

Die SBIG ST-9E - Eine CCD Kamera für lange Brennweiten

von Peter Bresseler

aus Sterne und Weltraum August 2001, Seite 676 ff

Wer ein leistungsfähiges Teleskop auf einer stabilen Montierung besitzt, benötigt heutzutage auch eine moderne CCD-Kamera mit möglichst vielen Pixeln, um die Leistungsfähigkeit seines Teleskops ausschöpfen zu können. Bei Amateurastronomen erfreuen sich die CCD-Kameras der Firma SBIG großer Beliebtheit. In diesem Beitrag wird ein aktuelles Modell der CCD-Kameras von SBIG vorgestellt.

Die Anzahl der auf dem Markt befindlichen CCD-Kameras hat sich in den letzten Jahren deutlich erhöht. Dem Amateur wird es durch die Vielfalt des Angebots nicht leichter gemacht, die richtige Wahl zu treffen, denn nicht jede Kamera ist aufgrund ihrer technischen Spezifikation für jeden Anwendungszweck gleich gut geeignet. Die neue SBIG ST-9E nutze ich für die Deep-Sky-Astrofotographie, meinen Beobachtungsschwerpunkt. Ob die Kamera für diesen Zweck geeignet ist, was sie leistet und welche weiteren Anwendungsbereiche interessant erscheinen, wird im folgenden Beitrag erläutert.

Eigenschaften und Merkmale

Mit der neuen ST-9E bietet die Santa Barbara Instrument Group [1], (SBIG) wieder eine CCD-Kamera an, die wie die ST-7E und ST-8E über zwei CCD-Chips verfügt. Der in der ST-9E implementierte Kodakchip KAF 0261 E dient der Aufnahme von Objektbildern, der zweite, der Texas Instruments TC-211, dient der automatischen Nachführung. Mit Hilfe dieser dualen Konzeption ist es möglich, während der Bildgewinnung das Teleskop gleichzeitig automatisch nachzuführen. Von SBIG wird dieses Aufnahmeverfahren als Selfguiding bezeichnet. Zur automatischen Nachführung sind keine weiteren Instrumente wie off-axis-guider oder ein separates Leitrohr notwendig. Voraussetzung ist lediglich eine SBIG-kompatible Autoguider-Schnittstelle an der Montierung zur Aufnahme der Korrektursignale der Nachführelektronik der Kamera. Dank der weiten Verbreitung der SBIG-Autoguider hat sich diese Schnittstelle bei vielen Montierungen als „Quasi-Standard“ etabliert. So findet man diese Autoguider-Schnittstelle beispielsweise in den Produktreihen von Celestron, Vixen, Losmandy und Meade (Abb. 1).

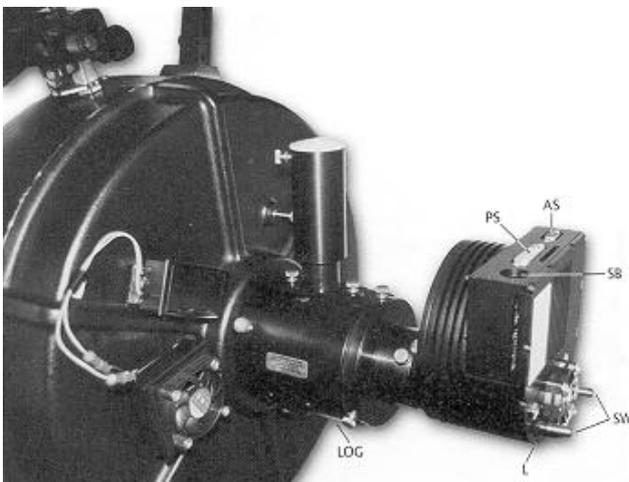


Abb. 1: Die ST-9E hinter dem Okularauszug des C14 und dem Lumicon Off-Axis Guider (LOG). Ein Off-axis-guider ist zum Kamerabetrieb im Selfguidingmodus nicht notwendig. Hier wird lediglich auf die brennweitenverkürzende Wirkung der integrierten Shapleylinse abgezielt.

Auf der rückwärtigen Seite erkennt man den Lüfter der Kühleinheit (L) sowie die kleinen Stutzen zur Aufnahme der Wasserschläuche (SW). Auf der oberen Seite sieht man die Stromversorgungsbuchse (SB), die PC- und die Auto-guider-Schnittstelle (PS und AS).

Der Chip KAF 0261E stammt aus der neuen Kodak Enhanced Reihe. Das "E" im Namen des Chips weist auf diese Typenbezeichnung hin. Der Kodak Enhanced Chip besitzt eine 30% höhere Empfindlichkeit verglichen mit Kodak KAF-Chips der ersten Generation. Die Pixelanzahl des Chips beträgt 512 x 512 Pixel. Die Pixel sind quadratisch und 20 μm x 20 μm groß, so beläuft sich die lichtempfindliche Fläche auf etwa 10.2 mm X 10.2 mm. Die ST-9E reiht sich damit, was die Chipfläche angeht, zwischen der ST-7E und ST-8E von SBIG ein (Abb. 2). Das Gesichtsfeld der ST-9E an einem Teleskop mit einer Brennweite von 2000 mm liegt bei 17'.5 x 17'.5. Die Winkelauflösung beträgt dann gut 2" pro Pixel.

Die Auslesezeiten betragen im Fullframemodus, d.h., wenn sämtliche 262.144 Pixel im Einsatz sind, inklusive der Digitalisierung, ca. 11 s, im schnellen Fokusbetrieb, bei dem nur ein kleiner Teil ausgelesen wird, ca. 1.5 s. Der Parallelport des PC bzw. die Druckerschnittstelle wird dafür verwendet. Aufgrund dieser Systemarchitektur eignet sich die CCD-Kamera auch für den mobilen Einsatz an Notebooks und Laptops, denn es

wird keine PC-Steckkarte benötigt. Es sind Belichtungszeiten von 0.11 s bis 3600 s möglich, ein elektromechanischer Shutter dient als Verschluss. Die Digitalisierung erfolgt mit einer Tiefe von 16 Bit, so dass ein dynamischer Bereich von 65.536 Graustufen zur Verfügung steht.

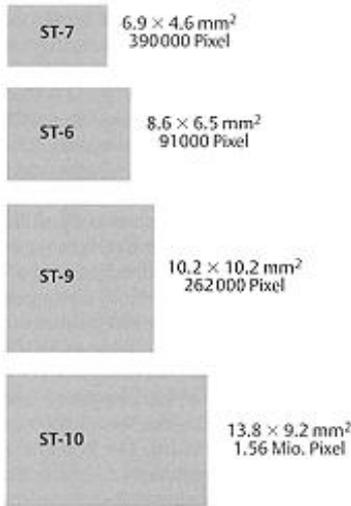


Abb. 2: Größenunterschiede der von SBIG verwandten Kodak CCD-Chips.

Spezifikation des Kodakchips KAF 0261 E

Kodak klassifiziert die CCD-Chips nach verschiedenen Güteklassen. In der ST-9E ist standardmäßig ein Chip der Güteklasse 1 implementiert, was bedeutet, dass der Chip bis zu 10 Pixeldefekte, bis zu 4 Clusterdefekte, aber keine Spaltendefekte aufweisen darf. Als Cluster bezeichnet Kodak eine Gruppe von maximal fünf Pixeln. Ein Pixel gilt allerdings schon als defekt, wenn die Empfindlichkeit um $\pm 20\%$ von derjenigen der Nachbarpixel abweicht. Man spricht an dieser Stelle auch von heißen (hot) oder kalten (cool) Pixeln, deren Bedeutung aber nicht überbewertet werden sollte, denn einerseits sind diese Heiligkeitsunterschiede kaum wahrnehmbar, andererseits lassen sich diese Anomalien durch eine Funktion innerhalb der Kamera-Software einfach kompensieren.

Der Kodak KAF 0261E ist in der ST-9E nur als Non Antiblooming Chip (NABG) implementiert. Der Chip enthält keine Potentialsperrn, die ein mögliches Überlaufen der Ladungsmenge verhindern. Befinden sich helle Sterne im Gesichtsfeld, so kann es aufgrund der hohen Empfindlichkeit schnell zu einer Übersättigung einzelner oder mehrerer Pixel kommen, deren überschüssige Ladung in vertikaler Richtung abfliegt. Dieses Verhalten wird als Blooming, bezeichnet. Wir werden hier im weiteren Verlauf sehen, dass sich die durch Übersättigung entstandenen Artefakte durch bestimmte Aufnahme-techniken verhindern lassen.

Nicht jedes auftreffende Lichtquant (Photon) wird vom Chip registriert und in eine elektrische Ladung umgewandelt. Man spricht hier von der Quanteneffizienz, die mit der Wellenlänge des Lichtes variiert und für den KAF 0261E in Abb. 3 dargestellt ist. Interessant ist, dass der KAF 0261E neben der höheren Quanteneffizienz im Vergleich zu den Chips der älteren Kodak KAF-Reihe im Blauen nochmals um 30% empfindlicher ist. Der KAF 0261E besitzt die höchste Quanteneffizienz im roten Spektralbereich, 68% bei 600 nm, d.h., mehr als zwei Drittel aller eintreffenden Photonen werden registriert und führen zu einer Umwandlung in Ladungsenergie. Bei der für die Astrophotographie interessanten Ha-Linie (653 nm) der HII-Regionen und anderer Emissionsnebel beträgt die Quantenausbeute noch über 60%. Rotempfindliche Filmemulsionen, wie beispielsweise der populäre TP2415 [2], erreichen bei dieser Wellenlänge eine 20-fach geringere Quantenausbeute!

Die Full Well Capacity, d.h. die maximal aufzunehmende Ladungsmenge, beträgt bei dem Kodak KAF 0261E ca. 200.000 Elektronen pro Pixel. Dieser Wert lässt sich durch »Binning« sogar noch steigern. Der Chip ermöglicht bei dem 2 x 2-Binning das Zusammenführen von 2 x 2 Pixeln zu einem »Superpixel« bei einer Vervielfachung der maximal möglichen Ladungsaufnahme. Allerdings führt dieses Verfahren zu einer Halbierung der Auflösung.

Die Empfindlichkeit der ST-9E ohne Binning ist beispielsweise gleichzusetzen mit der Empfindlichkeit der ST-7E ABG im 2 x 2-Binningmodus bzw. doppelt so hoch wie die ST-7E NABG. Das 2 x 2-Binning ergibt bei der ST-9E eine Pixelgröße von 40 μm bzw. beim 3 x 3-Binning eine Pixelgröße von 60 μm mit einer entsprechend reduzierten Auflösung (Abb. 4). Zur hochauflösenden Abbildung von Objekten eignet sich das Binning hier nicht, hilfreich und sinnvoll ist es in jedem Fall zum Aufsuchen lichtschwacher Objekte [3].

Der kleinere Nachführchip, der Texas Instruments TC-211, ist 2.64 mm x 2.64 mm groß und verfügt über 192 x 165 Pixel. Jedes einzelne Pixel ist 13.75 μm x 16 μm groß. Den TC-211 finden wir auch im weitverbreiteten Autoguider ST-4 wieder, wobei der in der ST-9E implementierte Nachführchip eine Digitalisierungstiefe von 16 Bit aufweist, im Gegensatz zur 8-Bit-Digitalisierungstiefe der ST-4. Damit ist der Nachführchip in der Konfiguration mit der ST-9E erheblich empfindlicher. Der TC-211 ist auf der gleichen Fokalebene wie der Aufnahmechip in einem Abstand von genau 6 mm plaziert. Diese Anordnung hat in der Praxis im Gegensatz zu einer getrennten Form mit separatem Autoguider den Vorteil, dass nur einmal fokussiert werden muss. Der Nachteil, dass möglicherweise aufgrund der starren Anordnung kein geeigneter Leitstern zu finden ist, hat sich in meiner Praxis äußerst selten bestätigt. Sollte kein geeigneter Nachführstern gefunden werden, da sich beispielsweise die Beobachtungsobjekte in relativ sternarmen Himmelsregionen wie Coma

Berenices oder Virgo befinden, kann man das Problem mithilfe eines kleinen Tricks in den Griff kriegen. Man schwenkt einfach die CCD-Kamera um 90 Grad, und begibt sich weiter auf Leitsternsuche, usw.. Dabei ist jedoch darauf zu achten, dass die Orientierung des Chips immer parallel zu Rektaszension und Deklination verläuft. Alternativ sucht man spiralförmig die Himmelsregion um das Zielobjekt nach Nachführsternen ab, wobei man dann eventuell eine exzentrische Positionierung des Aufnahmeobjektes in Kauf nehmen muss.

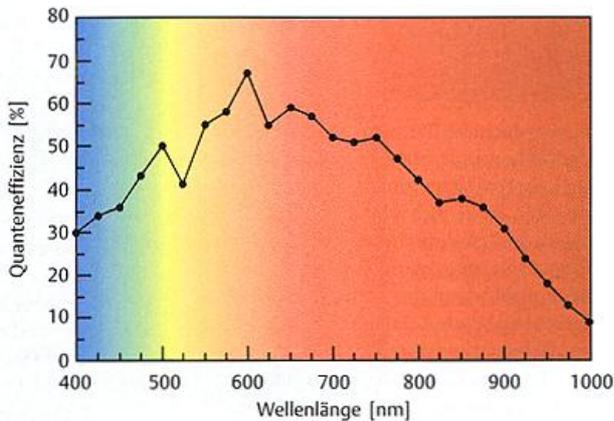
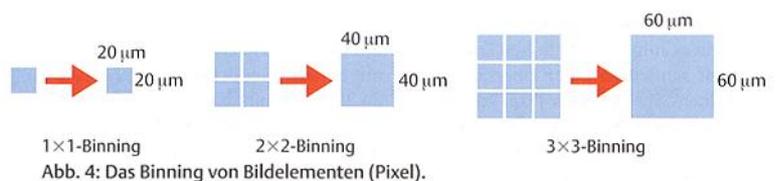


Abb. 3: Quanteneffizienz des KAF 0261 E in Abhängigkeit von der Wellenlänge. Die höchste Quanteneffizienz besitzt der Chip bei 600 nm. Signifikant ist die gute Blauempfindlichkeit.

Abb. 4: Das Binning von Bildelementen (Pixeln)



Mehrstufige Kühlung

Die Höhe des Dunkelstroms ist neben der Quanteneffizienz und der Auflösung sicherlich eine der wesentlichen Kenngrößen eines CCD-Chips. Dieser entsteht durch thermische Aktivitäten auf dem Chip (Gitterschwingungen). Auch ohne Belichtung entsteht ein Dunkelstrom, der als Rauschanteil eine limitierende Größe bei der Gewinnung von Aufnahmen darstellt.

Da die Höhe des Dunkelstroms temperaturabhängig ist, gilt: je geringer die Chiptemperatur, desto geringer ist der Dunkelstrom. Der Dunkelstrom des Kodak KAF 0261E beträgt 35 Elektronen pro Pixel und Sekunde bei 0 Grad C.

Berücksichtigt man den Sachverhalt, dass sich die Dunkelstromerzeugungsrate bei einer Temperaturverringern von 5- 6 Grad C halbiert, so erkennt man, wie wichtig eine gute Kühlung ist. Daher wurde von SBIG eine mehrstufige thermoelektrische Kühlung konzipiert. SBIG spricht hier von einem „Thermoelektrischen Cooling Booster“, einem Modul, welches über eine separate 12-V-Stromversorgung betrieben wird. Das Kühlsystem basiert auf zwei Peltierelementen, einem Lüfter und einer Wasserkühlung. Zum Lieferumfang gehört daher eine externe Wasserpumpe, Schläuche und entsprechende Adapter.

Mithilfe der aktivierten Wasserkühlung wird eine konstante Temperatur von ca. 40 Grad C unterhalb der Umgebungstemperatur sichergestellt. SBIG empfiehlt den Einsatz nicht bei Temperaturen unterhalb des Gefrierpunktes, sofern dem Kühlwasser kein Frostschutzmittel zugefügt wurde. Man sollte sich vor dem Ausbalancieren des Teleskops im klaren sein, ob die Wasserkühlung zum Einsatz kommt oder nicht, denn das Gewicht der Wasserschläuche am Okularauszug und deren Hebelwirkung ist nicht unerheblich. Ohne den Einsatz der Wasserkühlung wird eine Kühlleistung von gut 30 Grad C unterhalb der Umgebungstemperatur erreicht. Damit reduziert sich die Dunkelstromerzeugungsrate um ein Mehrfaches, das Ergebnis sind bei einer entsprechenden Belichtungszeit rauscharme Aufnahmen. Die Kühltemperatur des CCD-Chips wird über die Steuersoftware mithilfe eines Mikroprozessors auf einen eingegebenen Wert geregelt. Die Regeltoleranz beträgt 0.1 Grad C. Durch diese Regengenauigkeit können sehr exakte Darkframes angefertigt werden, die nach der Bildgewinnung vom Rohbild abgezogen werden müssen. Ebenso lassen sich komplette Darkframe-Bibliotheken tagsüber anlegen, so dass keine kostbaren Nachtstunden zur Darkframegewinnung verschwendet werden.

Zur Kompensierung der Feuchtigkeit im Gehäuse wird eine von außen zugängliche Trockenpatrone verwendet. Die darin befindlichen Silika-Gel-Kügelchen absorbieren die Feuchtigkeit und verhindern damit die Eisbildung auf dem CCD-Chip. Dieses Verfahren ist sehr effizient, jedoch nicht ganz wartungsfrei. Nach gut einem Jahr muss die Trockenpatrone im Backofen bei 175 Grad C ca. vier Stunden »gebacken" werden. Die Kügelchen verfügen leider nicht über Farbindikatoren, die anzeigen könnten, wie weit der Trocknungsprozess gediehen ist. Alternativ hat sich die Herausnahme der Kügelchen aus der Trockenpatrone mit anschließendem Erhitzen in der Mikrowelle (5 Minuten bei 300 W) gut bewährt. Diesen Erfahrungswert gilt es etwa einzuhalten, denn bei höherer Leistung läuft man Gefahr, dass die Kügelchen pulverisiert werden. Die Folgen sind unschön, denn gelangen diese Teilchen auf den Chip, vermag kein Flatfield diese Anomalien zu beseitigen. Die sich daraus ergebende Konsequenz, das frontseitige Öffnen der Kamera und die vorsichtige Reinigung des Chipfensters mit Druckluft, erspart man sich an dieser Stelle.

Die Software

Die gelieferte Software ist sehr umfangreich und besteht neben den eigentlichen Programmen zur Steuerung der Kamera aus SBIG-Handbüchern, Demoprogrammen, kleinen Einweisungsfilmen, diversen Bilddokumenten sowie einer Komplettversion des Planetariums- programm TheSky Version 4, Level 2. Diese Software, die von Software Bisque [4] entwickelt wurde, beinhaltet sämtliche Funktionen zur Steuerung von Teleskopmontierungen mit GoTo-Funktion sowie das Ausdrucken beliebiger Himmelsregionen in ansprechender Qualität. Des weiteren errechnet das Programm das Gesichtsfeld der ST-9E in Bogenminuten und stellt das Ergebnis in Abhängigkeit des Zoomfaktors als Viereck dar.

Als Steuerprogramm dient CCDOPS für MS-DOS oder CCDOPS für Windows 95/98. Andere Betriebssysteme wie Windows NT/2000 oder Macintosh werden ebenso unterstützt. Die Bedeutung einer funktionierenden und robusten Software darf nicht unterschätzt werden, denn eine Kamera, deren Funktionen nicht angesprochen werden können oder deren Ausführung den Rechner zum Absturz bringen, ist im Grunde genommen nichts wert. SBIG hat sich diese Grundregel zu eigen gemacht und viel Arbeit in die Softwareentwicklung einfließen lassen. Das zahlt sich in jedem Fall aus, denn dem Anwender wird eine robuste und gut durchdachte Software präsentiert, die überaus stabil auf unterschiedlichen Plattformen läuft. Die Programme werden ständig weiterentwickelt, verbessert und dem Anwender über die Homepage von SBIG kostenfrei zugänglich gemacht - ein guter Service, wie ich finde. Das gilt auch für Benutzerbroschüren und Handbücher.

Der Schwerpunkt von CCDOPS liegt in der Steuerung und Kontrolle sämtlicher Funktionen der Kamera einschließlich der Ansteuerung eines optionalen Farbfilterrades (CFW8) und der ebenfalls optionalen Adaptiven Optik (A0-7). Befindet sich die Kamera im Betrieb, so gibt das Programm Auskunft über den Chiptatus, die Temperatur, verfügbare Speicherressourcen und das ausgewählte Filter. Die Möglichkeiten der Bildverarbeitung sind begrenzt und beschränken sich auf Grundfunktionen wie den Darkframeabzug mit Biaskorrektur und das Flatfielding, der Addition und Ausrichtung von Bildsequenzen. Zu den Grundfunktionen im engeren Sinne zählen auch Routinen zur Beseitigung von Chipanomalien wie heißer oder kalter Pixel.

Ebenso finden wir hier einige klassische Bildverarbeitungsroutinen zur Steuerung des Kontrastes und der Bildschärfe. Grundsätzlich sind diese Bildverarbeitungsmöglichkeiten ausreichend, denn die Güte der Aufnahmen bei einer ausreichenden Belichtungszeit ist so gut, dass neben Darkframeabzug und Flatfielding lediglich eine moderate Helligkeitsanpassung über die Histogrammfunktion notwendig wird. Ein Blinkkomparator, der zwei Aufnahmen in einer vorgegebenen Frequenz jeweils wechselseitig darstellt, ist in dieser Version von CCDOPS leider nicht mehr Bestandteil. In älteren Versionen konnten mithilfe dieses nützlichen Hilfsmittels Bewegungen von Kleinplaneten erkannt werden. Ebenso liegen sich Cosmics auf diese Weise schnell entlarven. Diese Funktion wäre auf jeden Fall wieder für kommende Softwareversionen erwünscht. Das Speicherformat ist frei wählbar und beträgt im komprimierten Modus 515 KB. Wird als Speicherformat FITS gewählt, so nimmt die Dateigröße ca. 520 KB ein. Typischerweise sollten die Images im SBIG- oder FITS-Format abgespeichert werden, denn diese Bildformate sind von vielen Bildverarbeitungsprogrammen lesbar.

Anpassung an das Teleskop

Um aus astrophotographischer Sicht gute Ergebnisse zu erzielen, müssen CCD-Kamera und Aufnahmeoptik aufeinander abgestimmt sein. Orientierungsgrundlage ist ein Abbildungsmaßstab, der sich aus der eingesetzten Brennweite der Aufnahmeoptik und der Pixelgröße des Aufnahmechips ergibt. Danach sollte, vereinfacht ausgedrückt, der Zerstreungskreis eines kleinen Sternchens etwa 2×2 Pixel überdecken [5]. Mithilfe der Näherung [6] »Pixelgröße/Brennweite in mm $\times 206\,265$ « errechnet sich dieser Abbildungsmaßstab als Winkelauflösung pro Pixel in Bogensekunden. Bei meiner Aufnahmeoptik, einem Celestron C14,

betrieben in einem Öffnungsverhältnis von 1:7 bzw. $f = 2450 \text{ mm}$, ergibt sich mit der Pixelgröße von $20 \mu\text{m}$ eine Winkelauflösung von ca. $1.7''$ pro Pixel.

Abgeleitet aus der obigen Annahme dürfen danach die Zerstreungskreise kleinster Sternchen $2 \times 1.7''$ pro 2×2 Pixel überdecken! Legt man das Seeing als Maßstab für die Größe der Abbildung kleinster Sternchen zugrunde, deckt sich dieser Wert von 3.4 Bogensekunden etwa mit den durchschnittlichen Seeingbedingungen unserer Breiten. Mit anderen Worten, unter durchschnittlichen Seeingbedingungen ist der Einsatz der ST-9E in Verbindung mit Brennweiten um 2500 mm günstig, bei gutem Seeing können Brennweiten ab 3000 mm und mehr sinnvoll sein. Bei weniger günstigen Seeingbedingungen können aber auch Brennweiten um 2000 mm erfolgreich eingesetzt werden.

Unter dieser Prämisse ist ein optimales Verhältnis von Brennweite und Auflösungsverhältnis der CCD-Kamera erreicht, die gewonnenen Ergebnisse sind nicht "oversampled", es kommt dadurch zu keinem Verlust an Informationen. Im Umkehrschluss ist der Einsatz der ST-9E an kurzbrennweitigen Aufnahmeoptiken nicht sinnvoll: Kleinste Sternchen werden häufig nur von einem Pixel erfasst. So entstandene Aufnahmen wirken nicht nur wenig ästhetisch, etwaige Positionsmessungen sind nur bedingt aussagekräftig und kaum verwertbar. Damit ist im Grunde genommen die Zielgruppe für diese CCD-Kamera von SBIG klar definiert. Sie richtet sich an Benutzer der weitverbreiteten Schmidt-Cassegrain-Teleskope bzw. Benutzer langbrennweitiger Teleskope.

Primäres Einsatzfeld- Deep-sky-Astrophotographie

Aufgrund der „two in one“-Konzeption ist die ST-9E zur Gewinnung selbstnachgeführter Aufnahmen ausgelegt. Bevor dieser Prozess gestartet wird, müssen Kamera und Montierung kalibriert werden. Dafür sorgt automatisch die Steuersoftware CCDOPS, indem mehrere Aufnahmen eines Referenzsternes nach der Fokussierung gewonnen werden und die Laufgeschwindigkeit der Motoren in Rektaszension und Deklination gemessen und gespeichert wird. Die Präzision der Nachführung ist danach bemerkenswert. Subpixelgenau werden Nachführfehler registriert und entsprechend korrigiert. Die Software gibt während der Belichtung permanent Auskunft über die Helligkeit des Nachführsternes und über die jeweiligen Korrekturwerte. Wenn sich die Helligkeit des Nachführsternes verringert, ist davon auszugehen, dass Wolken die Sicht verhindern oder ein Taubeschlag der Optik vorliegt. Voraussetzung für einen unproblematischen Einsatz des Selfguiding sind neben einer gut laufenden Montierung ein ordentlich ausbalanciertes System und ein windgeschützter Beobachtungsplatz.

Bei der Deep-Sky-Astrophotographie wird der Wahl der Belichtungszeit eine besondere Bedeutung zugemessen, denn ist die Belichtungszeit zu hoch angesetzt, besteht bei einem NABG-Chip die Gefahr des Blooming heller Sterne. Damit die so entstandenen Artefakte eine gewonnene Aufnahme nicht ruinieren bzw. mögliche Messwerte verfälschen, wählt man die Belichtungszeit so, dass man typischerweise unterhalb der Blooming- oder Sättigungsgrenze bleibt. Durch eine Testaufnahme, beispielsweise im Focus-Mode von CCDOPS, lassen sich anhand der ausgegebenen Ladungswerte sofort Rückschlüsse ziehen, ob sich helle Sterne im Gesichtsfeld befinden und wie die Sättigung ausfällt, bzw. ob eine Übersättigung während der geplanten Belichtungszeit zu erwarten ist. Möchte man Blooming vermeiden und hat als Ziel die Gewinnung ästhetischer und aussagekräftiger Aufnahmen, sogenannter „pretty pictures“, so ist es ratsam, mehrere kurzbelichtete Aufnahmen zu addieren, statt eine einzelne langbelichtete Aufnahme zu machen.

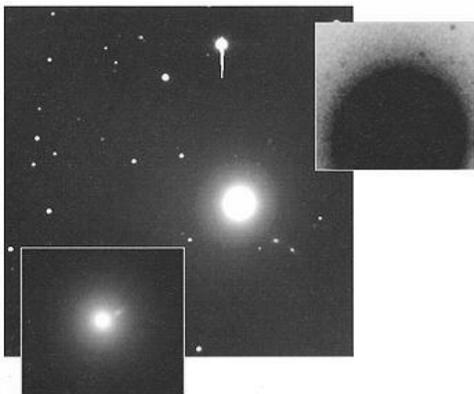


Abb. 5: Die elliptische Galaxie M 87, Belichtungszeit 1200 s. Die Insets zeigen Detailvergrößerungen mit extragalaktischen Kugelhäufen (rechts oben) und dem berühmten Jet (links unten).

Die so gewonnenen Aufnahmen werden anschließend mit einer geeigneten Bildverarbeitungssoftware zu einem Komposit vereinigt.

In der Abb. 5 erkennt man im oberen Bildteil einen Stern mit der Katalognummer SAO 100134. Der 8.65 mag helle Stern zeigt nach 300 s Belichtung starke Anzeichen von Blooming. Der Ladungsinhalt läuft in vertikaler Richtung aus. Tests haben gezeigt, dass die Belichtung mit einem 1.8 mag hellen Stern wie alpha

Ursae Majoris schon nach 1 s Belichtungszeit zu Blooming führt.

Um feinste Helligkeitsunterschiede in Emissionsnebeln herauszuarbeiten oder HII-Regionen in Galaxien nachzuweisen und kontrastreich abzubilden, haben sich unter meinem Lüneburger Stadthimmel (Grenzgröße 5.0 mag) bei Deep-sky-Objekten mit Helligkeiten um 10 mag Belichtungszeiten von 20 bis 30 Minuten

gut bewährt, wobei diese auf Sequenzen von 4 bis 6 Aufnahmen mit je 300 Sekunden Belichtungszeit beruhen. Nach der Grundbehandlung, wie Darkframeabzug und Flatfielding, werden diese anschließend addiert. Allein die Addition von vier Einzelaufnahmen führt zu einer Halbierung des Rauschens [7] sowie zu einer Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses gegenüber einer Einzelaufnahme. Ein solches Aufnahmeverfahren bringt ebenfalls den Vorteil, dass man einfach die durch Nachführfehler oder Cosmics verunstalteten Aufnahmen nicht in das Komposit einfließen lassen muss.

Die Abb. 5, 6 und 7 zeigen Resultate, die ich mit der Kombination Celestron 14 und ST-9E gewonnen habe. Alle Aufnahmen wurden im High-resolution-Modus gemacht, also ohne Binning.

In Abb. 5 sehen wir die elliptische Galaxie M 87 (NGC 4486, Virgo A). Sie gilt als gravitatives Zentrum des Virgohaufens. Diese tiefe Aufnahme lässt zwei Besonderheiten, die durch insets hervorgehoben wurden, erkennen. Die kontrastverstärkte Negativabbildung - inset oben - zeigt einen Randbereich mit extragalaktischen Kugelsternhaufen. Durch eine moderate Helligkeitsskalierung - Inset unten - ist ein faszinierendes Phänomen von M 87, der Plasma-Jet, deutlich dargestellt. Dieser Aufnahme liegen vier Einzelaufnahmen von jeweils 300 s Belichtungszeit zugrunde. Aufnahmestandort war meine Dachsternwarte in Lüneburg, am Aufnahmetag betrug die Mondphase 68%!

Die Whirlpoolgalaxie (Abb. 6), besser bekannte als M 51 (NGC 5194), befindet sich im Sternbild der Jagdhunde. Interessant auf dieser hochauflösenden Aufnahme ist neben den detaillierten HII-Regionen die Materiebrücke, die M 51 mit NGC 5195 verbindet. Im Nordwesten erkennt man darüber hinaus IC 4277 und IC 4278. Dieser tiefen Aufnahme liegen drei jeweils 300 s belichtete Einzelaufnahmen zugrunde.

Das Gespann NGC4438 (Arp120) und NGC4435 (Abb. 7) befindet sich ebenfalls im Sternbild Jungfrau. Die Wechselwirkung beider Galaxien wird durch die kontrastverstärkte Negativabbildung deutlich gemacht. Feinste Filamente intergalaktischer Materie sind zwischen den Galaxien erkennbar.



Abbildung 6: Die Whirlpoolgalaxie M 51 in den Jagdhunden. Belichtungszeit 900 Sekunden

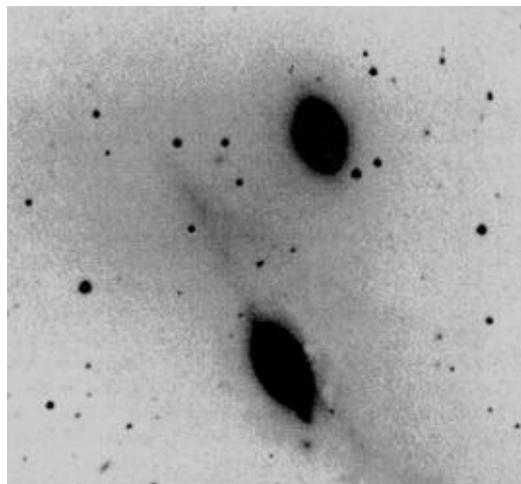


Abb. 7 (rechts): Die wechselwirkenden Galaxien NGC 4438 (Arp 120) und NGC4435 in der Jungfrau. Belichtungszeit 1200 s.

Weitere Anwendungsbereiche

Durch den Verzicht auf Antiblooming Gates zeichnet sich die ST-9E durch Linearität bei der Ladungsaufnahme aus, was bei photometrischen und astrometrischen Anwendungen vorteilhaft ist und zu sicheren Ergebnissen führt. Die CCD-Kamera eignet sich daher hervorragend für Messzwecke. Bei photometrischen Anwendungen ist aber darauf zu achten, dass die vom Veränderlichen und von den Vergleichssterne belichteten Pixel nicht gesättigt sein dürfen. Wird der Sättigungsbereich überschritten und Blooming tritt ein, so ist die Kennlinie nicht mehr linear, und die Aufnahme damit für photometrische Auswertung nicht mehr zu gebrauchen. Diesen Sachverhalt gilt es ebenso zu beachten, wenn die ST-9E zur Photometrie von Kleinplaneten eingesetzt werden soll.

Wie oben beschrieben, besitzt der KAF 0261 E eine gesteigerte Blauempfindlichkeit. Damit erscheinen Echt-Farb-Aufnahmen mithilfe eines optionalen RGB-Farbfilterrades bei einer drastischen Reduzierung der Belichtungszeiten der Blau-Aufnahmen greifbar. Auch hier zählt sich der Verzicht von Antiblooming Gates positiv aus, denn es kommt zu keiner gedrosselten Leistungsaufnahme. Dieser Sachverhalt bekommt bei der RGB-Photographie eine besondere Bedeutung, denn unter diesen Voraussetzungen kann man nun im Vergleich zu den Chips der Vorgeneration mit vertretbaren Belichtungszeiten eine gute Farbbalance erreichen.

Unter der Prämisse, dass mit Äquivalentbrennweiten von 25 m oder mehr gearbeitet wird, ist die ST-9E auch für die Planetenphotographie einsetzbar. Diese Brennweiten sind typischerweise nur mithilfe von Projektionssystemen zu erreichen, wobei auch hier, wie oben skizziert, ein entsprechender Abbildungsmaßstab angestrebt werden sollte. Um das Seeing adäquat zu berücksichtigen, ist die minimale Belichtungszeit eine wesentliche Kenngröße, und die beträgt für diese Kamera 0.11 s. Für die CCD-Planetenphotographie sind kürzere Belichtungszeiten sinnvoll [8]. Diese lassen sich allerdings nicht mit diesem Verschluss, der aus rotierenden Lamellen besteht, erzielen. Die Belichtungen sind zwar sehr homogen, die Belichtungszeiten sind aber für die Planetenphotographie in Zeiten ungünstiger Seeingbedingungen nicht kurz genug. Das gilt ebenso für die Mondphotographie.

Des Weiteren erscheinen Beobachtungen im infraroten Spektralbereich[9, 10] gut möglich. Auch in diesem Spektralbereich besitzt die ST-9E noch eine hohe Empfindlichkeit. Diese Anwendung setzt allerdings voraus, dass der sichtbare Teil des Lichtes, der Bereich zwischen 400-700 nm, durch ein geeignetes Filter ausgeblendet wird. Dieser Bereich gilt für Amateure als wenig erschlossen, eröffnet jedoch einige interessante Perspektiven.

Fazit

Die ST-9E ist ein ausgereiftes Produkt mit einer gut durchdachten und stabil laufenden Steuerungssoftware, die vom Anwender auch ohne langes Studieren der Broschüren in Betrieb genommen werden kann. Das primäre Einsatzfeld der ST-9E ist die Gewinnung selbstnachgeführter Aufnahmen. Das dafür verwirklichte Konzept der dualen Chiparchitektur mit Autoguidern und Aufnahmechips ist nicht neu, hat sich auch schon in SBIG-Kameras wie der ST-7E und ST-8E überaus gut bewährt. Viele schöne Astroaufnahmen legen davon beredtes Zeugnis ab. Die ST-9E gilt als Nachfolgemodell und basiert auf derselben bewährten Konzeption. Die Empfindlichkeit dieses Systems ist so enorm, dass unter günstigeren Beobachtungsbedingungen eine noch höhere Qualität, als die der hier vorgestellten Aufnahmen, zu erwarten ist.

Die integrierte Wasserkühlung ist in diesem System neu, arbeitet effizient, ist aufgrund der aufwendigeren Handhabung aber wohl nur stationär aufgestellten Teleskopen vorbehalten. Die Benutzung der Wasserkühlung ist nicht unbedingt notwendig, führt aber nochmals zu einer Reduzierung des Dunkelstroms und damit zu einer höheren Güte der gewonnenen Aufnahmen.

Neben der Deep-sky-Astrophotographie ist die ST-9E dank der Linearität und Empfindlichkeit auch für eine Vielzahl anderer Anwendungsbereiche wie der Astrometrie, der Photometrie von Sternen und Kleinplaneten, gut geeignet. Mit Hilfe nützlicher Hilfsmittel, wie einem optionalen Farbfilterrad lassen sich nicht nur tiefe Echtfarbaufnahmen gewinnen, ebenso lassen die Ergebnisse wissenschaftliche Erkenntnisse über die physikalischen Gegebenheiten der aufgenommenen Objekte zu. Weiterhin bietet SBIG einen Spektrographen und eine Adaptive Optik als optionale Geräte an, die ebenfalls zusammen mit der ST-9E einsetzbar sind und an dieser Stelle nicht unerwähnt bleiben sollten. Für ein kompromissloses Arbeiten sind die Einsatzfelder der Kamera - bedingt durch die Pixelgröße von 20 μm x 20 μm - allerdings nur langbrennweitigen Teleskopen vorbehalten.

Ein wichtiges Kriterium bei einer Gesamtbetrachtung sind neben den produktspezifischen Eigenschaften auch die Unterstützung in technischen Fragen und der Service in Problemsituationen. Hier findet man mit der Fa. Baader Planetarium, der deutschen Generalvertretung für die SBIG-Produkte, einen kompetenten und zuverlässigen Partner. Das Preisniveau der ST-9E ist abhängig vom Dollarkurs und lag im September 2000 bei 10.890 DM. Unter der Prämisse, dass dieses System ausgereift ist, über einen integrierten Autoguidern verfügt, mehrere Softwarekomponenten Bestandteil des Gesamtpaketes sind, der Einsatz innovativer Zusatzgeräte aus dem Hause SBIG möglich wird, ist das Preis/Leistungs-Verhältnis zweifellos als gut zu bezeichnen.

Auf meiner Homepage <http://home.t-online.de/home/pbresseler> findet der Leser weitere technische Informationen zur ST-9E sowie Praxisberichte und weitere Bilddokumente zum Herunterladen. Für Rückfragen stehe ich unter der E-mail-Adresse pbresseler@t-online.de gerne zur Verfügung

Literaturhinweise

- [1] Santa Barbara Instrument Group Inc., <http://www.sbig.com>
- [2] Koch, B: Handbuch der Astrophotographie, Springer-Verlag 1995, S. 263.
- [3] Bresseler, P.: Deep Sky im Mondschein, VdS-Journal Herbst 1999, 90 [2/999].
- [4] Software Bisque, <http://www.bisque.com>
- [5] Riepe R, Binnewies St., Tomsik H.: Newton-Refraktor, CCD-Kamera und Interferenzfilter, VdS-Journal Sommer 1999, 102 [1/1999].
- [6] Fischer W.: Beugungstheoretische Auflösung, Interstellarum 9, 49 [4/1996].
- [7] Witt, V.: Bildverarbeitung durch digitale Überlagerung von Astro-Aufnahmen, SUW 39, 486 [6/2000].
- [8] Flach-Wilken, B.: Simalabim... Zauberstückchen für jedermann, VdS-Journal Winter 2000, 45 [2/2000].
- [9] Gombert, G.: Exploring the Near-Infrared Sky; CCD Astronomy 3, No. 3, 12 (Summer 1996).
- [10] Witt, V.: CCD-Beobachtungen im nahen Infrarot; SuW 37, 271 [3/998].