

Vorbemerkungen

In der Fotografie hat man es vornehmlich mit drei Kenngrößen zu tun. Dies sind die Beschaffenheit der benutzten Optik, die Empfindlichkeit und sonstige Eigenschaften des Fotomaterials und die daraus resultierenden erforderlichen Belichtungszeiten. Da man in der Astrofotografie besonders schwache Lichteindrücke festhalten will, ist man gezwungen, diese drei Kenngrößen bis ins Extreme zu steigern; man arbeitet mit immer größeren Optiken, mit empfindlichsten Fotomaterialien und sehr langen Belichtungszeiten.

1. Die Reichweite, eine Frage der Lichtstärke?

Eine zentrale Stellung nimmt die Lichtstärke der Optik ein, denn diese steckt den Rahmen der erreichbaren Möglichkeiten ab. Unter Lichtstärke eines Objektivs wird manchmal landläufig ein Konglomerat von Objektivdurchmesser und Öffnungsverhältnis verstanden. Obwohl unter Lichtstärke allgemein das Öffnungsverhältnis zu verstehen ist, haben beide Begriffe besonders in der Astrofotografie eine gravierende getrennte Bedeutung. Gerade beim Problem der Reichweite, im Zusammenhang von Objektivdurchmesser und Öffnungsverhältnis, stieß ich bei einigen Amateuren nicht nur auf Unkenntnis, sondern sogar auf Unglauben und heftigen Widerspruch.

Vom herkömmlichen Fotografieren ist man gewöhnt, daß sich mit zunehmender Blendenzahl, also Lichtstärke, die Belichtungszeiten verkürzen. Man kommt mit großer Blende selbst bei schwachem Licht immer noch mit geringen Belichtungszeiten aus. Will man diese Denkgewohnheit auch in die Astrofotografie übertragen, so wird es falsch, weiß man nicht zwischen punktförmiger und flächenhafter Abbildung zu unterscheiden. Das einzige Gebiet in der Fotografie, in dem dieses Phänomen so einschneidend wirkt, ist wohl die Astrofotografie. Es wird hervorgerufen durch das Vorhandensein praktisch ideal punktförmiger Lichtquellen, der Fixsterne.

Bei Aufnahmen von Fixsternen hängt die Reichweite (ruhige Luft, gute Nachführung und gleiches Fotomaterial vorausgesetzt) tatsächlich nur von der Objektivöffnung, nicht von der Brennweite bzw. dem Öffnungsverhältnis ab.¹⁾

Mit 100 mm Öffnung und beliebiger Brennweite könnte eine hochempfindliche Platte (ORWO ZU 2) bei idealen Bedingungen und dicht am Schwellenwert etwa folgende Grenzgrößen zeigen:

Tabelle 1

Belichtungszeit	Objektive		
	100/1000	100/400	100/200 (kleine Schmidtamera)
30 min	14,7 mag	14,7 mag	14,7 mag
1 h	15,3 mag	15,3 mag	Kein Grenzgrößengewinn!
2 h	15,9 mag	15,9 mag	
4 h	16,5 mag	Wegen der erhöhten Flächenhelligkeit	
8 h	17,1 mag	zu starke Plattenverschleierung.	

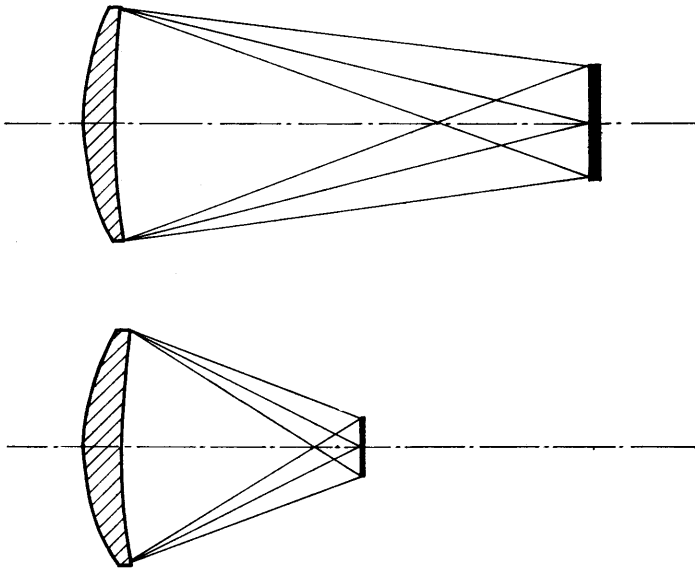
Beim Fotografieren flächenhafter Objekte verhalten sich die Dinge etwas anders. Kleine Objekte können bei kurzen Brennweiten Bilder auf der Fotoplatte ergeben, die nicht größer sind als die von Sternen. Bei ihnen ist das Verhältnis von Belichtungszeit und Reichweite faktisch das gleiche wie in der vorstehenden Übersicht. Anders wird es, wenn das Objekt auf der Platte eine deutliche Ausdehnung besitzt. In diesem Fall hat das Öffnungsverhältnis, im Hinblick auf die Reichweite, alleinige Bedeutung. Wie kann man dies nun erklären?

1.1. Abbildung flächenhafter Objekte

Beim gewöhnlichen Fotografieren haben wir es fast immer mit der Abbildung flächenhaft ausgedehnter Objekte zu tun. Vergleicht man die Bilder zweier gleichgroßer Objektive mit unterschiedlichen Brennweiten (siehe Abb. 1), so kann man zunächst feststellen, daß bei beiden Optiken die aufge-

¹⁾ Unter Amateurbedingungen ist allerdings auch die Helligkeit des Himmelshintergrundes für die Reichweite von Bedeutung.

Abb. 1:
Abhängigkeit des Ab-
bildungsmaßstabes von der
Brennweite.



fangene Lichtmenge gleich ist. Die Tatsache, daß beide Objektive mit unterschiedlicher Lichtstärke, also Intensität, abbilden, ist nur auf die verschiedengroße Abbildung (Abbildungsmaßstab) zurückzuführen. Die Lichtstärke resultiert also aus der aufgefangenen Lichtmenge (Durchmesser des Objektivs) und der Abbildungsgröße (Abbildungsmaßstab).

Die Abbildungsgröße eines Bildes in der Brennebene ist bekanntlich abhängig von der Brennweite. Mit zunehmender Brennweite wächst der Abbildungsmaßstab. Ist die Brennweite im Verhältnis zum Objektivdurchmesser groß, so wird das entstehende Bild besonders lichtschwach sein, da die aufgefangene Lichtmenge auf eine große Fläche verteilt wird. Wächst die Brennweite auf das Doppelte, so dehnt sich die abgebildete Fläche auf das Vierfache aus und büßt bei gleicher Öffnung um den gleichen Betrag an Intensität ein!

Deshalb ist die Lichtstärke des Bildes dann besonders hoch, wenn die Brennweite im Verhältnis zum Objektivdurchmesser klein ist (Öffnungsverhältnis groß ist). Die aufgefangene Lichtmenge kommt hier durch den kleinen Abbildungsmaßstab sehr konzentriert zur Abbildung.

Dieser „Lichtkonzentrationseffekt“ kennzeichnet also die Größe der Lichtstärke eines Objektivs. Da Objektive mit unterschiedlichen Öffnungen bei gleichem Öffnungsverhältnis stets die gleiche Abbildungsintensität erzeugen, ist für die Reichweite bei flächenhaften Objekten der Objektivdurchmesser völlig uninteressant. Hier gilt einzig und allein das Öffnungsverhältnis. Ein Kleinbildobjektiv mit der Lichtstärke 1:3 ist prinzipiell ebenso lichtstark wie die Schmidtamera des 2-m-Universalspiegels in Tautenburg! Daß man mit einem Kleinbildobjektiv tatsächlich keine schwachen Spiralnebel fotografieren kann, liegt eigentlich nicht an deren geringen Flächenhelligkeiten, sondern an den zu kleinen Winkeldurchmessern (zu geringe Gesamthelligkeit). Dadurch werden diese bei den kurzen Brennweiten als Punkte abgebildet und wirken nicht mehr als Flächen. Solche Objekte verlangen deshalb wie schwache Sterne größere Kameraöffnungen. Jedoch wird ein Kleinbildobjektiv bei dem ausgedehnten Nordamerikanenebel die gleiche Schwärzung erzeugen können, wie eine gleichlang belichtete Aufnahme mit dem oben genannten Riesenteleskop.

Das Verhältnis zwischen Objektivdurchmesser und Brennweite, das über Abbildungsmaßstab und Lichtkonzentration entscheidet, ist also bei Abbildung flächenhafter Objekte für die Reichweite maßgebend.

1.2. Abbildung punktförmiger Objektive

Wie verhält es sich nun bei Fixsternen? Sollte die Reichweite bei diesen ebenfalls vom Öffnungsverhältnis abhängig oder zumindest mit abhängig sein, so müßte dies ebenfalls seine Ursache in dem oben beschriebenen Lichtkonzentrationseffekt haben. Dieser hat allerdings seine Ursache in der vom Öffnungsverhältnis abhängigen relativen Abbildungsgröße. Darf man hier einen wirksamen Effekt bei Fixsternen erwarten?

Die scheinbaren Durchmesser der Fixsterne sind unvorstellbar winzig. Sie liegen nur für 6 Sterne

größer als 0,02 und für 11 Sterne zwischen 0,02 und 0,01 Bogensekunden. Für alle anderen Sterne ist er noch kleiner. Die durch die Beugung des Lichtes und die Luftunruhe bedingte Grenze der Auflösung liegt selbst bei den größten Teleskopen bei kaum weniger als einer Bogensekunde. Die beobachtbaren Unschärfescheibchen (Beugungsbilder) der Sterne sind aber derart winzig, daß ihr Durchmesser immer noch weit unter der Auflösungsfähigkeit jedes beliebigen Fotomaterials bleibt. Daß die Sterne auf Himmelsaufnahmen je nach Helligkeit mit unterschiedlichem Durchmesser als Scheibchen abgebildet werden, wird durch Streueffekte auf der Fotoplatte bewirkt und hat nichts mit dem tatsächlichen Durchmesser der Sterne zu tun. Der Winkeldurchmesser eines Beugungsscheibchens (Auflösung) im optisch idealen Fernrohr wird durch den Objektivdurchmesser bestimmt und ist unabhängig von der Brennweite. So hat ein gutes Objektiv mit 80-mm-Öffnung, gleich welcher Brennweite, stets die Auflösungsgrenze von 1,6 Bogensekunden.²⁾

Damit ist noch nichts über die wirkliche Abbildungsgröße (linearer Durchmesser) eines Fixstern-Beugungsscheibchens gesagt. Der lineare Durchmesser eines Beugungsscheibchens ist ebenfalls vom Öffnungsverhältnis abhängig. Ist die Brennweite im Verhältnis zum Objektivdurchmesser groß, so wird die Abbildungsgröße des Beugungsscheibchens ebenfalls groß sein und entsprechend umgekehrt. Diese Erscheinung entspricht dem Gesetz der Lichtstärke bei Abbildung flächenhafter Objekte. Zum Beugungsbild eines Sterns müssen auch die Beugungsringe mitgerechnet werden. Einem bestimmten Öffnungsverhältnis kann man stets einen bestimmten linearen Durchmesser der Beugungsscheibchen zuordnen. Der lineare Durchmesser eines Beugungsscheibchens (in mm) ist bei optisch idealen Fernrohren mit gleichem Öffnungsverhältnis unabhängig vom Durchmesser des Objektivs. Beim Öffnungsverhältnis 1:15 beträgt der lineare Durchmesser immer 0,018 mm (bei $\lambda = 500$ nm). Obwohl die Refraktorobjektive 80/1200 und 150/2250 (beide 1:15) die gleiche Abbildungsgröße der Beugungsscheibchen besitzen, verbirgt sich natürlich dahinter eine unterschiedliche Winkelauflösung, nämlich 1,6 und 0,8 Bogensekunden.

Sollte die Reichweite bei Fixsternen vom Öffnungsverhältnis mitabhängig sein, so müßten allerdings die Beugungsscheibchen erst einmal eine merkliche Ausdehnung auf der Fotoplatte haben, und das haben sie praktisch in keinem Fall. Die Auflösung einer Fotoschicht ist prinzipiell von der Größe der eingelagerten Silberhalogenidkristalle abhängig. Obwohl der durchschnittliche Korndurchmesser einer hochempfindlichen Negativemulsion mit 0,0017 mm angegeben wird, schwärzen selbst die schwächsten Sterne auf Himmelsaufnahmen durch Streueffekte eine große Zahl der lichtempfindlichen Kristalle (Abb. 2). So werden die schwächsten Sterne sicher nicht unter 0,02 bis 0,01 mm Durchmesser abgebildet. Der lineare Durchmesser der Beugungsscheibchen beträgt, wie oben gezeigt, selbst beim Öffnungsverhältnis 1:15 nur 0,018 mm. Da für die Erreichung schwacher Flächenhelligkeiten meist wesentlich größere Öffnungsverhältnisse zum Einsatz kommen, werden die linearen Durchmesser der abgebildeten Sterne von der Optik her im Idealfall noch kleiner sein. Bei einem Öffnungsverhältnis von 1:4,5 werden die Sterne mit einem Durchmesser von nur 0,0054 mm abgebildet. Es ist für die Fotoplatte damit gleich, ob wir Sterne mit 1:15 oder 1:4,5 fotografieren. In beiden Fällen wird das Sternlicht praktisch als Punkt einwirken, dessen Intensität einzig und allein durch den Objektivdurchmesser bestimmt wird.

Diese Gesetzmäßigkeit fand ich auch im folgenden Experiment bestätigt. Ich erzeugte einen künstlichen Stern mit Hilfe einer schwarz überklebten Glühbirne (mit einer Nadel ein feines Loch gebohrt, Durchmesser etwa nur 0,1 mm), deren Eingangsspannung über Voltmeter und Potentiometer kontrolliert werden konnte.

Diesen Stern fotografierte ich nun 2 mal (auf NP 27-Film) mit gleicher Belichtung und der konstanten Objektivöffnung von 8,6 mm. Jedoch besaßen beide Objektive unterschiedliche Brennweiten, nämlich 30 und 122 mm. Die Öffnungsverhältnisse waren also 1:3,5 und 1:14,2. Die Punkte wurden, wie zu erwarten war, genau gleichstark geschwärzt (Abb. 3).

Steigern wir die Brennweite im Verhältnis zur Öffnung ins Extreme, so wird natürlich irgendwann der Punkt erreicht, wo das Beugungsbild tatsächlich eine merkliche Ausdehnung auf der Fotoplatte erreicht. Diese Grenze liegt ungefähr bei einem Öffnungsverhältnis von 1:25. Der lineare Durchmesser der Beugungsscheibchen beträgt erst hier etwa 0,03 mm. Dieser Effekt wird also sicher im Coudé-Fokus des 2-m-Spiegels in Tautenburg bei 92 m Brennweite und einem Öffnungsverhältnis von 1:46 eine Rolle spielen. Die Beugungsbilder sind selbst hier nur 0,055 mm groß.

Daß die Reichweite bei Fixsternen, bei jedem nur denkbaren fotografischen Objektiv, lediglich von der Öffnung abhängig ist, kann man sich auch an visuellen Fernrohrbeobachtungen verdeutlichen. Steigert man an einem Fernrohr mit unterschiedlichen Okularen die Vergrößerung, so wird man einen schwachen Nebel bald nicht mehr wahrnehmen können, da die ohnehin schwache Helligkeit auf eine immer größere Fläche verteilt wird. Beobachten wir nach dem gleichen Verfahren schwache Sterne,

²⁾ Das Auflösungsvermögen eines Objektivs wird berechnet nach $\sin \alpha_1 = 1,22 \cdot \lambda / D$ oder $\alpha_1 = 1378 / D$ (D in cm). Im Beispiel wurde $\lambda = 500$ nm gewählt.

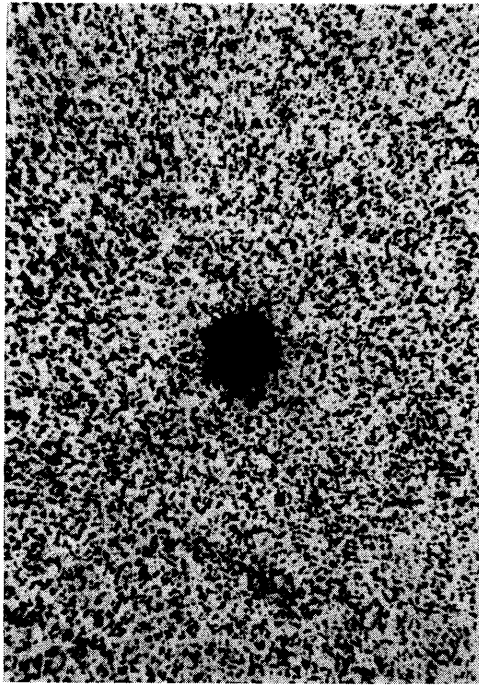


Abb. 2, Bild 1 Film NP 27

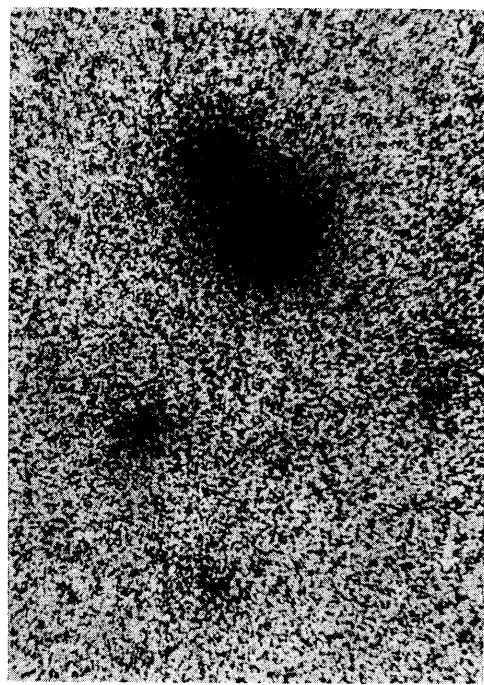


Abb. 2, Bild 2 Platte ZU 2

Mikroskopaufnahmen schwacher und schwächster Sterne auf Fotoschichten. Auch die schwächsten Sterne schwärzen eine große Zahl lichtempfindlicher Silberhalogenidkristalle. Aufnahmevergrößerung 225fach.

so kann man trotz steigender Vergrößerung und Ausdehnung des Bildes feststellen, daß man diese immer noch wahrnehmen kann, im Gegenteil mitunter sogar noch schwächere erkennt. Die Beugungsscheibchen bleiben bis zu mittleren Vergrößerungen hin für unser Auge praktisch unvergrößert. Erst wenn man hohe Vergrößerungen wählt, oder gar ins Sinnlose steigert und die Beugungsscheibchen merklich auseinandergezogen sieht, verliert das Sternbild an Helligkeit. Vorher kann uns bei starker Vergrößerung der Effekt der Verdunklung des Himmels hintergrundes durch noch bessere Dunkelanpassung der Augen, noch schwächere Sterne erkennen lassen.

Man kann zu dieser Problematik folgendes zusammenfassend sagen. Wird ein Objekt flächenhaft abgebildet, verhalten sich die Reichweiten nicht wie bei punktförmigen Objekten wie die Quadrate der Öffnungen, sondern wie die Quadrate der Öffnungsverhältnisse. Vergleicht man zwei Spiegel 200/600 (1:3) und 400/2400 mm (1:6), so ergibt bei punktförmigen Objekten das zweite eine um 1,5 mag größere, bei Flächenabbildung aber eine um 1,5 mag geringere Reichweite $[(1/3)^2 : (1/6)^2 = 4 : 1]$.

2. Einfache rechnerische Reichweitenbestimmung von Kameras

Für die Reichweite (Grenzgröße der Fixsterne) einer Kamera ist der Objektivdurchmesser und die Belichtungszeit verantwortlich. Die Empfindlichkeit der Fotoschicht wollen wir als möglichst hoch und konstant ansehen und können diese im weiteren außer acht lassen. Zunächst muß man aber bestimmte Eigenschaften der fotografischen Schichten kennen. So erhebt sich die Frage, wird eine Fotoschicht z. B. bei verdoppelter Einstrahlungsintensität (z. B. größerer Objektivdurchmesser) bei gleicher Belichtung auch doppelt geschwärzt? Wenn dies zutrifft, erzeugt aber die doppelte Belichtungszeit bei gleicher Lichteinstrahlung ebenfalls eine doppelte Schwärzung?

Tatsächlich wird bei Verdreifachung der Intensität, bei mittlerer Strahlungsstärke zumindest recht genau, eine doppelte Schwärzung der Fotoschicht erreicht. Das ist jedoch nicht der Fall bei Verlängerung der Belichtungszeit um den Faktor 2. Die Schicht wird etwas weniger geschwärzt. Hier wird die als Schwarzschildeffekt bezeichnete Erscheinung erkennbar. Die Wirkungsweise dieser Schwärzungsgesetzmäßigkeiten kann man folgendermaßen verdeutlichen.

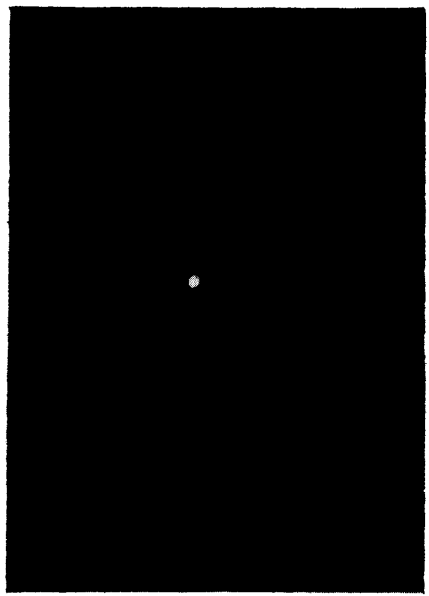
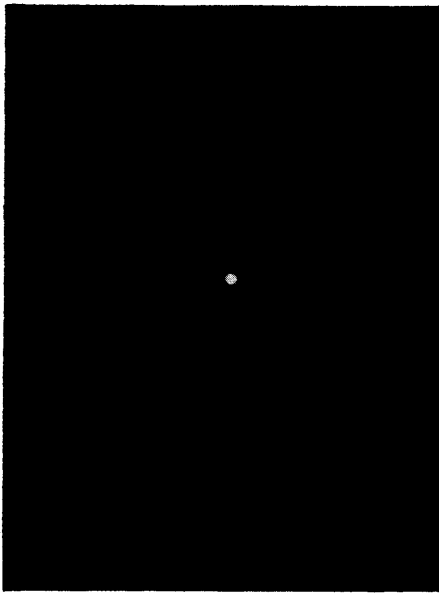


Abb. 3: Gleichlang belichtete Aufnahmen eines künstlichen Sterns mit konstanter Öffnung, aber unterschiedlichen Öffnungsverhältnissen. Die unterschiedliche Lichtstärke, hier von 1 : 3,5 und 1 : 14,2, bewirkt bei punktförmiger Abbildung keinen Schwärzungsunterschied.

Die an Fotoobjektiven angebrachten Blendenabstufungen sind so eingerichtet, daß von einem Blendenwert zum anderen immer eine doppelte Flächenöffnung, also doppelte Intensität der Einstrahlung wirksam wird. Die Fotoschicht reagiert somit in den üblichen Fällen bei Verdopplung der Intensität praktisch mit doppelter Schwärzung. Die Verschußzeiten an Fotoapparaten sind nun ebenfalls jeweils um das Doppelte abgestuft, doch bei solcher Belichtungsverlängerung erreicht man niemals exakt eine Schwärzungsverdoppelung. Dreht man also das Fotoobjektiv um einen Blendenwert weiter zu und verzweifacht die Belichtungszeit, so ergibt das nicht genau die gleiche Schwärzung wie eine Aufnahme mit größerer Blende und entsprechend kürzerer Verschußzeit.

Dieses Kuriosum wird beim normalen Fotografieren aber erst bei großem Öffnungsverlust und starker Belichtungsverlängerung bemerkbar. Um diese Erscheinung experimentell nachzuweisen, fotografierte ich wieder meinen künstlichen Stern und setzte vor das Objektiv abwechselnd Lochblenden von 24 mm und 3 mm Durchmesser. Der Öffnungsdurchmesser wurde so um das Achtfache herabgesetzt. Die wirksame Objektivfläche und damit die erzeugte Intensität auf $1/64$ verringert. Obwohl ich die zweite Aufnahme auch entsprechend 64 mal länger belichtete, wurde der Sternpunkt doch merklich schwächer geschwärzt (Abb. 4), was die Gesetzmäßigkeit des Schwarzschildeffekts bestätigte. Aus dem eben Festgestellten kann man folgendes grundlegend für die Reichweitenbestimmung entnehmen:

1. Beim Bestimmen der Reichweite, in Abhängigkeit von der Belichtungszeit, muß die Wirkung des Schwarzschildeffekts berücksichtigt werden.
2. Bei Übertragung der Grenzgröße auf verschieden große Optiken (bei konstanter Belichtungszeit) kann der erzeugte Intensitätsunterschied, resultierend aus unterschiedlichen Objektivflächen, direkt in Größenklassendifferenzen umgerechnet werden.

Der Schwarzschildeffekt bewirkt in der Astrofotografie, daß man, um eine Größenklasse schwächere Sterne zu erreichen, nicht nur (der Intensität entsprechend) eine 2,512-fach längere Belichtung benötigt, sondern die 3,16-fache. Der Wert weicht zwar je nach Fotomaterial, Lichtintensität und Wellenlänge etwas ab, was aber für die gewünschte Erfordernis ohne Bedeutung ist. Um die durch den Schwarzschildeffekt bewirkte Beziehung zwischen vervielfachter Belichtungszeit und Größenklassengewinn jederzeit schnell zur Hand zu haben, errechnete ich diese Zahlen logarithmisch bis zu 6 Größenklassen. Die Werte sind aus Tabelle 2 ersichtlich und gestatten jedem Interessenten bequem die Beziehung zwischen Belichtungszeit und Reichweitzuwachs zu entnehmen. Um von einem Ausgangswert (einer Kameraöffnung mit bekannter Reichweite bei bestimmter Belichtungszeit auch ohne

Abb. 4: Nachweis des Schwarzschildeffekts. Aufnahmen eines künstlichen Sterns mit unterschiedlichen Öffnungen und entsprechender Belichtungsverlängerung. Obwohl die zweite Aufnahme mit 1/64 Objektivfläche 64mal länger belichtet wurde, entsteht keine Schwärzungsleichheit.

Mühe auf andere Objektivgrößen schließen zu können, gebe ich hier eine Tafel, bei der die Umrechnung von Größenklassendifferenzen in Intensitätsverhältnisse vorgenommen ist (Tabelle 3, nach [1]). In den Tabellen 2 und 3 sind nun schon fast alle erforderlichen Rechnungen für die Reichweitenbestimmung getan. Wollen wir die noch nötigen Rechnungen und Überlegungen an einem Beispiel durchführen. Mein bekannter Ausgangswert soll eine Objektivöffnung von 56 mm sein, die nach 30 Min. Belichtung unter idealen Bedingungen noch Sterne bis zur Größenklasse 13,5 abbilden soll. Gesucht ist zunächst die Reichweite der gewünschten Öffnung bei derselben Belichtungszeit wie der Ausgangswert. Die gesuchten Werte sollen für eine Öffnung von 80 mm gelten.

Da für die gesammelte Lichtmenge die Objektivfläche verantwortlich ist, errechnen wir die Flächen beider Öffnungen und dividieren diese miteinander. Das Ergebnis ist die Lichtmenge oder Intensität, mit der das größere Objektiv heller abbildet. Mit der Kreisflächenformel $A = \pi \cdot r^2$ wird für die Objektive mit $\varnothing = 56$ mm und 80 mm der Intensitätsgewinn ermittelt $50,25 : 24,6 = 2,04$.

Das 80-mm-Objektiv hat also bei gleicher Belichtung eine 2,04-fach größere Reichweite als das 56-mm-Objektiv. Mit diesem Wert gehen wir in die Tabelle 3 ein und entnehmen zu einem möglichst ähnlichen Intensitätswert die entsprechende Größenklassenangabe. Interpolationen sind bei den überhaupt erreichbaren Genauigkeiten nicht nötig. Für einen Intensitätszuwachs von 2,04 finden wir also den Helligkeitszuwachs von etwa 0,8 mag. Dieser Wert ist der Größenklassenbetrag, um den das gesuchte Objektiv in der gleichen Zeit weiter vordringt. Erreicht das 56-mm-Objektiv nach 30 Min. die Grenzgröße 13,5 mag, so erreicht die 80-mm-Optik in gleicher Zeit 0,8 mag mehr, also 14,3 mag. Interessiert uns nun noch die ungefähr zu erwartende Reichweite nach einer anderen beliebigen Belichtungszeit, wie z. B. nach 2,5 Stunden, dann gehen wir einfach wie folgt vor. Wir überlegen uns, das Wievielfache die gesuchte Belichtungszeit länger (kürzer) ist als die Ausgangsbelichtungszeit. In diesem Fall sind 2,5 h fünfmal länger als 30 Minuten. Mit der Zahl 5 wird in die Grenzgrößenwachstabelle 2 eingegangen und wir finden für 5 die Helligkeit 1,4 mag. Diesen Wert brauchen wir nur noch zur Ausgangshelligkeit 14,3 mag zu addieren und erhalten die maximale Grenzgröße einer 80-mm-Kamera (auf hochempfindlicher Fotoschicht) nach 2,5 Stunden Belichtung von 15,7 mag.

Abschließend muß man sagen, daß eine wesentliche Fehlerquelle dieser Reichweitenbestimmungsmethode in den Ausgangswerten liegt. Man findet in der Literatur auch unterschiedliche Angaben. So gibt Dr. Ahnert in seinen „Beobachtungsobjekten für Liebhaberastromen“ die Reichweite der Kamera 56/250 nach 30 Minuten mit 13,5 mag an. Anderenorts wird dieselbe Grenzgröße und Belich-

Tabelle 2:

Beziehung zwischen Belichtungsverlängerung und Größenklassengewinn (unter Berücksichtigung des Schwarzschildeffektes)

Zehntel	Größenklassen					
	0 ^m	1 ^m	2 ^m	3 ^m	4 ^m	5 ^m
0 ^m 0	1,00	3,16	9,99	31,56	99,7	315,1
0 ^m 1	1,12	3,55	11,21	35,41	111,9	353,6
0 ^m 2	1,26	3,98	12,57	39,72	125,5	396,7
0 ^m 3	1,41	4,46	14,10	44,57	140,8	445,1
0 ^m 4	1,58	5,01	15,82	49,98	158,0	499,3
0 ^m 5	1,78	5,62	17,76	56,09	177,3	560,2
0 ^m 6	1,99	6,30	19,91	62,92	198,9	628,5
0 ^m 7	2,24	7,07	22,35	70,63	223,2	705,2
0 ^m 8	2,51	7,93	25,00	78,98	250,4	791,1
0 ^m 9	2,82	8,90	28,13	88,89	280,9	887,7
1 ^m 0	3,16	9,99	31,56	99,71	315,1	995,7

Beispiel: Um fotografisch 2,8 Größenklassen zu gewinnen, muß um den Faktor 25 länger belichtet werden.

Tabelle 3:

Umrechnung von Größenklassendifferenzen in Intensitätsverhältnisse

Zehntel	Größenklassen					
	0 ^m	1 ^m	2 ^m	3 ^m	4 ^m	5 ^m
0 ^m 0	1,00	2,51	6,31	15,85	39,81	100,0
0 ^m 1	1,10	2,75	6,92	17,38	43,65	109,6
0 ^m 2	1,20	3,02	7,59	19,05	47,86	120,2
0 ^m 3	1,32	3,31	8,32	20,89	52,48	131,8
0 ^m 4	1,45	3,63	9,12	22,91	57,54	144,5
0 ^m 5	1,58	3,98	10,00	25,12	63,10	158,5
0 ^m 6	1,74	4,37	10,96	27,54	69,18	173,8
0 ^m 7	1,91	4,79	12,02	30,20	75,86	190,5
0 ^m 8	2,09	5,25	13,18	33,11	83,18	208,9
0 ^m 9	2,29	5,75	14,45	36,31	91,20	229,1
1 ^m 0	2,51	6,31	15,85	39,81	100,00	251,2

tungszeit für 100 mm Öffnung angegeben. Der Reichweitenunterschied zwischen 56 und 100 mm Öffnung beträgt immerhin 1,2 Größenklassen. Schenkt man der zweiten Angabe Glauben, so ist die Reichweite der Kamera 56/250 nach 30 Minuten lediglich 12,3 mag.

Dies läßt sich vermutlich in der Weise erklären, daß man als Grenzgröße die Sterne ansehen kann, die gerade noch aus dem Plattenschleier hervortreten, also nahe dem Schwellenwert liegen. In der professionellen Praxis sind solche Sterne nicht mehr auswertbar. Wenn man hier über Grenzgrößen spricht, meint man Sterne, die gerade noch, aber sicher abgebildet werden. Diese dürften etwa eine Größenklasse heller sein als die allerschwächsten Andeutungen. Es ist jedem selbst überlassen, einen möglichst zutreffenden Ausgangswert für sein benutztes Fotomaterial oder etwa für durchschnittliche atmosphärische Bedingungen zu finden. Bei kritischer Betrachtung des benutzten Ausgangswertes kann die errechnete Grenzgröße der tatsächlichen Reichweite einer Aufnahme sicher nahekommen. Vorausgesetzt wird natürlich, daß das Fotomaterial bei der Bestimmung des Ausgangswertes (z. B. 30 Min. Belichtung – Grenzgröße 13,5 mag) das gleiche ist wie bei den Aufnahmen, deren Reichweite zu bestimmen ist. Z. B. stets Platten ZU 2 oder Film NP 27 verwenden. Die atmosphärischen Bedingungen sind es überhaupt, die die Reichweite am entscheidendsten beeinflussen, da nützen selbst die schönsten Rechnereien nichts. Bei einer 102 Minuten belichteten Plejadenaufnahme mit einem Tessar 80/360 auf Platte ZU 2 erreichte ich durch mäßigen Himmel und noch zu große Horizontnähe lediglich die Grenzwerte 13,5 mag. Nach meiner Rechnung und dem eingangs angeführten Ausgangswert hätten Sterne bis zur 15,4. Größe abgebildet werden müssen. Der Fehler liegt hier weniger in der Rechnung, sondern in der Nichtberücksichtbarkeit der astronomisch-meteorologischen Bedingungen während der Aufnahme. Dieses Rechenverfahren kann also nicht exakt Auskunft über die erreichte Grenzgröße auf einer speziellen Aufnahme geben. Es kennzeichnet vielmehr die unter idealen Bedingungen mögliche Einsatzbreite eines Instruments.

Literatur:

[1] Dr. Paul Ahnert, Kleine Praktische Astronomie, Johann Ambrosius Barth, Leipzig 1974, Tafel 3.1.7., S. 52. – [2] Junge/Hübner, Fotografische Chemie, VEB Fotokinoverlag, Leipzig 1972. – [3] Weigert/Zimmermann, abc Astronomie, VEB Brockhaus Verlag, Leipzig 1971.