

Test der CCD-Kamera Starlight-Xpress MX7c-USB



Inhaltsverzeichnis

Test der CCD-Kamera Starlight-Xpress MX7c-USB	1
Inhaltsverzeichnis.....	1
Testbeschreibung	1
Inbetriebnahme.....	1
Biasbild	2
Dunkelbild.....	2
Flatfield und Himmelsaufnahmen	2
Auslesen des CCD:	2
Auslesen des CCD laut Datenblatt:	3
Auslesen beim Starlight MX7C Programm:	4
Auslesen beim Programm Astroart:	4
Farbsynthese:	7
Farbsynthese bei Starlight:	8
Farbsynthese bei Astroart:.....	8
Bildverarbeitung mit Astroart	9
Lichtempfindlichkeit der MX7C Kamera	9
Die wahren technischen Daten der MX7C:.....	10
Zusammenfassung.....	10
Ausblick und Nutzenanwendung	11
Anhang.....	11

Testbeschreibung

Die Kamera wurde uns freundlicherweise von Herrn Günther Eder (Sternwarte St. Sebastian) zur Verfügung gestellt. Der Test wurde einerseits in meinem Fotolabor durchgeführt, andererseits wurden auch Aufnahmen von realen Himmelsobjekten auf unserer Sternwarte in Harpoint angefertigt. Im Fotolabor wurden ganze Serien von Bias-, Flat- und Dunkelbildern in den verschiedenen Einstellungen hergestellt. Lediglich der PROGRESSIVE-Modus wurde bei den Tests ausgespart. Wir können bei diesem Auslesemodus keine sinnvolle Anwendung erkennen. Mit den hergestellten Testaufnahmen ist es möglich, die technischen Daten der Kamera weitgehend zu überprüfen. Erste Eindrücke:

Inbetriebnahme

Die Verkabelung mit USB-Anschluss ist klar und einfach. Nur das Netzteil mit dem DIN-Stecker wird sehr warm. Umständlich war hingegen die Installation der Software. USB-Driver und HEX-File mussten händisch in die Systemverzeichnisse von Windows kopiert werden. Ein sauberes SETUP-File wäre da schon recht hilfreich.

Biasbild

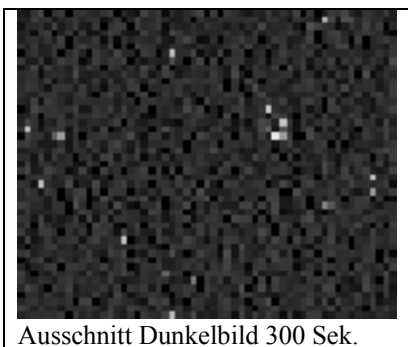


Ein Dunkelbild mit Belichtungszeit=0 ergibt das übliche Biasbild. Es zeigt einen gleichmäßigen Schwarzpegel, überlagert mit dem gesamten Ausleserauschen der Kamera. Eine hellere Bildecke wegen möglicher Elektroluminiszenz des Ausleseverstärkers ist nicht vorhanden. Bei einem Interlinetransfer-CCD sollte theoretisch auch ein Flatfieldbild mit Belichtungszeit=0 das gleiche Ergebnis liefern wie ein Dunkelbild mit Belichtungszeit=0. Bei der verglichen mit einer Videokamera jedoch langen Auslesezeit von ca. 3sec je Halbbild bei der MX7c ist ein Helligkeitsgradient in Ausleserichtung zu bemerken. Das ist nur mit einer nicht ausreichenden Abdeckung der Transferzeilen vor Lichteinfall zu erklären, oder mit anderen Worten: Der SONY ICX249AK ist als Camcorder-CCD eben

nicht für so lange Auslesezeiten gedacht. Eine Auswirkung dieses Effekts ist aber nur bei kurzen Belichtungszeiten und hellen Objekten (Mond, Planeten) zu erwarten.

Der Bias-Pegel liegt bei jeder Einstellung der Kamera bei etwa 3000 Counts. Das Rauschen ist nur bei den sogenannten 2x2-Binningmodi um den Faktor Wurzel aus 2 vermindert. Das ist ein signifikanter Hinweis auf die Mittelwertbildung aus 2 Pixeln.

Dunkelbild



Im Dunkelbild wird das fixed-pattern-noise, also das fix jedem einzelnen Pixel zugeordnete Rauschen auf Grund des stark temperaturabhängigen Dunkelstromes sichtbar. Der Bildhintergrund nimmt bei einem 300 Sekunden lang belichteten Dunkelbild nur um 15 bis 26 Elektronen zu, das ist ein recht guter Wert. Er kann sich leicht mit den Kodak CCD's der KAF Serie messen. Mit zunehmender Belichtungszeit entsteht ein „Wald“ von warmen und heißen Pixeln, auch das ist ähnlich wie bei KAF-CCD's. Die Kühlung ist offenbar ausreichend dimensioniert. Unter der Annahme, dass sich der Dunkelstrom bei 5°C weniger Chiptemperatur halbiert und der CCD bei 10°C 0,1 Elektronen/s Dunkelstrom liefert (Angabe laut Homepage), dann ergeben die Tests etwa 16° Temperaturdifferenz durch die Kühlung.

Flatfield und Himmelsaufnahmen

Im Fotolabor wurden die Flatfields mit Hilfe einer weißen Plastikfolie hergestellt, befestigt mit einem Gummiring. Zum Flatten der Himmelsaufnahmen wurde natürlich schon das Aufnahmegerät (C14) mit vorgesetzter Opalscheibe verwendet. Leider stand zum Testzeitpunkt (Juni 2002) kein heller Planet zur Verfügung. Wir benutzten die Mondsichel als Ersatzobjekt und haben noch M13, M27 und M57 aufgenommen.

Auslesen des CCD:

Es handelt sich beim verwendeten CCD vom Typ ICX249AK um einen für Camcorder vorgesehenen Video-CCD, der mit Interlinetransfer arbeitet. Dadurch kann einerseits auf einen mechanischen Verschluss verzichtet

werden, andererseits ist es durch geschickte Taktung des CCD möglich, nur einen Teil der Zeilen auszulesen, während andere Pixel weiterbelichtet werden. Zunächst wird geschildert, wie der CCD laut Datenblatt von SONY auszulesen ist.

Auslesen des CCD laut Datenblatt:

Nachfolgend abgebildet ist die physikalische Anordnung der über den Pixeln des CCD befindlichen Farbmatrix wie sie im Datenblatt dokumentiert ist. Es handelt sich dabei um einen Farb-CCD mit den subtraktiven Grundfarben CMYG, wie er heute wegen der breiteren Durchlasskurven dieser Farbfilter häufig verwendet wird. Die Ausleserichtung ist senkrecht.

Dabei gilt: C=cyan, M=magenta, Y=yellow, G=grün

C	Y	C	Y	C	Y	...	Zeile 1
G	M	G	M	G	M	...	Zeile 2
C	Y	C	Y	C	Y	...	Zeile 3
M	G	M	G	M	G	...	Zeile 4
C	Y	C	Y	C	Y	...	Zeile 5
G	M	G	M	G	M	...	Zeile 6
C	Y	C	Y	C	Y	...	Zeile 7
M	G	M	G	M	G	...	Zeile 8

Es ist nun im PAL Videoformat jede 1/50sec 1 Halbbild auszulesen. 2 hintereinander in 1/25sec ausgelesene Halbbilder sind um eine Zeile versetzt (Zeilensprungverfahren) und sollen sich zu einem Vollbild ergänzen. Das erste Halbbild besteht aus folgenden Zeilen (A-Feld bzw. odd-lines lt. Datenblatt):

C+G	Y+M	C+G	Y+M	C+G	Y+M	Zeile 1+2
C+M	Y+G	C+M	Y+G	C+M	Y+G	Zeile 3+4
C+G	Y+M	C+G	Y+M	C+G	Y+M	Zeile 5+6
C+M	Y+G	C+M	Y+G	C+M	Y+G	Zeile 7+8

Man sieht, dass dabei ein Binning von je 2 Zeilen vorgenommen wird. Bei Hardware-Binning (Auslesen der Pixelsumme) sollten bestimmte Rauschanteile dabei um den Faktor Wurzel aus 2 zurückgehen und der Auslesevorgang um den Faktor 2 beschleunigt werden. Durch die Summierung von je 2 Farben geht die Farbinformation keineswegs verloren. Wie werden später sehen, dass diese Farbsummen für die Umrechnung von Cyan/Magenta/Gelb in Rot/Blau/Grün sogar benötigt werden.

das zweite Halbbild besteht aus den Zeilen dazwischen (B-Feld bzw. even-lines lt. Datenblatt):

G+C	M+Y	G+C	M+Y	G+C	M+Y	Zeile 2+3
M+C	G+Y	M+C	G+Y	M+C	G+Y	Zeile 4+5
G+C	M+Y	G+C	M+Y	G+C	M+Y	Zeile 6+7
M+C	G+Y	M+C	G+Y	M+C	G+Y	Zeile 8+9

Bei beiden hintereinander belichteten und hintereinander ausgelesenen Halbbildern wird normalerweise in Videoanwendungen getrennt für jedes Halbbild eine Farbsynthese mit Farbdifferenzsignalen durchgeführt, um ein Farbvideosignal zu generieren, wofür der CCD letztendlich konstruiert worden ist:

Aus dem sogenannten YUV-Farbsignal (Y=Luminanz, U und V sind die Farbdifferenzsignale Y-Rot und Y-Blau) wird dann letztlich das PAL-FBAS-Videosignal generiert, wie wir es aus der Fernsehtechnik kennen. Darauf wird hier nicht weiter eingegangen, details sind dem SONY-Datenblatt zu entnehmen. Nur eines sei noch vermerkt: Die Kombination der beiden Halbbilder zu einem Vollbild macht beim Video erst das Auge des Zusehers vor dem Fernsehschirm (Zeilensprungverfahren aus der Fernsehtechnik).

Auslesen beim Starlight MX7C Programm:

Getestet wurde zunächst das Programm von Terry Platt welches die MX7C-Kamera über den USB-Bus bedient. Es wird mit der Kamera mitgeliefert. Der Bedienkomfort ist bei diesem Produkt leider sehr bescheiden und mehr als eineinhalb Jahre nach der Markteinführung der Kamera warten die Benutzer immer noch auf eine Erweiterung der Software, um wenigstens die Aufnahmen selbst ordentlich machen zu können. Das aufgenommene Bild lässt sich nicht vergrößern um es genau zu analysieren. Es wird in schwarz-weiss dargestellt, ist aber mit dem schachbrettartigen Muster der Farbmatrixinformation überlagert (nachfolgend genauer beschrieben). Die einzelnen Farbauszüge (Rotbild, Grünbild, Blaubild) bleiben dem Betrachter verborgen. Fits-Format kann zwar abgespeichert, aber nicht mehr geladen werden. Dafür kann diese Software wenigstens den CCD richtig auslesen.

Betrachten wir zunächst den HIRES INTERLACED Modus. Die Kamera macht dabei 2 Belichtungen hintereinander. Nach jeder Einzelbelichtung folgt ein Auslesevorgang und nach dem zweiten Auslesevorgang erscheint ein Bild am Bildschirm. Dieses schwarz-weiss dargestellte Bild zeigt ein Farbraster in dem jeweils 2 untereinander befindliche Zeilen dieselbe Rasterstruktur aufweisen. Alle 4 Zeilen wiederholt sich das Muster. Vermutlich handelt es sich hier nicht um die Abbildung der CMYG-Matrix sondern um die Matrix der Halbbilder mit den Farbsummen. Beide Halbbilder sind ineinander verschachtelt zu einem einzelnen Voll-Bild zusammengefügt:

C+G	Y+M	C+G	Y+M	C+G	Y+M	Zeile 1+2	1. Auslesevorgang
G+C	M+Y	G+C	M+Y	G+C	M+Y	Zeile 2+3	2. Auslesevorgang
C+M	Y+G	C+M	Y+G	C+M	C+G	Zeile 3+4	1. Auslesevorgang
M+C	G+Y	M+C	G+Y	M+C	G+Y	Zeile 4+5	2. Auslesevorgang
C+G	Y+M	C+G	Y+M	C+G	Y+M	Zeile 5+6	1. Auslesevorgang
G+C	M+Y	G+C	M+Y	G+C	M+Y	Zeile 6+7	2. Auslesevorgang
C+M	Y+G	C+M	Y+G	C+M	C+G	Zeile 7+8	1. Auslesevorgang
M+C	G+Y	M+C	G+Y	M+C	G+Y	Zeile 8+9	2. Auslesevorgang

Man sieht: geometrisch richtig angeordnet liegen jedoch je 2 Zeilen mit gleicher Farbinformation jetzt untereinander, die Farbauflösung wird also durch das interlacing nicht höher. Auch wurde hier zweimal der gesamte CCD ausgelesen, ohne irgend welche Zeilen dazwischen auszulassen. Die Gesamtbelichtungszeit entspricht also der Summe der beiden Teilbelichtungen. Das zeigt auch der Pegel unserer Test-Flatfields. Jeder einzelne Auslesevorgang dauert ca. 3sec, beide zusammen also 6sec.

Beim FAST Modus wird hingegen nur eines der beiden Halbbilder verwendet und mit 3sec Dauer ausgelesen. Um das Bild mit dem richtigen Seitenverhältnis darzustellen, wird es (im Gegensatz zu Astroart) in Ausleserichtung (senkrecht) um den Faktor 2 gedehnt.

C+G	Y+M	C+G	Y+M	C+G	Y+M	Zeile 1+2
C+G	Y+M	C+G	Y+M	C+G	Y+M	Zeile 1+2
C+M	Y+G	C+M	Y+G	C+M	C+G	Zeile 3+4
C+M	Y+G	C+M	Y+G	C+M	C+G	Zeile 3+4
C+G	Y+M	C+G	Y+M	C+G	Y+M	Zeile 5+6
C+G	Y+M	C+G	Y+M	C+G	Y+M	Zeile 5+6
C+M	Y+G	C+M	Y+G	C+M	C+G	Zeile 7+8
C+M	Y+G	C+M	Y+G	C+M	C+G	Zeile 7+8

Der SELFGUIDE Modus:

Wurde nur im Programm Astroart untersucht.

Auslesen beim Programm Astroart:

Astroart, ein italienisches Produkt mit ausgereifter Bedienoberfläche bietet ein Plugin zur Steuerung von Starlight-Xpress Kameras an. Wir haben es nur mit der Einstellung MX7CUSB getestet. Bei der Initialisierung der Kamera findet man auch eine Umschaltmöglichkeit der Auflösung zwischen 16Bit, 14Bit und 12Bit. Wer jedoch glaubt, dass mit der Verminderung der Auflösung auch eine Beschleunigung der Auslesezeit eintritt, wird leider enttäuscht. Die Verminderung der Auflösung ist bei dieser Kamera reiner Unfug. Belichtungszeiten unter

0,01 Sekunden können zwar eingestellt werden, die Kamera kann trotzdem nicht schneller belichten. Ein Bug von Astroart soll nicht unerwähnt bleiben (aufgetreten unter Windows XP): Wenn schon einige Fenster offen sind, dann wird das Bild oft nicht mehr dargestellt. Es erscheint ein graues leeres Fenster. Wird das Bild abgespeichert, die Fenster geschlossen und das Bild dann wieder geladen, dann ist es auch wieder sichtbar. Zunächst hat dieser Fehler uns nicht sonderlich gestört. Wenn man später beim Rückzentrieren von Aufnahmen nach der 10. Aufnahme das 11. Bild nicht mehr sieht, muss konsequenterweise der Vorgang abgebrochen werden. Das ist dann schon sehr ärgerlich.

Betrachten wir zunächst den HIRES INTERLACED Modus. Auch hier haben wir 2 Belichtungen mit anschließendem Auslesen von je 3 Sekunden Dauer. Das danach dargestellte schwarz-weiss Bild zeigt jedoch ein ganz anderes Farbraster, obwohl sich das Muster alle 4 Zeilen wiederholt. Es könnte sich um die CMYG-Matrix handeln, wie sie am CCD-Chip sitzt. Das kann man bei Aufnahmen entsprechender Farbflächen vermuten. Allerdings sind die Signalpegel nur in etwa halb so hoch wie jene im hires interlaced Modus beim Original-Starlight Programm. Der Rauschpegel ist hingegen unvermindert. Wahrscheinlich wird hier beim Auslesen irgend etwas falsch gemacht und dem armen Amateurastronomen draussen am Feld in eiskalter Nacht die halbe Teleskopzeit gestohlen (man kann es wohl kaum deutlicher sagen, ein echter Pfusch).

Der HIRES FAST Modus funktioniert hingegen richtig, genauso wie beim Starlight-Programm. Es handelt sich also um ein 2x1-Binzing (zeilenweise), welches wieder die bekannte Farbsummenmatrix liefert. Nur mit dem einen Unterschied, dass durch die im Gegensatz zur Starlight-Software fehlende Zeilenverdoppelung das Bild zu einem Breitformat verzerrt wird. Die Rasterstruktur wiederholt sich deutlich sichtbar alle 2 Zeilen.

C+G	Y+M	C+G	Y+M	C+G	Y+M	Zeile 1+2
C+M	Y+G	C+M	Y+G	C+M	C+G	Zeile 3+4
C+G	Y+M	C+G	Y+M	C+G	Y+M	Zeile 5+6
C+M	Y+G	C+M	Y+G	C+M	C+G	Zeile 7+8

Im 2x2 BINNING Modus (Farbe) wird das richtige Seitenverhältnis durch Spaltenbinning aus der obigen Farbsummenmatrix wieder hergestellt. Um die Farbinformation zu erhalten, können nur ungerade bzw. nur gerade Spalten untereinander summiert werden. Wie bei reinem Softwarebinning zu erwarten vermindert sich das Rauschen gegenüber dem HIRES FAST-Modus um den Faktor Wurzel aus 2 und die Auslesezeit verkürzt sich eben nicht. Sie bleibt bei 3 Sekunden.

Spalte 1+3	Spalte 2+4	Spalte 5+7	Spalte 6+8	Spalte 9+11	Spalte 10+12	
C+G	Y+M	C+G	Y+M	C+G	Y+M	Zeile 1+2
C+M	Y+G	C+M	Y+G	C+M	C+G	Zeile 3+4
C+G	Y+M	C+G	Y+M	C+G	Y+M	Zeile 5+6
C+M	Y+G	C+M	Y+G	C+M	C+G	Zeile 7+8

2x2BW BINNING Modus

Hier braucht auf die Erhaltung der Farbmatrix keine Rücksicht genommen werden und das Binning wird wie bei einer Schwarzweiss-Kamera durchgeführt. Auch hier leider nicht 1,5 Sekunden Auslesezeit sondern nur 3 Sekunden. Das Rauschen ist leider auch nicht um den Faktor 2, sondern nur um Faktor Wurzel aus 2 vermindert!

Spalte 1+2	Spalte 3+4	Spalte 5+6	Spalte 7+8	Spalte 9+10	Spalte 11+12	
C+G+	Y+M+	C+G+	Y+M+	C+G+	Y+M+	Zeile 1+2
Y+M	C+G	Y+M	C+G	Y+M	C+G	
C+M+	Y+G+	C+M+	Y+G+	C+M+	Y+G+	Zeile 3+4
Y+G	C+M	Y+G	C+M	Y+G	C+M	
C+G+	Y+M+	C+G+	Y+M+	C+G+	Y+M+	Zeile 5+6
Y+M	C+G	Y+M	C+G	Y+M	C+G	
C+M+	Y+G+	C+M+	Y+G+	C+M+	Y+G+	Zeile 7+8
Y+G	C+M	Y+G	C+M	Y+G	C+M	

HIRES SELFGUIDE Modus

Eine ganz nette Anwendung für jene, die an ihrem Teleskop weder ein Leitrohr noch einen Off-Axis Ansatz zur genauen Nachführung während einer laufenden Belichtung besitzen und trotzdem lang belichten wollen. Freilich ist das nur eine Notlösung, da ja nur jede zweite CCD-Zeile und somit nur das halbe einfallende Licht für die Aufnahme zur Verfügung steht, aber Not macht bekanntlich erfinderisch. Dafür kann man fast jeden Stern am CCD als Leitstern auswählen. Bei Astroart bekommt man entweder eine Art von „Fadenkreuzokulareinblick“ zur manuellen Nachführung in einem Fenster am Bildschirm dargestellt, oder man kann mit dem STAR2000-Hardwarezusatz auch automatisch nachführen (LX200 oder ST4 Anschluss). Die Original Starlight-Software kann nur mit STAR2000 zusammenarbeiten. Warum der STAR2000 Zusatz für ein Teleskop mit serieller LX200-Schnittstelle überhaupt notwendig ist, kann nicht ganz nachvollzogen werden. Manche Anwender bezeichnen das Ding im Internet daher als „Dongle“. Ein weiterer Nachteil des SELFGUIDE-Modus ist die Elektrolumineszenz des Ausleseverstärkers, der ja jetzt während der Belichtung nicht ausgeschaltet werden kann. Die aus ST4-Zeiten bekannte und damals so genannte „heiße Ecke“ ist im Bild wieder sichtbar. Vermutlich läuft der Auslesevorgang im Selfguide-Modus folgendermaßen ab: Es werden von der Himmelsaufnahme eine gerade Anzahl (mindestens 2) Teilbelichtungen gemacht. Die erste Teilbelichtung nur von den ungeraden Zeilen, die zweite Teilbelichtung nur von den geraden Zeilen. Danach werden beide Teilbelichtungen zu einem Vollbild zusammengesetzt.

Für die Himmelsaufnahme sieht das folgendermaßen aus

C	Y	C	Y	C	Y	Zeile 1	1. Auslesevorgang
G	M	G	M	G	M	Zeile 2	2. Auslesevorgang
C	Y	C	Y	C	Y	Zeile 3	1. Auslesevorgang
M	G	M	G	M	G	Zeile 4	2. Auslesevorgang
C	Y	C	Y	C	Y	Zeile 5	1. Auslesevorgang
G	M	G	M	G	M	Zeile 6	2. Auslesevorgang
C	Y	C	Y	C	Y	Zeile 7	1. Auslesevorgang
M	G	M	G	M	G	Zeile 8	2. Auslesevorgang

Für das während der ersten Teilbelichtung der Himmelsaufnahme ablaufende Nachführen werden laufend folgende Zeilen ausgelesen:

G	M	G	M	G	M	Zeile 2	Guiding-Bild
M	G	M	G	M	G	Zeile 4	Guiding-Bild
G	M	G	M	G	M	Zeile 6	Guiding-Bild
M	G	M	G	M	G	Zeile 8	Guiding-Bild

Für das während der zweiten Teilbelichtung der Himmelsaufnahme ablaufende Nachführen werden laufend folgende Zeilen ausgelesen:

C	Y	C	Y	C	Y	Zeile 1	Guiding-Bild
C	Y	C	Y	C	Y	Zeile 3	Guiding-Bild
C	Y	C	Y	C	Y	Zeile 5	Guiding-Bild
C	Y	C	Y	C	Y	Zeile 7	Guiding-Bild

Eine nähere Untersuchung des Selfguide-Modus wurde nicht durchgeführt. Wir haben bei unseren Testaufnahmen auf ein Guiding während der Aufnahme verzichtet und lieber kürzer belichtet. Im nachhinein wurden die Einzelaufnahmen rückzentriert und addiert. Dabei können Einzelaufnahmen mit sichtbaren Nachführproblemen ausgeschieden werden.

Farbsynthese:

Was bei jeder Videokamera und Webcam ganz selbstverständlich funktioniert, nämlich die Herstellung eines Farbbildes ist hier gar nicht so einfach. Ein Problem dabei ist auch die Wirkung des Antiblooming. Bei hellen Lichtquellen (Sternen) „rinnen“ die Pixel zwar nicht aus, stattdessen kommt es zu einer Abflachung der Gradationskurve bei höheren Pixelpegeln, der lineare Zusammenhang zwischen Belichtung und Pixelpegel geht verloren. Bei schwarz-weiß Aufnahmen wäre das ja egal, solange ich nicht photometrieren will, bei Farbaufnahmen werden die Farben jedoch völlig verfälscht und es entstehen Farbränder und Farbflecken. Das Problem tritt bei hellen Objekten wie z.B. beim Mond auf.

Kehren wir jetzt zur Frage zurück, wie das Farbbild bei der MX7C-Kamera entsteht. Zunächst sei hier einmal die Theorie erläutert, dann wollen wir auf die Handhabung der Farbsynthese bei den beiden getesteten Programmen eingehen.

Die Farbsynthese laut SONY-Datenblatt wurde schon kurz vorgestellt. Hier brauchen wir an Stelle der Farbdifferenzsignale drei Farbauszüge in den additiven Grundfarben Rot/Grün/Blau. Betrachten wir wieder die CMYG-Farbfilmatrix wie sie vor den Pixeln des CCD angeordnet ist.

Farbmatrix: mit C=cyan, M=magenta, Y=yellow, G=grün, R=rot, B=blau (Ausleserichtung hier senkrecht)

C	Y	C	Y	C	Y	Zeile 1
G	M	G	M	G	M	Zeile 2
C	Y	C	Y	C	Y	Zeile 3
M	G	M	G	M	G	Zeile 4
C	Y	C	Y	C	Y	Zeile 5
G	M	G	M	G	M	Zeile 6
C	Y	C	Y	C	Y	Zeile 7
M	G	M	G	M	G	Zeile 8

Durch Zeilenweises Binning erhält man folgende Farbsummen:

C+G	Y+M	C+G	Y+M	C+G	Y+M	Zeile 1+2
C+M	Y+G	C+M	Y+G	C+M	C+G	Zeile 3+4
C+G	Y+M	C+G	Y+M	C+G	Y+M	Zeile 5+6
C+M	Y+G	C+M	Y+G	C+M	C+G	Zeile 7+8

mit den Formeln $Y=R+G$, $C=B+G$, $M=R+B$ erhält man:

2G+B	2R+G+B	2G+B	2R+G+B	2G+B	2R+G+B
R+G+2B	R+2G	R+G+2B	R+2G	R+G+2B	R+2G
2G+B	2R+G+B	2G+B	2R+G+B	2G+B	2R+G+B
R+G+2B	R+2G	R+G+2B	R+2G	R+G+2B	R+2G

Spaltenweises Binning liefert daraus ein Helligkeitssignal ($L=Luminosity$) da

$$(2G+B)+(2R+G+B)=2R+3G+2B=C+G+Y+M=L$$

$$(R+G+2B)+(R+2G)=2R+3G+2B=C+M+Y+G=L$$

Zur Berechnung der Farbwerte von R,B,G zu jedem Pixel des zeilenweise gebinnnten Bildes interpoliert man die waagrechten und senkrechten Nachbarpixel. Beispielsweise zu einem Pixel $Y+M=2R+G+B$:

	R+2G	
2G+B	2R+G+B	2G+B
	R+2G	

mit den Pixelpegeln:

	a	
b	c	d
	e	

ergibt sich

$$(b+d)/2=2G+B$$

$$(a+e)/2=2G+R$$

$$c=2R+G+B$$

daraus lassen sich die Werte R,G,B für rot, grün und blau für das mittlere Pixel berechnen, obwohl das Pixel selbst ja nur die Summenfarbinformation $Y+M=2R+G+B$ hat.

Schlussfolgerung: Durch den Interpolationsvorgang bei der RGB-Umrechnung wird die Farbauflösung weiter verkleinert, und zwar unter den eigentlich zu erwartenden Wert des 2x2-Binring. In Ausleserichtung (senkrecht) wird sogar zur Berechnung der Farbe eines einzelnen Pixel die Information aus insgesamt 6 untereinander stehenden Pixel herangezogen. Das ist der Nachteil bei der Verwendung einer Farbmatrix mit den subtraktiven Grundfarben CMY+G an Stelle der Bayer-Mosaik Farbmatrix mit den Grundfarben RB+2G.

Der Vorteil der CMYG-Farbmatrix liegt in den breiteren Filterkurven der subtraktiven Farben CMY und somit einer höheren Lichtempfindlichkeit des CCD.

Farbsynthese bei Starlight:

Die Farbsynthese im Programm von Terry Platt liefert leider nur ein fertiges Farbbild mit 3x8-Bit Farbauflösung. Da man nicht einmal die drei Farbauszüge Rot/Grün/Blau als einzelne Fits-Bilder herausbekommt, haben wir das Programm gar nicht weiter ausgetestet. Selbst die auf der Starlight-homepage als Referenz abgebildeten Farbaufnahmen von M57 und von M27 zeigen nicht die richtigen Farben. M27 ist doch nicht knallrot oder lila sondern in der Mitte eher dezent grün, und zu dem Bild von M57 wollen wir lieber gar nichts sagen.

Farbsynthese bei Astroart:

Astroart schafft es schon Farbauszüge in den Farben Rot/Grün/Blau zu erstellen und diese sowohl als 16-Bit Fits als auch JPEG-Files abzuspeichern. Damit steht dem Anwender die Möglichkeit zu einer Weiterverarbeitung der Farbbilder offen. Allerdings sind die Farbkanäle Grün und Blau offenbar vertauscht. Wir haben das bei einer Aufnahme vom Mond bemerkt, der plötzlich lila war, und zwar nicht nur in den durch das Antiblooming gesättigten Regionen sondern auch am Terminator, wo sicher keine Überbelichtung vorlag. Wenn man hingegen das File G_Mond.fit umbenennt in B_Mond.fit und umgekehrt, dann wird der Mond danach schön gelblich, wie es ja sein soll. Auch unsere Aufnahmen von M57 und M27 haben erst nach vertauschen der Farbkanäle endlich jene Farben erhalten, die wir von den VLT- und Subaru-Aufnahmen kannten.



Die Zusammensetzung der drei Farbauszüge zu einem Farbbild z.B. im JPEG-Format funktioniert auch in Astroart, ist aber nicht zu empfehlen, weil die Farben irgendwie verwischt werden. Am besten man verwendet dazu Photoshop, bei diesem wirklich professionellen Softwareprodukt bleibt die Schärfe der Farbauszüge erhalten.



Bildverarbeitung mit Astroart

Die Preprocessing-Funktionen von Astroart mit Dunkelbildern und Flatfieldbildern funktionieren zwar im Prinzip irgendwie und sind auch leicht bedienbar, nur das Rückzentrieren war aus einem bereits erwähnten Grund recht mühsam. Das Summenbild einer Bildserie wird jedoch leider wieder nur im 16Bit-Integerformat abgelegt anstatt im 32Bit Float Fitsformat. Damit ist Astroart für ernsthafte Anwender eigentlich schon wieder uninteressant.

Lichtempfindlichkeit der MX7C Kamera

Wer bis jetzt glaubt, dass die Lichtempfindlichkeit seiner CCD-Kamera nur durch den Wert der Quanteneffizienz bestimmt wird, der sei hier eines besseren belehrt. Auch so manche Hersteller von CCD-Kameras wollen einem das ja gerne einreden. Im Datenblatt des ICX249AK CCD bei SONY gibt es jedoch gar keine Angabe zur Quanteneffizienz, und auch im „CCD selection guide“ ist zwar die „Exview“ und „HAD“ Technologie erläutert, statt einer genauen Angabe der Quanteneffizienz findet man nur „40% mehr“ gegenüber „herkömmlicher Technologie“. Hat da SONY bescheidenerweise „vergessen“ die so hervorragende Quanteneffizienz in der Produktbeschreibung anzugeben? Jeder Kaufmann lobt doch seine Ware. Auf der Internetseite von Starlight Xpress allerdings ist stolz von „70%“ die Rede. Weiter unten sind es dann auf einmal nur mehr „65% peak“.

Bei diesen tollen Werten haben sich MX7C-Anwender in einem einschlägigen Forum ernsthaft darüber unterhalten, ob man diesen technologischen Durchbruch nicht gleich mit den „backside illuminated CCD“ von SITE vergleichen kann. Diese Kollegen werden wir jetzt bald auf den Boden der Realität zurückholen.

Und was nützt die höchste Quanteneffizienz, wenn die generierten Elektronen danach hilflos im Rauschen des Verstärkers untergehen. Um zweifelsfrei festzustellen was eine Kamera wirklich kann, hilft nur ein beinhardter **Praxistest**.

Wir haben daher zwei Kameras gegeneinander in einem Vergleich antreten lassen:

- In der rechten Ecke der Champion:
Unsere „CCD-Kamera 2“ mit Astronomic-Profi IR-Filter im Fokus des 50cm-RC-Teleskops bei einem Öffnungsverhältnis von 1:8, Aufnahmemodus ungebinnt
- In der linken Ecke der (zugegeben chancenlose) Herausforderer:
Starlight-Xpress MX7C mit Astronomic-Profi IR-Filter und einer Shapley-linse montiert am C14 bei einem Öffnungsverhältnis von 1:6. Aufnahmemodus 2x2BW

Mit beiden Teleskopen wurde simultan M13 eingestellt. Beide Kameras haben gleichzeitig je 10 Aufnahmen mit je 30 Sekunden Belichtungszeit gemacht. Die 10 Einzelaufnahmen wurden anschließend mit Astroart rückzentriert und zu einem Bild addiert. In diesem Bild wurde nun ein mittelheller Stern photometriert (natürlich bei beiden Kameras der gleiche) und weiters einer der schwächsten Sterne vermessen, der auf der jeweiligen Aufnahme zu sehen ist. Nun das Ergebnis:

Das mit der „CCD-Kamera 2“ aufgenommene Bild zeigt eine 24 mal (in Worten vierundzwanzigmal) höhere Lichtempfindlichkeit, aber noch ist der Vergleich nicht ganz fair. Wir müssen noch den Unterschied in der Teleskopöffnung berücksichtigen und daher mit $(50/35.5)^2 = 2$ dividieren.

Die MX7C ist also 12 mal lichtschwächer als unsere „CCD-Kamera 2“, das entspricht etwa 2,7 Magnitudes weniger.

Die wahren technischen Daten der MX7C:

Sie konnten aus den Labor-Testaufnahmen ermittelt werden. Grundlagen dazu findet man im CCD-Buch von Christian Buil. Alle Messungen wurden bei einer Umgebungstemperatur von ca. 21°C durchgeführt.

Aufnahmemodus	Ausleserauschen (Elektronen)	Dunkelstrom (Elektronen /s)	Auflösung (Elektronen /ADU)
Binning 2x2 (Aufgenommen mit Astroart)	16	0,074	0,53
Hires interlaced (Aufgenommen mit Starlight)	25	0,051	0,60

Der unterschiedliche Wert bei der Auflösung (Elektronen/ADU) ist auf die Streuung der Messwerte zurückzuführen!

Aus dem Vergleichstest mit M13 und den ermittelten Daten kann man die tatsächliche Quanteneffizienz ganz grob abschätzen. Sie dürfte einschließlich der Farbfiltermatrix des CCD im sichtbaren Spektralbereich im Durchschnitt nicht über 20% liegen.

Zum Schluss können wir noch einen Trostpreis vergeben. Wenigstens die Verstärkung und somit die Auflösung des ADC (Wert der Elektronen/ADU) übertrifft unsere „CCD-Kamera 2“.

Zusammenfassung

Die Hardware der Kamera kann durchaus als gelungen bezeichnet werden. Die Kamera ist klein, leicht und hat trotz Kühlung ohne Lüfter nur einen geringen Dunkelstrom. Die USB-Anbindung erlaubt eine für 16Bit akzeptable Auslesezeit. Die geringe Lichtempfindlichkeit im Vergleich mit unserer „CCD-Kamera 2“ ist in Relation zum Preis der Kamera doch noch akzeptabel. Schließlich erhält man dafür später auch ein farbiges Bild und der Konstrukteur hat sich sichtlich bemüht alles herauszuholen was mit diesem CCD möglich ist.

Trotzdem haben wir derzeit vom Erwerb der Kamera Abstand genommen. Die Software ist leider zu schlecht. Zu den bereits aufgezählten Nachteilen kommt noch dazu, dass sich die Installation nicht mit anderen USB-Geräten verträgt. So hat die MX7C-Kamera nach der Installation einer Webcam nicht mehr funktioniert. Erst nach der mühsamen Deinstallation der Webcam und der Neuinstallation des USB-Drivers von Starlight konnte die MX7C wieder in Funktion gesetzt werden.

Testurteil: Gesamtnote=**Genügend**

Ausblick und Nutzenanwendung

Wer auf eine kleine und leichte Kamera Wert legt, die sowohl Planeten als auch Deep-Sky Objekte farbig abbilden kann, der hat mit der MX7C das Richtige gefunden. Die Bequemlichkeit nur eine Kamera verwenden zu können hat jedoch seinen Preis:

- Geringe Empfindlichkeit und geringe Farbauflösung für Deep-Sky Aufnahmen
- Geringe Bildfolge bei Planetenaufnahmen im Vergleich zu Webcams und Video

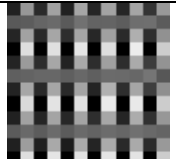
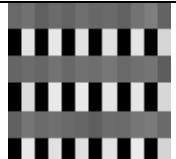
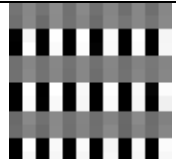
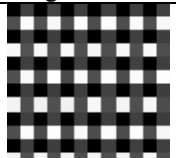
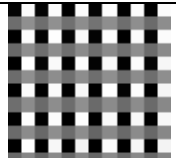

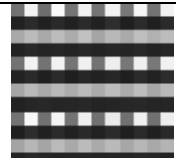
Die Farbfotographie mit Filterrad, bei der die Farbauszüge hintereinander mit einer empfindlicheren Schwarz/Weiss-Kamera gemacht werden, ist bei Deep-Sky Anwendungen deutlich überlegen. Die LRGB-Farbauszüge haben keine geringere Auflösung und das Luminanzbild (L) kann ohne Abschwächung des einfallenden Lichtes durch Farbfilter erstellt werden.

Bei Planetenaufnahmen müssen in jedem Fall viele Einzelaufnahmen gemacht werden um die Luftunruhe in den Griff zu bekommen. Mag sein, dass die im Vergleich zur Webcam höhere Empfindlichkeit, die höhere Auflösung von 16 Bit gegenüber den 8 Bit der Webcam und auch das wesentlich höhere Rauschen der Webcam den Nachteil der geringeren Bildfolge wieder aufhebt. Die Chance bei Planetenaufnahmen die Luftunruhe zu überlisten und aus einer Vielzahl von Aufnahmen doch die wenigen scharfen Exemplare herauspicken zu können, ist bei 15 oder 25 Bildern pro Sekunde doch wesentlich größer als bei einem Bild alle 3 Sekunden. Selbst gewöhnliche Digitalkameras haben heutzutage bereits eine deutlich schnellere Bildfolge als 3 Sekunden.

Bleibt noch die Möglichkeit, kurze Brennweiten (Kleinbildobjektive und auch C/CS-Mount Objektive) mit der MX7C verwenden zu können. Ein Anwendungsfall wären hier z.B. helle Kometen mit langem Schweif. In dieses Segment ist die gewöhnliche Digitalkamera aber auch schon vorgedrungen, wie Aufnahmen vom Kometen Ikeya-Zhang zeigen.

Anhang

Farbmatrixmuster der ausgelesenen Rohbilder beider Programme, entsprechend der verschiedenen Auslesearten. Interpretation siehe Text. Dargestellt sind vergrößerte Ausschnitte von Flatfeldaufnahmen, aufgenommen mit Infrarotabschneidefilter.

			Nicht getestet
StarlightMx7usb Progressive	StarlightMx7usb Fast	StarlightMx7usb Interlaced	StarlightMx7usb Guidemode
			
Astroart Progressive Interlaced	Astroart 2x2 Binning und Hires Fast	Astroart Hires Interlaced	Astroart Hires Selfguide