

Öffnung ist nicht alles

von Wolfram Fischer

Brennweite und fotografische Grenzgrößen

Obwohl die Bildgröße eines Sterns, das Beugungsscheibchen, im optisch idealen Fernrohr vom Öffnungsverhältnis und

In der Sternfeldfotografie werden heute meist ausbelichtete Aufnahmen angestrebt. Es ist deshalb lohnend, das Problem der Sternrenzgrößen einmal aus dieser Warte zu betrachten.

der Wellenlänge des Lichtes abhängen, bleibt der damit verbundene Einfluß auf die Abbildungsintensität in der fotografischen Praxis unmerklich. Der lineare Durchmesser der zentralen Beugungsscheibchen, bzw. der Sternzerstreuungskreise (bei Fotooptiken) liegt auch bei kleineren Öff-

nungsverhältnissen noch unter oder im unmittelbaren Bereich der Auflösungs-grenze der Fotoschichten. Selbst bei 1:15 beträgt der lineare Durchmesser von Beugungsscheibchen bei $\lambda=656,3 \text{ nm}$ ($H\alpha$)=0,024, $\lambda=486 \text{ nm}$ ($H\beta$)=0,0178 nm. Die Abbildungsintensität der Sterne resultiert, wenn man sie unabhängig von ihrer Abbildungsgröße sehen kann (seeing, Fokussierung ect.), primär aus der lichtsammelnden Objektivefläche. Das Intensitätsverhältnis (I) bei der Abbildung von Sternen (Punkthellig-

keiten - PH) zweier Objektive wird daher beschrieben:

$$(1) \left(\frac{I_1}{I_2} \right)_{PH} = \frac{d^2}{d_2^2}$$

(d = Öffnungsdurchmesser des Teleskopes) In der Fotografie kommt der Belichtung große Bedeutung zu. Wird diese ausgedehnt, daß die Hintergrundschwärzung keinen weiteren Reichweitengewinn zuläßt, ist die Ausbelichtung erreicht. Die Helligkeit des flächenhaften Restlichtes des Nachhimmels sorgt demnach für die Begrenzung der Belichtung und der Grenzgröße. Die Abbildungsintensität von Flächenhelligkeiten (auch des Himmels-hintergrundes) wird durch das Öffnungsverhältnis (n) des Teleskopes

$$\frac{f}{d} = n,$$

f = Brennweite, d = Öffnungsdurchmesser) bestimmt und ist *unabhängig von der Öffnung und damit von der Abbildungsintensität der Sterne*. Das Intensitätsverhältnis (I) bei der Abbildung von Flächenhelligkeiten (FH) zweier Objekte verhält sich:

$$(2) \left(\frac{I_1}{I_2} \right)_{FH} = \frac{n^2}{n_2^2}$$

Was aus den unterschiedlichen Abbildungsgesetz von Punkt- und Flächenhelligkeit resultiert, verdeutlichen folgende Beispiele. Betrachten wir zwei Optiken mit gleichen Öffnungen, aber unterschiedlichen Brennweiten (z. B. $n=1:1$ und

$n=1:10$). Beide Instrumente können auf der Fotoschicht Sterne mit gleicher Intensität abbilden. Die Helligkeit des Himmels-hintergrundes wird bei Langbrennweiten jedoch 100 mal schwächer wiedergegeben. Dies bedeutet, ein Ausbelichten der 1:10-Optik (mindestens 100 fache Integrationszeit) bringt eine Reichweitenüberlegenheit von 5 Größenklassen!

Als zweites Beispiel betrachten wir Optiken gleicher Brennweiten, jedoch unterschiedlicher Apertur (selbiges gilt auch für ein verschieden abgeblendetes Fotoobjektiv). Vom gewohnten „Öffnungsdenken“ ausgehend, ist man geneigt, dem größeren Objektiv die größere Reichweite zu bescheinigen. Werden gleichlang belichtete Aufnahmen durchgeführt, entsteht ein Grenzgrößenunterschied, dessen Intensitätsverhältnis dem Objektiveflächenverhältnis proportional ist (Formel 1). Es geht hier aber, um es nochmals zu betonen, um ausbelichtete Aufnahmen!

Vergleicht man die Öffnungsverhältnisse nach Formel 2, wird ersichtlich, daß der Intensitätsunterschied bei der Abbildung von Flächenhelligkeiten dem Intensitätsunterschied bei der Abbildung von Punkthelligkeiten gleicht. Also genau der Betrag, um den das eine Objektiv Sterne heller abbildet, gibt das andere den Himmels-hintergrund schwächer wieder. Der Intensitätsunterschied bei Punkthelligkeiten kann daher durch Belichtungsverlängerung genau kompensiert werden. Die erzielbaren Grenzgrößen sind demnach gleich. Vom Standpunkt ausbelich-

teter Aufnahme man spielt die Öffnung im Grenzgrößenproblem die selbe Rolle wie in der gewöhnlichen Fotografie. Ihre relative Größen tritt uns als Blendenzahl entgegen, die die Belichtungszeit beeinflusst, – nicht die Grenzgröße! Aus den Formeln (1) und (2) folgt unmittelbar, daß die maximalen Sterngrößen für eine bestimmte Brennweite konstant sind! Darauf haben weder die Öffnung, instrumentelle Lichtverluste oder Filmempfindlichkeit (Belichtungsfaktor) einen Einfluß. Nur ein ausbelichtetes, aufnahmetechnisch vergleichbares Bildresultat ist Voraussetzung. Das Intensitätsverhältnis der maximal zu erreichenden Grenzgrößen zweier Objekte (I_{\max}) verhält sich demnach:

$$(3) \left(\frac{I_1}{I_2} \right)_{\max} = \frac{f_2^2}{f_1^2} \quad [1,2]$$

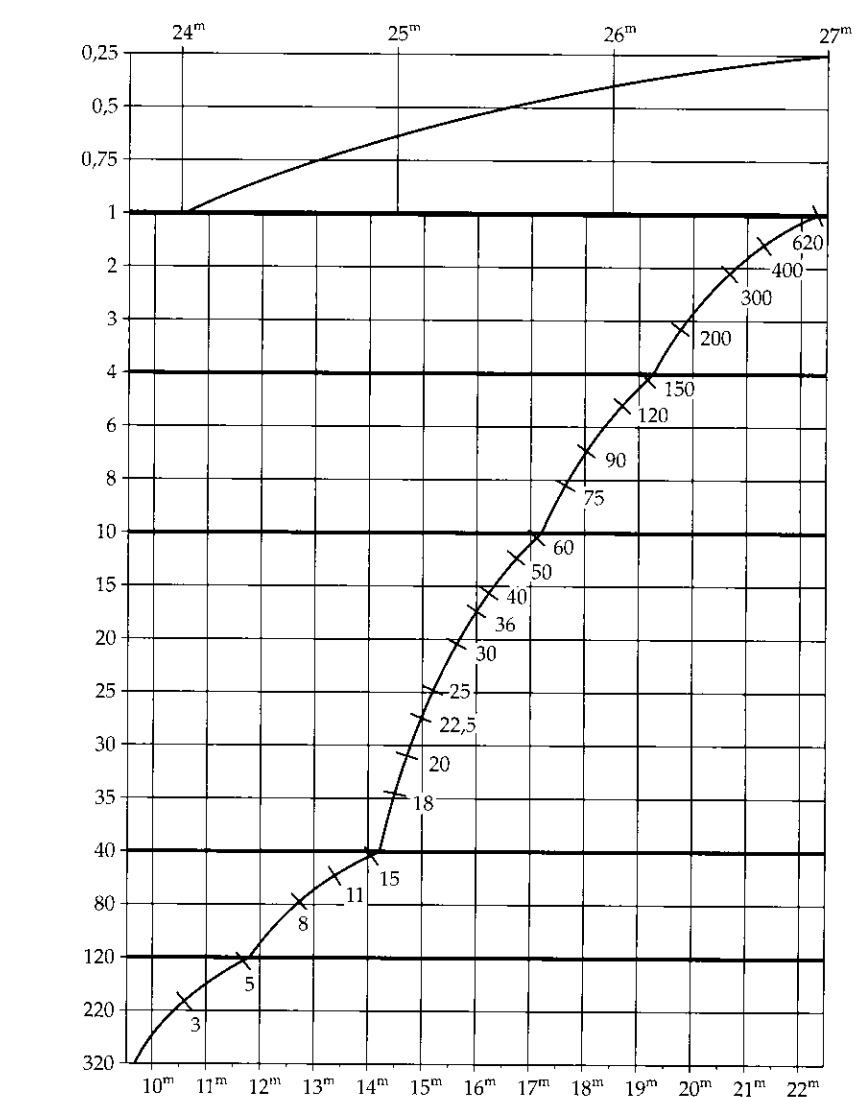
Hier eingreifende Ausnahmebedingungen sind dem nächsten Abschnitt zu entnehmen.

Bildschärfe und fotografische Grenzgrößen

Die Konzentration der Lichtbündelung, also die Größe der vom Sternlicht beleuchteten und zu schwärzenden Emulsionsfläche beeinflusst erheblich die Grenzgrößen. Dies gilt auch für ausbelichtete Aufnahmen. Mit wachsender Bildschärfe steigert sich die Abbildungsintensität von Punkthelligkeiten, nicht jedoch die Wiedergabe des flächenhaften Himmelshintergrundes. Legt man dem Grenzgrößenvergleich unterschiedlicher Instrumente keine einheitlichen Bildschärfen zugrunde, führt die Anwendung von Formel (3) zu Ungenauigkeiten. Da sich die Sterngrößen ausbelichteter Aufnahmen (gleicher Bildschärfe) proportional zu f^2 entwickeln, liegt es nahe, statt der Brennweite, die mit ihr verknüpfte fotografische Auflösung (S = Winkeldurchmesser kleinster Sternscheibchen) heranzuziehen. Man erhält nach Formel (4)

$$(4) \left(\frac{I_1}{I_2} \right)_{\max} = \frac{s_2^2}{s_1^2}$$

bei gleichen Bildschärfen ein der Formel (3) entsprechendes Rechenergebnis. Darüber hinaus wird es hiermit möglich, den Einfluß unterschiedlicher Bildschärfen (durch seeing, Fokussierung, Nachführung ect.) auf die Grenzgröße automatisch mit zu berücksichtigen. Eine Verdopplung des Durchmessers kleinster Sternscheibchen (vierfache Fläche) erscheint so als vierfache Intensitätsminderung ($1/5$ Grenzgrößeneinbuße). Der erzielbare Grenzgrößenunterschied fotografischer Systeme läßt sich demnach im konkreten Fall (gleiche Aufnahmebedingungen, auch Emulsion und Entwicklung, vorausgesetzt) direkt und unabhängig von der Brennweite aus der fotografi-



Abhängigkeit der auf ausbelichteten Aufnahmen erzielbaren Sterngrößen (Blauhelligkeiten) von der fotografischen Auflösung. Am linken Rand sind die Winkeldurchmesser schwächster Sternabbildungen in Bogensekunden, unten die Größenklassen gegeben. Der Kurvenverlauf, nur in der Weise seines Anstieges und nicht im konkreten Verlauf gültig, kann als praktischer Anhaltspunkt dienen (bei günstigen mitteleuropäischen Beobachtungsbedingungen). Die Zahlenangaben neben den Kurven bedeuten Objektbrennweiten in cm und markieren deren Auflösung und Grenzgröße bei kleinsten Sternscheibchen vom 0,03 mm Ø. Die obere Kurve vermag eine Vorstellung zu vermitteln über den Grenzgrößenverlauf, der bei Erzielung von Seeingscheibchen <1" (auf ausbelichteten Aufnahmen) entstünde. Voraussetzung dazu ist die Verwendung von Emulsionen mit bestem Signal/Verhältnis (bzw. CCD-Kameras) unter idealsten planetaren Bedingungen.

schen Auflösung ableiten. Auch wenn die maximalen Sterngrößen im wesentlichen dem kausalen Wechselspiel von Öffnung, Öffnungsverhältnis und Hintergrundhelligkeit entspringen, läßt sich im Instrumentenvergleich die Problematik auf das Unterscheidungsmerkmal „fotografische Auflösung“ reduzieren. Daraus können folgende Schlüsse gezogen werden:

1. Die Luftunruhe, die Transparenz und Helligkeit des Himmelshintergrundes stecken den Rahmen der zu einem Zeitpunkt an einem Ort überhaupt erzielbaren Grenzgrößen ab. Diese Sterngrößen sind (bei Ausbelichtung) für alle Instrumente mit seeingbegrenzter fotografischer Auflösung erreichbar. Weder riesige Öffnungen noch Brennweiten können daran etwas ändern!

2. Gelängen ultrascharfe Sternabbildungen, wäre mit einem spektakulären Grenzgrößengewinn zu rechnen.

Das obenstehende Diagramm ist der Versuch, einen Überblick über den Zusammenhang zwischen fotografischer Auflösung und maximal erzielbaren Sterngrößen, für alle Instrumente gültig, zu geben. Ausgehend von Formel (4) wurden die berechneten Verhältnisse der Flächen schwächster Sternscheibchen in Größenklassen übertragen. Der Ausgangswert basiert auf praktischer Erfahrung und befindet sich weitgehendst im Einklang mit Angaben anderer Quellen. Hierzu gelten mehrere Ausnahmebedingungen:

1. Beim Einsatz von Emulsionen mit extrem günstigen Signal/Rausch-Verhältnis (z. B. Kodak IIIa-Platten) ist bei sonst

gleichen Bedingungen ein Reichweitengewinn bis zu 2 Größenklassen erzielbar [3].
 2. Beim Einsatz von Öffnungsverhältnissen $> 1:1$ verschleiern die Aufnahmen (vom Standpunkt der erzielbaren Sterngrößen) vorzeitig. Der Reichweitenverlust gegenüber dem Diagramm beträgt:

n		m
1:0,9	=	0,2
1:0,8	=	0,5
1:0,7	=	0,8
1:0,6	=	1,1
1:0,5	=	1,5

3. Bei Erzielung anderer Scheibchendurchmesser müssen im Diagramm zu den Grenzgrößenangaben der markierten Brennweiten folgende Korrekturwerte berücksichtigt werden:

Ø in mm	m
0,05	-1,1
0,04	-0,6
0,03	0,0
0,02	+0,9
0,015	+1,5
0,01	+2,4

4. Auch entwicklungsbedingte fotografische Effekte nehmen Einfluß auf den Kurvenverlauf im Diagramm.

Hinweis für den Sternfreund

Die Tabelle zeigt, wie die Realisierbarkeit ausbelichteter Himmelsaufnahmen vom Öffnungsverhältnis und dem Filmmaterial abhängen. Die Gegenüberstellung unterschiedlicher Materialien macht die Bedeutung des Schwarzschildexponenten (p) und der Grundempfindlichkeit deutlich. Die Belichtungswerte für s/w Filme mit 400 ASA ($p=0,8$) und T-MAX 3200 (auf 25000 ASA gepusht) basieren auf praktischer Erfahrung des Verfassers. Davon ausgehend wurde die Tabelle nach folgender Formel berechnet:

$$(5) \frac{t_2}{t_1} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^{\frac{2}{p}}$$

Verhältnis der Belichtungszeiten (t) zweier Öffnungsverhältnisse (unter Berücksichtigung des Schwarzschildexponenten) Die Werte zum hyp. Kodak Tp 2415, dem heute gebräuchlichsten s/w Film des Astroamateurs, wurden nach der Beziehung $2,5 \cdot n^2$ (in Minuten) bestimmt.

Literatur