



Auch vor den CCD-Kameras für die Amateur-Astrofotographie macht die rasante technische Entwicklung nicht Halt. Hier möchte ich die neue CCD-Kamera STL-11000 M von SBIG vorstellen und erste Erfahrungen schildern.

Die Santa Barbara Instrument Group, kurz SBIG, hat mit der Researchserie ein neues CCD Kamerasystem entwickelt, welches auf den bewährten Dualchip CCD Kameras der ST-Reihe aufbaut [1]. Die neuen Modelle zeichnen sich nicht nur durch die neueste Chipgeneration aus, sondern auch durch technische Innovationen, die im Folgenden am Beispiel der STL 11000 M näher beschrieben werden.

Die CCD Kameras von SBIG der ST Modellreihe mit dem dualen Chipkonzept finden seit Mitte der neunziger Jahre in der Amateurszene breiten Zuspruch, denn hier wurden praxisnahe Ideen umgesetzt, die zu einer Vereinfachung der Deep Sky Astrofotographie führen. Hervorzuheben ist hier die Self- oder Autoguiding Funktion der ST-Kameras, mit welcher es möglich ist, eine Belichtung auf dem Primär-Chip bei gleichzeitiger Nachführung durch einen

zweiten CCD Chip sicherzustellen.

Noch heute wird an der Weiterentwicklung der ST-Modellreihe gearbeitet, dennoch eignen sich diese Systeme aufgrund des Gehäusedesigns für großformatige CCD Chips nur in einem begrenzten Umfang.

Der Trend zu großformatigen CCD Chips bei Chipherstellern wie Kodak [2] ist unverkennbar, so dass auch SBIG entsprechend reagiert hat und mit der neuen STL Modellreihe in gewisser Weise einen Generationswechsel eingeläutet hat.



Eigenschaften der STL11000

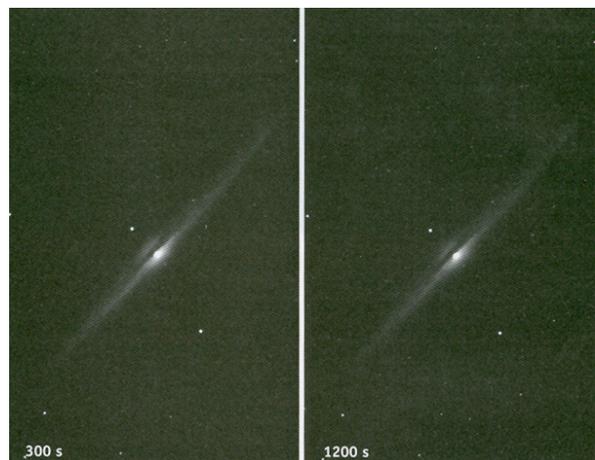
Ein auffälliges Merkmal der STL-11000M ist die neue Gehäuseform, die eine Verwendung großer CCD-Chips ermöglicht und mit stattlichen Dimensionen von 16.5cmX15cmX8.9cm und einem Gewicht von 1.8 Kilogramm aufwartet.

< Die Helligkeitsabnahme zu den Seiten hin ist sehr gering und wird vom optischen System bestimmt. Die dunklen Ringe sind Staubartefakte, die im späteren Bildverarbeitungsprozess herausgerechnet werden.

Die zur Zeit verwendeten CCD-Chips stammen alle aus dem Hause Kodak. Der kleinere Nachführchip, der TC-237, stammt von Texas Instruments. Das Chipfenster besitzt einen Durchmesser von 57.5 Millimeter, wird aber durch die Standard Adaptionmöglichkeiten in Form einer 2-Zoll-Steckhülse auf 50.8 Millimeter reduziert. Eine Vignettierung oder Gesichtsfeldeinschränkung des MegapixelChips durch das System selbst ist nicht zu erwarten.

> Die Galaxie NGC4565 bei 300 s und 1200 s Belichtungszeit bei -30°C. Das Rauschen hat sich halbiert.

Das duale Chipkonzept für Nachführung in einem einzigen Kameragehäuse wurde bei dieser Modellreihe um einen zweiten separaten Nachführsensor in einem eigenen kleinen Gehäuse erweitert. Auch hier wurde als Nachführ-Chip ein Texas Instruments TC-237 verwendet. Das eigentliche Bildaufnahmesystem kann hiermit zusätzlich über eine kleine separate Guiding-Kamera, zum Beispiel per Leitrohr, kontrolliert werden. Die separate Guiding-Kamera verfügt über eine eigene Kühlung und Verschluss. Mit Hilfe dieser optionalen Guiderlösung wird das automatische Nachführen flexibler und erweitert den Aktionsspielraum für bestimmte Anwendungen, wie zum Beispiel den Einsatz schmalbandiger Filter (Ha) oder für RGB-Farbaufnahmen.



Die STL-11000M verfügt, wie die an deren Kameras der STL-Modellreihe, über ein integriertes 2-Zoll-Filterrad im vorderen Teil des Kameragehäuses. Das Filterrad eignet sich zur Aufnahme von fünf Filtern, das heißt, entweder Filter ohne Fassung in 50 Millimeter Durchmesser, beziehungsweise 2-Zoll-Standardfilter in Fassung mit Gewinde M48 X 0.75 Millimeter.

Die Filter sind einfach durch das Öffnen des vorderen Gehäuseteils zu wechseln. Der eigentliche CCD-Chip befindet sich im hinteren Gehäuseteil, in einer geschlossenen Kammer vor Staub und Feuchtigkeit geschützt.

Im Gegensatz zu der ST-Modellreihe besitzt der bildgebende Kamerakopf nun eine eigene Gleichspannungsversorgung mit 12 Volt. Bei einem externen Einsatz, zum Beispiel über eine Autobatterie, ist dies von Vorteil. Die Eingangsspannung darf zwischen 10 und 18 Volt schwanken, die innere Spannungsversorgung stellt immer die benötigten Spannungen für den Betrieb der Kamera zur Verfügung. Dies erlaubt auch längere Kabelverbindungen zwischen Batterie und Kamera, bei denen ein Spannungsabfall nicht zu vermeiden ist.

Eine Reihe von fünf Leuchtdioden gibt Informationen über den Zustand der Kamera. So lässt sich der Betriebsstatus nicht nur einfach überblicken, sondern die Elektronik reagiert auf Problemsituationen selbstständig, ohne dass der Benutzer eingreifen muss. Wenn beispielsweise aus irgendwelchen Umständen der Lüfter versagen würde, registriert die Elektronik automatisch den Zustand und reduziert den Strom, um eine Überhitzung von Chip und Elektronik zu verhindern.

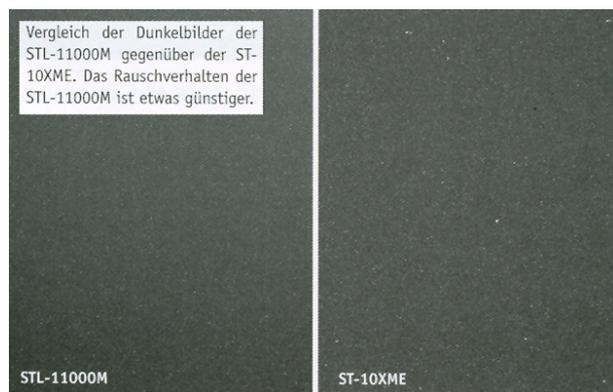


Auch in diesem Modell wird eine effiziente zweistufige Peltier-Kühlung verwendet, die das System um 40 Grad Celsius unterhalb der Außentemperatur herunterkühlt und so effizient das thermische Rauschen reduziert. Ein ausgefeiltes Kühlsystem ist von großer Bedeutung, denn bei einer Temperaturreduzierung um sieben Grad Celsius halbiert sich das Rauschen und führt so zu deutlich besseren Rohbildern. Die Temperatursteuerung der STL-11000M ist sehr präzise, denn die Kühltemperatur des CCD-Chips wird über die Steuersoftware mit Hilfe eines Mikroprozessors auf einen eingegebenen Wert geregelt. Die Regeltoleranz beträgt 0.1

Grad Celsius. Durch diese Regelgenauigkeit können sehr exakte Dunkelbilder (Dark frames) angefertigt werden. Alle Kameras sind für die zusätzliche Wasserkühlung vorbereitet.

Der Chip KAI-11000XM von Kodak

Der KAI-11000XM ist ein Interline-Transfer-Chip. Im Gegensatz zur ST-Modellreihe mit Full-frame-chips, wo ein mechanischer Verschluss die Belichtung beendet und dann das Auslesen der Daten stattfindet, erfolgt der Ausleseprozess hier unter Verwendung lichtundurchlässiger Abdeckungen, die sich auf dem Chip befinden. Auf einen mechanischen Verschluss könnte somit bei der STL-11000M verzichtet werden. Dieses Prinzip ermöglicht kurze Belichtungszeiten von mindestens 0.01 Sekunden, die beispielsweise für die Sonnenbeobachtung mit entsprechenden Filtern von Nutzen sein könnte.



Der Chip enthält AntiBlooming-gates (ABG) beziehungsweise Potentialsperren, die ein mögliches Überlaufen der Ladungsmenge verhindern. Befinden sich helle Sterne im Gesichtsfeld, so wird eine Übersättigung einzelner oder mehrerer Pixel unterbunden. Die Entstehung der unschönen Blooming-Artefakte wird somit schon durch die Technik des Chips verhindert. Die Antiblooming-gates decken aber auch einen Teil der lichtempfindlichen Fläche eines Pixels ab, so dass die Empfindlichkeit geringer ausfällt als bei einem Chip ohne Antiblooming-gates.

Kodak begegnet diesem Problem mit winzigen Mikrolinsen, welche sich über jedem einzelnen Pixel befinden. Diese Linsen sammeln die eingehenden Photonen und führen sie den darunter liegenden Pixeln zu.

Die Full-well-capacity, das heißt die maximal aufzunehmende Ladungsmenge, beträgt für den KAI-11000M von Kodak etwa 50 000 Elektronen pro Pixel. Diese Ladungsaufnahme lässt sich beispielsweise durch zweifaches Binning vervierfachen, denn hierbei werden 2 X 2 Pixel zu einem Superpixel zusammengefasst. Das zweifache Binning ist in jedem Fall sinnvoll, wenn gefilterte Aufnahmen in den einzelnen Farbkanälen Rot (R), Grün (G) und Blau (B) gewonnen werden, welche als Farbmasken für eine Luminanzaufnahme dienen sollen. Der Transmissionsverlust, der durch die RGB-Filterung entsteht, wird dabei adäquat ausgeglichen.

Ein wichtiges Merkmal ist die Quanteneffizienz (QE) des CCD-Chips, die primär von der Wellenlänge des Lichtes abhängig ist, und in Prozent ausgedrückt wird. Der höchste Wert ist mit 50 Prozent QE für den blaugrünen Bereich des Spektrums angegeben. Für den blaugrünen Spektralbereich bedeutet dies, das ungefähr jedes zweite eintreffende Photon registriert und in eine Ladungsenergie umgewandelt wird. Bei der Ha-Linie (656.3 Nanometer) beträgt die QE noch etwa 30 Prozent. Verglichen mit dem High-endModell der neuen Kodak-Chip-Serie, dem KAF-6303E, der in der CCD-Kamera STL 6303 von SBIG verwendet wird, erscheint dieser Wert gering. In der Praxis begegnet man diesem Sachverhalt durch eine länger ange-setzte Belichtungszeit.

Der Chip verfügt über 4008 Zeilen a 2672 Pixel. Die Pixel sind quadratisch mit neun Mikrometern Kantenlänge, daher beläuft sich die lichtempfindliche Fläche des CCDs auf etwa 36 mm X 24.7 mm. Mit elf Millionen Pixeln gehört die STL-11000M zu den leistungsstärksten Amateur-CCD-Kameras. Das Gesichtsfeld an einem Teleskop mit einer Brennweite von 2000 Millimetern liegt bei stattlichen bei 62' X 43', die Winkelauflösung beträgt dann etwa 0.93 Bogensekunden pro Pixel.



Echtfarbenaufnahme des Kugelsternhaufens MB mit den Belichtungszeiten für LRGB von je 30 Minuten. Die Farbkanäle sind im Zweifach-Binning-Modus gewonnen, die Luminanz im hochauflösenden Modus.

Die Auslesezeit des gesamten Chips beträgt im hochauflösenden Modus etwa 30 Sekunden. Im schnellen Fokusmodus, bei dem nur ein kleiner zuvor definierter Teil des Chips ausgelesen wird, liegen die Auslesezeiten im Sekundenbereich. Hierfür wird eine uSB-Schnittstelle verwendet. Bei einer Digitalisierungstiefe von 16 Bit steht ein dynamischer Bereich von 65536 Graustufen zur Verfügung. Das Speichervolumen für ein Bild im hochauflösenden Modus beträgt etwa 20 MB pro Einzelbild im FITs-Format, im Hersteller-eigenen »SBIG Compressed Format« halbiert sich das Speichervolumen.

Die Software

Der Lieferumfang der Software ist umfangreich und besteht aus CCDOPS for Windows, CCDSharp, CCDSoft Version 5, und einer Version des Planetariumsprogramms The Sky, Version 4 Level 2 [3]. The Sky bietet eine gute Unterstützung, denn hier findet man eine große Objekt Datenbasis, eine Vielzahl an Kontrollmöglichkeiten zur Steuerung von Teleskopmontierungen mit GoTo-Funktion und Funktionen zur Errechnung des Gesichtsfeldes von CCD-Kameras. So lässt sich beispielsweise das Gesichtsfeld der SBIG STL-11000M in Abhängigkeit der verwendeten Brennweite exakt berechnen und die Lage des Chips und die erreichbaren Nachführsterne für den Nachführchip genau abschätzen - eine gute Planungshilfe.

Der Schwerpunkt von CCDOPS und CCDSOFT liegt in der Steuerung und Kontrolle sämtlicher Funktionen der Kamera einschließlich des Farbfilterrades. Befindet sich die Kamera in Betrieb, so geben die Programme Auskunft über den Chipstatus, die Temperatur, verfügbare Speicherressourcen und das ausgewählte Filter. Möglichkeiten der Bildverarbeitung wie der LRGB-Kompositbildung, glättende oder schärfende Filter sind ebenso vorhanden und können

über gut strukturierte Menüs ausgewählt werden.



Echtfarbenaufnahme des Virgo-Galaxienhaufens mit den Belichtungszeiten für LRGB von 60:40:30:40 Minuten. Die Farbkanäle entstanden im Zweifach-Binning-Modus, die Luminanz im hochauflösenden Modus.

In der Praxis

Das First Light der Kamera fand in meiner Sternwarte statt. Nach dem Herunterkühlen des Systems unter der Kontrolle von CCDSoft erfolgte die Fokussierung durch den Luminanzfilter. Ist der Fokus gefunden, findet die notwendige Kalibration der Montierung mit der CCD-Kamera statt. Hier wird das Zusammenspiel beider Komponenten exakt aufeinander abgestimmt. Dieser Prozess ist vollautomatisch und immens wichtig, denn die Güte der Kalibration entscheidet über die Genauigkeit der Nachführung und damit über die Qualität der Ergebnisse.



Die CCD-Kamera STL-11000M am 4-Zoll-Feathertouch-Okularauszug des TEC 140.

Die automatische Nachführung erfolgt mit Hilfe des eigenen Nachführchips und ist, unter der Voraussetzung der exakten Kalibration, sehr komfortabel und vor allem subpixelgenau. So ist es möglich, eine hohe Qualität in der Nachführungsgenauigkeit sicherzustellen.

Als Aufnahmegerät diente mir ein apochromatischer Refraktor der Telescope Engineering Company (TEC) mit der Bezeichnung TEC 140 APO. Das Gerät besitzt eine freie Öffnung von 140 Millimeter bei einem Öffnungsverhältnis von $f/7$. Der APO verfügt über ein ölgefühtes Triplett-Objektiv

mit einem ähnlichen Aufbau wie das der legendären APQ-Teleskope von Zeiss. Die Brennweite beträgt 980 Millimeter. Mit Hilfe des optionalen Bildfeldebners werden außeraxiale Bildfehler so gut korrigiert, dass keine Aberrationen oder Koma erkennbar sind. Durch den Einsatz des Bildfeldebners wird allerdings nicht das Öffnungsverhältnis reduziert.

Die Winkelauflösung der STL-11000M beträgt in Verbindung mit dem TEC 140 APO nach der Näherung $[4] W [\text{Bogensekunden}] = P/fx \cdot 206$ etwa 1.8 Bogensekunden pro Pixel. Die STL-11000M deckt damit bei einer Brennweite von 980 mm ein stattliches Gesichtsfeld von etwa 126' X 86' ab.

Die Integrationszeit für ein Luminanz Einzelbild der hier illustrierten Aufnahmen lag zwischen fünf und zehn Minuten, abhängig von den jeweiligen Seeingverhältnissen und der Transparenz des Himmels. Die Luminanz wird grundsätzlich im hochaufgelösten Modus mit neun Mikrometer Pixelgröße gewonnen. Das Summenbild, welches aus fünf bis sechs einzelnen Luminanzaufnahmen bestand, bildete die Grundlage für die weitere Bildverarbeitung.

Die RGB-Farbaufnahmen erfolgten mit Hilfe des originalen RGB-Filtersatzes von SBIG im Zweifach-Binning-Modus im Anschluss an die Luminanz-Serie. Eine Nachfokussierung ist aufgrund der Filterspezifikation der RGB-Filter nicht erforderlich. Die Belichtungszeit wurde ebenfalls mit fünf bis zehn Minuten angesetzt, als Summe kamen so im Durchschnitt 30 Minuten für jeden Farbkanal R, G und B zu Stande.

Fazit

Die STL-11000M ist ein innovatives Produkt und besticht durch ein praxisnahes Kamera-Konzept. Die Kamera ist von ihrem Design her auf die Verwendung großer CCD-Chips ausgelegt, die mit Hilfe der 2"-Adaptionsmöglichkeit vignettierungsfrei möglich ist. Die bewährten Eigenschaften der ST-Modellreihe wurden konsequent weiterentwickelt und erweitert, um eine separate Nachführmöglichkeit mit Hilfe eines externen Autoguiders, eines integrierten 2-Zo11-Filterrads und einer intelligenten Elektronik, die nicht nur das Systemverhalten kontrolliert, sondern kritische Systemsituationen steuert. Damit stellt die Kamera eine zukunfts-sichere Plattform dar.

Durch die Chipgröße, welche das Kleinbildformat übersteigt, ist das Einsatzfeld breit gestreut. Ob im hochauflösenden Modus für den kurzen Brennweitenbereich oder im zweifach Binning-Modus für lange Brennweiten - ein solches Kamerasystem ist vielseitig einsetzbar. Es steigen aber die Anforderungen an das optische System beziehungsweise an die Abbildungsgüte des Teleskops, denn die empfindlichen und großformatigen CCD-Chips decken schnell Abbildungsfehler der optischen Systeme auf. Diese äußern sich in unzureichender Bildfeldausleuchtung, sphärischer Aberration oder Koma. Spezielle, für die Photographie ausgelegte, Systeme gewinnen hier an Bedeutung.

Dank der Kamerakonzeption mit einem zusätzlichen Nachführchip ist die STL-11000M zur Gewinnung selbstnachgeführter Deep-sky-Aufnahmen ausgelegt. Im Gegensatz zu CCD-Kameras, welche über Chips mit großen Pixeln verfügen und damit Vorteile im langen Brennweitenbereich besitzen, ist die Zielgruppe hier nicht eingeschränkt. Die Adaption für jeden Brennweitenbereich ist durch die Binning-Option einfach über die verwendete Steuer-Software flexibel anpassbar.

Der hohe Speicherbedarf für Rohbilder mit einem Speichervolumen von 20 MB im FITS-Format beziehungsweise 10 MB im SBIG-Format pro Rohaufnahme wäre vor Jahren als bedenklich einzustufen gewesen. Bei den heutigen Preisen für Computer-Hardware, insbesondere für Speichermedien, relativiert sich dieser Sachverhalt und wird eher unbedeutend.

Die Firma Baader Planetarium [5] als Generalvertretung von SBIG im deutschsprachigen Raum stellt den Service und den technischen Support sicher. Hier findet man einen kompetenten und zuverlässigen Partner. Auf ihren Internetseiten findet man nicht nur bunte Hochglanzbroschüren, sondern eine ausführliche und gut gestaltete Referenz zu allen Fragen der CCD-Technik.

Das Preisniveau der STL 11000M lag im zweiten Quartal 2005 bei 9.580 Euro, wobei die Filterbestückung von 745 Euro hier noch nicht eingerechnet ist. Mit diesem Preisniveau richtet sich SBIG an die fortgeschrittenen Amateure. Dafür erhält der Anwender ein zukunftssicheres und gut durchdachtes Produkt mit einer stabilen Software, die über Jahre weiterentwickelt wurde und sich in der Praxis als ein verlässlicher Partner darstellt.

Auf meiner Homepage [6] sind weitere Bildergebnisse der STL-II 000M zu begutachten. Für Rückfragen stehe ich unter der E-Mail-Adresse Peter.Bresseler@st arlightfriend.de gerne zur Verfügung.



Peter Bresseler studierte Informatik in Lüneburg. Seit 1998 gehört er der Fachgruppe »Astrofotografie« der Vereinigung der Sternfreunde e. V. an. In SuW veröffentlicht er regelmäßig Beiträge aus dem Bereich der CCD- Technik und Astrophotographie.

Weitere Informationen

[1]Homepage des Herstellers Santa Barbara Instrument Group, Inc; <http://www.sbig.com>

[2]CCD-Homepage von Kodak: <http://www.kodak.com/global/en/digital/ccd/sensorsMain.jhtml>

[3]Software Bisque, Inc.: <http://www.bisque.com>

[4]**Peter Bresseler:** Die SBIG ST-9E – Eine CCD-Kamera für lange Brennweiten, SuW 8/2001, S. 676.

[5]Baader Planetarium GmbH: <http://www.baader-planetarium.de/>

[6]Peter Bresseler: <http://www.starlightfriend.de>