

Flächenhelligkeiten in der visuellen Beobachtung

Wolfram Fischer

Begriffe wie Öffnung und Lichtstärke sind allgegenwärtige Schlagworte, mit denen aber aus Unkenntnis auch allzu oft Schindluder getrieben wird. Gerade im Hinblick zu visuellen Beobachtungen nebliger Objekte werden hiermit nicht selten unrealistische Erwartungen geweckt. Da die betreffenden Gesetzmäßigkeiten in der Literatur meist recht stiefmütterlich beschrieben sind, seien diese Zusammenhänge hier näher betrachtet.

Anders als in der Fotografie hängt der visuelle Helligkeitseindruck flächenhafter Objekte nicht vom Öffnungsverhältnis (Lichtstärke) des Teleskops ab. Auch die Größe des Objektivs, so überraschend es für den ein^{en} oder anderen erscheinen mag, hat darauf keinen Einfluß. Während wir mit wachsender Fernrohröffnung immer schwächere Sterne beobachten können, wird die Bildhelligkeit flächenhafter Objekte überhaupt nicht besser. Der Helligkeitseindruck flächenhafter Objekte (FH) ist lediglich proportional dem Verhältnis von Augenpupille zu Austrittspupille (AP).

$$(1) \quad FH = d^2/p^2$$

d = Austrittspupille (Durchmesser des aus dem Okular austretenden Strahlenbündels)

p = Augenpupille (Durchmesser der dunkelangepaßten Augenpupille)

Unter dem Begriff Austrittspupille versteht man den Durchmesser des Strahlenbündels unmittelbar hinter dem Okular des Fernrohres. Es handelt sich um ein vom Okular erzeugtes verkleinertes Abbild der Objektivöffnung. Ist dieses Strahlenbündel beispielsweise halb so groß wie die Augenpupille, wer-

den Flächenhelligkeiten vier Mal schwächer wahrgenommen als ohne Fernrohr. Der Idealfall, die Normalvergrößerung eines Fernrohres, ist gegeben, wenn Austrittspupille und Augenpupille eine genau gleiche Größe aufweisen. Flächenhelligkeiten erscheinen jetzt ebensohell wie mit bloßem Auge. Genaugenommen wird selbst dies durch instrumentelle Lichtverluste niemals völlig gelingen. Übertrifft das Strahlenbündel hinter dem Okular die Augenpupille an Größe, wird der Helligkeitseindruck nicht besser. Ein Teil des aufgefundenen Lichtes fällt ungenutzt am Auge vorbei. Die Flächenhelligkeit des Bildes sinkt wieder.

Egal welche Öffnung unser Gerät aufweist - auch wenn es 5m sind - Flächenhelligkeiten (Gasnebel, Galaxien, der Himmelshintergrund) werden hinter dem Okular niemals heller erscheinen als mit bloßem Auge oder wie sie auch ein kleines Fernrohr zeigt! Hieraus resultieren eine Reihe scheinbarer Widersprüche und ich höre förmlich das Protestgeheul mancher „Deep-Sky-Beobachter“. So ist es eine Tatsache, daß mit bloßem Auge außer dem Zentralgebiet des Andromedanebels am nördlichen Himmel kein anderer Nebel wahrgenommen werden kann. Kleine Fernrohre hingegen zeigen bereits alle Objekte des Messier-Kataloges mit vielen galaktischen und extragalaktischen Nebeln. Bis zur Einführung der Fotografie in die astronomische Beobachtungspraxis wurden an größeren Teleskopen tausende von Galaxien bis in die 15. Größenklasse hinein visuell entdeckt (siehe NGC). Was ist mit den doch zweifellos nicht erfundenen Beobachterberichten über prachtvolle Nebelbeobachtungen an großen Fernrohren? Andere sprechen davon, daß sich ein großes Öffnungsverhältnis unter Umständen günstig zur Nebelbeobach-

tung auswirkt (diese Umschreibung des Phänomens läßt aber erkennen, daß ihre Urheber die Sache eigentlich nicht durchschauen).

Der Durchmesser der menschlichen Augenpupille ist nicht konstant. Er variiert von Person zu Person, ist abhängig von der Dunkelanpassung des Auges und vom Lebensalter. Im Kindesalter vermag sich die Pupille bis zu etwas 8mm Öffnung zu weiten, im hohen Alter nur noch 2-3mm. Im jüngeren bis mittleren Erwachsenenalter, das wir dieser Betrachtung zugrundelegen wollen, können wir von 5 bis 6mm Austrittspupille ausgehen. Besitzt das Strahlenbündel hinter dem Okular (Austrittspupille) diesen Wert, ergibt sich der beste flächenhafte Helligkeitseindruck (Normalvergrößerung). Der Durchmesser der AP (d) errechnet sich aus dem Quotienten von Objektivöffnung (D) und Fernrohrvergrößerung (V):

$$(2) \quad d = D/V \quad V = f1/f2$$

f1 = Objektivbrennweite
f2 = Okularbrennweite

In der Praxis stehen keine beliebigen Okularbrennweiten und damit nur bestimmte Fernrohrvergrößerungen mit bestimmten Austrittspupillenwerten zur Verfügung. Aus Formel (2) läßt sich ableiten, daß für eine Okularbrennweite an beliebig großen Instrumenten mit gleichem Öffnungsverhältnis die Austrittspupille stets die Selbe ist. Das Öffnungsverhältnis „schummelt“ sich also in Form der erzielbaren Austrittspupillen in die Sache hinein. Tabelle 1 zeigt die resultierenden Austrittspupillenwerte für gängige Okularbrennweiten (von

n	100	63	50	40	31	25	16	12,5	10	8	6	4
1:4	25	15,8	12,5	10	7,8	6,3	4	3,1	2,5	2	1,5	1
1:5	20	12,6	10	8	6,2	5	3,2	2,5	2	1,6	1,2	0,8
1:6	16,6	10,5	8,3	6,7	5,2	4,2	2,7	2,1	1,7	1,3	1	0,7
1:7	14,3	9	7,1	5,7	4,4	3,6	2,3	1,8	1,4	1,1	0,9	0,6
1:8	12,5	7,9	6,3	5	3,9	3,1	2	1,6	1,3	1	0,75	0,5
1:10	10	6,3	5	4	3,1	2,5	1,6	1,3	1	0,8	0,6	0,4
1:13	7,5	4,7	3,8	3	2,3	1,9	1,2	0,9	0,8	0,6	0,5	0,3
1:15	6,7	4,2	3,3	2,7	2,1	1,7	1,1	0,8	0,7	0,5	0,4	0,3
1:20	5	3,2	2,5	2	1,6	1,3	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2

In der Tabelle angegeben:

von oben nach unten das Öffnungsverhältnis n ; von links nach rechts die Okularbrennweite f_2

Die Zahlen ergeben die jeweilige Austrittspupille; fett gedruckte Felder sind optimal für die Nebelbeobachtung (Normalvergrößerung); ab den kursiv gedruckten Ziffern werden die schwächsten Sterne sichtbar (förderliche Vergrößerung).—○

Carl-Zeiss-Jena) in Abhängigkeit vom Öffnungsverhältnis (n) des Teleskopes.

Die fettgedruckten Austrittspupillenwerte deuten auf die Okularbrennweiten hin, die für das betreffende Öffnungsverhältnis eine optimale Flächenbildhelligkeit ergeben. Es wird daraus ersichtlich, daß optimale Nebelbeobachtungen nicht an bestimmte Öffnungsverhältnisse gebunden sind, sondern am Einsatz der richtigen Okularbrennweite (bzw. Fernrohrvergrößerung) liegen. Selbst ein langbrennweitiger Refraktor oder Schiefspiegler mit 1:20 kann mit einem 100mm-Okular eine 5mm Austrittspupille erreichen und ist damit bestens zu Nebelbeobachtungen geeignet. In Wirklichkeit besitzt jedoch kaum jemand ein langbrennweitigeres Okular als 40mm. Wie in Tabelle 1 ersichtlich, liefern mit diesem Okular nur Instrumente mit relativ großem Öffnungsverhältnis (1:7, 1:8) eine optimale Flächenbildhelligkeit. Daher also die Bemerkung, daß ein großes Öffnungsverhältnis unter Umständen günstig zur Nebelbeobachtung sei.

Das Gesetz der visuellen Erkennbarkeit von Flächenhelligkeiten übt auch Einfluß auf Sternbeobachtungen aus. Mit 5-6mm Austrittspupille sind Nebel am hellsten sichtbar, nicht jedoch schwächste Sterne. Deren Bildhelligkeit prägt die Objektivöffnung, worauf die Austrittspupille keinen Einfluß hat. Bis hin zur förderlichen Vergrößerung, bei

der feinstes Detail gerade erkennbar wird, bleiben Sterne nadelschafre Punkte. Die Ausdehnung des Beugungscheibchens spielt also noch keine Rolle auf den Helligkeitseindruck. Die förderliche Vergrößerung ist, der Faustregel zur Folge, gleich der Millimeterzahl des Objektivdurchmessers und für alle Fernrohre bei 1mm Austrittspupille gegeben. Wird von einer dunkelangepaßten Augenpupille von 5,5mm ausgegangen, tritt bei 1mm Austrittspupille der Himmelshintergrund ca. 30 mal dunkler (als mit bloßem Auge) im Okular in Erscheinung. Dies gestattet dem Auge sich wesentlich besser der Dunkelheit anzupassen und schwächste Sterne werden sichtbar. Dank dieses Effektes ist es auch am Tage möglich, helle Sterne im Fernrohr zu erkennen. Die Okularbrennweiten, mit denen maximale Sternengrenzgrößen erzielbar sind, wurden in obiger Tabelle durch die kursiv gedruckten Austrittspupillenwerte (förderliche Vergrößerung) kenntlich gemacht. Die Tabelle enthält Informationen, die - bewußt angewandt - das visuelle Beobachten optimieren!

Weshalb ermöglichen große Teleskope doch prachtvollere Nebelbeobachtungen? Mit der Größe des Objektivs ist in der Regel auch eine längere Brennweite gekoppelt, die bei optimaler Austrittspupille eine viel stärkere Vergrößerung ergibt. Für das Auge ist physiologisch ein winziger lichtschwacher Nebelfleck

kaum oder gar nicht wahrnehmbar. Er geht im Rauschen des Augenhintergrundes, ähnlich wie auf der Fotoplatte, unter oder ist kaum zu entdecken. Ein großes Fernrohr zeigt Flächenhelligkeiten nicht heller, jedoch genauso hell und auf einen riesigen Sehwinkel ausgedehnt. Das Gesamtangebot für das Auge ist damit viel günstiger. Nebel mit geringerer Winkelausdehnung werden wahrnehmbar. Die winzigen leuchtkräftigsten Zentralgebiete der Nebel erscheinen aufgelöst und gewinnen an Glanz. So konnten im vorigen Jahrhundert sehr kleine Galaxienflecke, die nur auf Grund ihrer geringen Winkelausdehnung so niedrige Gesamthelligkeitswerte aufweisen, visuell entdeckt werden. Die Flächenhelligkeiten dieser fernen winzigen Galaxien unterscheiden sich hingegen überhaupt nicht von nahen, größeren Objekten. Laut photometrischem Abstandsgesetz bleiben die Flächenhelligkeiten der Nebel in allen Entfernungen konstant. Nur dadurch wird die Beobachtbarkeit extrem weit entfernter Galaxien überhaupt verständlich.*

Gelegentlich berichten Beobachter, an größeren Instrumenten Farbeindrücke in hellen Nebelzonen wahrgenommen zu haben. Ermöglicht wird dies durch die gute Auflösung der Zentralgebiete und durch die verwendeten Nebelfilter. Diese transmittieren nur Licht in engen Spektralbereichen, also einigen Farben, die den Eindruck prägen.

* In einem expandierenden Universum ist die Flächenhelligkeit jedoch nicht mehr unabhängig vom Abstand. Die scheinbare bolometrische Flächenhelligkeit geht mit $(1+z)^4$, die scheinbare monochromatische Flächenhelligkeit hingegen „nur“ mit $(1+z)^3$, wobei z die Rotverschiebung (Fluchtgeschwindigkeit/Lichtgeschwindigkeit) bezeichnet. Expansion und Raumkrümmung führen hierzu.