

Deep-Sky-Fotografie mit „kurzen“ Belichtungszeiten

von Jürgen Dirscherl

Die Astrofotografie von Objekten mit geringer Flächenhelligkeit wird oft mit langen Einzelbelichtungen von deutlich über 10 min bis hin zu mehreren Stunden durchgeführt. Das Signal-zu-Rauschverhältnis (SNR) steigt dabei mit der Wurzel aus der (Gesamt-) Belichtungszeit, d.h., für das doppelte SNR muss viermal länger belichtet werden. Die Obergrenze für eine Einzelbelichtung ist dadurch gesetzt, dass helle Objekte im Bild, die für die Darstellung von Interesse sind, nicht gesättigt sein dürfen. Das Überlagern von mehreren kürzer belichteten Bildern ist für helle Objekte wohlbekannt, gilt jedoch bezüglich des SNR als nachteilig im Vergleich zu einer Einzelaufnahme mit der gleichen Gesamtbelichtungszeit. Grund dafür ist das Ausleserauschen des Bildsensors: Je weniger Auslesevorgänge, umso geringer ist das gesamte Rauschen und desto besser ist das SNR. Alle anderen Rauschbeiträge hängen allein von der Gesamtzeit ab.

In der Planetenfotografie arbeitete man dennoch mit der Überlagerung von vielen kurz belichteten Bildern. Grund dafür ist das Seeing: Die Luftunruhe verzerrt und verschiebt die Planetenbilder auf sehr kurzen Zeitskalen. Bei unter 50 ms Belichtungszeit steigen die Chancen, einzelne „gute“ Bilder zu erhalten. Nach der Aufnahme vieler Einzelbilder (oft > 1.000) können diese nach Schärfe und Verzerrung selektiert und die guten überlagert werden. Das hohe Ausleserauschen wird durch das „Einfrieren“ des Seesings mehr als wettgemacht. Zudem dominiert bei hellen Objekten (wie Planeten) das Photonenrauschen.

Auch in der Fotografie lichtschwächerer Objekte hätte die Aufteilung der Gesamtbelichtungszeit in kürzere Einzelbelichtungen viele Vorteile:

- unempfindlicher gegen Nachführfehler
- weniger Bildausschuss durch störende Flugzeuge, Satelliten, Wolken, kosmische Strahlung, Vibrationen etc. Nach einer solchen Störung ist nur ein einzelnes

Bild aus der Serie verdorben, nicht die gesamte Aufnahme.

Der Nachteil des höheren Ausleserauscheitrags bei kurzen Einzelbelichtungen hat sich durch neue Astro-Kameras mit sehr geringem Ausleserauschen deutlich relativiert, wie z. B. mit der ZWO ASI 1600MM-C (ohne für diese hier werben zu wollen). Mit dieser Kamera wurden auch die später erläuterten Aufnahmen erstellt. Sie enthält einen gekühlten, monochromen CMOS-Chip mit 4.656 px x 3.520 px (Pixelgröße 3,8 µm, Sensorfläche 17,5 mm x 13,2 mm). Neben dem niedrigen Ausleserauschen von 1,7 Elektronen bei Unity-Gain weist der Sensor sehr kurze Auslesezeiten auf. Dadurch kann am vollen Bild und 12-bit-Auslesung eine Live-Darstellung mit > 5 fps betrachtet werden (mit USB 3.0). Bei enger gewähltem Bildausschnitt beträgt die Bildrate bis über 100 fps. Dies erleichtert die Bildeinstellung und Fokussierung enorm und reduziert den Zeitverlust (für das Auslesen) bei Aufnahme vieler Einzelbilder. Das Ausleserauschen ist so niedrig, dass meiner Ansicht nach die Vorteile vieler kurzer Einzelbelichtungen überwiegen. Der Ansatz ist ähnlich wie beim „Lucky Imaging“ mit EMCCD-Kameras [1], allerdings zu noch erschwinglichen Kosten und ohne „Blooming“. Auch Kameras mit extrem rauscharmen Scientific-CMOS-Sensoren liegen nach

meinem Kenntnisstand in Preisregionen jenseits der 10.000 €.

Die Belichtungszeit bei geringer Flächenhelligkeit kann nicht so kurz wie bei hellen Planeten sein, da ein ausreichendes Signal für das Abheben vom Kamera-Untergrund (Ausleserauschen, Rauschbeitrag vom Dunkelstrom etc.) erzeugt werden muss. Die optimale Belichtungszeit hängt von der Himmels hintergrund- und der Zielobjekt-Helligkeit ab: Ist der Himmel aufgehellt oder das Objekt hell, dominiert das Photonenrauschen und kurze Belichtungszeiten sind vorteilhaft. Bei guten Bedingungen (dunkler Himmel, auch durch schmalbandige Filter) und lichtschwachen Objekten ist das Ausleserauschen dominierender und längere Einzelbelichtungen sind besser. Es genügt aber, dass der Himmels hintergrund z.B. das Dreifache des Ausleserauschens erzeugt. Bei dem typischen Landhimmel über Wertheim ergeben sich kaum über 1-2 Minuten, dafür genügt eine Nachführgenauigkeit von < 1"/min.

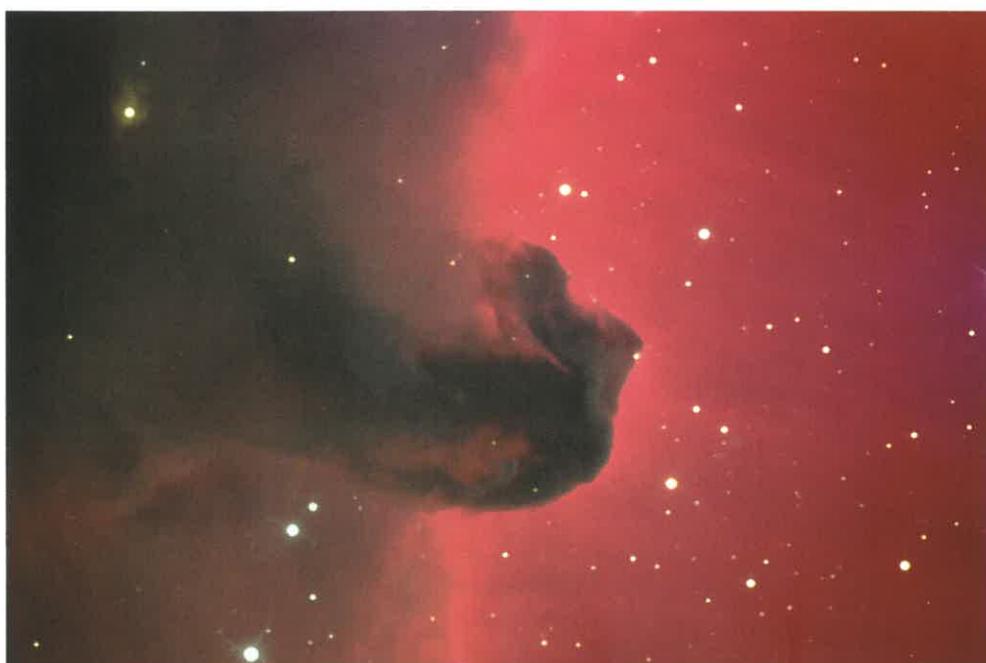
Die Signalinformation ist bei niedriger Flächenhelligkeit und kurzer Belichtung auf nur wenige digitale Helligkeitsstufen verteilt. Die oben erwähnte Kamera weist sogar nur eine 12-bit-Digitalisierung auf, was deutlich weniger Helligkeitsstufen (4.096) bedeutet als bei einer 16-bit-Astro-Kamera (mit 65.536 Helligkeitsstufen).

Anzeige



Auch hier hilft die Überlagerung vieler Einzelbilder, da der gemittelte Wert mit deutlich feinerer Bit-Abstufung (meist 16 bit) berechnet werden kann, als die Einzelbilder aus der Kamera aufweisen, also auch Zwischenwerte des ursprünglichen 1:4.096-Rasters annehmen kann. Bei mehr als 16 Einzelbildern ergibt sich die gleiche digitale Bit-Abstufung wie bei einer einzelnen 16-bit-Aufnahme.

Die folgenden Aufnahmen (bis auf Abb. 7) wurden mit dem 24-zölligen Newton-Teleskop der Johann-Kern-Sternwarte Wertheim [2] erstellt. Aus der Brennweite von 3.050 mm folgt ein Bildmaßstab von 0,257"/px. Dies ist sehr klein, besser wäre 1"/px. Dafür ergeben sich wenig gerasterte Sternabbildungen (vgl. Abb. 6). Die hohe Auflösung ist vorteilhaft bei Sonne, Mond, Planeten und einigen Planetarischen Nebeln bei so kurzen Belichtungszeiten, dass die Luftunruhe eingefroren wird. Binning bringt bei CMOS-Sensoren nicht so viel wie bei CCDs, da die Zusammenfassung der Pixel erst nach dem Auslesen erfolgt, das Ausleserauschen also nicht reduziert wird. Das Bildfeld am Newton beträgt ca. 20' x 15'. Der Kamerasensor wurde bei -20 °C betrieben. Ich verwende Schmalbandfilter ([SII], H α + [NII], [OIII]) mit 12 nm Bandbreite für leichteres Scharfstellen, da die Sterne im gewählten Bildausschnitt trotz des Filters hell genug zur direkten Fokussierung im Livebild sind. Es handelt sich um Einsteiger-Aufnahmen von Deep-Sky-Objekten, zudem müssen sie in Relation zum Aufnahmeort im Tiefland



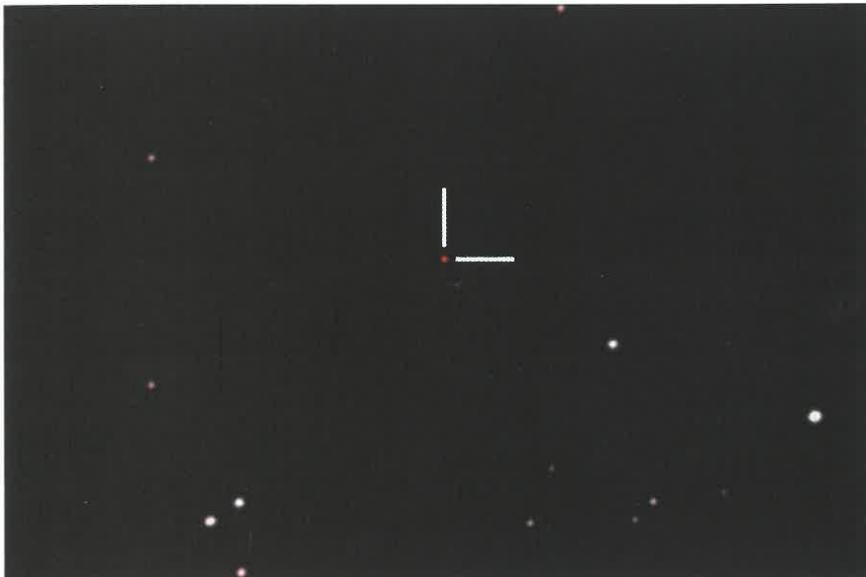
1 Rechts oben: Hantelnebel M 27 als Bicolor-Aufnahme mit H α + [NII]- und [OIII]-Filtern, pro Kanal 100 x 30 s, Gesamtbelichtungszeit 100 min

2 Rechts Mitte: Kugelsternhaufen M 13, RGB: je 18 x 10 s, Gesamtbelichtung 9 min

3 Rechts unten: Pferdekopfnebel B 33 vor IC 434, Aufnahmen mit [SII]-, H α + [NII]- und [OIII]-Filtern sowie RGB mit Einzelbelichtungen zwischen 30 s und 120 s. Gesamtbelichtung ca. 5,3 h



4 Planetarischer Nebel Jones-Emberson 1 (PK 164+31°.1) als Bicolor-Aufnahme mit $H\alpha$ + $[NII]$ - und $[OIII]$ -Filtern, pro Kanal ca. 100 x 1 min, Gesamtbelichtung ca. 3 h



5 Quasar SDSS J010013.02+280225.8. Rot-Kanal aufgenommen mit IRpass-Filter ($\lambda > 742$ nm oder $\lambda > 807$ nm), gesamt 164 x 30 s, G-Filter: 180 x 10 s, B-Filter: 117 x 20 s, Gesamtbelichtung ca. 2,5 h



(275 m ü. NN) und der begrenzten Gesamtbelichtungszeit (s.u.) gesehen werden. Die Abbildung 1 zeigt den Hantelnebel M 27 als Bicolor-Aufnahme mit $H\alpha$ + $[NII]$ - und $[OIII]$ -Filtern. Für das Bild wurde $H\alpha$ dem Rot-Kanal (plus 10% Blau für $H\beta$) und $[OIII]$ sowohl dem Grün- als auch Blau-Kanal zugewiesen. Dies ergibt eine relativ natürliche Farbwiedergabe.

Der Kugelsternhaufen M 13 (Abb. 2) war ursprünglich nur als Testaufnahme der Kamera gedacht. Schon 9 min Gesamtbelichtungszeit ergaben ein annehmbares Ergebnis.

Im Pferdekopfnebel B33 vor IC 434 (Abb. 3) ist auch reflektiertes Sternenlicht zu erkennen, daher erwiesen sich RGB-Filter als geeigneter als Schmalband-Filter. Die Abbildung 4 zeigt den Planetarischen Nebel Jones-Emberson 1 (PK 164+31.1) als Bicolor-Aufnahme in $H\alpha$ + $[NII]$ und $[OIII]$ (wie bei M 27). Der Nebel weist mit visuellen 12,1 mag und 6,7' Durchmesser eine sehr geringe Flächenhelligkeit auf [3]. Trotz der kurzen Gesamtbelichtungszeit von gut 3 Stunden zeigt die Aufnahme noch die schwachen nördlichen Nebelausläufer.

In den extrem „tiefen Himmel“ führt die Abbildung 5, zum Quasar SDSS J010013.02+280225.8. Der Quasar hat eine Rotverschiebung von $z = 6,3$, d.h., das Weltall hat sich seit der Emission um den Faktor 7,3 ausgedehnt und die Lichtwellen mit ihm. Durch diese Rotverschiebung ist die ursprünglich ultraviolette Strahlung des Quasars (Lyman α bei 121 nm) bis in das NIR (> 880 nm) verschoben worden, visuell ist er mit ca. 25 mag nicht beobachtbar. Sein Licht war 12,8 Mrd. Jahre zu uns unterwegs. Das zentrale Schwarze Loch wird auf 12 Mrd. Sonnenmassen geschätzt. Nach Stand 2015 handelt es sich um das bei Weitem massereichste Schwarze Loch aus dieser Frühzeit des Universums [4]. Die Infrarothelligkeit des Quasars beträgt laut 2MASS-Katalog nur 17 mag (im J-Band

6 Doppelquasar Q0957+561 (rechts und Ausschnitt in Originalauflösung L-Kanal); Galaxien NGC 3079 (links oben) und NGC 3073 (links unten). L-Kanal: 187 x 30 s, RGB: je 20-30 x 60 s, Gesamtbelichtung ca. 3 h



7

Zentraler Teil des Sternbilds Orion. Rot-Kanal: $H\alpha + [NII]$ -Filter mit 100 x 30 s, Grün- und Blau-Filter: je ca. 100 x 20 s. Gesamtbelichtung ca. 2 h. 50-mm-Objektiv mit Apertur $f/4$. Bildausschnitte: Bereiche um den Flammen- und Pferdekopf-Nebel sowie um den Orion-Nebel.

zentriert um 1.250 nm). Dies in Verbindung mit der relativ geringen Empfindlichkeit dieses CMOS-Sensors ab 850 nm macht den Quasar gerade noch detektierbar.

Die Abbildung 6 zeigt am rechten Bildrand den Quasar Q0957+561, der durch als Gravitationslinse wirkende Vordergrundgalaxien doppelt abgebildet wird [5]. Die beiden Komponenten A und B des Quasarbilds erscheinen im Abstand von 6,1". G1 markiert die Position der als Gravitationslinse wirkenden Hauptgalaxie im Vordergrund (21,9 mag). B überstrahlt G1 völlig, da etwa 140-fach heller und nur 1" entfernt. Die Beule im Bild von B an dieser Stelle ist wohl kein echtes Signal. Im Bild links oben ist die Galaxie NGC 3079 zu sehen, links unten NGC 3073.

Die Abbildung 7 des Orion-Zentrums wurde mit einem Objektiv mit Apertur $f/4$ und $f = 50$ mm gewonnen. Um eine zu starke Überbelichtung des Orion-Nebels zu vermeiden, wurden kurze Einzelbelichtungen von 20-30 s angewandt. Trotzdem sind die schwachen südlichen Bereiche von Barnard's Loop deutlich zu erkennen.

Quellenangaben:

- [1] C. Dosche, 2012: „Lucky Imaging“, *Sterne und Weltraum* 03/2012, S. 82-89
- [2] siehe www.sternwarte-wertheim.de
- [3] S. Moore, Brit. Astron. Assoc., Febr. 2016, siehe www.britastro.org/node/7191
- [4] Xue-Bing Wu et al., 2015: „An ultraluminous quasar with a twelve-billion-solar-mass black hole at redshift 6.30“, *Nature* 518, p. 512-515
- [5] D. Walsh, R. F. Carswell, R. J. Weymann, 1979: „0957 + 561 A, B: twin quasistellar objects or gravitational lens?“, *Nature* 279, p. 381-384

Anzeige

Astronomie.de
der Treffpunkt für Astronomie

Astronomie.de - Home
www.astronomie.de

über 20.000 Seitenabrufe täglich!

Portal für Anfänger, Amateure und Profis

Größter deutscher Gebraucht-Markt-
platz für Astronomie

Diskussionsb
schaften

Großes Astronomie-Forum

Online-Planetari
um

Aktuelles rund um die Astronomie

► Einsteige
Astronomie für Kinder

Zeitschriften und Buchbesprechungen

► Das Sonnensystem
Forschung

Beobachtungspraxis

► Astronomische
Computer

Der Himmel aktuell

► Wissen
tionen und Wettbewerbe

uvm.

Machen Sie mit:
[http://
www.Astronomie.de](http://www.Astronomie.de)