

Astrofotografie mit einer Amateur-Schmidt-Kamera

1. Die Schmidt-Kamera und Abbildungsgesetze der Astrofotografie
Schmidt-Kameras sind die leistungsfähigsten fotografischen Hilfsmittel des Astronomen bei der Abbildung großer Bildfelder. Das optische System des komafreien Spiegels wurde 1930 von Bernhard Schmidt erfunden. Es schloß eine bedeutende Lücke im astronomischen Instrumentarium und brachte einen Aufschwung in der astronomischen Forschung. Schmidt-Kameras lassen sich nicht nur sehr groß herstellen (die größte der Welt steht in Tautenburg bei Jena mit 134 cm Öffnung und 4 m Brennweite), sondern auch mit großem Öffnungsverhältnis (meist zwischen 1:1,5 bis 1:3). Da die Abbildungsintensität von Flächenhelligkeiten allein vom Öffnungsverhältnis abhängt, waren mit der Erfindung der Schmidt-Kamera erstmals extrem lichtschwache Nebel mit kurzen Belichtungszeiten erreichbar. Die Abbildungsintensität der Sterne (Punkthelligkeiten) ist dagegen unabhängig vom Öffnungsverhältnis und wird praktisch ausschließlich durch die wirksame Objektivöffnung bestimmt. Die lichtschwächeren Linsenobjektive weisen daher, im Vergleich zur Schmidt-Kamera, eine starke Disproportion in der Abbildungsintensität zwischen Sternen und Nebeln auf. Bei einem Öffnungsverhältnis von z. B. 1:4,5 kommt das Sternenlicht $20,25 \times$ (um das Quadrat des Öffnungsverhältnisses) intensiver zur Abbildung als Nebellicht. Nebelaufnahmen müssen lang belichtet werden. Die Folge ist, daß die Sternscheibchen auf dem Negativ durch Diffusion sehr groß werden und mitunter die trotzdem nur schwach geschwärzten Nebel halb zudecken. Diese die Auflösung mindernde Eigenschaft, besonders bei den kurz-brennweitigen Amateurgeräten spürbar, reduziert sich deutlich beim Einsatz eines Schmidt-Spiegels, dank des großen Öffnungsverhältnisses (vergleiche Bilder 1 und 2). Die Reichweitengrenze in der Astrofotografie setzt die Resthelligkeit des Nachthimmels, die schließlich zu einer Verschleierung des Negativs führt. Schmidt-Kameras erreichen durch ihre Lichtstärke schnell diese Grenze, was übrigens einen Nachteil bei den erreichbaren Fixsternhelligkeiten bedeutet. Die Schmidt-Kamera des Verfassers, mit dem effektiven Öffnungsverhältnis 1:1,88, kann auf NP-27-Film, unter günstigen Bedingungen, maximal 30 min belichten

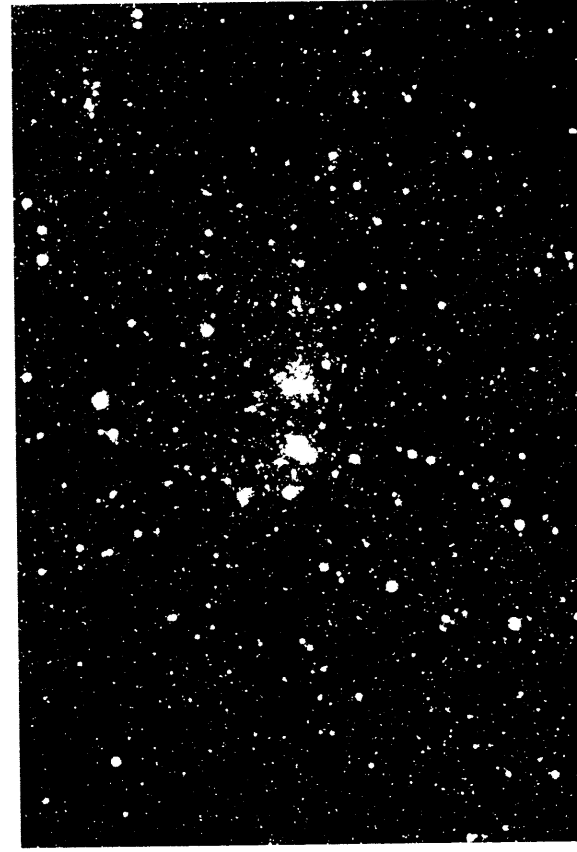
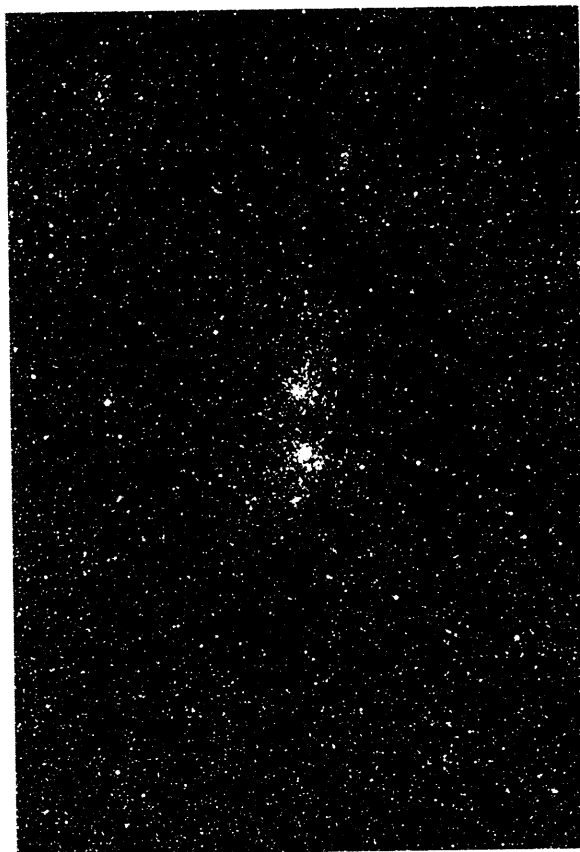
und erreicht, dank ihrer freien Öffnung von quasi 18,95 cm \varnothing , Sterne bis etwa 16. Größe. Durch geeignete Filter/Film-Kombinationen läßt sich die Nachthelligkeit stark zurückdrängen, und die Abbildung wesentlich schwächerer Nebel (H α -Licht) wird möglich. Um zu verdeutlichen, welche Bedeutung hier dem Öffnungsverhältnis zukommt, sei angemerkt, daß eine Kamera der Lichtstärke 1:4,5, um die gleichen Flächenhelligkeiten wie die hier wiedergegebenen Schmidt-Aufnahmen (Bilder 3 und 4) zu erreichen (unter den gleichen Aufnahmebedingungen), eine Belichtungszeit von fast 18 h benötigt! Die Schmidt-Kamera, auch die kleine Schmidt-Kamera des Amateurs, öffnet das Tor zu geringen Flächenhelligkeiten. Die Abbildungsgüte ist dabei unübertroffen. Sterne, als härtere Prü-

fung für jede Optik, werden punktscharf (die schwächsten bis zu 0,02 mm \varnothing) auf mehrere Grad großen Bildfeldern abgebildet.

2. Der Aufbau einer Schmidt-Kamera aus der Sicht des Amateurs

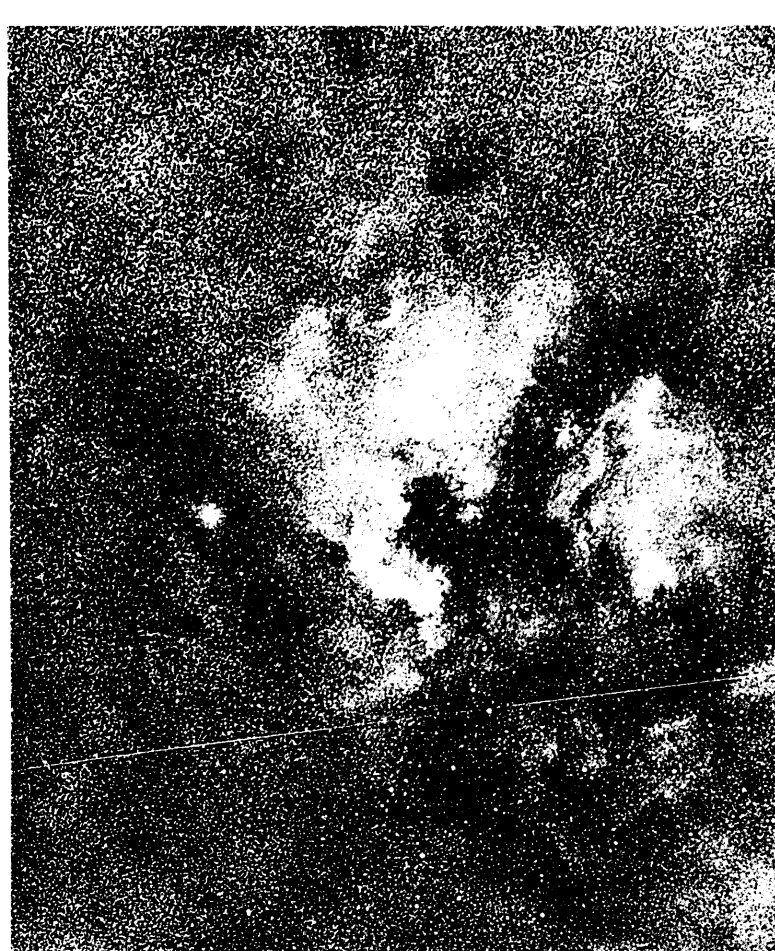
Die Optik einer klassischen Schmidt-Kamera besteht aus einem einfachen Kugelspiegel, dessen Komafehler eine Öffnungsblende im Krümmungsmittelpunkt (doppelter Abstand der Brennweite) beseitigt. Die sphärische Aberration des Spiegels wird durch eine in der Öffnungsblende befindliche Korrekionsplatte behoben. Die Berechnung und die Herstellungsweise solch einer Korrekionsplatte ist das Hauptverdienst des genialen Erfinders Bernhard Schmidt. Es handelt sich bei dieser Korrekionsplatte um eine dünne planparallele Glas-

platte, in die eine komplizierte, nur wenige zehntel Millimeter tiefe Deformation geschliffen wurde. In der Mitte Licht sammelnd, wirkt sie in der Randzone zerstreuernd. Der Farbfehler wird so optimal reduziert. Das Bildfeld innerhalb der Kamera, genau zwischen Spiegel und Korrekionsplatte, ist zum Spiegel zu kugelförmig gewölbt. Der Radius dieser Krümmung entspricht der Brennweite des Spiegels. Durch eine unmittelbar vor der Bildfläche angebrachte Plankonvexlinse läßt sich diese Bildfeldwölbung beheben. Um zu vermeiden, daß geneigt einfallende Strahlenbündel teilweise am Spiegel vorbeifallen (Abschattung oder Vignettierung), muß dieser stets größer sein als die Korrekionsplatte. Die Größe des Spiegels entscheidet damit wesentlich mit über den brauchbaren



1 Schmidt-Kamera 200/240/356 mm, Orwo NP 27, Belichtung: 30 min, am 13. 10. 1985
Foto: W. Fischer, Sternwarte Sohland
2 Astrograph Tessar 4,5/360, Platte ZU 2, Belichtung: 70 min, am 30. 8. 1976
Foto: W. Fischer, Sternwarte Sohland
Die Bilder 1 und 2 zeigen den Doppelsternhaufen η und χ Persei. Diese mit etwa gleicher Brennweite aufgenom-

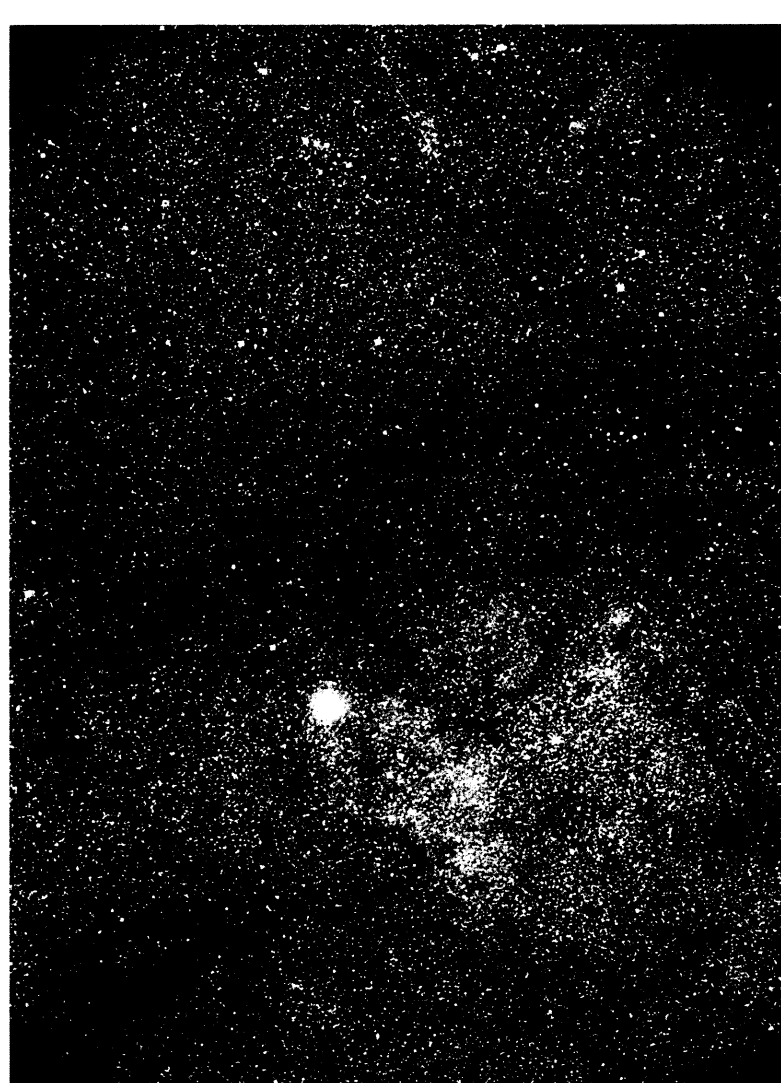
menen Astrofotos gestatten einen Vergleich zwischen Schmidt-Kamera und Linsenkamera. Die Schmidt-Kamera Aufnahme wurde zwar kürzer belichtet, die Abbildungsintensität ist aber, dank der viel größeren Öffnung, wesentlich höher. Trotzdem sind die Sterne erheblich weniger zerstreut, als die Tessar-Aufnahme zeigt. In Auflösung und Grenzhelligkeit ist die Schmidt-Aufnahme deutlich überlegen.



3 Nordamerikanebelregion im Sternbild Schwan mit Satellitenspur. Schmidt-Kamera 200/240/356 mm, Rotfilter (hell, Nr. 901), Orwo NP 27, Belichtung: 2 h, am 14./15. 8. 1985. Versuchsergebnisse einer fotografischen Kontrasttransposition, einem FKT-Duplikat 2. Stufe. Vorher kaum sichtbare Grenzhelligkeiten treten auf dieser unterbelichteten Reproduktion zusätzlich verstärkt hervor (vergleiche »Fotografie«, Heft 1/1988, S. 39). Es wird erkennbar, daß die gesamte Himmelsgegend von lichtschwachen Nebeln erfüllt wird. Selbst das Schulbeispiel einer Dunkelwolke, die gewöhnlich schwarze Bucht bei »Mittelamerika« ist von einem leuchtenden Nebelbogen durchzogen.
Foto: W. Fischer, Sternwarte Sohland

4 Galaktische Emissionsnebel und Dunkelwolken um IC 1396 im Sternbild Cepheus. Diese selten fotografierte lichtschwache Nebelregion ist durchzogen von dunklen Buchten und »Elefantenrüsseln«, Gebieten heu-tiger Sternentstehung. Es kamen mehrere Satellitenspuren zur Abbildung.
Schmidt-Kamera 200/240/356 mm, Rotfilter (hell, Nr. 901), Orwo NP 27, Belichtung: 2 h, am 15. 8. 1985. Die Reproduktion stammt von einem Versuchsergebnis einer fotografischen Kontrasttransposition, einem FKT-Duplikat 1. Stufe.
Foto: W. Fischer, Sternwarte Sohland

Bildwinkel einer Schmidt-Kamera. Schmidt-Kamera-Objektive sind in unserer Republik für Amateure bei Astrooptiker M. Greßmann (Finkenkrug) erhältlich. Eine ausführliche Bau- und Justieranleitung erschien in der Zeitschrift „Astronomie und Raumfahrt“ in den Heften 5 und 6/1985, die aus der Feder des im Instrumentenbau sehr versierten Sternfreundes Ing. W. Roloff aus Birkenholz stammt. Ihm sei hier gedankt für die Bereitstellung seiner Konstruktionszeichnung (siehe Bild 5), die aus seiner Bauanleitung entnommen ist. Die Schmidt-Kamera des Verfassers stammt direkt aus den Händen dieser beiden erfahrenen Praktiker. Von der Konstruktion des Kamerakörpers wird eine hohe Stabilität zur fixierten Lagerung der Optik und des Filmträgers, bei allseitiger Justierbarkeit, verlangt. Der Selbstbau ist nur durch die Hilfe eines findigen Drehers möglich. Von der exakten Rechtwinkligkeit der Fokussiereinrichtung und Filmkassettenteile hängt ganz entscheidend die Justierbarkeit einer Schmidt-Kamera ab. Die Schmidt-Kamera des Verfassers besitzt eine Ringkassette ohne Ebnungslinse. Das vorher rund ausgeschnittene Filmstück wird darin eingelegt und das Rückteil, mit einer sphärisch gedrehten Fläche, eingeschraubt. Der Film erfährt auf diese Weise, entsprechend der Bildfeldwölbung der



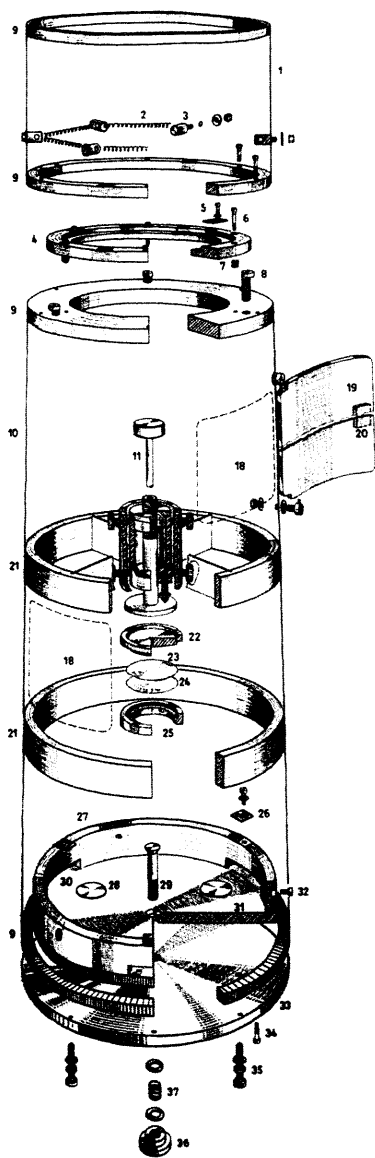
Kamera, die erforderliche Durchbiegung. Das freie Bildfeld hat 49 mm $\varnothing = 7,8^\circ$. Das Einsetzen der Filmkassette erfolgt über zwei Zugriffsöffnungen im Kameratubus. Die Belichtung kann durch das Abschrauben eines Verschlußdeckels freigegeben werden.

3. Aus der Aufnahmepraxis

Der erfolgreiche Einsatz einer Schmidt-Kamera setzt die Beherrschung der astronomischen Langzeitfotografie voraus. Da der einzelne Amateur dazu im allgemeinen weder ausgebildet, noch ein perfektes Instrumentarium in den Schoß gelegt bekommt und beides sich allmählich wechselseitig entwickeln muß, benötigt er dazu Jahre. Die Schwierigkeiten, die aus dem Umgang mit einer Eigenbau-Schmidt-Kamera erwachsen, würden den Unerfahrenen, den schon die Astrolangzeitfotografie vor unerklärliche Rätsel stellt, in unentwirrbare Phänomene verstricken und sicherlich verzweifeln lassen.

Die Schmidt-Kamera muß während der Belichtung, auf einer tragfähigen parallaktischen Montierung, der scheinbaren Drehung des Sternhim-

mels nachgeführt werden. Die Kontrolle darüber geschieht mittels eines stark vergrößernden Leitfernrohres, mit einem dunkelfeldbeleuchteten Fadenzokular. Ein Stern wird dabei in Position gehalten. Größte Sorgfalt muß vor jeder Aufnahme auf die parallele Ausrichtung der Montierung zur Erdachse gelegt werden. Ist diese nicht ausreichend, wird die Kamera, trotz genauer Korrektur der auftretenden Positionsveränderungen, langsam um den Leitstern gedreht. Das Resultat sind Sternstriche. Die parallaktische Aufstellung wird azimutal in Nord-Süd-Richtung (Meridianjustierung) und in der Polhöhe korrigiert und ist schon ein Kapitel für sich. Die eigentliche Nachführung besorgt ein Synchronmotor mit Getriebe. Durch die hohe Auflösung auch kleiner Schmidt-Kameras, sind Antriebsgenauigkeiten am vorteilhaftesten über eine Drehzahländerung des Motors regulierbar. Der dazu notwendige Frequenzwandler wird vom Kombinat VEB Carl Zeiss JENA leider nicht zur I b-Montierung mitgeliefert und muß ebenfalls selbst erstellt werden. Mit dem Besitz einer Eigenbau-Schmidt-Kamera beginnt der Kampf



5 Die Konstruktion einer Amateur-Schmidt-Kamera von Ing. Wolfgang Roloff: 1 Taukappe, 2 Heizdraht, 3 Isolator, 4 Korrekptionsplattenfassung, 5 Halteschraube, 6 Justierschraube axial, 7 Druckfeder, 8 Justierschraube mit Exzenterkopf, 9 Formring, 10 Mantelblech des Tubus, 11 Zugstange, 12 Basisrohr, 13 Gewindestück, 14 Stempelführung, 15 Kassettentempel, 16 Sicherungsschraube, 17 Haltestreben, 18 Zugriffsöffnungen, 19 Tür, 20 Permanentmagnet, 21 Tragringe, 22 Kassettenteil, 23 Papierscheibe, 24 Film, 25 Kassettenteil, 26 Halteblättchen und Schraube, 27 Spiegelfassungsrand, 28 Korkscheiben, 29 Senkkopfschraube, 30 Luftspalt, 31 Spiegelfassungsgrundplatte, 32 Halteschraube, 33 Abschlußplatte, 34 Schraube, 35 Justierschraube, 36 Mutter, 37 Druckfeder

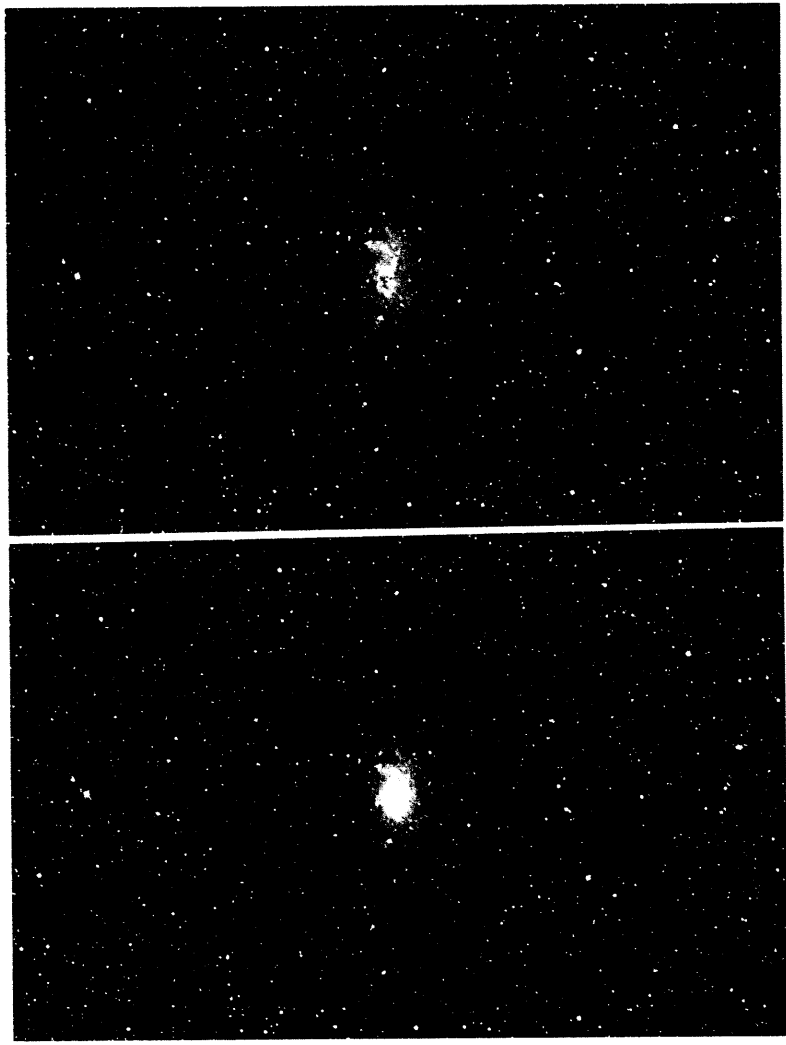
um die exakte Justierung der Optik, ohne die auf die volle Abbildungsgüte der Kamera verzichtet werden müßte. Vor allem bei der Ausrichtung der Filmfläche sind bei kurz Brennweiten, hochlichtstarken Kameras die Justiertoleranzen unwahrscheinlich klein. Bei der Schmidt-Kamera des Verfassers (200/240/356 mm) ist eine axiale Verschiebung der Filmfläche von nur 0,025 mm als Schärfenveränderung erkennbar, und 0,05 mm sind eine deutliche Unschärfe. Ohne auf Einzelheiten bei der Kamerajustierung in diesem Rahmen eingehen zu können sei angemerkt, daß die Kamera des Verfassers über 100 Testaufnahmen erforderlich machte. Auch wenn nicht in jedem Fall die Justierung derart langwierig sein muß wird deutlich, daß hier zu Beginn, besonders für den Anfänger, eine harte Nuß zu knacken ist. Wenn endlich die optischen und mechanischen Teile in der richtigen Lage zueinander stehen, gilt es, die Scharfeinstellung (Fokussierung) zu ermitteln. Dies ist zwar eine Aufgabe, die mit wenigen Testaufnahmen lösbar ist, jedoch sich häufig neu stellt. Durch thermische Einflüsse oder bei Verwendung von Filtern im Strahlengang, die eine verlängerte Bildweite erzeugen, muß die exakte Scharfeinstellung neu ermittelt werden. Eine Beobachtungsnacht an der Schmidt-Kamera des Verfassers beginnt daher in der Regel mit Fokustestaufnahmen. Die eigentliche Belichtung einer Aufnahme, das schönste beim Astrofotografieren, ist der bedeutendste, aber trotz seiner Länge doch kürzeste Abschnitt im Entstehungsprozeß eines Astrofotos.

- Die Aufnahme kann gelingen, wenn:
- der Himmel klar und fremdlichtarm ist,
 - die Nachführung stimmt,
 - die richtige Belichtungszeit gewählt wird,
 - das Filmstück beim Ausschneiden nicht zerkratzt wurde,
 - das Filmstück während der Belichtung (durch die Luftfeuchtigkeit) nicht durchbeult,
 - die Korrekptionsplatte trotz Beheizung nicht doch beschlägt und
 - sonst nichts Unvorhergesehenes eintritt.

4. Filmmaterialien und Verarbeitung Daß in der Astrofotografie hochempfindliche Emulsionen benötigt werden, ist allgemein bekannt. Weniger bekannt dürfte sein, daß die DIN-Zahl nicht allgemein allein entscheidend ist für die astrofotografische Verwendbarkeit. Dazu zwei Beispiele: Der bis vor wenigen Jahren hergestellte Dokumentenfilm Orwo DK 5 war trotz seiner 9...10 DIN Empfindlichkeit hervorragend für Astroaufnahmen mit Schmidt-Kameras geeignet. Dieser Film gab die volle

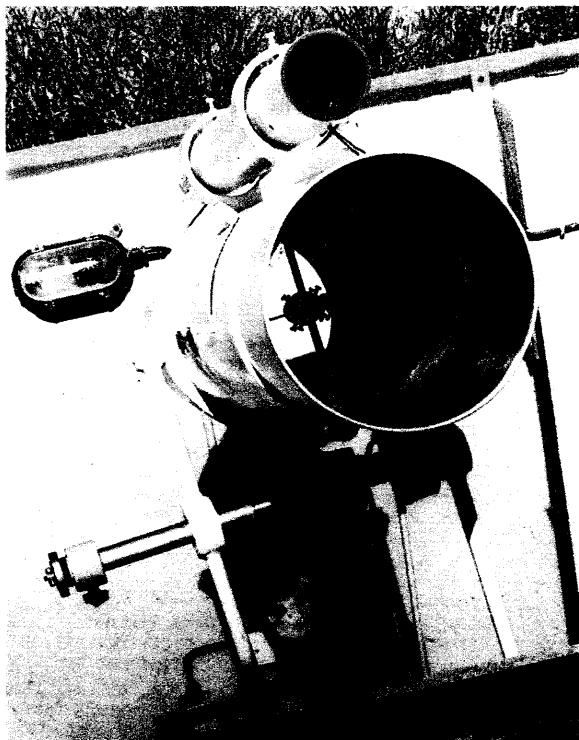
Schärfe der Optik wieder und war, gegenüber dem Orwo-NP-27-Film, maximal 2...3x länger zu belichten. Umkehrtageslichtfilme (Orwochrom UT 18, 20, 23) zeigen nach langer Belichtungszeit fast keinen Reichweitengewinn gegenüber einer viel kürzer belichteten Aufnahme und bleiben trotz höherer DIN-Zahl weit hinter dem Orwo DK 5 zurück. Die Ursache liegt im Schwarzschildexponenten (p) der Filme. Es entsteht bei doppelter Belichtungszeit (im Bereich längerer Belichtungszeiten) keine doppelte Schwärzung, sondern eine dem Exponenten entsprechend geringere. Für Langzeitbelichtungen eignen sich praktisch alle Materialien, die ein günstiges Schwarzschildverhalten aufweisen und nicht zu unempfindlich sind. Die gerade darauf ausgelegten Astrospzialaemulsionen, wie ZU 21 (p ~ 1, blauempfindlich) oder ZP 3 (rotempfindlich) mit einem definierten spektralen Empfindlichkeitsbereich, sind vom VEB Fotochemisches Kombinat Wolfen als Platten erhältlich. Zur Durchbiegung an einer Schmidt-Kamera ohne Ebnungslinse eignen sich diese nicht. Der Verfasser benutzt an seiner Schmidt-Kamera fast ausschließlich Orwo NP 27

(p ~ 0,8) und Restbestände von Orwo DK 5. Beim Einsatz einer Schmidt-Kamera ist auch die Verwendung von Farbnegativfilmen (z. B. Orwo color NC 19) lohnend. Die Farbbechtheit ist allerdings eingeschränkt. Helle, überbelichtete Sterne werden sämtlich weiß, dagegen sind die schwachen Sterne, resultierend aus dem Schichtaufbau der Emulsion, stets blau. Zur Ausschöpfung der vollen astrofotografischen Reichweite, durch Erzielung einer hohen Schwärzung und Gradation, entwickelt der Verfasser seine »Schmidt-Negative« hart. Orwo NP 27 wird in M-H 28 (1 + 4, 6 min, 20 °C) entwickelt. Orwo DK 5 in A 71 (4 min). Die Entwicklung von NP 27 in R 09 (1 + 100, 35 min) führt zu einer günstigen Verringerung des Kontrastumfangs, Korngröße und Schleier werden ebenfalls vorteilhaft beeinflusst, jedoch wird die Empfindlichkeit nicht voll ausgenutzt. Die Resultate einer Feinkorn-Ausgleichentwicklung (in A 49) liegen hier etwa dazwischen. Bei der Anfertigung von Papierabzügen ist zunächst darauf zu achten, daß die Negative, bedingt durch die Abbildungsweise der Schmidt-Kamera, mit der Schichtseite nach



6 Die Galaxie M 33 (Dreiecksnebel) im Sternbild Dreieck. Schmidt-Kamera 200/240/356 mm, Orwo NP 27, Belichtung: 20 min, am 13. 10. 1985. Gegenüber einer Normalkopie (unten) wurde oben der überbelichtete Nebelkern nachbelichtet. Foto: W. Fischer, Sternwarte Sohland

7 Die Schmidt-Kamera 200/240/356 auf dem Gelände der Schul- und Volkssternwarte »Bruno H. Bürgel« in Sohland (Spree). Foto: Edmund Grunert



oben in den Vergrößerungsapparat eingelegt werden müssen. Das Hervorheben geringster Grenzhelligkeiten, im Verein mit großen Schwärzungsumfängen der Negative, ist Sorgenquelle Nr. 1 bei der Herstellung guter Papierabzüge. Gilt es einfach, einen flauen Nebel zu reproduzieren, so kann man sich mit einer unterbelichteten extraharten Kopie helfen oder den Kontrast durch Umkopieren auf Fototechnischen Film FU 5 oder FN 52 verstärken. Ist der Schwärzungsumfang des Negativs zu groß, erhält man auf diese Weise keine befriedigenden Resultate, da das Fotopapier nur einen Teil davon wiedergeben kann. Handelt es sich lediglich um ein einziges überbelichtetes Nebelzentrum, kann man durch dessen Nachbelichtung eine Verbesserung erzielen (siehe Bild 6). Die Erfindung eines Verfahrens zur vollen Übertragung des Schwärzungsumfanges eines Negativs auf einen Papierabzug gelang Dr. W. Högner (Tautenburg) /1/. Diese als fotografische Kontrasttransposition bezeichnete Methode ist auch für den Nach-

vollziehenden sehr aufwendig, da ohne langwierige Testreihen die gewünschten Effekte nicht erzielbar sind (siehe Bilder 3 und 4). Das Prinzip ist leicht erläutert. Vom Originalnegativ wird ein Positiv auf normal arbeitendes Material (FO 1) umkopiert. Dieses Positiv wird überbelichtet auf ein extrahart arbeitenden fototechnischen Film (FU 5) übertragen und stark unterentwickelt (M-H 28, 1 + 30, etwa 4 min). Diese Arbeitsgänge können bis zu 4× wiederholt werden. Gelingt es, die genau richtige Überbelichtung und Unterentwicklung der Duplikatnegative zu erzielen, erhält man nach 6...8fachem Umkopieren ein Negativ mit stark reduziertem Kontrastumfang und hervorgehobenen Grenzhelligkeiten. Aus dem Hintergrund treten Einzelheiten hervor, die zuvor nicht erkennbar waren.

Wolfram Fischer

Literatur:

/1/ Fotografische Kontrast-Transposition astronomischer Himmelsaufnahmen / Högner, W. – In: *Astronomie und Raumfahrt.* – (1979) 4