

DEEP-SKY-FOTOGRAFIE, TEIL 2:

Lichtstärke in der Astrofotografie oder Brennweite ist nicht alles

VON DR. KAI OLIVER DETKEN, GRASBERG

Für den visuellen Beobachter ist das Seeing des Abendhimmels entscheidend. Ist die Luft zu unruhig, die Luftfeuchtigkeit zu hoch oder die Sicht allgemein zu schlecht, wird er auch Probleme bei der Beobachtung von lichtschwachen Himmelsobjekten haben. Hinzu kommt, dass sein Teleskop eine entsprechende Öffnung besitzen muss, damit er möglichst viel Licht zur Beobachtung einfangen kann. Für den Astrofotografen kommt eine weitere Anforderung hinzu: Er benötigt auch lichtstarke Objektive und Kameras, um in den Genuss hochwertiger Aufnahmen zu kommen. Allerdings sind meistens weder Teleskope noch Fotokameras für die Astrofotografie entworfen worden. Während Teleskope heute oftmals noch auf den visuellen Beobachter ausgerichtet werden, sind digitale Kameras auf Tagesaufnahmen geeicht. Welche Randparameter es zu beachten gilt und welche Verbesserungsmöglichkeiten es heute gibt, soll dieser Artikel buchstäblich ans Licht bringen.

Teleskop-Bauweisen

Teleskope gibt es in den unterschiedlichsten Bauweisen am Markt und jährlich werden es mehr. Allen gemein ist es, dass sie elektromagnetische Wellen sammeln und bündeln können, um weit entfernte Objekte besser sichtbar zu machen. Während in ihrer Frühphase Teleskope nur zur visuellen Beobachtung eingesetzt wurden, sind heute Teleskope im Einsatz, die das gesamte Frequenzspektrum untersuchen können. Für die Astrofotografie ist dabei natürlich nur der optische Bereich interessant. Hierbei unterscheidet man zwischen verschiedenen Bauarten, die alle ein Ziel haben: soviel Licht zu bündeln, wie es irgendwie geht, um lichtschwache Objekte optimal erfassen zu können.

Eine sehr wichtige und verbreitete Bauform ist dabei das Newton-Spiegelteleskop. Es wurde von seinem Namensgeber Isaac Newton im Jahre 1668 entwickelt und besteht aus einem konkaven Hauptspiegel und einem

flachen, um 45° zur Mittelachse geneigten Fangspiegel, der das Licht im rechten Winkel ablenkt und aus dem Tubus in das Okular leitet. Man muss also von der Seite in das Teleskop hineinblicken. Das ist teilweise recht umständlich, wie ich bei meinem ersten Teleskop erfahren musste, da man sehr oft mit dem Rohr in Kontakt gerät, wodurch das Objekt leicht aus dem Fokus verschwindet bzw. verwackelt.

Wie man an der Abbildung 1 erkennen kann, wird das Licht durch den Öffnungseingang des Teleskops

aufgenommen und wird dann am Ende des Rohrs durch den Spiegel reflektiert, um dann durch den Fangspiegel gebündelt und an den Okularausgang weitergegeben zu werden. Dadurch wird das Licht zweimal gespiegelt und verliert je länger der zurückgelegte Weg ist dementsprechend auch etwas an Lichtstärke. Im Amateurbereich waren Newton-Teleskope lange der Standard schlechthin. Besonders die 4,5 Zoll Öffnung erfreute sich hoher Beliebtheit, da sie leicht zu transportieren und preisgünstig in der Anschaffung war. Zwar lassen sich damit bereits Deep-Sky-Objekte beobachten, aber die Lichtsammelleistung ist begrenzt. Daher mussten größere Öffnungen gebaut werden, um eine größere Lichtmenge einfangen zu können. Heute werden oftmals Hauptspiegel mit 6-8 Zoll Öffnung im Anfängerssegment angeboten, während nach oben hin fast keine Grenzen gesetzt sind. Allerdings steigt damit auch das Gewicht bzw. sinkt die Mobilität.

Durch den größeren Hauptspiegel kann natürlich mehr Licht eingesammelt und für die visuelle Beobach-

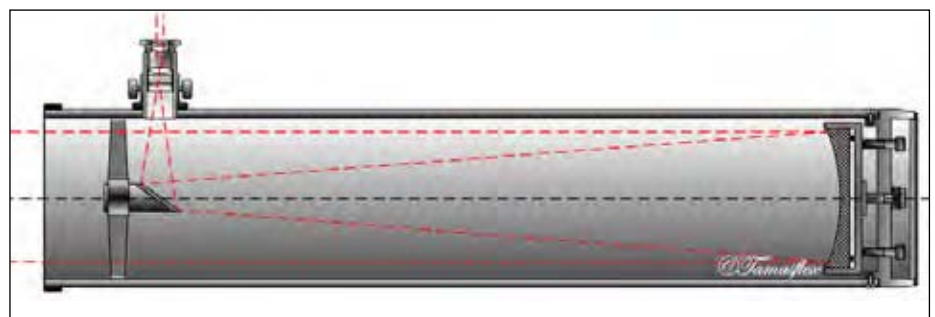


Abb. 1: Bauweise und Strahlengang bei einem Newton-Spiegelteleskop [1]

¹ Die Brennweite ist der Abstand der Objektivlinse oder des Hauptspiegels zum Brennpunkt, in dem das Bild entsteht.

² Das Öffnungsverhältnis setzt sich aus Öffnung/Brennweite zusammen und entspricht der Blende bei der Fotografie.

tung oder Astrofotografie genutzt werden. Um die Tubuslänge, das Gewicht sowie das Schwingungsverhalten nicht zu stark zu verschlechtern, werden Newton-Teleskope mit größerem Hauptspiegel meist mit relativ kurzer Brennweite¹, d.h. einem lichtstärkeren Öffnungsverhältnis² gebaut ($f/6$ bis ca. $f/4,5$). Dies hat für die Astrofotografie den Vorteil, dass die Belichtungszeiten geringer ausfallen können. Allerdings birgt das höhere Öffnungsverhältnis auch höhere Ansprüche an die Fertigung und optische Ausrichtung aller Komponenten des Teleskops. Dies wird Kollimation genannt und bezeichnet in der Optik die Parallelrichtung von Lichtstrahlen. Das heißt, wenn im Strahlengang nur eine Komponente sich leicht verändert, sind die Strahlen nicht mehr parallel ausgerichtet und die Optik verliert ihre Schärfe. Bei großen Öffnungen von Newton-Teleskopen ist daher ein Parabolspiegel zwingend erforderlich, wenn dieser Vorteil voll ausgeschöpft werden soll. Die Lichtstärke wird allerdings mit dem Nachteil von Bildfehlern erkauft, da Parabolspiegel zu einer Koma und einem gekrümmten Bildfeld neigen. Sterne werden dann nicht mehr punktförmig am Bildrand dargestellt und besitzen einen Schweif. Dies kann dann von Okularen teilweise nicht mehr kompensiert werden.

Neben dem Newton-Teleskop haben die Schmidt-Cassegrain(SC)-Teleskope im Amateurnfeld eine große Verbreitung erfahren. Basis ist das Schmidt-Teleskop des Optikers Bernhard Schmidt, welches das einfallende Licht durch einen Hauptspiegel (Primärspiegel) am Ende des Tubus bündelt und zum Fangspiegel (Sekundärspiegel) zurückwirft. Anschließend gelangt das Licht durch ein Loch in der Mitte des Hauptspiegels über ein Spiegelprisma zum

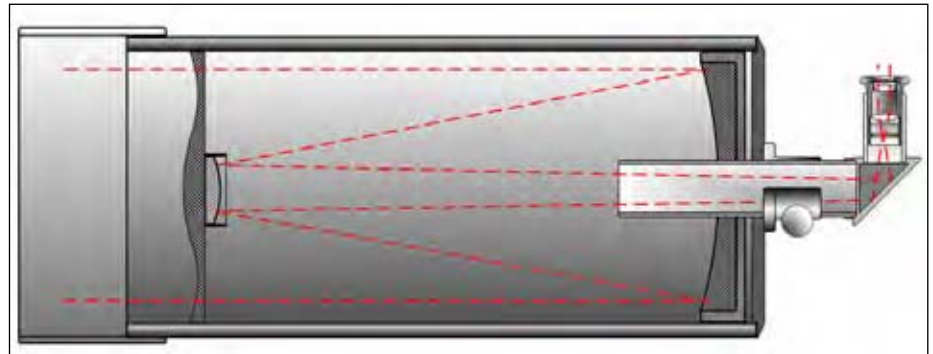


Abb 2: Bauweise und Strahlengang bei einem Schmidt-Cassegrain-Spiegelteleskop [1]

Okular. Der Fangspiegel selbst sitzt in der sog. Schmidt-Platte am Anfang des Tubus, wodurch er auf der einen Seite fixiert wird und auf der anderen Seite keine Feuchtigkeit in das Innere gelangt. Allerdings muss dadurch der Tubus auch länger auskühlen, als dies bei offener Bauweise (Newton) der Fall wäre und die Schmidt-Platte beschlägt sehr leicht, wenn keine Tauschutzkappe wie in der Abbildung 2 angebracht wurde. Zusätzlich arbeitet diese Platte ebenfalls als Korrektor, um die sphärische Aberration³ des Hauptspiegels zu beheben sowie die Koma des Gesamtsystems zu minimieren. Dadurch bewirkt allerdings bereits eine kleine Verstellung des Fangspiegels oder der Korrekturplatte eine erhebliche Beeinträchtigung der Abbildungsleistung.

Der Vorteil der SC-Bauweise liegt in der Kompaktheit; d.h. man hat im Grunde eine sehr hohe Brennweite zur Verfügung bei gleichzeitig großer Öffnung. Das Teleskop kann dadurch leichter transportiert und aufgebaut werden. Die Beobachtung findet zudem hinter dem Teleskop statt und nicht seitlich. Dadurch erhält man eine bessere Symmetrie, die von Vorteil sein kann, wenn das Teleskop durch zusätzliches Equipment wie DSLR⁴-Kamera, Crayford-Auszug, Zielfernrohr etc. erweitert wird.

Die größte Verbreitung haben SC-Teleskope mit einer Öffnung von 8 Zoll (20,3 cm) und einer Brennweite von 2 m, was einem Öffnungsverhältnis von $f/10$ entspricht. Das heißt, durch die große Öffnung lassen sich visuell mehr Deep-Sky-Objekte erfassen, wobei die große Brennweite wieder gegen die Lichtstärke spricht. Bei einem Öffnungsverhältnis von $f/10$, was mit der Blendenzahl eines Fotoobjektivs gleichgesetzt werden kann, sind Objekte für die Astrofotografie wesentlich länger zu belichtet. Das heißt, man muss sozusagen einen Kompromiss eingehen zwischen der visuellen Beobachtung (große Öffnung, hohe Vergrößerung) und der Fotografie (kleines Öffnungsverhältnis, geringere Lichtstärke). Zusätzlich hat auch ein SC-Teleskop ein Problem mit der Koma, d.h. mit Abbildungsfehlern von punktförmigen Sternen. Die Koma-Probleme können aber bei modernen Optiken heute wirkungsvoll kompensiert werden.

Die dritte Hauptklasse sind die sog. Refraktoren (Linsenfernrohre), die bereits von Galileo Galilei eingesetzt wurden. Sie besitzen als Objektiv eine Sammellinse und als Okular eine Zerstreuungslinse kleiner Brennweite. Der Refraktor ist so aufgebaut, dass er am Eingang des Teleskops das Licht durch eine Linse

³ Die sphärische Aberration ist ein Abbildungsfehler, der sich auf die Schärfe auswirkt, wenn die Lichtstrahlen nicht ausreichend auf eine optische Achse gebündelt werden können.

⁴ Digitale Spiegelreflexkamera werden verkürzt als DSLR (Digital Single-Lens Reflex) bezeichnet, die auch die Bauart mit beschreibt, da das Motiv zur Betrachtung vom Objektiv über einen Spiegel umgelenkt wird.

erfasst und an den am anderen Ende befindlichen Okularauszug direkt weitergibt, d.h. das Licht wird nicht abgelenkt. Linsenteleskope besitzen den Nachteil, dass sie verschiedenfarbiges Licht nicht im selben Brennpunkt fokussieren können. Dadurch entstehen farbige Säume um helle Objekte, die umso störender sind, je größer die Teleskopöffnung bzw. das Öffnungsverhältnis ist. Um diesen Fehler zu vermindern, bestehen die meisten Amateurfernrohre aus zwei Linsen verschiedener Glasarten (Achromate), die es ermöglichen, dass zumindest zwei Farben im selben Punkt fokussiert werden können. Um drei Farben im selben Fokus zu halten, sind drei oder vier Linsen notwendig (Apochromat). Dadurch wird der Farbfehler auf ein



Abb. 4: Mare Serenitatis, mit Canon 1000Da, CLS-Filter, 800 ASA, 1/80 s Belichtung



Abb. 3: Milchstraße, mit Canon 1000D, 800 ASA, 10 Aufnahmen á 15 s

⁵ Live View ist eine Livebild-Funktion, die das Betrachten des Motivs in Echtzeit auf dem LC-Display der Kamera gestattet.

⁶ OWB = Original White Balance

absolutes Minimum begrenzt oder sogar komplett kompensiert. Allerdings nimmt man durch die weiteren Linsen eine Gewichtszunahme und einen wesentlich höheren Preis in Kauf. Durch die Astrofotografie erfährt aber der Refraktor einen enormen Schub, was an seiner Lichtstärke und seiner Abbildungsleistung liegt. Deshalb hat man heute eine sehr große Auswahl an Geräten.

Wenn man die drei vorgestellten Bauweisen gegenüberstellt, kann man grob unterscheiden zwischen Refraktoren und Spiegelteleskopen. Während der Refraktor ein geschlossenes Teleskoprohr beinhaltet, welches kein Hindernis im Strahlengang hat, besitzt er in der einfachen Bauweise einen Farbfehler. Zusätzlich ist er relativ schwer und unhandlich, was sich durch weitere Linsen noch verstärkt. Durch die Rohrlänge ist der Einblick bei visueller Beobachtung zudem nicht immer angenehm bzw. unterscheidet sich stark in der Höhe. Dafür werden allerdings Sterne und Planeten sehr scharf abgebildet und die Lichtempfindlichkeit ist recht hoch. Dagegen besitzen Spiegelteleskope keinen Farbfehler und die visuelle Beobachtung kann auf gleicher Okularhöhe stattfinden. Allerdings sitzt der Fangspiegel immer störend im Strahlengang und die Fangspiegelkonstruktion muss bei Zeiten nachjustiert werden. Zudem kostet der Fangspiegel Licht und einiges an Bildschärfe. Aus diesem Grund muss ein Spiegelteleskop größer gebaut sein als ein Linsenteleskop, um die gleiche Leistung erreichen zu können. [3]

Lichtstärke und -empfindlichkeit

Die Lichtstärke oder Lichtempfindlichkeit von Teleskopen spielt nun gerade für die Astrofotografie eine entscheidende Rolle. Je weiter ein Objekt in der Regel entfernt ist,

Eigenschaften	Canon EOS 1000D	Canon EOS 550D
Sensorgröße	22,2 mm x 14,8 mm	22,3 mm x 14,9 mm
Pixelzahl	3888 x 2592	5184 x 3456
Megapixel	10,1	18,0
Pixeldichte	30672 Pixel/mm ²	54041 Pixel/mm ²
Pixel-Kantenlänge	5,7 µm	4,3 µm
AF-Meßfelder	7	9
ISO-Bereich	100-1600	100-6400 (12.800)
TFT-Display (Diagonale)	2,5 Zoll	3 Zoll
Reihenaufnahmen	Bis 3,7 Bilder/s (max. 514 JPEG) Bis 1,5 Bilder/s (max. 5 RAW)	Bis 3 Bilder/s (mind. 34 JPEG) Bis 3 Bilder/s (mind. 6 RAW)
Digitalisierungstiefe	12 Bit	14 Bit
Gewicht (Gehäuse)	450g	530g

Tabelle 1: Vergleich der DSLR-Kameras 1000D und 550D von Canon



Abb 5.: Umgebaute DSLR-Kamera 1000D mit Astronomik CLS-Filter

desto schwieriger wird es, dieses zu belichten. Bei Kameraobjektiven wird die Lichtempfindlichkeit durch die Blendenzahl angegeben, während bei Teleskopen das Öffnungsverhältnis entscheidend ist. Beide Werte sagen aus, wie hoch die Lichtempfindlichkeit ist. Bei Kameraobjektiven bestimmt die Blende, oftmals auch den Preis. Lichtempfindliche Objektive sind aufwändiger gebaut und daher teurer in der Anschaffung. Typische Werte liegen bei ei-

nem Standardobjektiv bei f2,8-4,5 bei einer Brennweite zwischen 18-50 mm. Dies ist bei Tagesaufnahmen in jedem Fall ausreichend, wird aber bei nicht nachgeführter Kamera bereits zu lichtschwach sein. Hierzu werden andere Blenden benötigt, wie f1,4-1,8, da ein Bild nur ca. 15 s belichtet werden darf, damit die Sterne nicht zu Kreisbögen auseinandergezogen werden.

Als Beispiel zeigt die Abbildung 3 ein Bild der Milchstraße, welches

⁷Die Grenzgröße beschreibt die Durchsichtigkeit der Atmosphäre. Sie bezeichnet die scheinbare Helligkeit jener Sterne bzw. anderer astronomischer Objekte, die am Nachthimmel gerade noch wahrnehmbar sind. Außerhalb von Städten in Europa beträgt die Grenzgröße zwischen 5 und 6 mag (siehe Bortle-Skala).



Abb. 6: Hantelnebel (M27) mit Canon 1000Da, 800 ASA, 40 Aufnahmen á 60 s

von mir südlich vom Yosemite-Nationalpark in den USA aufgenommen wurde. Es besteht aus 10 Bildern, die jeweils mit 15 s belichtet wurden. Es kam dabei das Takumar-Objektiv (Brennweite: 55 mm, Blende: 1,8) bei stehender Kamera zum Einsatz, welches mit einer Canon-Kamera 1000D (unmodifiziert) genutzt wurde. Als ISO-Wert wurde 800 ASA gewählt.

Im Gegensatz dazu besitzt ein Schmidt-Cassegrain-Teleskop mit einem Hauptspiegeldurchmesser von 200 mm und einer Brennweite von 2000 mm ein Öffnungsverhältnis von nur noch $f/10$. Das heißt, man müsste für die gleiche Lichtintensität ca. 5,5mal länger belichten. Zwar kann man durch die hohe Brennweite eine hohe Vergrößerung erreichen, die sich durch das Verhältnis Hauptspiegel-Brennweite/Okular-Brennweite ergibt, was bei einer 15 mm Okularbrennweite eine Vergrößerung von 133fach ausmacht. Aber man erkaufte sich diesen Vorteil durch eine geringere Lichtstärke des Teles-

kops. Begegnen kann man diesem Nachteil durch die Nutzung eines Reducer, der die Brennweite durch eine weitere Optik heruntersetzt und dadurch das Öffnungsverhältnis auf $f/8$ oder gar $f/6,3$ verbessern kann.

Neben dem Problem der Lichtstärke ergibt sich eine Herausforderung für die Nachführung bei Zunahme der Brennweite. Fehler in der Nachführung werden durch hohe Vergrößerung noch stärker sichtbar. Das heißt, je größer die Brennweite ist, umso exakter muss auch nachgeführt werden, um Sterne noch punktförmig abbilden zu können. Astrofotografie-Anfänger sollten daher im ersten Schritt immer mit kleineren Brennweiten beginnen, unabhängig davon, welche Deep-Sky-Objekte sie am Himmel abbilden möchten. Eine Ausnahme dieser Regel stellen Objekte dar, die durch kurze Belichtung erfasst werden können. Dies ist beispielsweise beim Mond und den Planeten der Fall. Abbildung 4 zeigt beispielsweise das sechstgrößte

Meer des Mondes Mare Serenitatis mit einer Brennweite von 3.200 mm, aufgenommen mit einer Barlowlinse (2x) und einem Reducer/Flattner (0,8). Die kurze Belichtung von 1/80 s lassen diverse Aufnahmen zu, aus denen man sich die beste aussuchen kann.

Neben den Teleskopen und Objektiven muss natürlich auch die Kamera selbst lichtempfindlich sein. Eine normale Kompaktkamera ist für Tageslichtaufnahmen ausgelegt und besitzt in den meisten Fällen keine hohe Lichtempfindlichkeit. Höhere ASA-Zahlen sind hier zwar möglich und einstellbar; dabei nimmt jedoch auch der Rauschanteil exponentiell zu. Aus diesem Grund haben sich Spiegelreflexkameras in der Astrofotografie etabliert, da sie ein wesentlich besseres Signal-/Rauschverhältnis bieten. Hinzu kommen neue Systemkameras, die ebenfalls sehr Lichtempfindlich sind und ohne Spiegel auskommen. Das heißt, bei kurz belichteten Aufnahmen kann keine Spiegelschütterung mehr auftreten und bei Live View⁵ muss der Spiegel nicht mehr weggeklappt werden. Durchgesetzt hat sich aber in der Astrofotografie die Canon-Serie, zu der es mannigfaltige Adapter und Zubehörteile gibt. Zudem gibt es in diversen Foren Tipps und Tricks zu einer DSLR-Kamera auf Canon-Basis.

Trotzdem ist zu beachten, dass auch DSLR-Kameras für Tages- oder Dämmerungsaufnahmen optimiert worden sind. Zwar gibt es bei der Canon-Kamera 1000D die Möglichkeit den ISO-Wert auf bis zu 1600 ASA zu erhöhen, und bei der 550D sogar bis zu 12.800 ASA, aber das Rauschen der fest eingebauten Kamerachips nimmt dabei natürlich entsprechend zu. Hat man in der analogen Fotografie die ASA-Zahl noch in Abhängigkeit der Filmlicht-

⁸Das Seeing ist ein Begriff aus der Astronomie, der die Bildunschärfe durch atmosphärische Störungen (Luftunruhe) bei der Beobachtung des Nachthimmels bezeichnet. Es wird üblicherweise in Bogensekunden angegeben.

⁹Die Bortle-Skala wurde im Jahre 2001 nach John E. Bortle veröffentlicht und bezeichnet den Grad der Lichtverschmutzung wie er ohne technische Hilfsmittel bestimmt werden kann.

Bortle-Skala	Bortle-Beschreibung	Milchstraßensichtbarkeit	Grenzgröße
Bortle 1	Ort mit außergewöhnlich dunklem Himmel: Tierkreisleuchten, Gegenschein und Zodiakalband sind sichtbar. M33 ist ein auffälliges Objekt für das freie Auge. Die hellen Milchstraßenwolken werfen deutlich wahrnehmbare Schatten.	Optimale Sichtbarkeit	7,8 mag
Bortle 2	Ort mit wirklich dunklem Himmel: M33 ist ziemlich einfach zu sehen, die Milchstraße ist stark strukturiert. Wolken am Himmel erscheinen als schwarze Löcher.	Extrem klarer Himmel: Helle Teile der Milchstraße sehen wie Wolken aus	7,3 mag
Bortle 3	Landhimmel: Schwache Lichtverschmutzung in Horizontnähe. Milchstraße erscheint komplex. M33 kann mit indirektem Sehen erkannt werden.	Schwarzer Himmel: Milchstraße ist strukturiert, helle und dunkle Bereiche sowie Dunkelwolken sind leicht sichtbar	6,8 mag
Bortle 4	Ländlicher Himmel: Ziemlich auffällige Lichtdome über besiedelten Gebieten, Zodiakallicht ist noch sichtbar. Die Milchstraße ist eindrucksvoll, zeigt aber nur die auffälligsten Strukturen. M33 mit indirektem Sehen kaum noch zu erkennen.	Dunkler Himmel: Milchstraße ist auffällig, auch dunkle Teile sind gut sichtbar.	6,3 mag
Bortle 5	Vorstadthimmel: Zodiakallicht ist nur andeutungsweise zu sehen. Die Milchstraße ist matt und verschwindet in Horizontnähe. Lichtverschmutzung ist auffällig in fast allen Richtungen.	Mäßiger Himmel: Milchstraße ist sichtbar	5,8 mag
Bortle 6	Heller Vorstadthimmel: Unter 35 Grad Höhe ist der Himmel von einem grauen Leuchten überzogen. Die Milchstraße ist nur im Zenit sichtbar. M31 ist nur einigermaßen auffällig für das freie Auge.	Aufgehellter Himmel: Nur die hellen Teile der Milchstraße sind in Zenitnähe sichtbar	5,3 mag
Bortle 7	Stadtrandhimmel: Der ganze Himmelshintergrund ist von einem gräulichen Leuchten überzogen. Starke Lichtverschmutzung in allen Richtungen. Die Milchstraße ist nahezu unsichtbar.	Stadthimmel: Milchstraße ist nicht sichtbar	4,8 mag
Bortle 8	Stadthimmel: Der Himmel leuchtet weißgrau oder orange, man kann eine Zeitung ohne Schwierigkeiten lesen. M31 kann von einem erfahrenen Beobachter gerade eben erkannt werden.	Keine Wertung	4,3 mag
Bortle 9	Innenstadthimmel: Der ganze Himmel ist hell erleuchtet, selbst im Zenit. Außer den Plejaden sind keine Messier-Objekte mit dem bloßen Auge erkennbar. Lichtschwächere Sternbilder wie Fische und Krebs sind komplett unsichtbar.	Keine Wertung	3,8 mag und weniger

Tabelle 2: Bortle-Skala mit Vergleich der Milchstraßensichtbarkeit [5]

empfindlichkeit eingestellt, wird nun der Fotochip an die Grenzen seiner Empfindlichkeit getunt. Eine höhere ASA-Zahl ist daher oftmals nicht mit besseren Bildergebnissen gleichzusetzen. Zudem gibt es Kameraunterschiede aufgrund unterschiedlich verwendeter Chips. Ein Vergleich zwischen der Canon 1000D und 550D in [4] zeigte dabei deutlich, dass die Kamera 550D bei 200 (max. 400) ASA bei Astroaufnahmen betrieben werden sollte. Die 1000D kam auf bessere Werte. So lag hier die empfohlene ASA-Zahl zwischen 400-800 ASA. In Ausnahmefällen sind 1600 ASA sogar noch machbar, die ungefähr mit dem Rauschwert der 550D bei 400 ASA gleichzusetzen sind. Dies liegt an der größeren Pixel-Kantenlänge von 5,7 µm des Chips (siehe Tabelle 1), der zwar da-

durch eine geringe räumliche Bildauflösung bietet, aber ein besseres Signal-Rauschverhältnis besitzt sowie geringere Ansprüche an das Auflösungsvermögen der Aufnahmeoptik stellt. Das bessere Signal-Rauschverhältnis macht sich allerdings erst bei Längenaufnahmen bemerkbar, die

wir im Deep-Sky-Umfeld benötigen. Im Gegensatz dazu besitzt die 550D eine höhere Auflösungstiefe (14 Bit statt 12 Bit), was bei Deep-Sky-Aufnahmen aber so gut wie gar nicht ins Gewicht fiel und bei Mondaufnahmen sich nur sehr gering positiv auswirkte.



Abb 7: Ringnebel (M57), mit Canon 1000Da, 1.600 ASA, 7 Aufnahmen mit 60, 90, 120 s



Abb. 8: Komet Gerrad (C/2009 P1), mit Canon 1000Da, 800 ASA, 26 Aufnahmen à 60 s

Eine weitere Schwäche für die Astrofotografie ist bei DSLR-Kameras der eingebaute IR-Sperrfilter. Dieser schneidet relativ viel vom roten Lichtbereich ab, so dass z.B. Nebelregionen schlecht abgebildet werden können. Auf Kugelsternhaufen oder Mondfotos wirkt sich der IR-Sperrfilter nicht negativ aus. Abhilfe kann nur durch einen operativen Eingriff in die Kamera, also durch einen Wechsel des eingebauten Filters, geschaffen werden. Dadurch erhöht sich die Empfindlichkeit im wichtigen H-Alpha-Bereich um ein Vielfaches. Bei dem Wechsel des vorhandenen IR-Sperrfilters stand zusätzlich für mich fest, dass ich auch weiter gerne mit der Kamera bei Tageslicht fotografieren möchte. Normalerweise wird nach einem solchen Umbau durch einen manuellen Weißabgleich ein entsprechender Farbausgleich hergestellt. Dies funktioniert aber nicht immer zufriedenstellend. Deshalb kam für mich nur die Clip-Filterlösung von Astronomik [8] in Frage. Hierbei wird ein anderer UV-IR-Sperrfilter in die Kamera eingebaut und ein OWB⁶-Clip-Filter kann manuell in die Gehäusefassung gesetzt werden. Das ist ein Korrektur-Filter für umgebaute

Kameras, der die ursprüngliche Rotempfindlichkeit wieder herstellt. Der manuelle Einbau der Clip-Filter geht einfach und ohne Verwendung von Werkzeug. Anschließend kann die Kamera wie gewohnt verwendet werden, inkl. diverser Kamera-Objektive. Einzige Ausnahme: die Canon EF-S-Serie kann nicht genutzt werden, da sie zu tief in der Fassung sitzen. Mit meinen Sigma-Objektiven sowie dem Takumar-Objektiv gab es aber keinerlei Probleme. Die Abbildung 5 zeigt die umgebaute Canon-Kamera mit einem Clip-Filter in der Gehäusefassung.

Bei Nacht kann man dann die Vorteile des Ausbaus genießen: erhöhte H-Alpha-Empfindlichkeit, verbesserte Schärfeleistung, reduziertes Hintergrundrauschen durch Verkürzung der Belichtungszeiten und geringere Farbabweichung bei Linsenobjektiven durch eine steilere Blockierung des UV-Lichts. Als weiterer Vorteil kann die Nutzung diverser Clip-Filter genannt werden. Beispielsweise wurde von mir ein CLS-Filter (siehe Abbildung 5) mit angeschafft, der Lichtverschmutzungen (Grenzgröße schlechter als ca. 6,3 mag⁷) kompensiert und einen verbesserten Kontrast liefert. Neben

dem Kontrast soll auch die Farbverteilung positiver beeinflusst werden (siehe [8]). Weitere Filter können für verschiedene Anwendungsgebiete jederzeit ergänzt werden (z.B. H-Alpha, UHC-Filter). Mit dieser Lösung hat man quasi eine wirkliche Konkurrenz zu einer CCD-Kamera in der Hand. Erste Aufnahmen bestätigten dann auch die wesentlich bessere farbliche Darstellung des Hantelnebels sowie die insgesamt größere Lichtempfindlichkeit. Die Abbildung 6 wurde mittels ED70-Refraktor auf einem SC-Teleskop (LX90 mit Gabelmontierung) aufgenommen. Die Brennweite betrug 420 mm, da ein Flattner ohne Reducer verwendet wurde. Das Öffnungsverhältnis betrug f/6.

Bestimmung der Himmelsqualität

Alleine mit dem Equipment ist es allerdings nicht getan. Auch das Seeing⁸ muss entsprechend gut sein. Dabei kann man die Himmelsqualität am besten anhand der Sichtbarkeit der Milchstraße mit dem bloßen Auge bestimmen. Dies lässt dann auch wieder Rückschlüsse auf die Sichtbarkeit von Deep-Sky-Objekten zu. Anhand der sog. Bortle-Skala⁹ lässt sich das Seeing dann auch in Zahlen festhalten, wie

Schmidt-Cassegrain-Teleskop mit Gabelmontierung	Refraktor mit deutscher Montierung	SC-Teleskop mit Hyperstar und deutscher Montierung
Große Brennweite (z.B. 2 m)	Mittlere Brennweite (z.B. 1 m)	Kleine Brennweite (z.B. 0,4 m)
Große Öffnung (z.B. 20 cm)	Kleine Öffnung (z.B. 8 cm)	Große Öffnung (z.B. 20 cm)
Schlechtes Öffnungsverhältnis f/10	Gutes Öffnungsverhältnis f/6	Optimales Öffnungsverhältnis f/2
Handlich im Auf- und Abbau	Eher unhandlich und schwer	Etwas unhandlicher als bei Gabel
Gleiche Höhe bei visueller Beobachtung	Verschiedene Höhen bei visueller Beobachtung	Gleiche Höhe bei visueller Beobachtung
Große Vergrößerungen möglich	Mittlere Vergrößerungen	Große Vergrößerungen möglich
Kurze Belichtungszeiten durch Gabelmontierung	Lange Belichtungszeiten durch deutsche Montierung	Lange Belichtungszeiten durch deutsche Montierung

Tabelle 3: Vergleich SC-Teleskop mit Refraktor

die Tabelle 2 zeigt. Die Klassen 1 und 2 sind aufgrund der Lichtverschmutzung in Europa nicht mehr vertreten.

In den USA, südlich vom Yosemite-Park (siehe Abbildung 4) oder beim Grand Canyon, betrug der Bortle-Wert ca. 7,3 mag nach eigener Einschätzung, da die Milchstraße wie Wolken am Himmel zu erkennen war. Dies war so deutlich, dass einige Touristen versucht haben die Milchstraße mit Blitzlicht aufzunehmen, was natürlich ein unmögliches Unterfangen darstellte. Hingegen hat die Lichtverschmutzung in Europa im Gegensatz zu anderen Kontinenten – sieht man mal von Asien ab – extrem zugenommen. Dadurch sind längere Belichtungszeiten wiederum notwendig, die höhere Anforderungen an die Montierung stellen. In Würden bei der AVL sind aber noch relativ optimale Bedingungen zu erreichen, ähnlich wie bei mir in Grasberg. Die Lichtglocke Bremens ist zwar deutlich erkennbar, lässt aber bei optimalem Seeing eine Bortle-Skala von schätzungsweise 4 erreichen.

Bei der visuellen Betrachtung durch ein Teleskop stellt sich die Lichtempfindlichkeit noch etwas anders dar: bei einem 8“-SC-Teleskop steigt die ins Auge fallende Lichtmenge bei der 200mm-Öffnung bei einer Vergrößerung von 50fach ca. auf das 16fache und damit die Reichweite um weitere 3 mag. Somit kann der Kugelsternhaufen M13 (Grenzgröße von 13 mag) mit vielen Randsternen bereits durch das Teleskop erkannt werden. Für den Zentralstern im Ringnebel (M57,

Entfernung: 2.300 Lichtjahre), dessen Grenzgröße bei 14,7 mag liegt, müsste das Teleskop dann allerdings bereits ungefähr die doppelte Öffnung aufweisen. Mit fotografischen Hilfsmitteln ist durch längere Belichtungszeiten natürlich mehr möglich. Die Abbildung 7 wurde mit dem SC-Teleskop LX90 mit einem Flattner/Reducer aufgenommen. Durch den Reducer konnte ein Öffnungsverhältnis von f/8 erzielt werden, wodurch die Lichtempfindlichkeit erhöht und die Brennweite heruntersetzt wird. Die Brennweite beträgt dadurch nur noch 1.600 mm. Die Aufnahme ist mit CLS-Filter und modifizierter 1000D-Kamera gemacht worden. Es wird der Rotanteil nun wesentlich besser sichtbar als bei früheren Aufnahmen, bei denen der Nebel hauptsächlich bläulich dargestellt wurde. Leider war an dem Aufnahme-Abend die Sicht nicht optimal und eine hohe Luftfeuchtigkeit vorhanden.

Ein anderes Beispiel stellen Kometen dar, die erstens meistens ein gewisses Farbspektrum aufweisen und zweitens nur relativ kurzzeitig in den Bereich der Sichtbarkeit vordringen. Ein aktueller Komet ist C/2009 P1 (Garradd), der im Zuge einer automatisierten Himmelsüberwachung am 13. August 2009 von dem Australier G. J. Garradd am Siding Spring Observatorium entdeckt wurde. Zu dieser Zeit besaß das Objekt eine Helligkeit von etwa 17,5 mag und war rein visuell nicht sichtbar. Garradd bewegt sich auf einer um 106 Grad zur Ekliptik geneigten Umlaufbahn um die Sonne. Seinen sonnennäch-

sten Bahnpunkt erreicht er pünktlich zu Weihnachten am 24. Dezember 2011 mit einer Distanz von 1,55 Astronomischen Einheiten (AE)¹⁰ zu unserem Zentralgestirn. Ab diesem Zeitpunkt wird seine Helligkeit stark zunehmen, so dass er bis Mitte Februar 2012 eine Grenzgröße von bis zu 6 mag erreichen wird. Dann wird er auch in einfachen Ferngläsern und Teleskopen sichtbar werden und diverse Deep-Sky-Objekte passieren. Als ich Gerradd in Grasberg mit 420 mm Brennweite, Öffnungsverhältnis f/6, Canon 1000Da, nachgeführt mittels Gabelmontierung meines LX90-Teleskops, Ende Oktober aufgenommen hatte, stand der Komet relativ ungünstig am Himmel und war auch visuell nicht durch das Teleskop zu sehen. Im Oktober bewegte er sich nämlich durch das Sternbild Herkules, in relativer Horizontnähe in Richtung der Lichtglocke Bremens. Trotzdem ließ er sich in den frühen Abendstunden erfassen, wie die Abbildung 8 beweist.

Verbesserung der Lichtstärke im Überblick

Wie bereits erwähnt wurde, ist für gute Sternenaufnahmen oder die visuelle Beobachtung neben dem Seeing die Lichtstärke des verwendeten Equipments entscheidend. Dabei werden für die visuelle Beobachtung andere Anforderungen gestellt, als für die Astrofotografie. Mein Schmidt-Cassegrain-Teleskop ist beispielsweise mit seiner 8-Zoll-Öffnung und der Gabelmontierung klar für die visuelle Beobachtung konzipiert worden. Das liegt zum ei-

nen an dem Öffnungsverhältnis von nur $f/10$, um möglichst hohe Vergrößerungen erreichen zu können, und zum anderen an der azimutalen Nachführung der Gabelmontierung. Dadurch können nur kurze Belichtungszeiten von 1-2 min. eingestellt werden, was nur zu guten Ergebnissen führen kann, wenn man das gewünschte Objekt diverse Male aufnimmt und anschließend die guten Aufnahmen übereinanderlegt (stackt). Das hat allerdings auch den Vorteil, dass man vor Bildstörungen eher gefeit ist (z.B. durch Satelliten oder Flugzeuge) als bei langen Belichtungszeiten. Allerdings lässt sich dadurch nicht die gleiche Bildtiefe erreichen, die man durch größere Aufnahmezeiten schaffen könnte.

Um mit einer Gabelmontierung trotzdem noch gute Ergebnisse erzielen zu können, ohne die Belichtung zu groß werden zu lassen, muss die Kamera entsprechend empfindlich sein. Die Canon-Spiegelreflexkameras sind bereits relativ lichtstark, können aber durch einen Umbau noch lichtempfindlicher gemacht werden. Zum einen wird dadurch die Rotempfindlichkeit wesentlich größer, zum anderen nach meiner Einschätzung aber auch die Lichtempfindlichkeit insgesamt erhöht, da der vorher eingebaute IR-Filter auf Tagesaufnahmen ausgerichtet

war. Nach dem Einbau des neuen IR-Sperrfilters für Astroaufnahmen führten auch Aufnahmen ohne Rotanteil, bei gleicher Belichtungszeit und gleichen ISO-Werten, zu besseren Ergebnissen. Ich bin daher mit dem Umbau mehr als zufrieden, auch wenn man ohne umgebaute Kamera bereits gute Ergebnisse erzielen kann und damit unbedingt erst einmal starten sollte.

Um das LX90-Teleskop zusätzlich noch lichtstärker werden zu lassen, wurde von mir ein Flattner/Reducer angeschafft, der das Öffnungsverhältnis auf $f/8$ verbesserte. Es gibt auch Reducer, die ein Öffnungsverhältnis von $f/6,3$ ermöglichen. Allerdings sind diese Optiken direkt mit dem SC-Gewinde verschraubt, was bedeutet, dass man das Teleskop vor jedem Einsatz erst einmal umbauen muss. Das wollte ich mir ersparen, weshalb ich einen 2"-Reducer nutze, der direkt in den Crayford-Auszug passt. So kann ich während der Beobachtung schnell entscheiden, ob man visuell beobachten möchte oder doch lieber Bildaufnahmen macht.

Da SC-Teleskope recht stark verbreitet sind, hat man sich zur Astrofotografie eine Weiterentwicklung namens Hyperstar ausgedacht. Hierbei wird das Hyperstar-System anstelle des Fangspiegels eingebaut und darauf die Kamera gesetzt. Das System

besteht aus einem mehrlinsigen Korrektursystem, welches die Fehler des Hauptspiegels korrigiert. Koma und Bildfeldwölbung werden komplett eliminiert, so dass ein großes und ebenes Bildfeld zur Verfügung steht. Das SC-Teleskop wird zu einer leistungsfähigen Schmidt-Kamera mit einem Öffnungsverhältnis von $f/2$, bei allerdings geringerer Brennweite. Für die visuelle Beobachtung kann das Teleskop mit $f/10$ auch weiterhin eingesetzt werden – beide Nutzarten (visuell, fotografisch) können so abgedeckt werden. Durch die sehr starke Lichtempfindlichkeit können nun auch kurze Belichtungen mit Gabelmontierung zu sehr guten Ergebnissen führen. So soll eine 30s-Belichtung ungefähr die gleiche Helligkeit aufweisen wie eine 12,5min-Belichtung durch ein $f/10$ -Teleskop (siehe [6])! Die Belichtungszeit verkürzt sich somit um den Faktor 25! Zudem ist durch die kurze Belichtung eine genaue Ausrichtung des Teleskops nicht mehr notwendig. Hyperstar wurde von Celestron entwickelt und würde sich auch für andere SC-Teleskope nutzen lassen.

Die Tabelle 3 vergleicht noch einmal ein normales SC-Teleskop mit einem Refraktor sowie einem umgebauten SC-Teleskop auf Hyperstar-Basis. Dabei fällt das sehr gute Öffnungsverhältnis des Hyperstar-SC-Teles-

Literaturhinweise

- [1] SzÖcs Tamás Tamasflex: Es ist erlaubt, die Datei unter den Bedingungen der GNU-Lizenz für freie Dokumentation, Version 1.2 oder einer späteren Version, veröffentlicht von der Free Software Foundation, zu kopieren, zu verbreiten und/oder zu modifizieren; es gibt keine unveränderlichen Abschnitte, keinen vorderen und keinen hinteren Umschlagtext.
- [2] Paul Rotter: Strahlengang im Galilei-Fernrohr. Die Abbildung ist gemeinfrei (Public Domain)
- [3] Teleskop-1x1: Erste Hilfe für Fernrohr-Besitzer: <http://www.teleskop1x1.de>
- [4] Stefan Seip: Mehr oder weniger? Ein Praxistest der Canon-Kameras EOS 1000D und 550D. Interstellarum-Themenheft „Teleskope & Ferngläser“ 2011, Oculum-Verlag GmbH, Erlangen 2011
- [5] Uwe Pilz: Wie funktioniert eigentlich... die Bestimmung der Himmelsqualität. Magellan 04/2001, Seite 56 ff, <http://www.funastro.de/bortle.html>
- [6] Teleskop Service: Hyperstar C8 – Korrektursystem für Celestron C8 für Fotografie mit lichtstarkem Öffnungsverhältnis $f/2$ - ... machen Sie aus Ihrem 200/2000mm C8 eine lichtstarke Schmidt-Kamera. URL: <http://www.teleskop-express.de/shop/>
- [7] Roger Leifert: Das Scheiner-Verfahren zur Poljustierung. URL: http://www.s-line.de/homepages/schweikert/Align/scheiner/scheiner_rl.htm
- [8] Astronomik Clip-Filter: <http://www.astronomik.de/de/home.html>

kops auf, wobei man aber auch die wesentlich geringere Brennweite in Kauf nehmen muss. Auch bleibt festzuhalten, dass eine DSLR-Kamera auf dem Fangspiegel eine weitere Abschattung bewirkt, weshalb der sinnvolle Einsatz erst bei einer Öffnung von 10-11 Zoll anfängt. Das Meade LX90 ist per se nicht mit Hyperstar kompatibel, könnte aber dahingehend umgerüstet werden, weil der Fangspiegel entsprechend ausgebaut und erweitert werden kann. Erfahrungen scheint es dazu aber in Deutschland nicht zu geben.

Fazit

Um weitere Fortschritte bei der Astrofotografie zu machen, sind weitere Erweiterungen denkbar. So ließe sich aus der Gabelmontierung eine paralaktische Montierung mit Hilfe einer sog. Polhöhenwiege machen. Dadurch könnte man das Teleskop auf den Polarstern ausrichten und müsste nur noch in einer Achse nachführen. Die Sterne würden dann bei längeren Be-

lichtungszeiten nicht mehr zu Strichspuren auseinandergezogen werden. Allerdings hat auch diese Lösung einen Haken: die Montierung müsste vor jeder Nutzung auseinander und wieder zusammengeschaubt werden. Die Ausrichtung wäre ebenfalls relativ aufwendig, wenn man genaue Ergebnisse erzielen will. Die beinhaltet die Nutzung des Scheiner-Verfahrens zur Poljustierung, das jedes Mal wieder neu angewandt werden müsste und einige Zeit in Anspruch nimmt (siehe [7]). Zudem sitzt das gesamte Gewicht des Teleskops nun auf einem einzelnen Gabelarm und verteilt sich nicht mehr. Da die Gabel für eine solche Konstruktion eigentlich nicht gebaut wurde, fängt sie sehr leicht zu Schwingen oder zu Vibrieren an, was wiederum zu verwackelten Aufnahmen führt. Die Erfolgserlebnisse einer Polhöhenwiegekonstruktion, die man in den Foren nachlesen kann, beschränken sich daher auf dem Einsatz mit fester Säule, bei denen das Teleskop nicht abgebaut,

sondern in einer eigenen Sternwarte fest betrieben wird.

Bleibt also als derzeitige Lösung nur übrig die Belichtungszeiten relativ kurz zu halten, um die Effekte der Gabelmontierung bei dem Stacken der Bilder noch kompensieren zu können. Dabei hilft die jetzt lichtstärkere DSLR-Kamera in jedem Fall weiter. Zudem sollte man sich in einer Nacht möglichst nur ein Objekt vornehmen, um möglichst viele Bilder aufnehmen zu können. Zu beachten ist außerdem, dass eine lange Brennweite nicht nur Licht kostet, sondern auch schwerer zu handhaben ist. Verwackelungen der Aufnahmen sind leichter möglich und das Auffinden von Objekten wird erschwert. Wenn man diese Dinge beachtet, kann man auch mit weniger langen Belichtungszeiten und einer Gabelmontierung bereits schöne Aufnahmen hinbekommen.

Kai-Oliver Detken



Reise - Impression



Orion-Aufgang über Oaxaca / Mexiko

Foto: A. Alin