

Die maximal erzielbaren Sternengrenzgrößen aus der Sicht des Instrumentenvergleichs

Wolfram Fischer.

Vorbemerkungen

Die instrumentell erreichbaren Sternengrenzgrößen werden allgemein mit der Objektivöffnung im Zusammenhang gesehen. Jedem visuellen Beobachter ist dieser Umstand vertraut. Schließlich wächst die gebündelte Lichtmenge proportional zur wirksamen Objektivfläche. Strahlungsempfänger mit längeren Integrationszeiten werfen jedoch Fragen auf, die dieses Öffnungsdenken nicht erklärt. Weshalb zeigen beispielsweise Aufnahmen der Tautenburger Schmidt-Kamera Einzelsterne im Andromedanebel, wo es doch Anfang des Jahrhunderts, am einst größten Teleskop (1,5 m-Spiegel, Mount Wilson), mit überlegener Öffnung und Brennweite, nicht gelang? Wieso können CCD-Kameras hinter langbrennweitigen Amateurinstrumenten Objekte erreichen, die früher riesigen Teleskopen vorbehalten blieben? (Die hohe CCD-Empfindlichkeit ist hierfür allein keine Erklärung!)

Um Sterne und Nebel bis zur Grenze des instrumentell Möglichen fotografisch (oder mit elektronischen Empfängern) abzubilden, bedarf es unbedingt der Ausbelichtung. Erst wenn die Schwärzung des Himmelshintergrundes ein weiteres Vordringen unmöglich macht, ist eine Aufnahme maximal belichtet, zeigt schwächste Punkt- und Flächenhelligkeiten. Dies war in der Frühzeit der Fotografie, infolge der geringen Quantenausbeute der Platten, kaum praktikabel. Heute stehen der Astronomie Bildspeichertechniken zur Verfügung, die es ermöglichen, Aufnahmen mit jeder gängigen Optik auszubelichten. Dieser spezielle Belichtungsfall wird daher in der Sternfeldfotografie meist angestrebt. Es lohnt daher die Grenzgrößenproblematik aus dieser Warte heraus zu betrachten. Beim Vergleich ausbelichteter Aufnahmen (nicht irgendwelche kurzen Belichtungen), gewonnen an unterschiedlichen Instrumenten, treten ungewohnte Gesetzmäßigkeiten zu Tage, die erheblich von obigen Öffnungsdenken abweichen.

Die Abbildungsintensität der Sterne

Wird ein Fotoobjektiv schrittweise aufgeblendet, wächst die Bildhelligkeit (Abbildungsintensität) für Nebel und Sterne gleichermaßen. Diese fotografische Grunderfahrung ist zweifellos ein Hauptgrund für den verbreiteten Irrglauben, daß Öffnung und Blende (besser Öffnungsverhältnis genannt) ursächlich gleichermaßen etwas mit der Bildhelligkeit der Sterne zu tun haben. In der astronomischen Praxis hieße dies beispielsweise, eine 8" Schmidt-Kamera erreicht wesentlich schwächere Sterne als ein 8" Schmidt-Cassegrain, weil sie wesentlich lichtstärker ist. Die Verhältnisse liegen ganz anders.

Bei gleichgroßen Objektiven unterschiedlicher Brennweite wird das Kurzbrennweitigste ein Motiv am kleinsten (kleinsten Abbildungsmaßstab), am konzentriertesten und damit am hellsten abbilden. Die Punkthelligkeiten der Sterne unterliegen jedoch nicht einer besonderen Verstärkung durch ein großes Öffnungsverhältnis. Der Abbildungsmaßstab bestimmt die Ausdehnung von Sternbildern und Sterngruppen, nicht jedoch die Bildgröße und damit Lichtkonzentration einzelner Sternscheibchen! Das Bild eines Sterns im optisch idealen Fernrohr, das Beugungsscheibchen, besitzt einen linearen Durchmesser der zwar vom Öffnungsverhältnis (und der Wellenlänge des Lichtes) abhängt, im Bereich gängiger Öffnungsverhältnisse fotografisch jedoch unterhalb praktischer Relevanz liegt (siehe Tabelle 1). Lichtstarke Astroobjektive, auch Schmidt-Kameras, erreichen korrekturbedingt keine beugungsbegrenzte Abbildungsschärfe. Sie sind aber so berechnet, daß die Durchmesser der Sternzerstreuungskreise noch unter (oder gleich) der Auflösungsgrenze fotografischer Emulsionen liegen (heute bis 0,02 oder sogar 0,01 mm!). Die Abbildungsintensität der Sterne resultiert in der Praxis im wesentlichen allein aus der licht sammelnden Objektivfläche, wenn wir Fokussierung und

Seeing etc. ausklammern. Das Intensitätsverhältnis (I) bei der Abbildung von Sternen (Punkthelligkeiten-PH) zweier Objektive wird daher beschrieben:

$$\left(\frac{I_1}{I_2}\right)_{PH} = \frac{d_1^2}{d_2^2} \quad (1)$$

(d = Öffnungsdurchm. des Objektivs)

Die Formel ist verbindlich für den visuellen Leistungsvergleich von Instrumenten, auch fotografisch bei kurzen Belichtungen (gleiche Bedingungen vorausgesetzt). Sie sagt aber nichts aus über den Intensitätsunterschied maximal erreichbarer Grenzgrößen.

Die unterschiedlichen Abbildungsgesetze von Punkt- und Flächenhelligkeiten

Wäre der nächtliche Himmel absolut dunkel, könnte die kleinste Kamera durch beliebige Belichtungsverlängerung zu unbegrenzt schwachen Sternen vordringen. Bekanntlich setzt aber die Resthelligkeit des Nachthimmels den Belichtungszeiten eine Grenze, da diese schließlich zu einer Verschleierung des

n	H β 486 nm	H α 656 nm
1: 1	0,0012	0,0016
1: 1,5	0,0018	0,0024
1: 2	0,0024	0,0032
1: 2,8	0,0033	0,0045
1: 4	0,0047	0,0064
1: 5	0,0059	0,0080
1: 6	0,0071	0,0096
1: 8	0,0095	0,0128
1: 10	0,0199	0,0160
1: 15	0,0178	0,0240
1: 20	0,0237	0,0320

Tabelle 1: Lineare Durchmesser zentraler Beugungsscheibchen (in mm) in Abhängigkeit vom Öffnungsverhältnis n und der Wellenlänge des Lichtes.

Negativs führt. Die Abbildungsintensität des flächenhaften Restlichtes des Nachthimmels (ebenso von Nebeln) wird durch das Öffnungsverhältnis (n) des Teleskopes ($f/d=n$, f =Brennweite, d =Öffnungsdurchmesser des Teleskopes) bestimmt. Das Intensitätsverhältnis (I) bei der Abbildung von Flächenhelligkeiten (FH) zweier Objektive verhält sich:

$$\left(\frac{I_1}{I_2}\right)_{FH} = \frac{n_1^2}{n_2^2} \quad (2)$$

Die Formel zeigt, wie mit wachsender Blende (Öffnungsverhältnis) die Abbildungsintensität für Flächenobjekte zunimmt. Dies geschieht unabhängig von der absoluten Größe der Optik und damit von der Abbildungsintensität der Sterne! Jedoch vermag das winzigste Objektiv in gleicher Zeit wie ein Riesenteleskop (mit gleichem Öffnungsverhältnis) zu den allerschwächsten großflächigen Nebeln vorzudringen (bis ca. $27^m/\square$).

Die Formeln 1 und 2 – ich erlaube mir mit Nachdruck darauf hinzuweisen – sind für den Astrofotografen von fundamentaler Bedeutung! Im Gegensatz zur herkömmlichen Fotografie existieren in der Astronomie zwei verschiedene, völlig getrennt wirkende Abbildungsgesetze! Auf einem Foto können Sterne und Nebel abgebildet werden, jedoch resultiert die Lichtintensität die die Sterne schwärzt allein aus der Öffnung, die der Nebel allein aus der Größe des Öffnungsverhältnisses! Wie oft wird dies einfach in einen Topf gehauen...?

Im weiteren werden wir sehen, welche Konsequenzen das Zusammenspiel beider Abbildungsgesetze auf die maximal erzielbaren Sternengrößen hat.

Brennweite und fotografische Grenzgrößen

Betrachten wir zwei Optiken mit gleichen Öffnungen, aber unterschiedlichen Brennweiten (z. B. Schmidt-Kamera 8", 1:1, 5 und Schmidt-Cassegrain 8", 1:10). Die Abbildungsschärfen seien gleich. Beide Instrumente können damit auf der Fotoschicht, der Öffnung entsprechend, Sterne mit gleicher Intensität abbilden! Nach Formel 2 wird beim Langbrennweitigen die Helligkeit des Himmelshintergrundes 44,4 mal schwächer wieder-

gegeben. Dies bedeutet, ein Ausbelichten der 1:10 Optik (mindestens 44,4 fache Integrationszeit) bringt eine Reichweitenüberlegenheit von 4,1 Größenklassen!

Sogenannte schnelle Teleskope benötigen nur kurze Ausbelichtungszeiten. Dies wird generell als Vorteil empfunden. Jedoch verhindert die große Lichtstärke das Erreichen lichtschwächerer Sterne, weil nicht länger belichtet werden kann!

Als zweites Beispiel betrachten wir Optiken gleicher Brennweite, jedoch unterschiedlicher Apertur (selbiges gilt auch für verschieden abgeblendete Fotoobjektive). Vom gewohnten „Öffnungsdenken“ ausgehend, ist man geneigt, dem größeren Objektiv die größere Reichweite zu bescheinigen. In der Tat, werden gleichlang belichtete Aufnahmen durchgeführt, entsteht ein Grenzgrößenunterschied, dessen Intensitätsverhältnis dem Objektivflächenverhältnis 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 gleich. Also genau der Betrag, um den das eine Objektiv Sterne heller abbildet, gibt das andere den Himmelshintergrund schwächer wieder. Der Intensitätsmangel bei Punkthelligkeiten kann daher durch Belichtungsverlängerung genau kompensiert werden. Die erzielbaren Grenzgrößen sind demnach gleich. Vom Standpunkt ausbelichteter Aufnahmen spielt die Öffnung im Grenzgrößenproblem die selbe Rolle wie in der gewöhnlichen Fotografie. *Ihre relative Größe tritt uns als Blendenzahl entgegen, die die Belichtungszeit beeinflusst, – nicht die Grenzgröße!*

Aus den Formeln 1 und 2 folgt unmittelbar, daß die maximalen Sternengrößen für eine bestimmte Brennweite konstant sind! Darauf haben weder die Öffnung, instrumentelle Lichtverluste oder Filmempfindlichkeiten (auch nicht die CCD-Empfindlichkeit, – dies ist nur eine Frage des Belichtungsfaktors) einen Einfluß. Nur ein ausbelichtetes, aufnahmetechnisch vergleichbares Bildresultat ist Voraussetzung. Das Intensitätsverhältnis der maximal zu erreichenden Grenzgrößen zweier Objektive (I_{max})

verhält sich demnach:

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

Hier eingreifende Ausnahmebedingungen sind dem nächsten Abschnitt zu entnehmen.

Bildschärfe und maximale Sterngrößen

Die Konzentration des Sternlichtes auf der Filmfläche und seine durch Fokussiermängel, Nachführfehler, Seeing und Diffusion ect. vergrößerte Abbildung haben erheblichen Einfluß auf die Sternengrenzgrößen. Dies gilt auch für ausbelichtete Aufnahmen. Die Ursache ist, mit wachsender Bildschärfe, im Bereich der Auflösung der Emulsion, steigert sich die Abbildungsintensität von Punkthelligkeiten, nicht jedoch die Wiedergabe des flächenhaften Himmels hintergrundes. In Formel 3 bleiben diese Gegebenheiten unberücksichtigt. Um dies zu erreichen, muß die real erzielbare Bildgröße schwächster Sterne, in Relation zur Brennweite, herangezogen werden. Diese Relation ist, für uns zahlenmäßig interessant, die fotografische Winkelauflösung unserer Aufnahmen, also der Winkeldurchmesser schwächster Sternscheibchen s (in Bogensekunden). Aus dem unter dem Mikroskop gemessenen linearen Durchmesser der Sterne b (in mm) und der Brennweite f (in mm) kann nach folgender einfacher Beziehung s bestimmt werden:

$$s = 206264,8 \cdot b / f \quad (4)$$

Der bei Ausbelichtung erzielbare Intensitätsunterschied schwächster Sterne läßt sich für den Instrumentenvergleich (gleiche Aufnahmebedingungen, auch Emulsion und Entwicklung vorausgesetzt), unter Berücksichtigung der Bildschärfe, nach Formel 5 berechnen:

$$\left(\frac{I_1}{I_2}\right)_{max} = \frac{S_1^2}{S_2^2} \quad (5)$$

Die Intensität (I) wird schließlich umgerechnet in Größenklassen (mag):

$$\text{mag} = (\lg I) / 0,4 \quad (6)$$

Man erhält die, für die gegebenen Abbildungsschärfen gültige, maximale Grenzgrößendifferenz zweier fotografischer Systeme. Bei gleicher Bildschärfe b ergeben Formel 3 und 5 ein analoges Ergebnis. Bernd Koch gibt im neuen „Handbuch der Astrofotografie“ [3] (auf S.251) nach Knapp zur Bestimmung maximaler Grenzgrößen die Formel

$$m_{gr} = 5 \cdot \lg (f/b) - 8^{m/5} + m_H \quad (7)$$

an.

Die fotografische Winkelauflösung tritt uns hier in Form der Beziehung f/b entgegen. Es geht hier nicht um den Instrumentenvergleich, sondern direkt um die Ableitung der maximal erzielbaren Sternrenzgröße aus der Winkelauflösung und der Helligkeit des Himmels-hintergrundes m_H in mag/□°. Leider ist die Bestimmung dieses Wertes für den Amateur am Beobachtungsort meist nicht möglich. Hier hilft nur der Hinweis, daß für ideal dunklen Himmel $m_H=4^m/\square^\circ$ (=22^m/□") beträgt und unter ländlichen mitteleuropäischen Bedingungen vielleicht $m_H=3^m$ oder 3,5^m/□°.

Die Helligkeit des Himmelshintergrundes beeinflusst deutlich die maximalen Sternrenzgrößen. Sie ist aber aus der Sicht des Instrumentenvergleichs (an einem Ort) gegenstandslos. Folgendes gilt es festzuhalten: Auch wenn die maximalen Sternrenzgrößen 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 bemerkenswerte Schlüsse gezogen werden: Normalerweise gelingt es kaum, die durch die Luftunruhe bedingte fotografische Auflösungsgrenze von 1" zu unterschreiten. Hiesige klimatische Bedingungen ermöglichen selten Seeingscheibchen

<2" oder 3". Liegt das Seeing einmal nahe 1", bleiben hier die zu erwartenden hohen Grenzreichweiten aus, da ruhige Luft oft mit dunstigem Hochdruckhimmel gepaart ist und die künstliche Aufhellung des Himmels ihr übriges tut. Die Luftunruhe, die Transparenz und Helligkeit des Himmelshintergrundes stecken den Rahmen der zu einem Zeitpunkt an einem Ort überhaupt erzielbaren Grenzgröße ab. *Diese Fixsternrenzgröße ist (zumindest prinzipiell) für alle Instrumente mit seeing-begrenzter fotografischer Auflösung erreichbar.* Weder riesige Öffnungen noch Brennweiten können daran etwas ändern. Erstere bewirken lediglich, im Zusammenspiel mit großen Öffnungsverhältnissen, kurze Ausbelichtungszeiten, während letztere nutzlos übervergrößerte und damit in der Abbildungsintensität geschwächte Seeing-scheibchen erzeugen.

Folgendes Beispiel verdeutlicht dies: Bereits bei f=1375 mm ist der Abbildungsmaßstab 3"=0,02 mm. Am 6 m Spiegel mit 24 m Brennweite werden bei einem 3"-Seeing schwächste Sternscheibchen 0,348 mm groß. Das auffallende Sternlicht muß dadurch die 304 fache Fläche schwärzen. Es entsteht ein Reichweitenverlust von 6,2 Größenklassen. Bei einem Seeing von 3" sinkt demnach die erzielbare Grenzgröße einer f=24 m-Optik auf das Niveau eines mittleren Amateurinstrumentes herab. Wer sich nicht vom Gedanken der ungeheuren Öffnungsüberlegenheit des 6 m-Spiegels (1:4) lösen kann, dividiere einmal die Objektivfläche des Riesenspiegels durch die einer 1:4, f=1375 mm-Optik (Ø 344 mm). Der 6m-Spiegel sammelt genau die 304fache Lichtmenge, die im Sinne der fotografischen Grenzgröße (im obigen Fall) im Brennpunkt nutzlos verpufft. Die beiden so unterschiedlich großen 1:4 Optiken würden bei einem 3"-Seeing zu jedem Belichtungszeitpunkt synchron gleichschwache Sterne abbilden und gleichzeitig ausbelichten. Aus der Sicht des erzielbaren Grenzgrößengewinns ist der Einsatz herkömmlicher Teleskope mit Brennweiten >8 m (1" etwa 0,04 mm), auch mit grobkörnigsten Emulsionen oder

CCD, nutzlos.¹

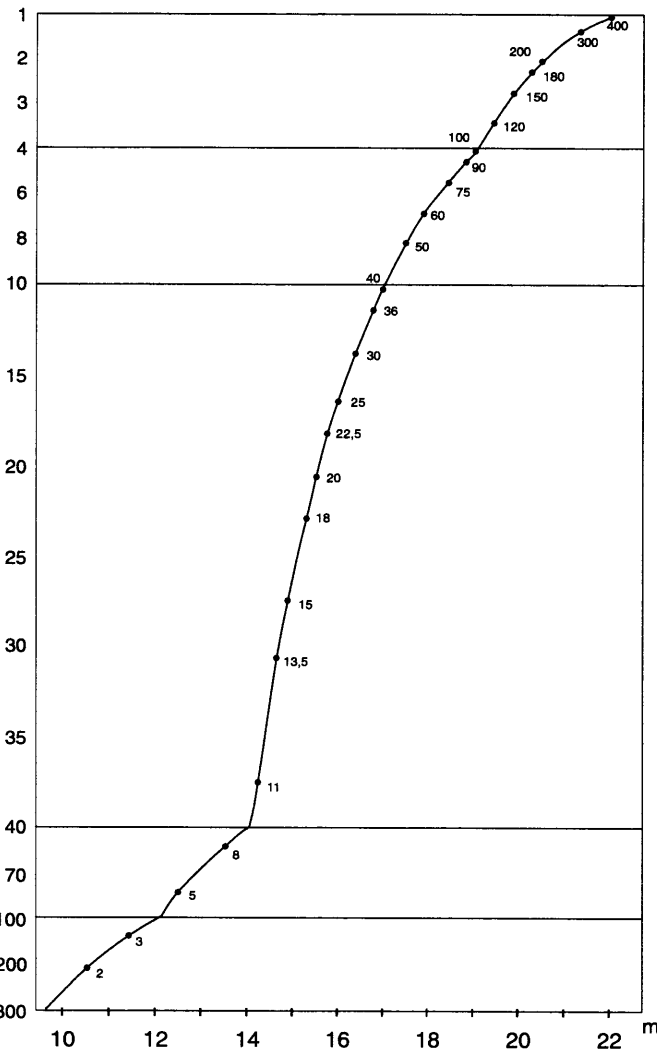
Das Diagramm 1, (nach den Formeln 5 und 7 berechnet, – die sich im Instrumentenvergleich entsprechen), gibt einen Überblick über den Zusammenhang zwischen fotografischer Auflösung und maximalen Sternrenzgrößen, für alle Instrumente gültig. Den Rechnungen wurde eine Hintergrundhelligkeit von 4^m/□° zugrunde gelegt. Auch wenn dies in Mitteleuropa sicherlich nirgends ganz erreicht wird, verschafft das Diagramm zumindest einen Einblick in das Mögliche.

Auch hierzu gelten Ausnahmebedingungen:

1. Untersuchungen über den fotografischen Nachweis schwächster Quellen, führten zur Anwendung der Signal/Rausch-Theorie auf die fotografische Emulsion. Die ersten auf dieser Grundlage entwickelten extrem feinkörnigen Hochkontrastemulsionen waren die IIIa-J und IIIa-F Spektralplatten von Kodak. Diese zeigen, unter sonst gleichen Bedingungen, bis zu 2 Größenklassen schwächere Sterne als ältere Emulsionen [4]. Es wird dadurch verständlich, wieso vor 20 Jahren noch die Reichweite der größten Teleskope mit 22^m–23^m angegeben wurde. Diese Barriere sprengten die modernen Emulsionen vom Typ der Kodak IIIa-Platten. Es ließen sich nun vom Rauschen der mindestens 22^m/□" hellen Hintergrundschwärzung noch schwächere Sterne (bis ca. 24^m) trennen; eine Entwicklung, die sicherlich noch nicht abgeschlossen ist. Diese Grenzbereiche erdgebundener Astrofotografie sind jedoch allein durch den Bau noch größerer Teleskope nicht zu überwinden. Es sei denn, die fotografische Winkelauflösung ließe sich noch irgendwie steigern. Der Instrumentenbau hat heute begonnen diesen Weg zu beschreiten, über aktive- und adaptive Optiken. Erste bahnbrechende Erfolge gelangen mit dem NTT des ESO in La Silla; extreme Abbildungsschärfe und atmosphärische Superlativbedingungen. Hier wurden Seeingscheibchen von 0,33 erreicht [5], was einer etwa erzielbaren Grenzgröße von 26^m/4 gleichkommt.

¹ Fußnote: Um nicht ein falsches Bild entstehen zu lassen, sei bemerkt, daß die langen Brennweiten der Großteleskope von Vorteil sind für astrometrische Messungen, oder zur fotografischen Auflösung von Strukturen in Nachbarschaft heller Sterne (Bildwachstum). Ihre Riesenöffnungen bleiben unersetzlich in der Spektroskopie, wo es darauf ankommt, möglichst viel Licht zu flächenmäßigen Auffächerung des Sternlichtes einzufangen. Der Einsatz von Großteleskopen an Orten mit bestem Seeing sichert das Erreichen extremer Grenzgrößen mit kurzen Ausbelichtungszeiten. Unter Amateurbedingungen hat man, im Vergleich dazu, außerordentlich schlechte Karten!

Bogensek.



2. Bei Erzielung anderer Scheibchendurchmesser müssen im Diagramm 1 zu den Grenzgrößenangaben der markierten Brennweiten folgende Korrekturwerte berücksichtigt werden:	Ø in mm	m
	0,05	-2,0
	0,04	-1,5
	0,03	-0,9
	0,02	-0,0
	0,015	+0,6
	0,01	+1,5

3. Auch entwicklungsbedingte fotografische Effekte und spezielle Dunkelkammertechniken (analoges gilt für CCD) nehmen Einfluß auf die erzielbare Grenzgröße und damit auf die Position im Diagramm. Mit Hilfe der Sandwich- oder Kompositmethode gelingt es das Signal/Rausch-Verhältnis zu steigern. Noch schwächere Sterne werden erkennbar.

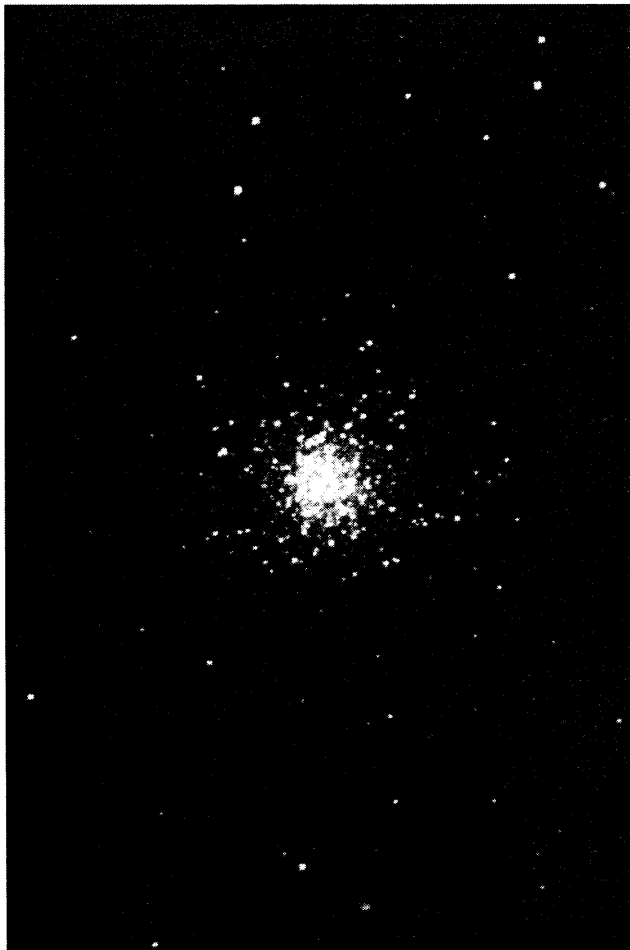
Praktische Anmerkungen für den Sternfreund

Tabelle 2 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), T-MAX 3200 (auf 12500 ASA gepusht) und dem Colornegativfilm Kodak Ektar 25 (ein Superfilm, auch ungehypert für Nebelaufnahmen mit lichtstarken Optiken) basieren auf praktischer Erfahrung des Ver-

Oben: Abhängigkeit der auf ausbelichteten Aufnahmen erzielbaren Sternengrenzgrößen (Blauhelligkeiten) von der fotografischen Auflösung. Am linken Rand sind die Winkeldurchmesser schwächster Sternabbildungen in Bogensekunden, unten die Größenklassen gegeben. Der Kurvenverlauf kann als praktischer Anhaltspunkt dienen und wurde für eine Hintergrundhelligkeit von $4^m/\square$ berechnet. Die Zahlenangaben neben den Kurven bedeuten Objektivbrennweiten in cm und markieren deren Auflösung und Grenzgröße bei kleinsten Sternscheibchen von 0,02mm.

	s/w-Filme, ASA 400	Kodak TP2415 hyp.	Ektar 25 (ungehyp.)	T-MAX 3200, auf 12500 ASA gepusht
n	p=0,8	p=1	p=0,75	p=0,75
1: 1 =	3 min	3 min	6 min	1,1 sec
1: 1,5 =	10 min	6 min	14 min	3,3 sec
1: 2 =	21 min	10 min	30 min	7 sec
1: 2,8 =	49 min	20 min	1 h 15 min	17 sec
1: 3,5 =	1 h 25 min	31 min	2 h 15 min	31 sec
1: 4,5 =	2 h 40 min	51 min	4 h 30 min	1 min 0 sec
1: 5 =	3 h 30 min	1 h 5 min	6 h	1 min 20 sec
1: 5,6 =	4 h 30 min	1 h 20 min	8 h	1 min 50 sec
1: 6 =	5 h 30 min	1 h 30 min	9 h 30 min	2 min 10 sec
1: 7 =	8 h	2 h 5 min	14 h 30 min	3 min 20 sec
1: 8 =	11 h 15 min	2 h 40 min	20 h 30 min	4 min 45 sec
1: 10 =	19 h 30 min	4 h 10 min	37 h 15 min	8 min 35 sec
1: 15 =	54 h	9 h 25 min	110 h	25 min 15 sec
1: 20 =	111 h	16 h 40 min	237 h	55 min 0 sec

Tabelle 2: Orientierungswerte für die Ausbelichtung unterschiedlicher Filmmaterialien, in Abhängigkeit vom Öffnungsverhältnis (n). Gültig für ländliche mitteleuropäische Beobachtungsbedingungen



**Kugelsternhaufen M 13, Cassegrain-Spiegel 150/2250 (Jena), Lumicon Newton-Easy-Guider, Zeiss Ib-Montierung mit Frequenzwandler, Kodak T-MAX 3200 auf 12500 ASA gepusht, Belichtung 15 min. am 26.5.1993, Sternwarte Sohland
Foto: Wolfram Fischer**

fassers. Davon ausgehend wurde die Tabelle nach folgender Formel berechnet:

$$\left(\frac{t_2}{t_1}\right)_{\max} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^{2/p} \quad (8)$$

Verhältnis der Belichtungszeiten (t) zweier Öffnungsverhältnisse (unter Berücksichtigung des Schwarzschildexponenten)

Die Werte zum hyp. Kodak TP 2415-Film wurden nach der Beziehung $2,5 \cdot n$ (in Minuten) bestimmt.

Es wird erkennbar, daß ein Ausbelichten mit Öffnungsverhältnissen $< 1:7$ in der Regel kaum noch zumutbar ist. Das Risiko einer Fehlbelichtung ist bei sehr langen Integrationszeiten besonders hoch! Der gewinnbringende Einsatz langer Brennweiten erfordert extrem stabile Montierungen und hohe Nachführgenauigkeiten, ohne die eine entsprechende Auflösung und Grenzgröße unerreicht bleiben! Ansonsten ist ein kleineres Instrument, mit geringerer Öffnung und Brennweite, zu empfehlen, das aufnahmetechnisch gerade noch beherrscht die gleiche Auflösung und Grenzgröße wie das Größere (schlecht nachgeführte) bringt und wesentlich befriedigendere Resultate ermöglicht! Die Wahl der Aufnahmebrennweite sollte also nach kritischer Einschätzung der eigenen Möglichkeiten (Nachführgenauigkeit) erfolgen. Um in der Nebelfotografie, mittels strenger Filter die Grenzen des Machbaren anzustreben, ist der Einsatz lichtstärkerer Optiken empfehlenswert. Das Erreichen extremer Grenzhelligkeiten ist heute mit langbrennweitigen Amateurteleskopen nicht nur mittels aufwendiger CCD-Technik möglich. Dies belegen die überraschend kurzen Ausbelichtungszeiten des auf 12500 ASA entwickelten Kodak T-MAX 3200 (siehe Bild). Der chemische Schleier bleibt niedrig. Das Korn ist zwar kräftig, ermöglicht aber immer noch Sternscheibchen von ca. 0,04 mm. Dieser meineserachtens von Astroamateuren bislang wenig beachtete Film, bietet beim Einsatz langer Brennweiten (mit kleinen Öffnungsverhältnissen) ungeahnte Möglichkeiten.

Literatur:

- [1] W. A. Baum, The detection and measurement of faint astronomical sources; Astronomical Techniques, 5.10, The University of Chicago press, 1960
- [2] B. D. Wallis and R. W. Provin, A manual of advanced celestial photography; S.98, Cambridge University press, 1988,
- [3] Bernd Koch, Handbuch der Astrofotografie, Springer Verlag Berlin Heidelberg New York 1995
- [4] Roger Leifert und Thomas Mihatsch, Der Kodachrome 64 als Astrofilm für die Langzeitfotografie, „Sterne und Weltraum“ 1988/1, S.42
- [5] J. Gürtler und J. Dorschner, Erste Aufnahmen mit dem New Technology Teleskope der ESO; Erwartungen der Astronomen voll erfüllt. „Die Sterne“ 1989/5