

# Astrofotografie mit DSLR-Kameras

Beigesteuert von Werner Roßnagel  
04.12.2005

Digitale Kameras erobern zunehmend den Markt und verdrängen die analoge (chemische) Fotografie fast voll-ständig. Nur in einigen Nischen und im professionellen Bereich behauptet die Filmfotografie noch ihre Stellung, ist aber auch da bereits im Rückzug begriffen. Es gibt praktisch keine Neuentwicklungen im analogen Bereich sowohl bei Kameras als auch bei Filmen. In der Zwischenzeit sind alle astronomisch interessanten Farbnegativfilme aus dem Verkehr gezogen oder durch H $\alpha$ -blinde Nachfolger ersetzt. Nur noch bei SW- und Farbdiafilmen gibt es H $\alpha$ -taugliches, allerdings wird bereits gemunkelt, dass der beliebte E200-Diafilm ebenfalls eingestellt werden soll. Was bleibt dann noch übrig?

Es wird langsam Zeit für den Astrofotografen, sich nach den Alternativen im digitalen Bereich umzuschauen. Hier gibt es natürlich schon seit einiger Zeit die CCD-Astro-kameras von SBIG und anderen Herstellern. Hervorragend geeignet für alle Aspekte der Astronomie, aber bei großen Chips immer noch unerschwinglich teuer und nur mit PCs oder Laptops zu bedienen. Farbfotografien sind mit RGB-Filtern möglich, aber aufwändig und zeit-rau-bend. Die Domäne der CCD-Astrokameras sind die Grenzbereiche der Empfindlich-keit, Aufnahmen mit Schmalbandfiltern, Aufnahmen mit messtechnischer Ver-arbeitung z.B. bei der Beobachtung von Veränderlichen.

Seit einiger Zeit sind jetzt digitale Spiegelreflexkame-ras auf dem Markt, auch DSLR-Kameras genannt (DSLR = Digital Single Lens Reflex), die auch zur Astro-to-gra-fie einge-setzt werden können. Zu Preisen, die nicht billig, aber doch für den Astroama-teur erschwinglich sind. Die DSLR-Kamera hat den Vorteil, dass sie ohne Objektiv di-rekt am Teleskop einge-setzt werden kann. Daraus ergibt sich allerdings auch ihr schwerwiegendster Nachteil: die potentielle Verschmut-zung des Sensors bzw. der Filter-scheibe davor. Insbeson-dere bei langbrennweitigen Ob-jecktiven bzw. kleinen Öff-nungsverhältnissen ist das ein fast unlösbares Problem, dem man nur mit peinlichster Sauberkeit, komplizierten Reinigungsprozeduren oder zur Not und in gewissem Umfang mit Flatfield-Bildern bei-kommt.

Aus diesem Grund kamen zunächst nur hermetisch ge-schlossene Kompaktkameras mit festen Objektiven, in der Regel mit 3-fach-Zooms auf den Markt. Auch hiermit ex-perimentierten Astrofotografen, allerdings waren nur Himmelsaufnahmen mit den eingebauten Objektiven oder Aufnahmen durch das Okular möglich. Bis zu 20 Linsen im Strahlengang begrenzten die Einsatzmöglichkeiten. Trotzdem gab es beachtenswerte Aufnahmen von Sonne, Mond und Planeten. Insbesondere für Planetenaufnahmen sind sie immer noch im Einsatz, aber weitgehend abgelöst durch billige Webcams, die Aufaddierung und Mittelung von tausend und mehr Bildern erlauben.

In der Zwischenzeit haben alle großen Kameraherstel-ler auch DSLR-Kameras im Programm. Der Vorteil: grö-ßere Chips gegenüber Kompaktkameras, dadurch höhere Empfindlichkeit, Normalobjektive der entsprechenden KB-Kameras sind verwendbar. Die Standardchipgröße entspricht etwa dem APS-Format, das ergibt mit dem KB-Objektiv eine Bildverkleinerung bzw. eine effektive Brennweitenverlängerung um den Faktor 1,5-1,6. Profes-sio-nelle DSLR-Kameras (z.B. Canon EOS 5D) arbeiten be-reits mit Vollformatchips, d.h. Chips im KB-Format. Ob dieses Format sich weiter verbreitet oder nur im Pro-fibe-reich angesiedelt bleiben wird, ist im Moment noch offen. Darüber wird wohl der Markt entscheiden.

Wie gut eignen sich nun diese neuen DSLR-Kameras für die Astrofotografie?Empfindlichkeit und Rauschen

Die meisten der neuen DSLRs sind mit CMOS-Senso-ren ausgerüstet. CMOS-Sensoren wird eine geringere Quanteneffizienz oder stärkeres Rauschen gegenüber CCDs nachgesagt. Dafür ist der Herstellungsprozess ein-facher und der Stromverbrauch minimal. Rauschen und Empfindlichkeit haben die Hersteller in der Zwischenzeit soweit im Griff, dass bei den markt-gängigen Kameras kein signifikanter Unterschied zwischen CMOS und CCD festzustellen ist.

Die Quanteneffizienz von CMOS-Senso-ren entspricht mit ca. 35% etwa der von modernen CCD-Sensoren mit Anti-Blooming-Gate (Abb.1). Mit Hilfe von internen Verstärkern lässt sich z.B. bei der Canon EOS 20D heute eine Empfindlichkeit entsprechend ISO 3200 einstellen, bei der durchaus noch brauchbare Er-gebnisse zu erzielen sind (siehe nachfolgender Bericht 2003 UB 213). Das Besondere daran: es gibt keinen Schwarz-schildeffekt. ISO 3200 ist echt, während ein marktübli-cher ISO 800 Farbnegativfilm bei z.B. halb-stündiger Be-lichtung nur noch auf etwa ISO 50 bis 100 kommt (bei ähnlichem Korn).

Ein Problem bei Digitalkameras ist das thermische Rauschen des Chips. Dies begrenzt die Dauer von Lang-zeitaufnahmen, da der aktivierte Chip, auch ohne Licht-einwirkung, langsam in die Sättigung kommt. Astro-CCDs sind deswegen gekühlt. DSLR-Kameras arbeiten ungekühlt. CMOS-Chips sind aber in der Zwischenzeit so rauscharm, dass bei z.B. 10 Grad Außentemperatur und Einstellung ISO 100 durchaus Aufnahmen mit einer Stunde Belichtungszeit

oder mehr möglich sind. Hiermit sind in einem gewissen Maße sogar Strichspuraufnahmen von Sternen möglich. Bei normalen Teleskopaufnahmen wird man in der Regel aber mit Belichtungszeiten unter 10 Minuten arbeiten und durch Aufaddieren mehrerer Bilder das Bildrauschen verringern.

Natürlich wird durch die Farbfilter vor den Pixels die effektive Empfindlichkeit verringert, da auf das einzelne Pixel nur der gefilterte Lichtanteil fällt. Die erforderliche Gesamtbelichtungszeit ist aber ähnlich wie bei einer CCD-Kamera mit RGB-Filterrad, da bei dieser die Farb-auszüge nicht gleichzeitig erfolgen, sondern eben nach-einander belich-tet werden müssen. Farbwiedergabe

Wie sieht es nun mit der wichtigen H&alpha;-Empfindlich-keit aus? Grundsätzlich reicht die Empfindlichkeit der CMOS-Sensoren vom nahen UV bis weit ins Infrarote (Abb.1). Um scharfe und ausgewogene Farbbilder zu er-reichen, ist aber jede DSLR-Kamera mit einem UV/IR-Filter ausgerüstet, der leider bereits auch Ha stark ab-senkt. Eine Standard-DSLR ist daher nur bedingt Ha-tauglich (Abb.2).

In der Zwischenzeit kursieren Anleitungen, wie der Filter ausgebaut werden kann. Dies ist etwas riskant, aber für einen versierten Bastler durchaus möglich. Er verliert dabei allerdings seinen Garantieanspruch und die Kamera ist für Normalgebrauch nur noch sehr bedingt verwend-bar, da Autofokus und Weißabgleich nicht mehr funktio-nieren und sowohl für normale als auch für Astroatufnah-men ein externes IR-Filter aufgesetzt werden muss.

Die amerikanische Firma Hutech tauscht bei verschie-denen DSLR-Kameras das serienmäßige Filter gegen ein Ha-taugliches der selben Dicke aus, so dass Autofo-kus einwandfrei funktioniert und auch ein Weißabgleich mög-lich ist. In der Zwischenzeit liefert Canon auch eine Spe-zialausführung der 20D, die EOS 20Da für astrono-mische Zwecke mit einem modifizierten Filter. Gleich-zeitig soll der Chip auf Rauscharmut selektiert sein und die Kamera liefert, im Gegensatz zu allen Normal-DSLRs, ein Echt-zeitbild am Display, mit dem die Scharfeinstel-lung am Teleskop vereinfacht wird.

Preise der Hutech-modifizierten Kamera und der 20Da sind ähnlich und liegen in der Gegend von 2000 bis 2300&euro;, immerhin fast das doppelte einer Standard-20D oder das dreifache der sehr ähnlichen 350D. Tests haben ergeben, dass die Hutech-Kamera in Ha deutlich bessere Ergebnisse bringt als die 20Da. Der Hutech-Filter hat ei-nen Durchlass bis fast 700 nm (Abb.3), so dass auch noch die SiI-Linien bei 676 nm gut wiedergegeben werden. Dafür sind die Anwendungen bei Normalfotografie etwas beschränkter als bei der 20Da (Weißabgleich).

Weitere wichtige Linien sind H $\beta$  und OIII. Diese Li-nien werden z.B. beim Diafilm E200 sehr stiefmütterlich behandelt, denn sie fallen quasi in ein Loch zwischen blau- und grünempfindlicher Schicht. E200-Aufnahmen wirken deshalb meistens nur rot und bringen fast keine Farbnuancen. Der CMOS-Chip mit seinen Bayer-Matrix-Filtern bringt in diesem Bereich eine sehr gleichmäßige Wiedergabe und damit deutlich besser strukturierte Auf-nahmen von Emissionsnebeln. Auflösung

Die EOS 20D bietet 8,2 Megapixel in einer 3504 x 2336 Matrix. Jedes einzelne Pixel ist mit Mikrolinse und einem R, G, oder B-Farbfilter ausgestattet. Die Filter sind in der sogenannten Bayer-Matrix im Quadrat angeordnet, bestehend aus je einem Rot- und Blaufil-ter sowie zwei Grünfiltern. Für die Farbinformation eines Pixels werden je-weils die Inhalte von vier benachbarten Pixel ausgewer-tet und gemittelt. Hierdurch fällt die effektive Auflösung auf 1752 x 1168 Pixel, für Astrokameras immer noch ein sehr ordentlicher Wert. Durch intelligente Verarbeitung des RAW-Bildes und durch die höhere Dichte der Grün-Pixel wird aber eine effektive Auflösung erreicht, die hö-her als dieser Wert liegt, so dass von einer guten DSLR-Auf-nahme problemlos Vergrößerungen von 30x40cm und größer gemacht werden können. Das RAW-Format

DSLR-Kameras erlauben Aufnahme und Abspeichern von Bildern in verschiedenen Formaten. Bei der EOS 20D gibt es verschiedene Auflösungen von 1752 x 1168 bis 3504 x 2336 und verschiedene Kompressionsgrade für jpg-Konvertierung (Fine und Normal) sowie Abspei-cherung im RAW-Format (nur bei voller Auflösung).

Für Astroatufnahmen kommt nur das RAW-Format in Frage, da nur hiermit alle Möglichkeiten der CMOS-Sen-soren ausgeschöpft werden können. Im RAW-Modus werden die Daten unbearbeitet mit 12Bit abgespeichert. Die gesamte Bildbearbeitung, auch der Weißabgleich, wird nachträglich softwaremäßig vorgenommen. Beim RAW-Format ist jedem Pixel, entsprechend der Bayer-Matrix, eine Grundfarbe zugeordnet. Die Mischfarbe aus den vier Bayer-elementen wird erst bei der Verarbeitung ermittelt. Hierdurch ist der RAW-Modus auch speicheref-ektiv. Es müssen nur 8,2 Mio x 12Bit abgespeichert werden. Mit einem verlustlosen Kompressionsverfahren kommt man so auf ca. 8 MB pro Bild. Wenn man die volle Information als unkomprimiertes TIFF-Bild abspei-chern würde, käme man auf 48 MB pro Bild, eine Größe, die sich nur noch sehr schwer handhaben lässt. Praktischer Einsatz

Im Frühjahr 2005 hatte ich meine Hutech-EOS20D bekommen und konnte nur wenige Testaufnahmen durch-führen, bevor ich sie, sozusagen jungfräulich, im Septem-ber mit nach Namibia nahm. Fast gleichzeitig und unab-hängig von mir hatte Carsten Jacobs dieselbe Kamera bei Hutech geordert und erhalten, so dass wir beide sozusa-gen &bdquo;First Light&ldquo; in Namibia hatten und uns gut austau-schen konnten.

An und für sich hatte ich die Astrokamera AK2 ge-bucht. Da aber mit den vorhandenen Mitteln mit der EOS 20D kein Off-Axis-Guiding an der AK2 möglich war und K.-L. Bath umfangreiche Arbeiten vorhatte, versuchte ich mich am Takahashi Epsilon 160 auf der Außensäule 3 mit der Gemini-Montierung. Da am Takahashi infolge des ge-ringen Backfokus auch kein Off-Axis-Gui-ning möglich war, arbeitete ich mit meiner STV an einem kleinen Leit-rohr, das Lutz Bath gerade erüb-rigen konnte (Abb.4).

Das Takahashi arbeitet nicht mit normalem T2-An-schluss, da bei dem großen Öffnungsverhältnis  $f/3,3$  sonst bereits deutliche Vignettierung auftritt. Es gibt ei-nen speziellen und größeren Wide-T-Adapter, der aber nun speziell für jede Kamera be-schafft werden muss. Auf Hakos gab es nur einen entsprechenden Minolta-Adapter. Durch Kombina-tion und Umbau von vorhandenen EOS-T2-Adap-tern wurde doch ein Anschluss möglich. In der Zwi-schenzeit ist aber der spezielle EOS-Adapter be-schafft und beim Zubehör des Takahashi zu finden.

Leitsternsuche und Nachführung mit der STV klappten trotz des etwas improvisierten Aufbaus mit dem kleinen Leitrohr meist hervorragend. Gab es doch Nachführfeh-ler, so lag es meist daran, dass ir-gendwelche Schrauben am Leitrohr nicht richtig an-gezogen waren.

Belichtet werden muss mit einem separaten Ti-mer, da sonst, selbst mit Computersteuerung der Kamera, nur die Festzeiten bis 30sec zur Verfügung ste-hen. Dieser Timer ist als Sonderzubehör zur EOS er-hält-lich. Ebenfalls emp-fehlenswert ist ein 12V-Batterie-adap-ter, den die Firma Hutech für die EOS-Kameras an-bietet.

Mein Arbeitsplatz im Freien war ausgerüstet mit einer 90Ah-Wanderbatterie an der ein Centrino-Notebook (Dell), eine STV-Nachführkamera, die EOS 20D und der Teleskop-antrieb mit Steuerung angeschlossen war. Bei zehnstün-digem Dauerbetrieb zeigte die Batterie am Mor-gen immer noch über 12 V und war damit noch mindes-tens halb voll, ein Zeichen dafür, dass unsere Batterie- und Solarka-pazität bei Einsatz von stromsparenden Gerä-ten durchaus ausreichend dimensioniert ist.

Ein gewisses Problem war der Dunkelbildabzug, der bei Aufnahmezeiten über fünf Minuten erforderlich wird und deutliche Verbesserungen bringt. Am effektivsten ist es, wenn man für eine ganze Serie jeweils nur ein einzel-nes Dun-kelebild aufnimmt. Der Dunkelbildabzug muss aber dann mit irgendeinem Bildbear-beitungs-pro-gramm wie z.B. Photoshop vorgenommen werden. Dunkelbild-abzug ist aber (noch) nicht im RAW-Format möglich, deswegen muss das Bild erst in Bitmap konvertiert wer-den, wobei allerdings immer gewisse Bildverarbeitungen vorgenom-men werden, die man nicht zu 100% im Griff hat. Beste Ergebnisse erhielt man deshalb erst, wenn man mit 16Bit-TIFF arbeitete, hier dann allerdings, wie oben dar-gestellt, bereits mit 48MB-Dateien und entsprechen-den Verarbei-tungs-zeiten.

Nach ersten Erfahrungen entschloss ich mich dann, den kamerainternen Dunkelbildabzug zu verwenden. Hierbei wird nach jeder Aufnahme automatisch noch ein Dunkelbild mit derselben Belichtungszeit aufgenommen und dann direkt vom Bild abgezogen. Die Aufnahmezeit verdoppelt sich hierdurch zwar, doch spart man mindes-tens ebensoviel Zeit bei der nachträglichen Bearbeitung und die Ergebnisse sind optimal.

Die Fokussierung am Takahashi ist etwas problema-tisch, da nur ein normaler Zahnstangentrieb zur Verfü-gung steht und damit auf hundertstel mm eingestellt wer-den muss. Dies klappte nicht immer hundertprozentig, da-zu kam wechselhaftes Seeing und gelegentlich der be-kann-te Hakossturm an meinem völlig ungeschützten Beo-bach-tungsplatz. Zwi-schen-durch musste das Ta-kahashi neu justiert werden, da sich eine Justierschraube völlig gelöst hatte. Trotzdem sind einige - für meine Ver-hält-nis-se - her-vorragende Aufnah-men dabei entstan-den, die al-les über-trafen, was ich bisher mit chemischer Fotografie in fünf Hakosjah-ren erreicht hatte. Abb.5 bis Abb.7 zei-gen ei-nige die-ser Aufnah-men, die natürlich beim Druck-verfahren unserer Mit-tei-lungen nur beschränkt aus-sagefähig sind. In voller Far-be, aber natürlich immer noch mit reduzierter Auflö-sung können diese Aufnahmen und viele weitere von Carsten Jacobs und mir in unserem Website-Bildarchiv be-trachtet werden. Fazit

Mit den DSLR-Kameras hat eine neue Ära in der Ast-rofotografie begonnen. Wer gewisse Einschränkungen im Ha-Bereich in Kauf nimmt, erhält heute für weniger als 700&euro; eine ausgezeichnete Astrokamera, die dazu noch ohne Einschränkungen als normale Spiegelreflexkameras einsetzbar ist. Etwas teurer sind Ha-taugliche Spezi-alver-sionen.

DSLR-Kameras eignen sich hervor-ra-gend zum Einsatz mit unseren lichtstarken In-strumenten. Das Optimum bil-det hierbei zur Zeit das Ta-kahashi Epsilon 160 mit  $f/3,3$  bei  $f = 530\text{mm}$ . Opti-mal weiterhin, sobald die Justier-ar-beiten abgeschlossen sind und ein Off-Axis-Guider für DSLR zur Verfügung steht, die AK2 mit  $f/3,7$  bei  $f = 1648\text{mm}$ . In einem äh-nli-chen Be-reich liegt der Primär-fo-kus des im nächsten Jahr ver-fügbaren Keller-Cas-segrain mit  $f/3$  bei  $f = 1500\text{mm}$ . Die Krönung wird das große Te-leskop auf dem Gamsberg bilden mit  $f/4,7$  bei  $f = 3000\text{mm}$ . Aber auch an den länge-ren

Brennweiten bei kleinerem Öffnungsverhältnis ergeben sich genügend Einsatzmöglichkeiten.

Der Anfänger erreicht mit Einzelbildern von 5 bis 10 Minuten Belichtungszeit schon Beachtliches. Bei Korrektur des periodischen Fehlers und guter Aufstellung sind solche Aufnahmen sogar ohne Guiding und ohne PC-Anschluss möglich. Wer mehr will, muss mehr Aufwand betreiben. Er hat aber dann fast alle Möglichkeiten, die bis heute noch den aufwändig gekühlten CCD-Kameras vorbehalten blieben, insbesondere, wenn es in Zukunft gelingt, das thermische Rauschen der CMOS-Sensoren noch weiter zu reduzieren.