	1,0	0,8	0,6	0,5
6,0	1,5	1,3	1,2	1,0	0,8	0,6
7,0	1,8	1,6	1,4	1,2	0,9	0,7
8,0	2,0	1,8	1,6	1,3	1,0	0,8
9,0	2,3	2,0	1,8	1,5	1,1	0,9
10,0	2,5	2,2	2,0	1,7	1,3	1,0
12,0	3,0	2,7	2,4	2,0	1,5	1,2
14,0	3,5	3,1	2,8	2,3	1,8	1,4
16,0	4,0	3,6	3,2	2,7	2,0	1,6
20,0	5,0	4,4	4,0	3,3	2,5	2,0
25,0	6,3	5,6	5,0	4,2	3,1	2,5
28,0	7,0	6,2	5,6	4,7	3,5	2,8
32,0	8,0	7,1	6,4	5,3	4,0	3,2
35,0	8,8	7,8	7,0	5,8	4,4	3,5
40,0	10,0	8,9	8,0	6,7	5,0	4,0

Die Austrittspupille am Teleskopokular kann allerdings nicht isoliert betrachtet werden, sondern muss ihrerseits in Beziehung gesetzt werden zur maximalen Pupillenöffnung des jeweiligen Beobachters (nach Dunkeladaptation).

Neben der bereits eingangs vorgestellten Formel zur Ermittlung der Austrittspupille,

$$AP = D / V$$

(Teleskopöffnung dividiert durch angewandte Vergrößerung)

Beispielrechnung:

6"- Refraktor (Öffnung 150 mm):

V = 30 x; AP = 150 / 30 = 5,0 mm

V = 100 x; AP = 150 / 100 = 1,5 mm

möchte ich hier noch eine alternative Berechnungsweise vorstellen, die die **Austrittspupille** aus dem **Verhältnis der Brennweite des eingesetzten**

Okulars und der Lichtstärke (L) bzw. Öffnungszahl des eingesetzten Teleskops ermittelt:

$$AP = f_{ok} / L$$

(Brennweite des Okulars dividiert durch Öffnungszahl des Teleskops)

Beispielrechnung:

10“- Newton (Öffnung 250 mm, $f = 1.250$ mm, Öffnungszahl = $1.250/250 = 5$):

$$f_{ok} = 20 \text{ mm}; AP = 20 / 5 = 4,0 \text{ mm}$$

$$f_{ok} = 10 \text{ mm}; AP = 10 / 5 = 2,0 \text{ mm}$$

Je größer also die Lichtaustrittsöffnung (genannt: Austrittspupille) am Okularende ihres Teleskops ist, desto mehr Licht erreicht ihr Auge. Dessen Aufnahmefähigkeit wird aber begrenzt durch ihre maximale Pupillenöffnung. D.h.: Wenn sich die Pupillen ihrer Augen nach Dunkeladaption lediglich bis auf 6 mm öffnen, so schöpfen sie bereits bei Verwendung eines Okulars mit einer AP von 6 mm die Leistungsfähigkeit ihrer Augen vollständig aus. Liefert ihr Okular eine AP von 8 mm, so bleiben davon 2 mm Öffnung ungenutzt.

Grundsätzlich sind die folgenden vier Fallkonstellationen zu unterscheiden:

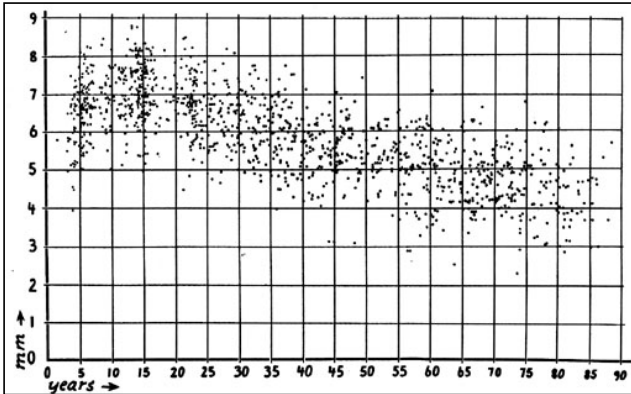
Ist die Austrittspupille (AP) der von ihnen verwendeten Optik so groß wie die maximale Pupillenweite Ihres Auges

(P_{max}), wird Ihrer Netzhaut die maximal mögliche Lichtmenge angeboten. Ist die AP größer als ihre P_{max} , so können sie die Lichtstärke ihres Teleskops hingegen nicht voll ausnutzen. Ist die AP geringer als ihre P_{max} , wird ihrem Auge weniger Licht angeboten, als es eigentlich verarbeiten könnte. Sind AP und P_{max} gleich, so ist die AP der begrenzende Faktor. Ihr Auge könnte aber nicht mehr Licht verarbeiten.

Aber wie weit vermögen sich denn die Pupillen ihrer Augen nach ausreichender Dunkeladaption zu öffnen? Das lässt sich letztlich nur durch eine individuelle Messung feststellen; vielleicht könnten wir ja im Rahmen einer Beobachtungsnacht in Kattenvenne mal selbst unsere individuellen Pupillenöffnungen bestimmen.

Die **Augenpupillen eines jungen gesunden Menschen** erweitern sich in der Regel maximal auf **8 - 9 mm** (in Einzelfällen werden sogar 9,5 mm erreicht).

Einer Untersuchung der **Universität Tübingen** zufolge nimmt die Pupillenweite des menschlichen Auges mit zunehmendem Alter ab, wobei allerdings **innerhalb der Altersklassen eine sehr hohe Variabilität** (auch bei den älteren Probanden) festgestellt wurde (vgl. das folgende Schaubild).



From: I. E. Loewenfeld, in *Topics in Neuro-Ophthalmology*, H.S.Thomson et al. eds [Baltimore 1979]

Die Untersuchung der Uni Tübingen erfasste einen allgemeinen Bevölkerungsquerschnitt von 1.263 Personen, deren Pupillenöffnung nach Dunkeladaption vermessen wurde.

Die nachfolgend zitierte **Gahberg-Studie** bezieht sich demgegenüber zwar auf einen erheblich kleineren Personenkreis. Dieser bestand jedoch ausnahmslos aus aktiv beobachtenden Hobbyastronomen. Deshalb hat diese Studie für unsere Zwecke sicherlich eine größere Bedeutung und Aussagekraft.

Der unter Sternfreunden bekannte Astrohändler und Hobbyastronom Martin Birkmaier (*Intercon Spaceteq, Augsburg*) nimmt in seinem Astro-Katalog sowie im Beratungsbereich seines Internetauftritts (<http://www.intercon-spaceteq.de/rat/rat-okulare/okularberatung>)

auf die Gahberg-Studie Bezug. Anlässlich eines Besuches in Augsburg im Nov. 2009 habe ich Martin Birkmaier diesbezüglich befragt und dabei folgendes erfahren:

Der Astronomische Arbeitskreises Salzkammergut veranstaltet all-

jährlich auf seiner **Sternwarte Gahberg** (*Berg in der Nähe des Attersees*) Astro-Workshops. In deren Rahmen wurden in den Jahren **1998** und **2003** nach Dunkeladaption die **Pupillen aller teilnehmenden Hobbyastronomen** (*insgesamt 90 Personen*) **vermessen**. Martin Birkmaier war so freundlich und hat mir die Ergebnisse der Studie übermittelt, sodass ich diese im Detail einsehen und auswerten konnte. Danach ist der vielfach behauptete Zusammenhang zwischen Lebensalter und maximaler Pupillenöffnung (*je älter desto kleiner die max. Pupillenöffnung*) zumindest in Bezug auf aktiv beobachtende Hobbyastronomen mehr als fragwürdig.

Im Rahmen der Gahberg-Studie wurden u. a. die Pupillendurchmesser von **11 Amateur-Astronomen im Alter von 60 bis 77 Jahren** vermessen. Deren Durchschnitts-Pupillenweite nach Dunkeladaption betrug **6,8 mm**, selbst mit

77 Jahren sind über 7 mm möglich, kein einziger der über 60-Jährigen lag unter 6 mm Pupillenöffnung. In zwei Fällen wurde sogar noch eine Pupillenweite 8 mm gemessen. Anscheinend können sich aktive Himmelsbeobachter ihre max. Pupillenweite bis ins hohe Alter weitgehend bewahren.

Aktive Hobbyastronomen sollten bei Auswahl ihrer Okulare den Ergebnissen der Gahberg-Studie folgend ihre max. Pupillenweite selbst im Alter von 70 Jahren nicht unter 6 mm annehmen, eher sogar noch etwas darüber bei 6,5 mm.

Fazit für die Teleskopbeobachtung:

Wer um die vorstehend dargelegten Zusammenhänge weiß, kann sich diese zu Nutze machen, sein astronomisches Equipment dementsprechend optimieren und mit angepasster Beobachtungstechnik (z. B. *optimaler Vergrößerung*) bis an die Leistungsgrenzen seines Teleskops vorstoßen.

Hier möchte ich Bezug nehmen auf eine beispielhafte und leicht verständliche Darstellung von *Ronald Stoyan (Vergrößerung und Grenzgröße im Teleskop - Fallbeispiel M 13;*

<http://www.astronomie.de/bibliothek/artikel/einsteiger/grenzgroesse/index.htm>

Wie Stoyan möchte ich die Thematik beobachtungstechnisch nachvollziehbar

an dem Kugelsternhaufen M 13 im Sternbild Herkules beispielhaft erläutern. Die Flächenhelligkeit dieses unter gutem Himmel noch soeben mit bloßem Auge wahrnehmbaren Objektes beträgt $5^m,7$. Würde man M 13 auf eine Punktquelle reduzieren, wäre er so hell wie ein Stern von $5^m,7$. Der visuell sichtbare Durchmesser des Kugelsternhaufens beträgt $8'$, die Helligkeit ist also in etwa über diesen Bereich verteilt. Das **bloße Auge** kann die $8'$ noch so gerade auflösen. M 13 erscheint dem „unbewaffneten“ Auge demzufolge nicht flächig, sondern fast punktförmig, aber als leicht nebelartiger Stern, dem trotz exakter Fokussierung das letzte Quäntchen Schärfe fehlt.

Im **Feldstecher oder kleinen Teleskop** ist M 13 demgegenüber sofort als „Nebel“ zu identifizieren. Am hellsten, allerdings noch immer sehr kleinflächig (*deshalb nebelartig, also noch nicht in Einzelsterne aufgelöst und auch noch nicht eigentlich als Kugelsternhaufen identifizierbar*) erscheint er bei Beobachtung mit der kleinstmöglichen Vergrößerung.

Diese **Minimalvergrößerung** entspricht derjenigen, bei der die maximal mögliche Pupillenöffnung des Beobachterauges erreicht wird, also bei einer Okular-Austrittspupille (AP) von 6 - 8 mm. Man spricht hier auch von der **kleinsten sinnvollen Vergrößerung**. Eine noch geringere Vergrößerung

würde nämlich zu einer die größtmögliche Pupillenweitung des Beobachters überschreitenden Okular-AP führen. Der Beobachter könnte die ihm vom Teleskop zur Verfügung gestellte Lichtmenge nicht mehr vollständig aufnehmen, darüber hinaus würde die über das sinnvolle Maß hinaus minimierte Vergrößerung einen weiteren Informationsverlust (*weniger Details*) verursachen. Beides würde keinen Sinn ergeben. Deshalb sollte die **kleinste sinnvolle Vergrößerung nicht unterschritten** werden.

Die für Ihr Teleskop **sinnvolle Minimalvergrößerung** (V_{\min}) können Sie ermitteln, indem Sie dessen Öffnung (D) durch Ihre max. Pupillenweite (P_{\max} , z. B. 7 mm) dividieren:

$$V_{\min} = D / P_{\max}$$

also beispielsweise: $250 \text{ mm} / 7 \text{ mm} =$
 $V_{\min} = 36 \times$

Tabelle 2 stellt das Ergebnis für verschiedene Teleskopöffnungen dar. Mit jeder Steigerung der Vergrößerung wird das neblige Bällchen schwächer. Im 60 mm-Refraktor kann man das schön selbst nachvollziehen. Der Effekt ist übrigens für alle Teleskope gleich. In einem 500 mm-Spiegel ist M 13 bei Minimalvergrößerung genau so hell wie im 60 mm-Refraktor. Das Maß für die wahrnehmbare Helligkeit von flächigen Objekten ist also allein die

Austrittspupille, je größer diese ist, desto heller stellt sich das Objekt im Teleskop dar.

Nicht nur das Beobachtungsobjekt, sondern auch der Himmelshintergrund verhält sich nach diesem Grundsatz. Bei Minimalvergrößerung ist der Nachthimmel rund herum maximal hell, so hell wie mit bloßem Auge. Mit Steigerung der Vergrößerung wird der Himmelshintergrund immer dunkler. Sterne, also punktförmige Lichtquellen, erhalten dadurch einen immer größeren Kontrast zum Hintergrund. Schwache Sterne sind demzufolge am besten bei hoher Vergrößerung zu sehen.

Aber auch hier gibt es eine optisch bedingte Grenze, die **optimale Vergrößerung** (V_{opt}). Sterne werden vom Teleskop nicht als Lichtpunkte, sondern als Beugungsscheibchen abgebildet. Deren Größe ist abhängig von der Teleskopöffnung (D). Je größer diese ist, desto kleiner / punktförmiger sind die Beugungsscheibchen.

Der Durchmesser (\emptyset) des erreichbaren Beugungsscheibchens - „man spricht hier auch vom **Auflösungsvermögen** (A) des Teleskops“ - errechnet sich aus

$$A = 116'' / D$$

z. B.: $116'' / 100 = 1,16''$

Die nachfolgende **Tabelle 2** zeigt, dass die **höchstmögliche Auflösung** für alle

Teleskope in etwa bei einer Austrittspupille (AP) von 0,7 mm, bei besonders gutem Seeing evtl. bei einer noch leicht kleineren AP, erreicht wird.

Die Tabelle zeigt auch die weiteren Zusammenhänge zwischen Teleskopöffnung, sinnvoller minimaler, optimaler und maximaler Vergrößerung, Auflösungsvermögen und visuell erreichbarer Grenzgröße.

Tab. 2

Leistungsvermögen von Teleskopen (perfekte Optik, perfekte Beobachtungsbedingungen)					
Öffnung D	V_{\min} , AP=7mm	V_{opt} , AP=0,7mm	Ø	visuelle Grenzgröße (fst. 6 ^m ,5)	V_{\max} (D x 2, evtl. D x 2,5)
50 mm	7 x	75 x	2,32“	11 ^m ,0	100 x 125 x
70 mm	10 x	100 x	1,65“	12 ^m ,0	140 x 175 x
100 mm	14 x	155 x	1,16“	13 ^m ,5	200 x 250 x
200 mm	29 x	286 x	0,58“	15 ^m ,0	400 x 500 x
250 mm	36 x	357 x	0,46“	15 ^m ,5	500 x 625 x
360 mm	51 x	514 x	0,32“	16 ^m ,5	720 x 900 x (?)
500 mm	71 x	714 x	0,23“	17 ^m ,5	1000 x 1250 x (?)

Bei 70 mm Öffnung ergibt eine Austrittspupille von 0,7 mm eine Vergrößerung $V = 100x$, 200 mm Öffnung erlauben demgegenüber (bei gleicher AP) fast das Dreifache, nämlich $V = 286 x$.

Sterne, die mit einer Vergrößerung beobachtet werden, bei der die AP von 0,7 mm unterschritten wird, werden nicht mehr als punktförmige Objekte dargestellt, sondern zeigen sich als kleine flächige Scheibchen und verhalten sich bei der Beobachtung wie Nebelflecken: Eine weitere Steigerung der Vergrößerung macht sie schwächer. Da das

menschliche Auge flächige Objekte (*Beugungsscheibchen statt punktförmiger Stern*) aber heller sieht, kann in besonderen Fällen - bes. gutes Seeing vorausgesetzt - eine leichte Überschreitung der Grenzvergrößerung, damit zugleich eine Beobachtung mit noch kleinerer Austrittspupille bis 0,5 mm sinnvoll sein. Aus eben diesem in der Beschaffenheit unserer Augen liegenden Grund erscheint M 13 im

500 mm-Teleskop bei 7 mm Austrittspupille subjektiv heller als im 60 mm Refraktor. Allerdings darf das Beugungsscheibchen nicht zu groß werden, sonst verschwindet der Effekt wieder bzw. wird das lichtschwache Objekt unsichtbar.

Bei größeren Teleskopen kommt man bei 0,7mm Austrittspupille im Übrigen schnell zu Vergrößerungen, die aufgrund des Seeings nur selten wirklich ausgeschöpft werden können. Ab etwa 200 - 300 mm Teleskopöffnung können deshalb auch perfekte Geräte gar nicht mehr so schwache Sterne zeigen, wie

sie dies eigentlich bei absoluter Luftruhe könnten. Bedauerlicherweise steigt auch noch der Einfluss des Seeing mit dem Quadrat der Teleskopöffnung. Darüber hinaus verschlechtert jedes Hindernis im Strahlengang (z. B. die Fangspiegelhalterung eines Newton) die Beugungsfigur des Teleskops. Newtons, vor allem aber Schmidt-Cassegrains können schon aufgrund ihrer systembedingten Obstruktion nicht so schwache Sterne zeigen wie ein gleich großer oder sogar ein etwas kleinerer Refraktor.

Bei Vergrößerungen bis zu einer AP über 0,7mm stellt das Teleskop Sterne punktförmig dar.

Ab der bei **0,7 mm Austrittspupille** erreichten sog. **optimalen Vergrößerung** kommen (von der soeben dargestellten durch unser Auge bedingten bei optimaler Seeing nutzbaren Besonderheit abgesehen) keine weiteren lichtschwachen Sterne mehr zum Vorschein, die Sterne werden wieder schwächer, erscheinen als nebelartige Beugungsscheibchen und werden schließlich unsichtbar.

Wir haben an dieser Stelle die **visuelle Grenzgröße unseres Teleskops erreicht** (Die in der Tabelle 2 ausgewiesenen Grenzgrößen orientieren sich daran, was geübte Beobachter unter Einsatz aller Beobachtungstechniken (indirektes Sehen etc.) unter einem dunklen Land-, besser noch Alpenhimmel von 6^m,5 Grenzgröße (mit bloßem Auge) erreichen können.).

Loten Sie das Auflösungsvermögen Ihres Teleskops mal an M 13 aus. Mein 10“ Newton (D = 250 mm, f/5) vermag diesen Kugelsternhaufen bereits unter suboptimalen Beobachtungsbedingungen bis ins Zentrum hinein in Einzelsterne aufzulösen: Ein dank benutzter Optimalvergrößerung hoch aufgelöster und das Gesichtsfeld füllender Traum von Tausenden von Sternen!



M 13 Foto: stargazer-observatory.com (Wikipedia Commons)

Wie dargestellt, ergibt eine Vergrößerung, die zu einer AP deutlich kleiner als 0,7 mm führt, nur in dem oben geschilderten Ausnahmefall noch einen Sinn, im Regelfall werden dadurch keine zusätzlichen Details mehr im Teleskop sichtbar.

Bei der Auflösung extrem eng stehender Doppelsterne sowie Detailbeobachtungen an Mond und Planeten kann jedoch in gewissen Grenzen und unter optimalen Beobachtungsbedingungen

(darauf ist immer wieder hinzuweisen!) eine weitere Steigerung der Vergrößerung bis zu einer AP von 0,5 mm sinnvoll sein. Wo die absolute Untergrenze liegt, muss aber letztendlich jeder für sich mit seinem Equipment unter den herrschenden Beobachtungsbedingungen austesten.

Nun sind aber hohe Vergrößerungen weder immer erforderlich noch überhaupt erwünscht, nicht selten stehen sie sogar unseren Beobachtungszielen entgegen. Immer jedoch gilt: **Egal, welches Himmelsobjekt wir beobachten, die vom Okular gelieferte Austrittspupille ist stets von entscheidender Bedeutung.**

Nachfolgende Übersicht möge einige Anhaltspunkte für die praktische Beobachtung geben:

AP 6 - 8 mm: Übersichtsokular zur Orientierung u. Beobachtung heller großflächiger *Objekte (großes Gesichtsfeld; optimal ist ein Weitwinkelokular, ein Traum wäre ein Televue Ethos Okular mit 100 Grad)*,

AP 4 - 3,5 mm: optimal für die meisten **großflächigen flächenlichtschwachen Nebel**

AP 2 mm: optimal für die meisten **Galaxien, Sternhaufen** (bei 2 mm AP nimmt das Auge bereits 80 % der max. theoretischen Auflösung wahr)

AP 1,5 – 1 mm: optimal für **Kugelsternhaufen**

AP 1 mm: Detailbeobachtungen an Mond u. Planeten (liefert 95 % der max. theoretischen Auflösung) optimal

für Planetenbeobachtungen, Doppelsterne

AP 0,8 – 0,5 mm: Detailbeobachtungen an Mond und Planeten, Auflösung sehr enger Doppelsterne (optimale Beobachtungsbedingungen vorausgesetzt)

Je kleiner die Okular-AP bzw. je höher die angewandte Vergrößerung, desto mehr sind wir angewiesen auf optimale Beobachtungsbedingungen und ein möglichst perfektes Seeing. Ist die Luft unruhig, die atmosphärische Transparenz nicht optimal etc., so ist nicht selten schon bei einer Austrittspupille von 2 - 1,5 mm, d. h. je nach der zur Verfügung stehenden Teleskopöffnung, schon bei einer Vergrößerung von 100 bis 130-fach Schluss. Darüber hinausgehende Vergrößerungen liefern uns in diesem Fall nur noch ein verwaschenes und in Bezug auf die Detailwahrnehmung nicht mehr ein besser, sondern ein schlechter werdendes Bild.

Abschließend nochmals die Formeln oder Faustregeln zur Vergrößerung:

$$V_{\min} = \text{Öffnung} / 7 \text{ (AP 7mm)}$$

$$\text{Beispiel: } 200 \text{ mm} / 7 = V_{\min} = 29x$$

$$V_{\text{opt}} = \text{Öffnung} / 0,7 \text{ (AP 0,7 mm)}$$

$$\text{Beispiel: } 200 \text{ mm} / 0,7 = V_{\text{opt}} = 286x$$

$$V_{\max} = \text{Öffnung} \times 2$$

$$\text{Beispiel: } 200 \text{ mm} \times 2 = V_{\max} 400x$$

evtl. Öffnung \times 2,5 (abhängig von

Beobachter, Beobachtungsobjekt, Seeingverhältnissen, atmosphärische Transparenz, Luftruhe etc.)

*Beispiel: 250 mm x 2,5 = $V_{\max \text{ extrem}} = 625 \times *$
150 mm x 2,5 = $V_{\max \text{ extrem}} = 375 \times *$*

*) Die Erreichung der $V_{\max \text{ extrem}}$ ist an einem konstruktionsbedingt mit Abschattungen behafteten und temperaturempfindlichen Instrument (Obstruktion bei Newtons, Schmidt-Cassegrains) noch deutlich seltener als an einem obstruktionslosen und zudem gegen Temperaturschwankungen weniger anfälligen Refraktor möglich.

Mit zunehmender Öffnung macht sich darüber hinaus vorhandene Luftunruhe stärker bemerkbar. So habe ich an meinem 150 mm - Refraktor schon mehrfach bei $V = 400 \times$ mit Wahrnehmungsgewinn beobachtet; mit meinem 250 mm - Newton konnte ich in den zwei Jahren, seitdem ich ihn besitze, nur ein einziges mal die obige $V_{\max \text{ extrem}}$ sinnvoll einsetzen. $V_{\max} = 500 \times$ (also $V = \text{Öffnung} \times 2$) hingegen konnte ich häufiger verwenden.

Die stärkere Empfindlichkeit gegen Luftunruhe habe ich einmal sehr deutlich bei einer vergleichenden Beobachtung mit meinem 10" Newton und dem 15"-Vereins-Newton erfahren. Die mir mit dem 10-Zöller ohne Probleme gelungene Auflösung des Orion-Trapezes in 6 Einzelsterne konnte ich am 15-Zöl-

ler am gleichen Tage nicht wiederholen. Ab einem gewissen Durchmesser ist also Öffnung nicht mehr alles, vor allem nicht mehr immer ein Vorteil. Unter perfekten Bedingungen hingegen ist natürlich die größere Öffnung nicht zu schlagen. Aber leider ist das Seeing nur außerordentlich selten perfekt.